



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH PENAMBAHAN TEMBAGA  
TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN KONDUKTIVITAS  
PELAT BIPOLAR KOMPOSIT *PP/C-Cu***

**SKRIPSI**

**TAUFIQ ARYA BIMANYU  
0606029536**

**FAKULTAS TEKNIK  
DEPARTEMEN METALURGI DAN MATERIAL  
DEPOK  
DESEMBER 2009**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENGARUH PENAMBAHAN TEMBAGA  
TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN KONDUKTIVITAS  
PELAT BIPOLAR KOMPOSIT *PP/C-Cu***

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik**

**TAUFIQ ARYA BIMANYU  
0606029536**

**FAKULTAS TEKNIK  
DEPARTEMEN METALURGI DAN MATERIAL  
DEPOK  
DESEMBER 2009**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Taufiq Arya Bimanyu

NPM : 0606029536

Tanda Tangan :

Tanggal : 21 Desember 2009

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Taufiq Arya Bimanyu

NPM : 0606029536

Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material

Judul Skripsi :

**Pengaruh Penambahan Tembaga Terhadap Sifat Mekanik Dan Konduktivitas Pelat Bipolar Komposit PP/C-Cu**

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Metalurgi dan Material, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Prof.Dr.Ir. Anne Zulfia, M.Phil.Eng. (.....)

Penguji 1 : Ir. Yunita Sadeli, M.Sc. (.....)

Penguji 2 : Dr.Ir. Bambang Prihandoko, MT. (.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 21 Desember 2009

## KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah Subhanahu Wa Ta'ala, karena atas berkat dan rahmat-Nya saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Metalurgi dan Material pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa selama masa penelitian sampai pada penyusunan skripsi ini banyak pihak yang telah membantu. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Anne Zulfia, M. Phil. Eng. selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
2. Dr. Ir. Verina dan Lembaga P3TKEBT Departemen ESDM yang telah memberikan proyek penelitian ini dan memberikan dukungan dana selama penelitian;
3. Sentra Teknologi Polimer (STP), Metalurgi LIPI dan BATAN di PUSPIPTEK Serpong dan PT. Trypolita Indonesia serta Institue Teknologi Indonesia (ITI) yang telah banyak membantu dalam usaha memperoleh data;
4. Orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral; serta
5. Seluruh pihak yang telah membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata, saya berharap Allah Subhanahu Wa Ta'ala berkenan membalas kebaikan semua pihak yang telah membantu dalam penelitian dan penyusunan skripsi ini. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi.

Depok, 21 Desember 2009

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

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

Nama : Taufiq Arya Bimanyu  
NPM : 0606029536  
Departemen : Metalurgi dan Material  
Fakultas : Teknik  
Jenis karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**Pengaruh Penambahan Tembaga Terhadap Sifat Mekanik Dan  
Konduktivitas Pelat Bipolar Komposit PP/C-Cu**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 21 Desember 2009

Yang menyatakan

(Taufiq Arya Bimanyu)

## ABSTRAK

Nama : Taufiq Arya Bimanyu  
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material  
Judul :

### **Pengaruh Penambahan Tembaga Terhadap Sifat Mekanik Dan Konduktivitas Pelat Bipolar Komposit PP/C-Cu**

Pelat bipolar merupakan komponen utama dari PEM fuel cell yang memiliki fungsi utama yaitu mengumpulkan dan memindahkan elektron dari anoda dan katoda. Oleh karena itu pelat bipolar yang dihasilkan harus memiliki konduktivitas listrik yang tinggi dan sesuai dengan standart DOE (*Department of Energy U.S.A*) yaitu  $>100$  S/cm. Untuk mendapatkan pelat bipolar yang murah, ringan dan memiliki konduktivitas yang tinggi, maka dikembangkanlah pelat bipolar yang terbuat dari komposit PP/C-Cu. Proses pembuatan komposit PP/C-Cu ini menggunakan proses *compounding*, *hot blending* dan *hot press*. Pada penelitian ini dilakukan variasi komposisi tembaga yaitu 0,1 wt%Cu, 1 wt%Cu dan 2 wt% Cu. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan serbuk tembaga secara umum meningkatkan nilai densitas, kekuatan tarik, kekuatan tarik, modulus tekuk, modulus tarik, elongasi, konduktivitas dan mengurangi porositas

Kata kunci:

PEM *fuel cell*, pelat bipolar, konduktivitas listrik, sifat mekanik, komposit bermatriks polipropilena.

## ABSTRACT

Name : Taufiq Arya Bimanyu  
Study Program : Metallurgy and Materials Engineering  
Title :

### **Effect of Copper in Mechanical and Conductivity Properties of Composite Bipolar Plate PP/C-Cu**

Bipolar plate is a major component in PEM fuel cell which has the main function of collecting and removing electrons from anode and cathode. Therefore, the resulting bipolar plates must have high electrical conductivity and in accordance with DOE (Department of Energy U.S.A) standards is higher than 100 S/cm. To obtain the bipolar plates are cheap, lightweight and has a high conductivity, therefore it is developed bipolar plates material based in composite PP/C-Cu. Composites of PP/C-Cu has been made by compounding, hot blending and hot press. In this research Cu (Copper) has been used variation from 0.1 wt% Cu, 1 wt% Cu and 2 wt% Cu to find out the characteristic of composite PP/C-Cu. From this research the effect of addition Cu in composite PP/C-Cu is increase tensile strength, flexural strength, flexural modulus, tensile modulus, elongation, conductivity properties and decreasing porosity.

**Keywords:**

PEM fuel cell, bipolar plates, electrical conductivity, mechanical properties, polypropylene matrix composite.

## DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....	ii
HALAMAN PENGESAHAN .....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH .....	v
ABSTRAK .....	vi
ABSTRACT .....	vii
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	xii
DAFTAR TABEL .....	xv
DAFTAR LAMPIRAN .....	xvii
DAFTAR SINGKATAN .....	xviii
DAFTAR SIMBOL .....	xix
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Tujuan Penelitian .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Sistematika Penulisan .....	4
BAB 2 LANDASAN TEORI .....	5
2.1 <i>FUEL CELL</i> .....	5
2.2 <i>Polymer Electrolite Menrane Fuel Cell (PEMFC)</i> .....	8
2.2.1 Bagian-Bagian PEMFC .....	10
2.2.2 Pelat Bipolar .....	12
2.2.3 Bahan Pelat Bipolar .....	14
2.3 Komposit .....	15

2.3.1 Faktor yang Mempengaruhi Sifat Komposit .....	16
2.3.1.1 Komposisi .....	16
2.3.1.2 <i>Interface</i> .....	16
2.3.1.3 <i>Interfacial Bonding</i> .....	17
2.3.2 Komposit Polimer-Karbon untuk Pelat Bipolar .....	18
2.4 Matrik Komposit .....	18
2.4.1 Polypropylene (PP) .....	19
2.4.2 PP-g-MA .....	23
2.5 Anti Oksidant .....	25
2.6 Bahan Pengisi .....	26
2.6.1 Karbon Hitam .....	28
2.6.2 Grafit .....	29
2.6.3 Serat Karbon .....	30
<b>BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>33</b>
3.1 Diagram Alir Penelitian .....	33
3.2 Komposisi Bahan .....	35
3.3 Peralatan dan Bahan .....	35
3.3.1 Peralatan .....	35
3.3.2 Bahan-Bahan .....	38
3.3.2.1 Polypropylene (PP) .....	38
3.3.2.2 Karbon Hitam .....	38
3.3.2.3 Serat Karbon .....	38
3.3.2.4 PP-g-MA .....	38
3.3.2.5 Anti Oksidan .....	38
3.3.2.6 Tembaga .....	39
3.4 Prosedur Penelitian .....	39
3.4.1 Penimbangan .....	39
3.4.2 Pencampuran .....	40

3.4.3	<i>Hot Blending</i> .....	40
3.4.4	Penghalusan ( <i>Crushing</i> ).....	41
3.4.5	Cetak panas ( <i>Hot Press</i> ) .....	42
3.4.6	Pembuatan Spesimen Uji .....	43
3.4.7	Pengukuran Kerapatan Massa dan porositas .....	43
3.4.8	Pengujian Tarik .....	45
3.4.9	Pengujian Tekuk .....	47
3.4.10	Pengujian Konduktivitas .....	48
3.4.11	Pengamatan <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM) ...	49
BAB 4 HASIL PENELITIAN .....		51
4.1	Hasil Proses <i>Hot Blending</i> .....	51
4.2	Hasil Proses <i>Crushing</i> .....	52
4.3	Hasil proses <i>Hot Press</i> .....	52
4.4	Hasil Pembuatan Spesimen Uji .....	54
4.5	Hasil Pengujian Kerapatan Massa ( <i>Densitas</i> ) .....	54
4.6	Hasil Pengujian Porositas .....	55
4.7	Hasil Pengujian Tarik .....	55
4.8	Hasil Pengujian Tekuk .....	57
4.9	Hasil Pengujian SEM .....	57
4.10	Hasil Pengujian EDS .....	59
4.11	Hasil Pengujian Konduktivitas .....	60
BAB 5 PEMBAHASAN .....		61
5.1	Pengaruh penambahan Cu Terhadap Densitas Komposit PP/C-Cu .....	61
5.2	Pengaruh penambahan Cu Terhadap Porositas Komposit PP/C-Cu .....	63
5.3	Pengaruh penambahan Cu Terhadap Nilai Uji Tarik Komposit PP/C-Cu .....	65
5.4	Pengaruh Penambahan Cu Terhadap Nilai Uji Tekuk Komposit PP/C-Cu .....	70

5.5 Analisa Permukaan Patahan Komposit PP/C-Cu .....	73
5.6 Analisa Hasil Uji EDS Komposit PP/C-Cu .....	76
5.6 Pengaruh Penambahan Tembaga Terhadap Sifat Konduktivitas Komposit PP/C-Cu .....	77
BAB 6 KESIMPULAN .....	81
DAFTAR REFERENSI .....	82
LAMPIRAN .....	86

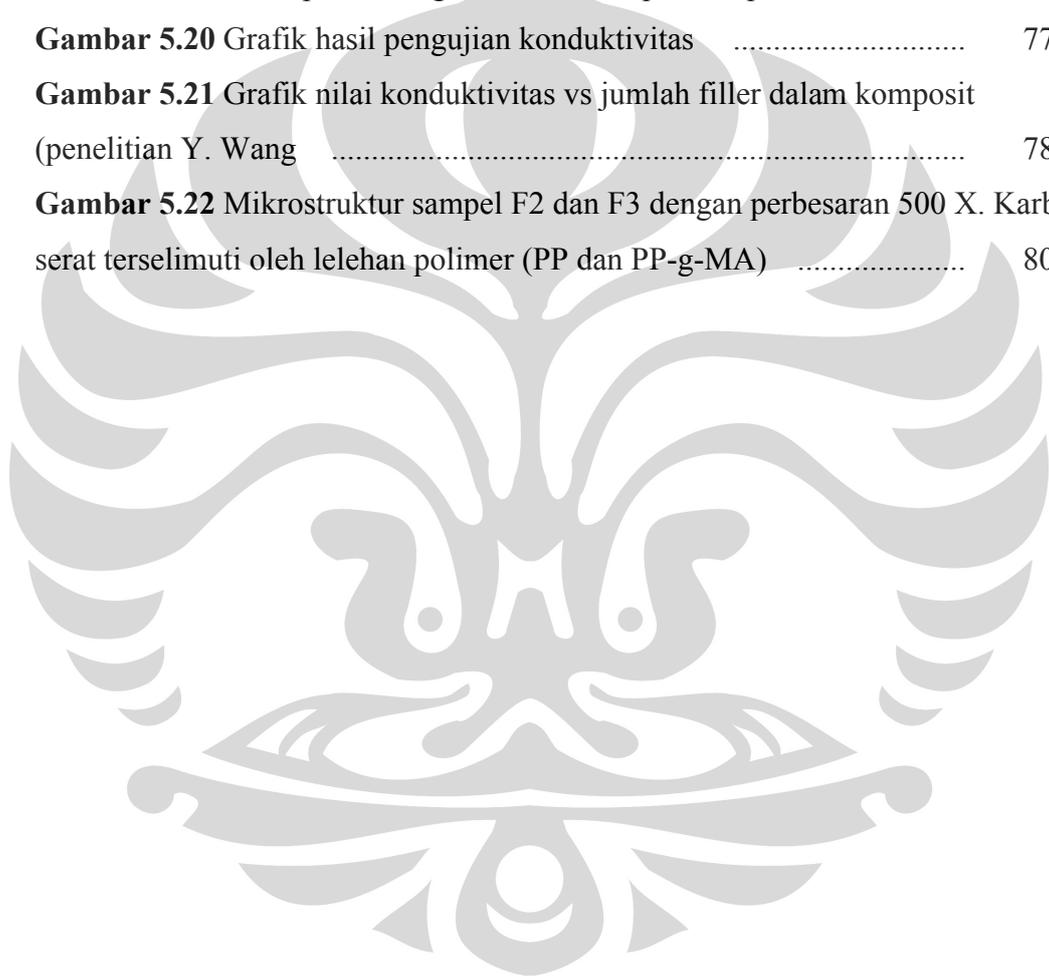


## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
<b>Gambar 2.1</b> Input dan output dasar sistem <i>fuel cell</i> .....	5
<b>Gambar 2.2</b> Range daya yang dihasilkan oleh berbagai jenis <i>fuel cell</i> beserta aplikasinya .....	8
<b>Gambar 2.3</b> Skematis PEMFC .....	9
<b>Gambar 2.4</b> Diagram struktur PEMFC .....	10
<b>Gambar 2.5.</b> Pelat Bipolar pada FC .....	12
<b>Gambar 2.6.</b> Presentase berat pelat bipolar didalam komponen <i>fuel cell</i> .....	13
<b>Gambar 2.7</b> Klasifikasi bahan untuk pelat bipolar PEMFC .....	15
<b>Gambar 2.8</b> Jenis-jenis interfacial bonding. (a) <i>Molecule entanglemen</i> , (b) <i>Cationic attraction</i> , (c) <i>Electrostatic</i> , (d) <i>Reaksi kimia</i> , (e) <i>Mechanical Bonding</i> .....	17
<b>Gambar 2.9</b> Struktur monomer <i>propylene</i> .....	19
<b>Gambar 2.10</b> Polimerisasi <i>propylene</i> menjadi <i>polypropylene</i> .....	20
<b>Gambar 2.11</b> Jenis <i>Polypropylene</i> berdasarkan bahan yang digunakan ..	21
<b>Gambar 2.12</b> Jenis isomer stereo <i>polypropylene</i> .....	22
<b>Gambar 2.13</b> Isomer geometrikal <i>polypropylene</i> .....	23
<b>Gambar 2.14</b> Siklus auto-oksidasi .....	25
<b>Gambar 2.15</b> Panjang <i>fiber</i> .....	27
<b>Gambar 2.16</b> Arah orientasi serat .....	27
<b>Gambar 2.17</b> Bentuk-bentuk <i>fiber</i> .....	28
<b>Gambar 2.18</b> Struktur kristal grafit .....	30
<b>Gambar 2.19</b> Proses pembuatan serat karbon dari PAN dan pitch .....	31
<b>Gambar 3.1</b> Diagram alir preparasi dan fabrikasi sampel. ....	33
<b>Gambar 3.2</b> Diagram alir pengujian karakterisasi sampel. ....	34
<b>Gambar 3.3</b> Diagram skematik alat <i>compression molding</i> .....	42
<b>Gambar 3.4</b> Skema bentuk spesimen uji tarik .....	46
<b>Gambar 3.5</b> Skema pengujian tarik .....	46
<b>Gambar 3.6</b> Skema pengujian tekuk 3-titik .....	47
<b>Gambar 3.7</b> Prinsip dasar pengukuran dengan alat LCR-Meter .....	48

<b>Gambar 3.8</b> Tempat penyimpan cuplikan .....	49
<b>Gambar 3.9</b> Diagram skematis alat SEM .....	50
<b>Gambar 4.1</b> Komposit Hasil <i>Hot Blending</i> .....	51
<b>Gambar 4.2</b> Pellet hasil proses <i>crushing</i> .....	52
<b>Gambar 4.3</b> Sampel Hasil <i>Hot Press</i> .....	53
<b>Gambar 4.4</b> Bagian tepi lempengan yang tidak rata .....	53
<b>Gambar 4.5</b> Patahan sampel bagian siku F1 dan F3 .....	54
<b>Gambar 4.6</b> Spesimen uji tarik (a).Uji tarik, (b). Uji Tekuk, (c). Uji konduktivitas .....	54
<b>Gambar 4.7</b> Mikrostruktur sampel F1 perbesaran (a) 1000 X, (b) 500 X	58
<b>Gambar 4.8</b> Mikrostruktur sampel F2 perbesaran (a). 250 X, (b). 500 X	58
<b>Gambar 4.9</b> Mikrostruktur sampel F3 perbesaran (a). 100 X, (b). 250 X	58
<b>Gambar 4.10</b> Grafik hasil uji EDS .....	59
<b>Gambar 5.1</b> Grafik hasil uji kerapatan massa .....	61
<b>Gambar 5.2</b> Grafik densitas vs jumlah filler .....	62
<b>Gambar 5.3</b> Grafik hasil uji porositas .....	63
<b>Gambar 5.4</b> Mikrostruktur sampel perbesaran 250 X (a). F1, (b). F2, (c). F3 .....	64
<b>Gambar 5.5</b> Mikrostruktur sampel F1 perbesaran 250X .....	65
<b>Gambar 5.6</b> Grafik kekuatan tarik .....	66
<b>Gambar 5.7</b> Gambaran skematik dari <i>craze</i> yang menunjukkan rongga- rongga mikro dan jembatan <i>fibrillar</i> kemudian diikuti oleh retak ( <i>crack</i> ) .	66
<b>Gambar 5.8</b> Skematik ikatan antara fiber dan matrik .....	67
<b>Gambar 5.9</b> Grafik modulus tarik sampel komposit .....	68
<b>Gambar 5.10</b> Grafik volume filler vs modulus young (literature) .....	69
<b>Gambar 5.11</b> Grafik nilai elongasi sampel komposit .....	70
<b>Gambar 5.12</b> Grafik nilai kekuatan tekuk komposit .....	71
<b>Gambar 5.13</b> Grafik nilai modulus tekuk sampel komposit .....	72
<b>Gambar 5.14</b> Grafik perbandingan jumlah filler dengan nilai modulus tekuk hasil penelitian Y. Wang .....	72
<b>Gambar 5.15.</b> Mikrostruktur sampel F1 perbesaran 250 X .....	73

<b>Gambar 5.16</b> Permukaan patahan spesimen uji tarik F1 dengan perbesaran 1000X. Serat karbon terorientasi secara acak dan matriks PP/PP-g-MA tidak membasahi serat karbon secara merata, hanya sedikit serat karbon yang terselimuti matriks. ....	74
<b>Gambar 5.17</b> Mikrostruktur sampel F2 perbesar 250 X. Bahan <i>polypropilene</i> (PP) membentuk kelompok tersendiri .....	75
<b>Gambar 5.18</b> Permukaan patahan tekuk sampel F3 perbesaran 250 X ...	75
Gambar 5.19 Grafik perbandingan wt.% C sampel komposit .....	76
<b>Gambar 5.20</b> Grafik hasil pengujian konduktivitas .....	77
<b>Gambar 5.21</b> Grafik nilai konduktivitas vs jumlah filler dalam komposit (penelitian Y. Wang .....	78
<b>Gambar 5.22</b> Mikrostruktur sampel F2 dan F3 dengan perbesaran 500 X. Karbon serat terselimuti oleh lelehan polimer (PP dan PP-g-MA) .....	80



## DAFTAR TABEL

	Halaman
<b>Tabel 2.1</b> Perbedaan jenis-jenis <i>fuel cell</i> .....	7
<b>Tabel 2.2</b> Komponen-komponen utama PEM <i>fuel cell</i> .....	11
<b>Tabel 2.3</b> Sifat material yang dibutuhkan untuk pelat bipolar ideal .....	14
<b>Tabel 2.4</b> Sifat-sifat material untuk pelat bipolar PEM <i>fuel cell</i> .....	14
<b>Tabel 2.5</b> Sifat-sifat PP .....	20
<b>Tabel 2.6</b> Sifat-Sifat <i>Maleic Anhydride</i> .....	23
<b>Tabel 2.7</b> Sifat berbagai jenis karbon hitam .....	29
<b>Tabel 2.8</b> Sifat-sifat umum grafit .....	30
<b>Tabel 2.9</b> Sifat serat karbon berdasarkan bahan dasarnya .....	31
<b>Tabel 2.10</b> Jenis-jenis serat karbon .....	32
<b>Tabel 3.1</b> Komposisi dan pengkodean formulasi sampel .....	35
<b>Tabel 3.2</b> Peralatan dan spesifikasinya .....	35
<b>Tabel 3.3</b> Komposisi kimia serbuk tembaga .....	39
<b>Tabel 3.4</b> Dimensi spesimen uji tarik tipe IV .....	45
<b>Tabel 4.1</b> Hasil pengujian kerapatan massa .....	55
<b>Tabel 4.2</b> Hasil pengujian porositas .....	55
<b>Tabel 4.3</b> Hasil uji tarik sampel F1 .....	56
<b>Tabel 4.4</b> Hasil uji tarik sampel F2 .....	56
<b>Tabel 4.5</b> Hasil uji tarik sampel F3 .....	56
<b>Tabel 4.6</b> Hasil uji tekuk sampel F1 .....	57
<b>Tabel 4.7</b> Hasil uji tekuk sampel F2 .....	57
<b>Tabel 4.8</b> Hasil uji tekuk sampel F3 .....	57
<b>Tabel 4.9</b> Hasil pengujian konduktivitas .....	60
<b>Tabel 5.1</b> Hasil uji kerapatan massa rata-rata .....	61
<b>Tabel 5.2</b> Densitas literatur .....	62
<b>Tabel 5.3</b> Hasil pengujian porositas rata-rata .....	63
<b>Tabel 5.4</b> Hasil kekuatan tarik rata-rata .....	65
<b>Tabel 5.5</b> Nilai modulus tarik sampel komposit .....	68
<b>Tabel 5.6</b> Nilai elongasi sampel komposit rata-rata .....	69

<b>Tabel 5.7</b> Nilai kekuatan tekuk sampel komposit .....	70
<b>Tabel 5.8</b> Nilai modulus tekuk sampel komposit .....	71
<b>Tabel 5.9</b> Penurunan wt.% PP dan wt.% C .....	77
<b>Tabel 5.10</b> Nilai konduktivitas listrik bahan yang digunakan .....	78



## **DAFTAR LAMPIRAN**

**Lampiran 1** Foto-Foto Bahan yang digunakan

**Lampiran 2** Komposisi Bahan yang digunakan

**Lampiran 3** Tabel Sifat-Sifat Bahan yang digunakan

**Lampiran 4** Perhitungan Nilai Kerapatan Massa

**Lampiran 5** Perhitungan Nilai Porositas

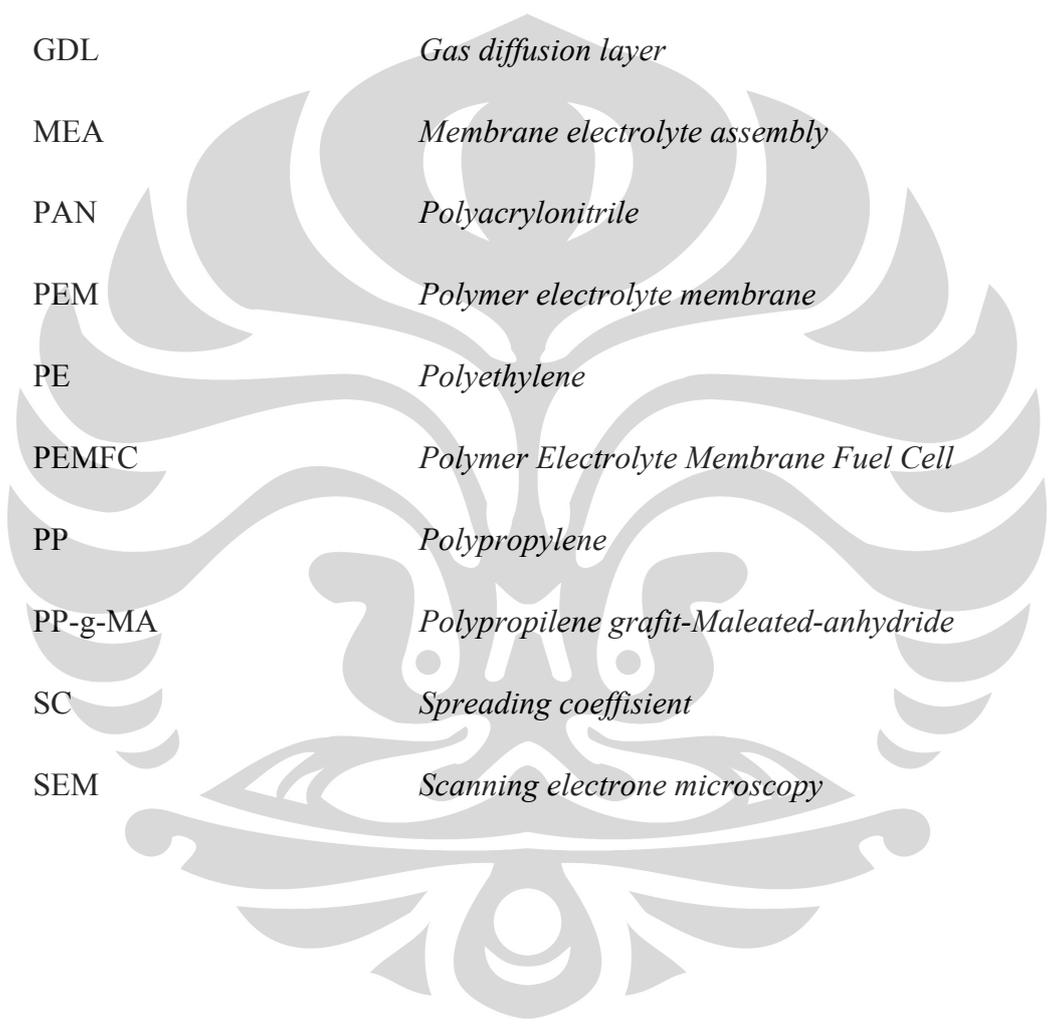
**Lampiran 6** Hasil Uji Konduktivitas Listrik

**Lampiran 7** Hasil pengujian Tarik

**Lampiran 8** Hasil Pengujian Tekuk

**Lampiran 9** Hasil Pengujian SEM dan EDS

## DAFTAR SINGKATAN



C	<i>Carbon</i>
CO	<i>Carbon monoxide</i>
DOE	<i>Department of energy</i>
GDL	<i>Gas diffusion layer</i>
MEA	<i>Membrane electrolyte assembly</i>
PAN	<i>Polyacrylonitrile</i>
PEM	<i>Polymer electrolyte membrane</i>
PE	<i>Polyethylene</i>
PEMFC	<i>Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell</i>
PP	<i>Polypropylene</i>
PP-g-MA	<i>Polypropilene grafit-Maleated-anhydride</i>
SC	<i>Spreading coefficient</i>
SEM	<i>Scanning electrone microscopy</i>

## DAFTAR SIMBOL

Simbol	Keterangan	Satuan
$wt\%$	Persen berat	
$\sigma_c$	Tegangan/kekuatan tarik komposit	$N/m^2$
$\sigma_m$	Tegangan/kekuatan tarik matriks	$N/m^2$
$\sigma_f$	Tegangan/kekuatan tarik pengisi/serat	$N/m^2$
$V_m$	Fraksi volume matriks	
$V_f$	Fraksi volume pengisi/serat	
$E_m$	Modulus elastisitas matriks	$N/m^2$
$E_f$	Modulus elastisitas pengisi/serat	$N/m^2$
$E_{cl}$	Modulus elastisitas komposit serat panjang lurus	$N/m^2$
$E_{cd}$	Modulus elastisitas komposit serat pendek acak	$N/m^2$
$K$	Parameter efisiensi serat	
$\varepsilon_c$	Regangan komposit	m/m
$\varepsilon_m$	Regangan matriks	m/m
$\varepsilon_f$	Regangan pengisi/serat	m/m
$\gamma_{SL}$	Tegangan permukaan antara padatan dan cairan	N/m
$\gamma_{SV}$	Tegangan permukaan antara padatan dan uap	N/m
$\gamma_{LV}$	Tegangan permukaan antara cairan dan uap	N/m
$\theta$	Sudut kontak antara cairan dan permukaan padat	
$\rho_c$	Kerapatan massa komposit	$g/cm^3$
$\rho_f$	Kerapatan massa pengisi/serat	$g/cm^3$
$\rho_m$	Kerapatan massa matriks	$g/cm^3$

$M_f$	Fraksi massa pengisi/serat	
$\rho_{smpel}$	Kerapatan massa sampel	$\text{g/cm}^3$
$\rho_{air}$	Kerapatan massa air	$\text{g/cm}^3$
$M_u$	Massa sampel di udara	gram
$M_a$	Massa sampel di air	gram



# BAB 1 PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Konsumsi dunia yang semakin tinggi terhadap energi dan semakin menipisnya jumlah sumber-sumber energi yang tidak dapat diperbarui seperti batubara, minyak bumi dan gas alam telah mendorong manusia untuk mencari dan menciptakan teknologi energi alternatif. Salah satu teknologi yang dapat dikembangkan sebagai energi alternatif adalah *fuel cell*. *Fuel cell* merupakan sebuah alat konversi energi baru (pengganti minyak bumi) yang menggunakan prinsip elektrokimia. Alat ini memproduksi listrik dari bahan bakar hidrogen (anoda) dan oksigen (katoda). Reaksi antara oksigen dan hidrogen didalam *fuel cell* akan menghasilkan elektrolit. Elektron dari elektrolit inilah yang dipakai untuk menghasilkan tenaga listrik<sup>[1]</sup>.

Namun, untuk saat ini proses pembuatan komponen *fuel cell* masih tergolong mahal karena bahan yang digunakan sebagian besar masih berupa logam paduan. Selain itu, kekurangan dari *fuel cell* yang terbuat dari jenis logam adalah memiliki berat yang tinggi, sehingga membuat efisiensi bahan bakar menjadi berkurang, misalnya bila diaplikasikan pada kendaraan bermotor maka berat kendaraan menjadi besar dan menyebabkan konsumsi bahan bakar akan semakin meningkat<sup>[2]</sup>. Untuk itu perlu dikembangkan bahan lain selain logam untuk membuat *fuel cell* agar komponen yang digunakan menjadi jauh lebih ringan namun tetap kuat, tahan korosi, murah, proses fabrikasi yang cepat dan sederhana.

Untuk mengatasi hal tersebut maka dikembangkanlah suatu jenis *fuel cell* yang disebut dengan *polymer electrolyte membrane fuel cell* (PEMFC). PEMFC merupakan salah satu jenis *fuel cell* yang membran elektrolitnya terbuat dari polimer. PEMFC dapat menjadi sumber energi listrik alternatif yang menjanjikan di masa depan untuk aplikasi stasioner dan transportasi. Keunggulan yang dimiliki oleh PEMFC ini dibandingkan dengan sumber energi lain antara lain, efisiensi dan kerapatan arus yang tinggi, temperatur operasi yang rendah, ketersediaan suplai bahan bakar, dan umur pakainya lama<sup>[1]</sup>.

Walaupun demikian, PEM *fuel cell* sampai sekarang belum dapat diproduksi secara massal dan dikomersialisasikan dengan berbagai alasan, antara lain : biaya produksinya masih tinggi, perlu adanya tempat penyimpanan dan pendistribusian gas hidrogen, selain itu bobot dan daya tahan PEM *fuel cell* juga berpengaruh.

Bagian-bagian yang menyusun PEM *fuel cell* antara lain : pelat bipolar, pelat penutup, *membran electrolite assembly* (MEA) dan penyimpan arus.<sup>[2]</sup> Material untuk pelat bipolar sendiri sampai saat ini masih banyak dilakukan berbagai penelitian untuk mendapatkan komposisi serta paduan yang bagus untuk menghasilkan suatu pelat bipolar yang memiliki sifat-sifat sesuai dengan standart DOE, biaya produksi rendah serta ringan. Hal ini disebabkan karena pelat bipolar merupakan komponen PEM *fuel cell* yang memenuhi 80% volume, 70% bobot, dan 60% dari biaya produksi<sup>[1]</sup>. Maka pengurangan ukuran, bobot, dan biaya dapat dicapai dengan memfokuskan perhatian pada bahan baku dan metode produksinya. Penemuan bahan baku dan metode produksi massal pelat bipolar yang murah dan efisien merupakan jalan terbaik untuk mengurangi biaya produksi. Salah satu cara mengurangi biaya dari pelat bipolar adalah dengan mengembangkan bahan baru seperti komposit bermatrik polimer.

Tujuan dibentuknya komposit bermatrik polimer umumnya karena alasan manufaktur, yaitu biaya pembuatan yang relatif lebih rendah, dapat diproduksi secara massal, mudah dibentuk, dan memiliki kemampumesinan (*machinability*) yang baik. Dengan komposit bermatrik polimer diperkirakan biaya untuk pelat bipolar hanya 15%-29% dari biaya produksi PEM *fuel cell*. Selain itu, tujuan umum lainnya adalah untuk memperoleh produk dengan ketangguhan yang tinggi dan relatif lebih ringan.

## 1.2 Tujuan Penelitian

Penelitian yang dilakukan ini bertujuan untuk :

1. Mengetahui apakah pelat bipolar yang terbuat dari campuran PP, PP-g-MA, anti oksidan, karbon dan tembaga memiliki sifat-sifat yang sesuai dengan standart yang ditetapkan oleh DOE

2. Mengetahui sifat-sifat pelat bipolar dari bahan yang digunakan, seperti sifat konduktivitas, kekuatan tarik, kekuatan tekuk, serta kerapatan massa (*densitas*)
3. Mengetahui seberapa besar pengaruh unsur tembaga (Cu) terhadap sifat konduktivitas dari pelat bipolar yang dihasilkan.

### 1.3 Ruang Lingkup dan Batasan Masalah

Ruang lingkup penelitian ini dibatasi oleh hal-hal berikut:

- Bahan-bahan yang akan digunakan untuk penelitian adalah campuran antara *polypropilene* (PP), *Polypropilene grafit-Maleated-anhydride* (PP-g-MA), karbon serat, karbon hitam, grafit, anti oksidan dan Tembaga (Cu)
- Bahan yang digunakan sebagai komposit terdiri dari 3 formula dengan komposisi berbeda F1, F2, dan F3 dengan menggunakan variasi Cu yaitu 0,1 wt.%, 1 wt.% dan 2 wt.%
- Proses pencampuran dilakukan terhadap masing-masing formula dengan menggunakan mesin *hot blending* dengan  $T_{\text{proses}}: 180\text{ }^{\circ}\text{C}$ , waktu (t) : 6 menit
- Pellet komposit PP/C-Cu didapatkan dari proses *crushing* sampel hasil *hot blending*
- Pembuatan sampel komposit dilakukan dengan metode *hot pressing* dengan  $T_{\text{proses}} : 230\text{ }^{\circ}\text{C}$  selama 2,5 menit dan didinginkan pada suhu kamar dengan waktu 1,5 menit.
- Pembuatan spesimen uji tarik sesuai dengan standart ASTM D638 type IV, spesimen uji tekuk ASTM D790
- Karakterisasi dilakukan untuk membandingkan sifat-sifat komposit. Pengujian sampel meliputi pengukuran kerapatan massa, pengujian tarik (*tensile*), pengujian tekuk (*flexural*), dan pengujian konduktivitas listrik. Selain itu, dilakukan juga pengujian *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dan EDS untuk mengamati morfologi material komposit PP/Cu-C pada bagian perpatahan sampel uji tekuk serta mengetahui unsur-unsur yang terkandung didalam sampel komposit PP/C-Cu.

#### 1.4 Sistematika Penulisan

Skripsi ini terdiri dari enam bab :

**Bab 1 Pendahuluan** berisi latar belakang, tujuan penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

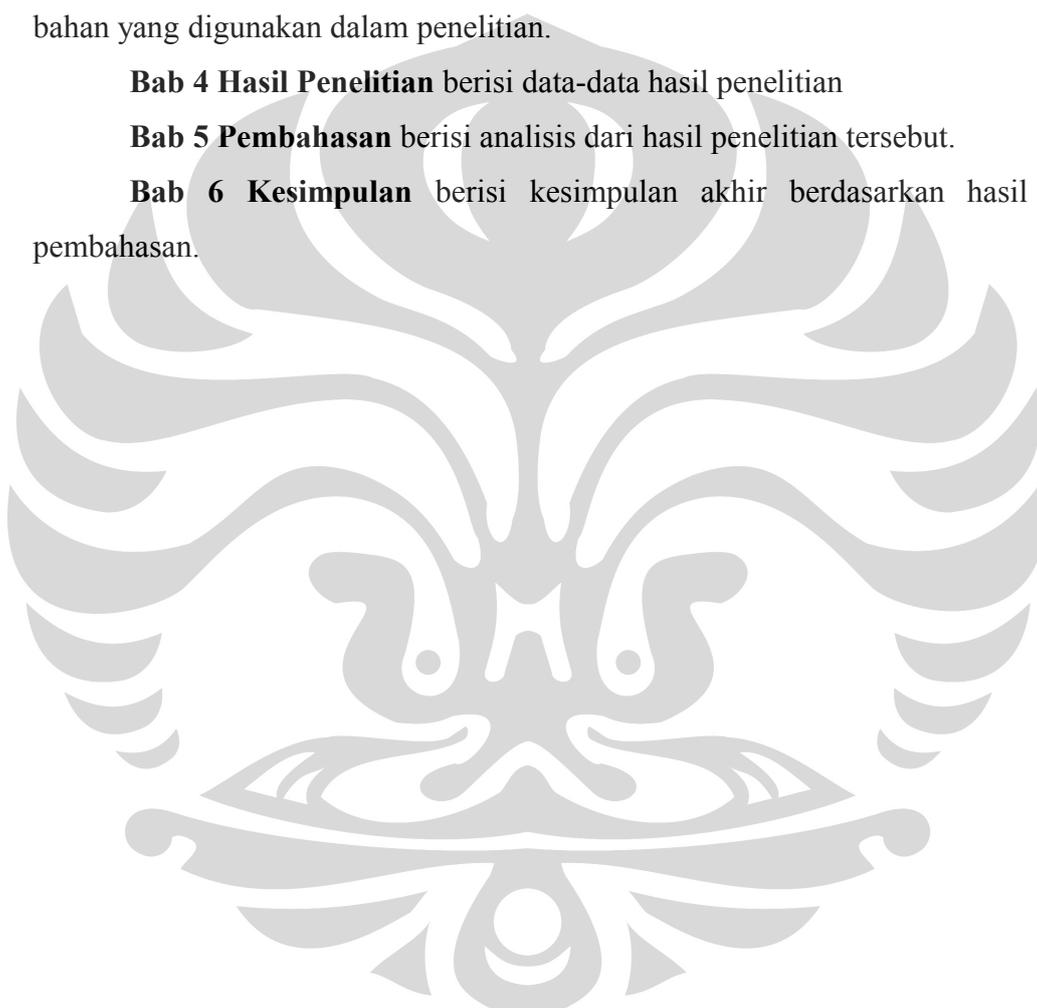
**Bab 2 Landasan Teori** berisi studi literatur yang berkaitan dengan penelitian ini.

**Bab 3 Metodologi Penelitian** berisi prosedur penelitian, daftar alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian.

**Bab 4 Hasil Penelitian** berisi data-data hasil penelitian

**Bab 5 Pembahasan** berisi analisis dari hasil penelitian tersebut.

**Bab 6 Kesimpulan** berisi kesimpulan akhir berdasarkan hasil dan pembahasan.

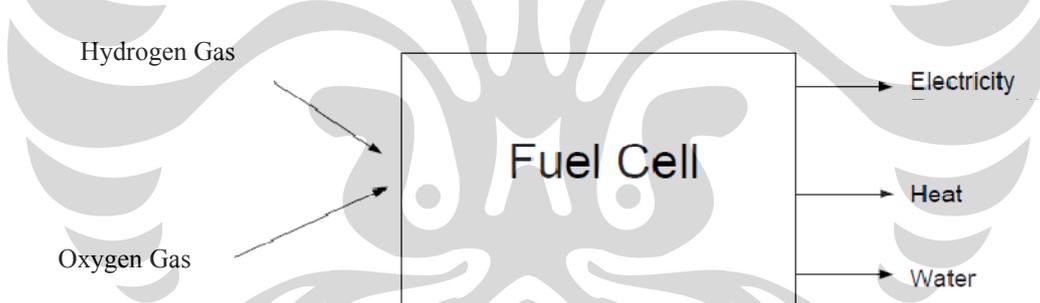


## BAB 2 LANDASAN TEORI

### 2.1 Fuel Cell

*Fuel cell* diciptakan pertama kali oleh Sir William Grove pada tahun 1839. Grove menemukan bahwa ternyata air bisa terurai menjadi hidrogen dan oksigen ketika diberi arus listrik. Proses ini kemudian dinamakan *elektrolisis*. Ia lalu berhipotesis bahwa jika proses tersebut dibalik untuk menghasilkan listrik dan air. Lima puluh tahun kemudian, Ludwig Mond dan Charles Langer mempopulerkan istilah *fuel cell* ketika sedang membuat model praktis untuk menghasilkan listrik<sup>[3]</sup>.

*Fuel cell* adalah adalah suatu peralatan elektrokimia yang dapat mengubah energi kimia dari bahan bakar menjadi energi listrik secara langsung<sup>[1]</sup>. *Fuel cell* menggunakan hidrogen dan oksigen sebagai bahan bakarnya untuk menghasilkan proton, elektron, panas dan air. Gambar 2.1 ini menunjukkan skematis sederhana dari sistem input dan output dari sebuah *fuel cell*.



Gambar 2.1 Input dan output dasar sistem *fuel cell*<sup>[3]</sup>

Teknologi *fuel cell* ini di didasarkan pada reaksi pembakaran sebagai berikut :



Elektron yang dihasilkan dari reaksi tersebut akan di ubah menjadi listrik, sehingga dapat digunakan untuk menggerakkan berbagai alat.

*Fuel Cell* berbeda dengan baterai, baterai mengubah semua senyawa kimia di dalam tubuhnya menjadi listrik dan kemudian habis sehingga harus dibuang atau harus diisi ulang dengan memakai catuan daya, sedangkan senyawa kimia di *fuel cell* terus mengalir di dalam selnya secara konstan sehingga tidak pernah

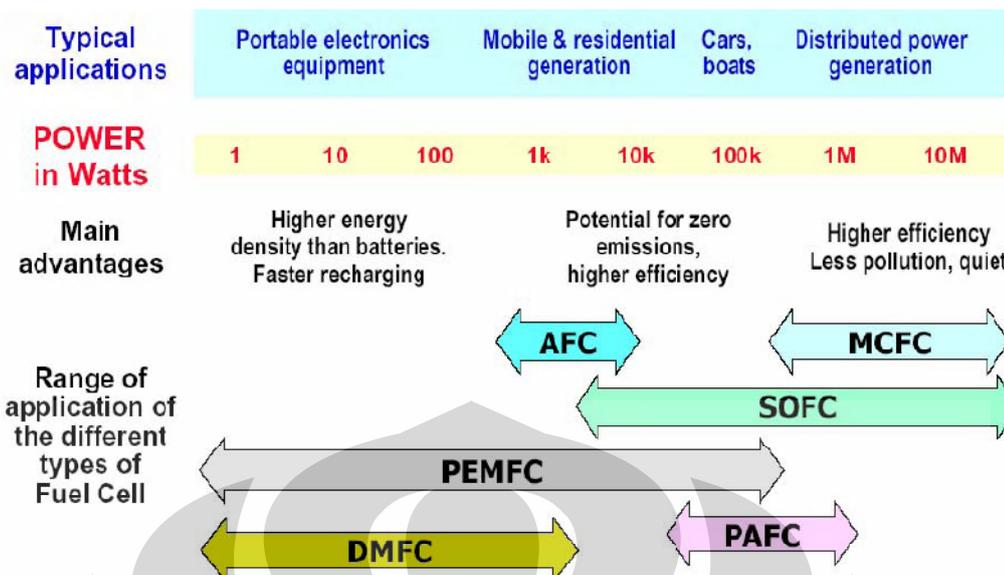
mati. *Fuel cell* menghasilkan listrik dari bahan bakar seperti gas hidrogen, methanol yang di suplay dari luar.

*Fuel cell* sangat banyak diminati oleh para ilmuwan sebagai salah satu teknologi energi alternatif pengganti energi berbahan bakar *fossil*, hal ini disebabkan karena *fuel cell* memiliki berbagai keuntungan antara lain : efisiensi yang sangat tinggi, bebas emisi sehingga dapat mengurangi polusi udara dan mengurangi efek *global warming*, tidak berisik dan dapat digunakan untuk berbagai aplikasi seperti *sport, otomotif, boat, telecomuntioni*, pesawat dll. Berdasarkan jenis elektrolite yang digunakan *fuel cell* diklasifikasikan menjadi beberapa jenis, antara lain : *phosphoric acid fuel cells* (PAFC), *molten carbonate fuel cells* (MCFC), *solid oxide fuel cells* (SOFC), dan *proton exchange membrane fuel cells* (PEMFC) <sup>[1]</sup>. Jenis elektrolite yang digunakan untuk *fuel cell* akan menentukan jenis reaksi kimia yang terjadi didalam sel, jenis katalis yang diperlukan, range temperature operasinya, jenis bahan bakar yang diperlukan dan faktor yang lain. Tabel 2.1 menunjukkan perbedaan-perbedaan dari berbagai jenis *fuel cell*.

Dari perbedaan-perbedaan tersebut, masing-masing jenis *fuel cell* juga memiliki aplikasi yang berbeda-beda. Gambar 2.2 menunjukkan berapa besar daya yang dihasilkan oleh masing-masing jenis *fuel cell* dan aplikasi yang dapat digunakan.

**Tabel 2.1** Perbedaan jenis-jenis *fuel cell* <sup>[1]</sup>

	<i>PEMFC</i>	<i>AFC</i>	<i>PAFC</i>	<i>MCFC</i>	<i>SOFC</i>
<i>Electrolyte</i>	<i>Hydrated Polimeric Ion Exchange Membran</i>	<i>Mobilized or Immobilized Potassium Hydroxide in asbestos matrix</i>	<i>Immobilized Liquid Phosphoric Acid in SiC</i>	<i>Immobilized Liquid Molten Carbonate in LiAlO<sub>2</sub></i>	<i>Perovskites (Ceramics)</i>
<i>Electrodes</i>	<i>Carbon</i>	<i>Transition metals</i>	<i>Carbon</i>	<i>Nickel and Nickel Oxide</i>	<i>Perovskite and perovskite / metal cermet</i>
<i>Catalyst</i>	<i>Platinum</i>	<i>Platinum</i>	<i>Platinum</i>	<i>Electrode material</i>	<i>Electrode Material</i>
<i>Interconnect</i>	<i>Carbon or Metal</i>	<i>Metal</i>	<i>Graphite</i>	<i>Stainless steel or Nickel</i>	<i>Nickel, ceramic, or steel</i>
<i>Operating Temperature</i>	<i>40 – 80 °C</i>	<i>65°C – 220 °C</i>	<i>205 °C</i>	<i>650 °C</i>	<i>600-1000 °C</i>
<i>Charge Carrier</i>	<i>H<sup>+</sup></i>	<i>OH<sup>-</sup></i>	<i>H<sup>+</sup></i>	<i>CO<sub>3</sub><sup>-</sup></i>	<i>O<sup>+</sup></i>
<i>External Reformer for hydrocarbon fuels</i>	<i>Yes</i>	<i>Yes</i>	<i>Yes</i>	<i>No, for some fuels</i>	<i>No, for some fuels and cell designs</i>
<i>Prime Cell Components</i>	<i>Carbon-based</i>	<i>Carbon-based</i>	<i>Graphite-based</i>	<i>Stainlessbased</i>	<i>Ceramic</i>
<i>Product Water Management</i>	<i>Evaporative</i>	<i>Evaporative</i>	<i>Evaporative</i>	<i>Gaseous Product</i>	<i>Gaseous Product</i>



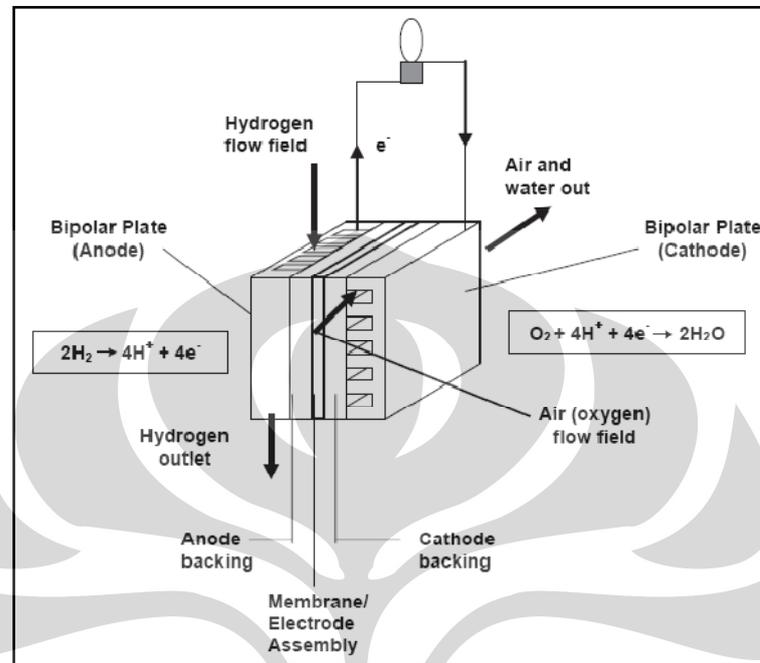
Gambar 2.2 Range daya yang dihasilkan oleh berbagai jenis fuel cell beserta aplikasinya <sup>[4]</sup>

Dari gambar 2.2 diatas maka kita dapat ketahui bahwa untuk jenis PEMFC memiliki aplikasi yang cukup luas yaitu dapat diaplikasikan pada peralatan elektronik *portable*, *mobile & residential generation*, mobil, kapal dll. Hal ini disebabkan PEMFC memiliki range yang sangat luas untuk menghasilkan daya yaitu dari 1-100 KW. PEMFC dapat menjadi sumber energi listrik yang menjanjikan di masa depan untuk aplikasi stasioner dan transportasi dengan berbagai keunggulan yang tidak dimiliki oleh sumber energi listrik lain, seperti efisiensi dan kerapatan arus yang tinggi, temperatur operasi yang rendah, ketersediaan suplai bahan bakar, dan umur pakainya lama.

## 2.2 *Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell (PEMFC)*

PEMFC juga dikenal sebagai *proton exchange membra fuel cell*, *polymer electrolyte fuel cell (PEFC)* dan *solid polymer fuel cell (SPFC)*. PEMFC merupakan salah satu jenis *fuel cell* yang menggunakan membran pertukaran *solid-state* untuk memisahkan elektrodanya. Membran ini pertama kali ditemukan oleh seorang ilmuwan yang bernama William Grubbs pada tahun 1959, dia menemukan bahwa tanpa adanya asam yang kuat pada membran ini, maka membran tersebut akan mampu untuk memindahkan kation dan proton ke katoda.

Membran inilah yang nantinya dalam perkembangannya akan digunakan sebagai salah satu bagian penyusun PEMFC.



Gambar 2.3 Skematis PEMFC [2]

Kelebihan yang dimiliki oleh PEMFC dibandingkan dengan jenis *fuel cell* yang lain, antara lain [5]:

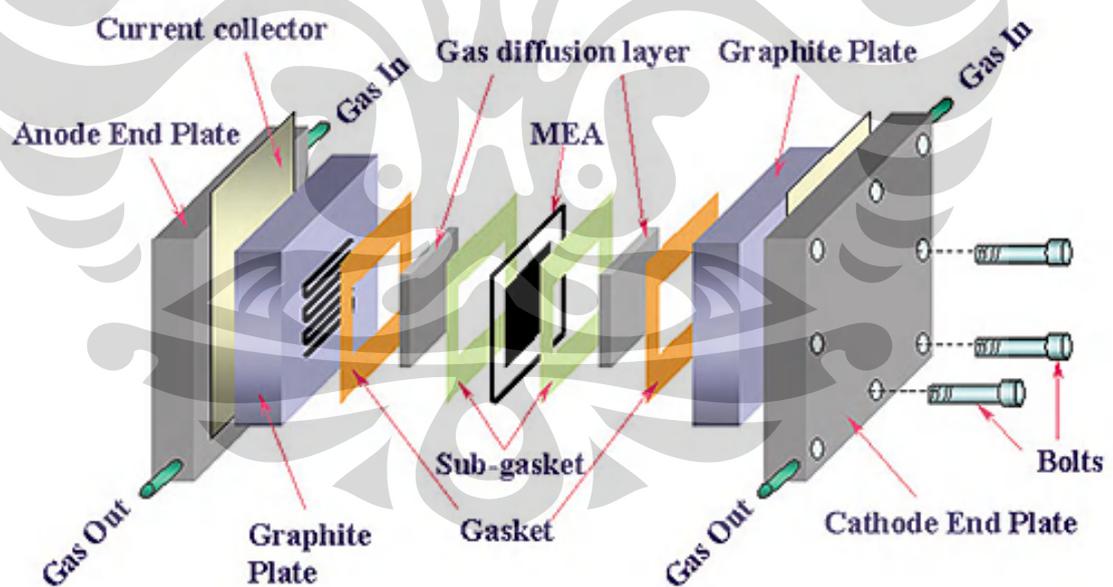
- PEMFC mempunyai elektrolit padat yang memberikan ketahanan yang sangat baik terhadap gas
- Temperature operasi yang rendah memungkinkan *start up* yang cepat dan tidak ada konstituen sel yang korosif
- PEMFC cocok digunakan terutama untuk situasi dimana hidrogen murni dapat digunakan sebagai bahan bakar
- Mampu beroperasi pada tekanan hingga 3000 psi dan memiliki *differensial* tekanan hingga 500 psi
- *Stack* PEMFC mudah untuk disusun sehingga mudah untuk digunakan dalam berbagai aplikasi mulai dari 0,1 watt – 100 kW.
- PEMFC dapat beroperasi pada densitas arus yang sangat tinggi dibandingkan dengan jenis *fuel cell* yang lainnya

Kelemahan dari PEMFC antara lain :

- Temperature operasi yang rendah dan range yang kecil menyebabkan kesulitan dalam membuat manajemen panasnya
- Pengolahan air merupakan salah satu tantangan didalam mendesain PEM *fuel cell*
- PEM *fuel cell* sangat sensitif terhadap kontaminasi oleh gas CO, sulfur dan amonia.
- Kualitas panas yang dihasilkan rendah dan tidak dapat digunakan secara efektif disemua tempat.

### 2.2.1 Bagian-Bagian PEMFC

Bagian-bagian yang menyusun sistem dari PEMFC terbagi menjadi 4 bagian yaitu *membrane electrolyte assembly (MEA)*, pelat bipolar, *endpelat*, dan pengumpul arus. Gambar 2.4 mengilustrasikan 4 bagian penyusun PEMFC [2].



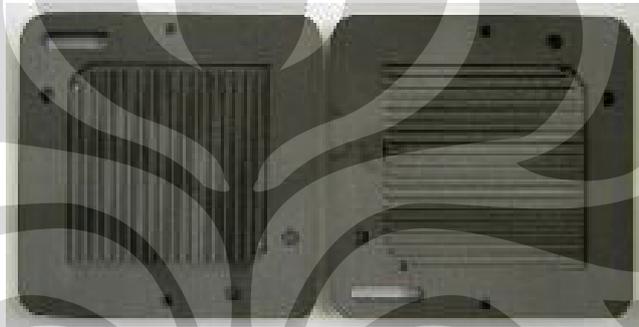
Gambar 2.4 Diagram struktur PEMFC<sup>[23]</sup>

Tabel 2.2 Komponen-komponen utama PEM *fuel cell* [2].

Komponen	Bahan yang digunakan	Fungsi
<i>Membrane electrolyte assembly</i> (MEA)	Polimer solid terimpregnasi dengan lapisan katalis pada anoda dan katoda.  Kertas atau kain carbon berpori untuk lapisan difusi gas (GDL)	Terdiri dari 2 elektroda, 1 membran elektrolit, dan 2 GDL. Membran memisahkan (dengan pembatas gas) 2 setengah-reaksi sel dan melepas proton dari anoda ke katoda. Lapisan katalis yang terdispersi pada elektroda memacu setiap setengah-reaksi. GDL mendistribusikan gas secara merata ke katalis di membran, mengalirkan elektron dari area aktif menuju pelat bipolar dan membantu pengaturan air.
Pelat bipolar	Grafit, <i>stainless steel</i> , atau komposit polimer termoplastik	Mendistribusikan gas di bagian area aktif membran. Mengalirkan elektron dari anoda menuju katoda. Membuang air keluar sel.
Pelat penutup	Material dengan kekuatan mekanik yang baik (biasanya baja atau alumunium)	Menyatukan rangkaian <i>fuel cell</i> .
Penyimpan arus	Logam dengan kontak elektrik dan konduktivitas yang baik (biasanya tembaga)	Menyimpan dan mentransfer arus listrik dari dalam ke luar sirkuit.

### 2.2.2 Pelat Bipolar

Pelat bipolar merupakan bagian dari struktur sistem fuel cell yang penting. Pelat bipolar ini digunakan untuk mengumpulkan arus dari masing-masing MEA (*membran electrolite Assembly*) yang terletak diantara pelat konduktif yang biasanya disebut dengan anoda dan katoda. Pelat bipolar dibuat dari material yang mampu mengalirkan listrik dan tidak dapat ditembus gas. Pelat ini biasa dibuat dari grafit, logam (aluminium, *stainless steel*, titanium, dan nikel), atau dapat juga dibuat dari komposit. Gambar 2.5 di bawah ini menunjukkan sebuah pelat bipolar PEM *fuel cell* dengan saluran alir.

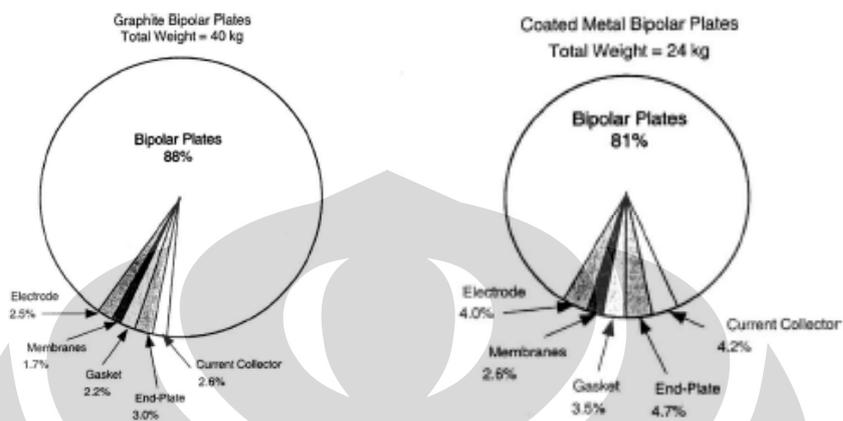


Gambar 2.5. Pelat Bipolar pada FC <sup>[24]</sup>

Pelat bipolar memiliki banyak fungsi dalam lingkungan operasi PEM *fuel cell*. Fungsi utama pelat bipolar, antara lain<sup>[21]</sup>:

- Mengalirkan elektron ke seluruh sirkuit :
  - Mengumpulkan dan memindahkan elektron dari anoda dan katoda,
  - Menyatukan rangkaian *fuel cell* yang dilengkapi voltase (rangkaian *fuel cell* tergantung pada bentuk pelat bipolar)
- Mengalirkan dan mendistribusikan gas ke elektroda secara merata.
- Memisahkan oksidan dan bahan bakar gas, memasukkan H<sub>2</sub> ke anoda dan O<sub>2</sub> ke katoda, serta membuang air hasil reaksi.
- Sebagai penguat mekanik sekaligus menahan membran tipis dan elektroda, serta sebagai penjepit rangkaian *fuel cell*.
- Sebagai konduktor panas untuk meregulasikan temperatur *fuel cell* dan memindahkan panas dari elektroda ke saluran pendingin.

Sebagai komponen utama pada PEM *fuel cell*, pelat bipolar memenuhi bagian yang signifikan dari total biaya dan bobot rangkaian *fuel cell*. Pelat bipolar mencakup 80% total bobot dan 45% biaya. Berikut merupakan pembagian dari berat dari komponen PEM Fuel Cell :



**Gambar 2.6.** Presentase berat pelat bipolar didalam komponen *fuel cell*

Karena pelat bipolar memiliki presentase yang sangat besar didalam bagian komponen PEMFC sehingga dengan mengurangi bobot dan menggunakan bahan yang murah untuk membuat pelat bipolar, maka biaya untuk membuat PEMFC juga akan semakin murah dan semakin ringan. Pilihan utama dari usaha tersebut adalah menggantikan material pelat bipolar dari logam dengan komposit bermatrik polimer. Komposit polimer-karbon mudah dicetak dengan injection molding dan harga material serta biaya cetaknya relatif murah. Sedangkan untuk meningkatkan sifat elektriknya (konduktivitas) maka perlu ditambahkan suatu bahan logam konduktor seperti tembaga ataupun aluminium. Penambahan logam untuk meningkatkan sifat konduktivitasnya akan lebih efektif dan efisien jika ditambahkan dalam bentuk nano material, karena permukaan dari logam tersebut akan sangat luas walaupun penambahannya hanya sedikit saja.

Selain itu, agar pelat bipolar mampu menjalankan fungsinya, maka untuk mendesain sebuah pelat bipolar harus memenuhi sifat-sifat standart yang telah ditetapkan oleh DOE (*Departement of Energy U.S*) seperti yang terlihat pada Tabel 2.3 dibawah ini.

**Tabel 2.3** Sifat material yang dibutuhkan untuk pelat bipolar ideal <sup>[2]</sup>.

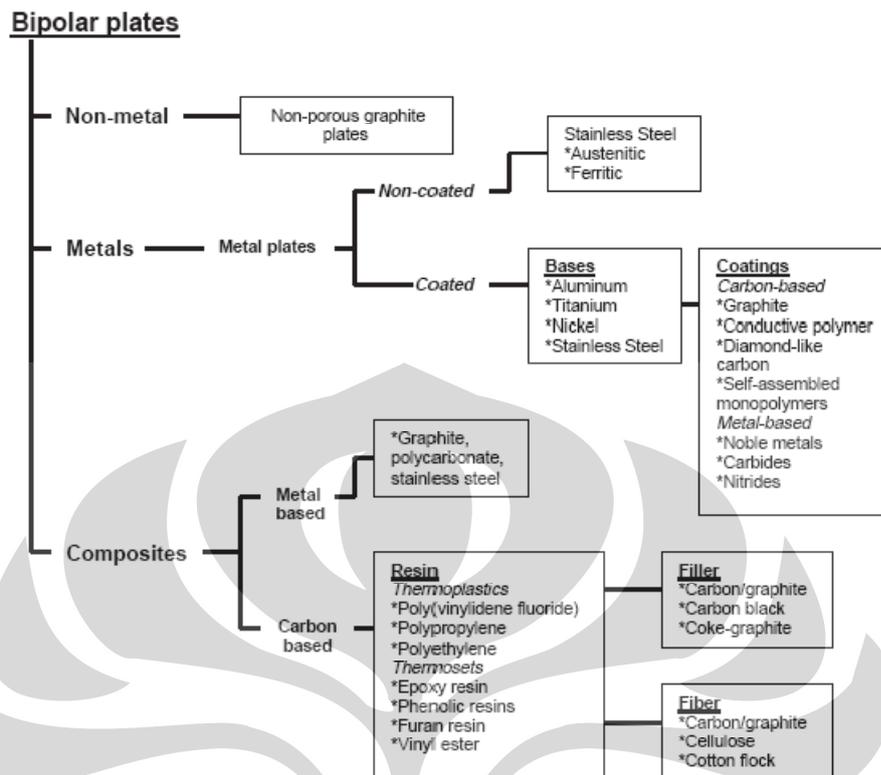
Parameter	Nilai Standar
Konduktivitas	$>10^4$ S/m
Kekuatan	Mampu bertahan dari tekanan 200 psi
Bobot	Maksimum 200 gr per pelat
Volume	1 L/kW/stack
Biaya	$< \$ 0,0045/\text{cm}^2$
Kerapatan Arus <i>Decay</i>	$< 10\%$ per 5000 jam operasi
Daya Tembus ( <i>permeability</i> )	Maksimum kebocoran $\text{H}_2$ $10^{-4} \text{ cm}^3/\text{s}\cdot\text{cm}^2$

### 2.2.3 Bahan Pelat Bipolar

Berbagai penelitian telah dilakukan untuk memilih bahan yang sesuai digunakan untuk membuat pelat bipolar yang murah, ringan dan mempunyai sifat-sifat yang sesuai dengan standart DOE. Bahan yang dapat digunakan untuk material pelat bipolar, antara lain : logam dengan atau tanpa pelapisan, grafit, komposit karbon/polimer, komposit karbon/karbon. Berikut merupakan berbagai jenis material yang dapat digunakan untuk membuat pelat bipolar beserta sifat-sifatnya yang dimilikinya.

**Tabel 2.4** Sifat-sifat material untuk pelat bipolar PEM *fuel cell* <sup>[6]</sup>

Bahan	Paduannya	Sifat-Sifat
Grafit	Diimpregnasi dengan polimer	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Konduktivitas tinggi</li> <li>- Getas dan tebal</li> <li>- Biaya untuk membuat saluran alir mahal</li> </ul>
Logan atau Paduan Logam	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Stainless steel</i>,</li> <li>- Paduan Ni-Cr,</li> <li>- Paduan Al,</li> <li>- Baja Ti</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Konduktivitas tinggi</li> <li>- Masalah korosi</li> <li>- Biaya untuk membuat saluran alir mahal</li> </ul>
Komposit	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Komposit Polimer/Karbon</li> <li>- Komposit arbon/karbon</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ringan dan murah</li> <li>- Konduktivitas rendah dibanding grafit dan logam</li> </ul>
Plastik Konduktif	Polimer cair kristalin	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Konduktivitas relatif rendah</li> </ul>



**Gambar 2.7** Klasifikasi bahan untuk pelat bipolar PEMFC <sup>[6]</sup>

Dari berbagai jenis material yang dapat digunakan untuk membuat pelat bipolar diatas, maka untuk mendapatkan material yang murah, ringan dan dapat diproduksi secara massal kita dapat menggunakan material komposit. Pada penelitian kali ini akan dicoba untuk membuat pelat bipolar dari komposit polimer/karbon.

### 2.3 Komposit

Material komposit adalah gabungan dari dua atau lebih material yang memiliki perbedaan fasa dan sifat yang berbeda, membentuk satu material baru yang memiliki sifat yang lebih baik daripada material penyusunnya. Namun, material penyusun masih dapat dibedakan secara makro.

Suatu komposit terdiri dari dua konstituen, yaitu matrik dan penguat (*reinforcements*). Matrik berfungsi sebagai pengikat dari penguat, mendistribusikan beban antara penguat, memproteksi penguat dari lingkungan, dan melindungi permukaan abrasi mekanis. Sedangkan penguat digunakan dalam komposit untuk

meningkatkan sifat dari material komposit yang dihasilkan dan memiliki kemampuan untuk ditempatkan pada arah pembebanan untuk meningkatkan sifat mekanisnya.

Material komposit merupakan penggabungan dari dua jenis material atau lebih. Sehingga dengan menggabungkan sifat-sifat yang baik dari kedua material tersebut, akan di dapatkan sifat terbaik dari material. Sebagian besar penelitian mengenai komposit berhasil mendapatkan material yang memiliki sifat seperti :

- Kekuatan yang tinggi
- Ketangguhan yang tinggi
- ketahanan *creep* yang lebih baik
- Tensile *strength* yang tinggi
- Material yang lebih ringan namun kuat

### 2.3.1 Faktor yang Mempengaruhi Sifat Komposit

#### 2.3.1.1 Komposisi

Komposisi penguat dan matrik komposit mempengaruhi karakteristik komposit tersebut. Semakin banyak komposisi material dalam komposit, maka semakin besar sifat material tersebut dalam mendominasi sifat komposit. Sifat yang dipengaruhi oleh adanya komposisi tersebut berupa koefisien elongasi, *densitas*, *strees ration*, *strain ratio tensile strength*, *hardness* dll. Pengaruh komposisi terhadap sifat komposit ini diturunkan dengan menggunakan “*rule of mixture*” untuk memprediksi sifat akhir dari komposit.

$$E_{cl} = E_f V_f + E_m V_m \quad (2.1)$$

Dimana :

E = Modulus Elastisitas (composite(cl), reinforce(f), matrix(m))

V = Fraksi volume (composite(d), reinforce(f), matrix(m))

#### 2.3.1.2 Interface

Interface merupakan permukaan antara reinforcement dan matrik yang menentukan proses transfer tegangan dari matrik-reinforcement-matrik. yang berpengaruh kepada :

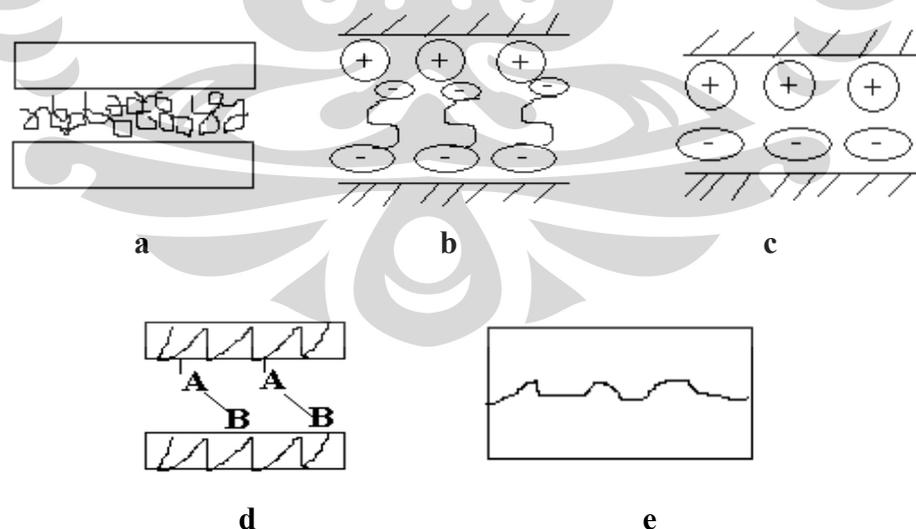
- Spesifik *strength*

- Spesifik *stiffnes*
- *Fracture toughness*
- Ketahanan *creep*

Bentuk interface yang baik berpengaruh terhadap kemampuan antara matrik dan penguat untuk bersatu dan berikatan dengan erat. Tanpa adanya kecocokan antara matrik dan penguatnya, maka matrik dan penguat tidak mampu untuk bersatu serta membuat komposit rusak. Untuk menyatukan antara dua material komposit yang tidak mau bersatu digunakan *wetting agent* yaitu bahan kimia yang berguna untuk mengurangi tegangan antara kedua interface material sehingga mampu untuk menyatukan kedua material.

### 2.3.1.3 Interfacial Bonding

Bersatunya matrik dan penguat dalam komposit terjadi karena adanya ikatan antara keduanya. Ikatan antara matrik dan penguat merupakan komponen yang penting untuk mempengaruhi sifat dari komposit. Semakin kuat ikatan keduanya, maka kekuatan komposit akan meningkat dan meningkatkan kemampuan transfer tegangan antar permukaan komposit. Gambar 2.8 menunjukkan jenis-jenis *interfacial bonding*.



**Gambar 2.8** Jenis-jenis interfacial bonding. (a) Molecule entanglemen, (b) Cationic attraction, (c) Electrostatic, (d) Reaksi kimia, (e) Mechanical bonding

- a) *Molecule entanglemen* adalah ikatan antar molekul di permukaan *fiber* sehingga menyatukan kedua material komposit.
- b) *Cationic attraction atau ionic surface* adalah ikatan yang timbul dari perbedaan molekular ion pada komposit.
- c) *Electrostatic* adalah ikatan yang disebabkan oleh perbedaan muatan listrik secara atomic antara penguat dan matrik di permukaan *interface* yang mengakibatkan tarik-menarik, bila ada gas ikatan akan melemah.
- d) Reaksi kimia adalah ikatan kimia yang terjadi pada *interface* ikatan akan bertambah erat dengan adanya *coupling agent*.
- e) *Mechanical bonding* adanya mekanisme *interlocking* pada permukaan sehingga semakin kasar permukaan ikatan yang terjadi makin kuat.

### 2.3.2 Komposit Polimer-Karbon untuk Pelat Bipolar

Komposit polimer/karbon merupakan jenis PMC yaitu jenis komposit dengan menggunakan polimer sebagai matriknya dan karbon sebagai penguatnya. Tujuan dari dipilihnya komposit polimer/karbon sebagai bahan untuk membuat pelat bipolar, antara lain :

- a) Biaya pembuatan lebih rendah
- b) Dapat dibuat dengan produksi massal
- c) Ketangguhan baik
- d) Tahan simpan
- e) Siklus pabrikasi dapat dipersingkat
- f) Kemampuan mengikuti bentuk baik
- g) Lebih ringan

Dalam penelitian ini polimer yang dipilih sebagai matrik adalah PP dan PP-g-MA, sedangkan untuk penguatnya terdiri dari karbon hitam, karbon serat, grafit dan Cu. Dengan penggunaan material-material tersebut maka diharapkan akan menghasilkan pelat bipolar yang sesuai dengan standart DOE.

## 2.4 Matrik Polimer

Matrik adalah salah satu fasa dalam pembentuk material komposit yang mempunyai bagian atau fraksi volume terbesar (dominan), sehingga jenis dari

matrik yang digunakan dapat menentukan tipe komposit. Secara umum matrik yang digunakan harus memiliki karakteristik tertentu, yaitu : harus memiliki *ductility* (keuletan) yang tinggi, memiliki modulus elastisitas lebih rendah dari fiber, mempunyai ikatan yang bagus antara matrik dan fiber, dan tahan terhadap *moisture*.

Polimer yang digunakan sebagai matrik dalam penelitian ini adalah PP dan PP-g-MA. Di dalam sistem komposit matrik memiliki berbagai fungsi, antara lain<sup>[8]</sup> :

- Mentransfer tegangan ke serat.
- Menginfiltrasi serat dan cepat membeku.
- Membentuk ikatan koheren, permukaan matrik/serat.
- Melindungi serat.
- Memisahkan serat.
- Melepas ikatan.
- Tetap stabil setelah proses manufaktur

#### 2.4.1 Polypropylene (PP)

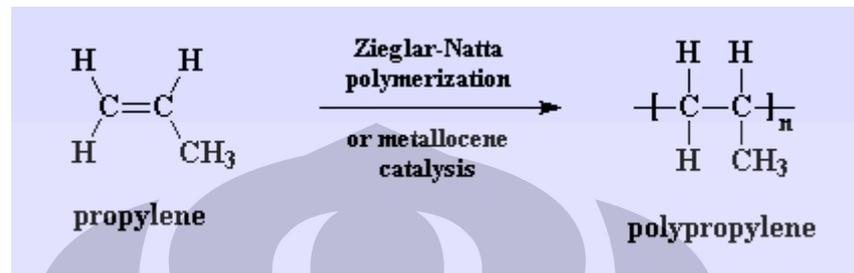
Polypropylene termasuk kedalam jenis thermoplastik yang memiliki struktur linier dengan monomer  $C_nH_{2n}$ . Polypropylene pertama kali diproduksi secara massal pada tahun 1957 dan sampai saat ini PP merupakan jenis polimer yang paling banyak digunakan untuk berbagai aplikasi antara lain pipa, kontainer, hull kapal, bagian otomotif dll.



Gambar 2.9 Struktur Monomer Propylene

Polimer *polypropylene* ini diproduksi dengan cara proses polimerisasi dari monomer *propylene*. Proses polimerisasi adalah proses penyambungan unit-unit molekul kecil (*monomer*) menjadi molekul makro (*macromolecule*) dengan

struktur rantai yang sangat panjang. Proses polimerisasi monomer propilene sering dikenal juga dengan Ziegler-Natta polymerization karena menggunakan katalis stereospesifik Ziegler-Natta dalam proses polimerisasinya. Gambar 2.10 menunjukkan proses polimerisasi dari *Polypropylene*.



Gambar 2.10 Polimerisasi propilena menjadi polypropylene

Tabel 2.5 menunjukkan berbagai macam sifat yang dimiliki oleh *Polypropylene*<sup>[26]</sup> :

Tabel 2.5 Sifat-sifat polypropylene

TYPICAL PROPERTIES OF POLYPROPYLENE (PP)

ASTM or UL Test	Property	HPP*	HPP-filled	CPP**	CPP-filled
D792	Specific gravity	0.90-0.91	0.97-1.27	0.89-0.91	0.98-1.24
D570	Water absorption (%)	0.01-0.03	0.01-0.09	0.03	0.01-0.02
D638	Tensile strength (psi)	4,500-6,000	3,500-16,000	4,000-5,500	2,500-10,000
D638	Elongation at break (%)	100-600	1.5-80	200-500	2.2-50
D638	Tensile modulus (psi)	16,500-22,500	37,500-100,000	13,000-18,000	5,000-35,000
D790	Flexural modulus (psi)	17,000-25,000	21,000-100,000	13,000-20,000	21,000-96,000
D256	Impact strength, Izod (ft-lb/in of notch)	0.4-1.4	0.6-12	1.1-14	0.6-4.0
D785	Hardness, Rockwell R	80-102	75-117	65-96	81-105
C177	Thermal conductivity (10 <sup>-4</sup> cal-cm/sec-cm <sup>2</sup> -°C)	2.8	2.4-9	3.5-4.0	3-9
D696	Coefficient of thermal expansion (10 <sup>-5</sup> in/in-°C)	8-10	1.5-5	6-10	2-6
D648	Deflection temperature (°F)				
	At 264 psi	120-140	130-330	120-140	116-280
	At 66 psi	225-250	220-300	185-220	170-305
UL 94	UL flammability rating***	HB	HB	HB	HB

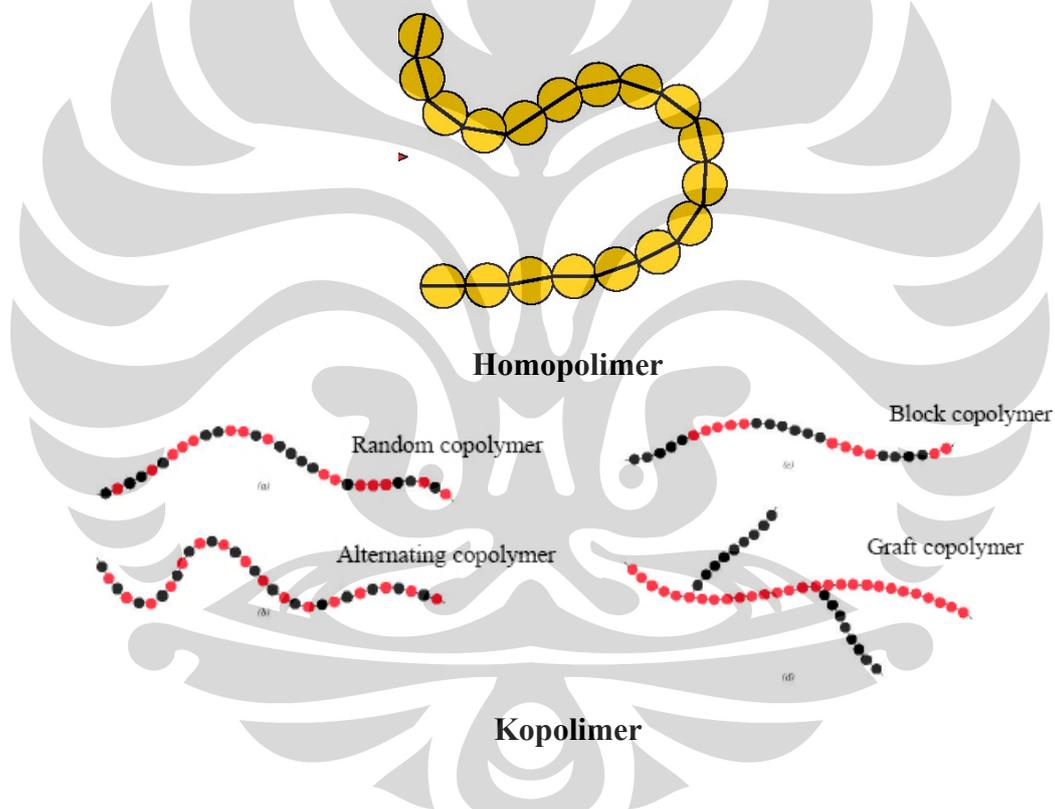
\*Homopolymer polypropylene. \*\*Copolymer polypropylene. \*\*\*V-2, V-1, V-0, V-5 grades available.

Keunggulan yang dimiliki oleh material *Polypropylene* antara lain<sup>[25]</sup>:

- Ringan karena memiliki berat jenis antara 0,9-0,92 gr/cm<sup>3</sup>.
- Memiliki ketahanan terhadap stress dan retak yang tinggi (kekuatan kompres dan tarik yang tinggi)
- Memiliki suhu operasional yang tinggi dengan titik leleh 160 °C
- Sifat dielektrik yang bagus

- Tahan terhadap serangan alkali kuat dan asam, pelarut organik, agen dan elektrostatik degreasing
- Tidak beracun
- Mudah untuk diproduksi, dirakit dan murah

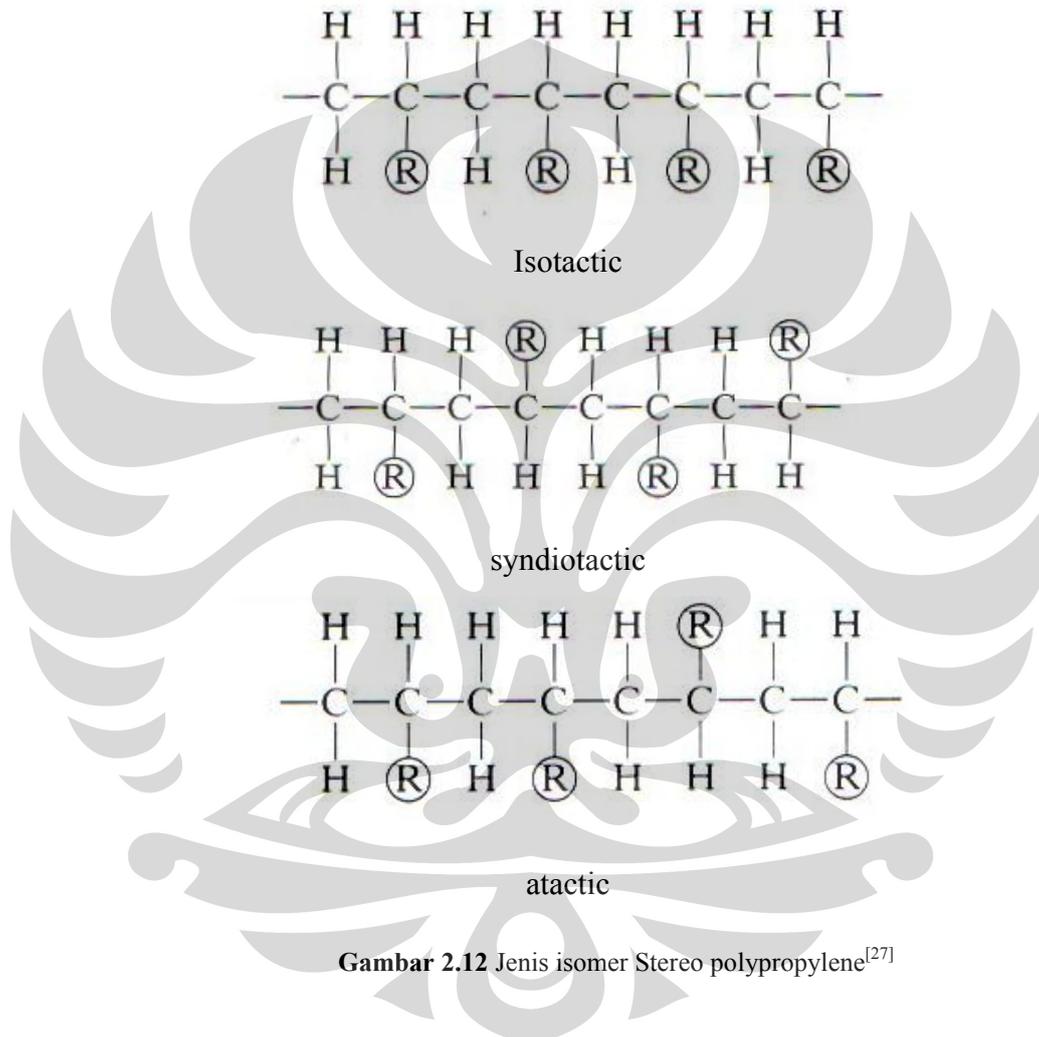
Berdasarkan bahan penyusun yang digunakan, polimer PP dapat dikategorikan menjadi 2 jenis yaitu homopolimer dan kopolimer. Homopolimer adalah polimer yang tersusun dari satu jenis monomer, sedangkan kopolimer adalah polimer yang tersusun dari lebih dari satu jenis monomer. Di pasaran polypropylene banyak kita temui dengan jenis homopolimer.



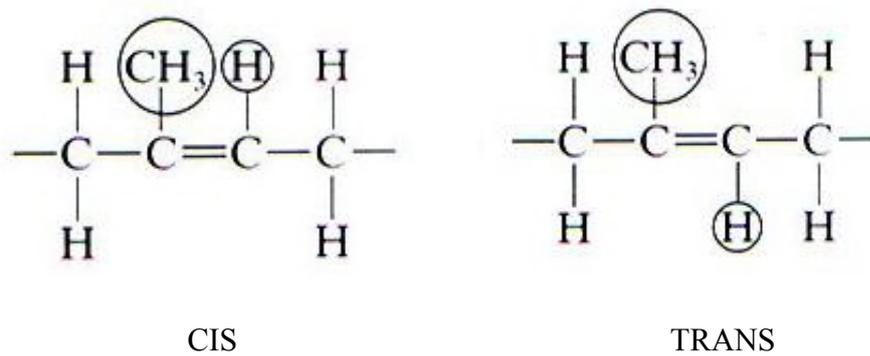
Gambar 2.11 Jenis *polypropylene* berdsarkan bahan yang digunakan

Struktur dari polypropilene juga mengalami isomerisasi. Isomerisasi adalah polimer yang memiliki komposisi kimia yang sama tetapi berbeda dalam susunan atomnya. Keteraturan dan simetri dari susunan atom/grup samping dapat mempengaruhi sifat-sifat polimer secara signifikan. Isomerisasi dari polimer dibagi menjadi dua yaitu isomerisme stereo dan isomerisme geometrikal. Isomeri stereo adalah isomerisme yang disebabkan oleh perbedaan lokasi atom-atom R

atau grup-grup samping. Isomeri stereo dibagi menjadi 3 yaitu isotactic, syndiotactic dan atactic. Isomer stereo isotactic adalah isomer yang atom-atom R/grup samping berada pada sisi yang sama dari rantai utama. Bila gugus metil berada pada posisi berselang-seling dalam rantai utama, maka disebut *Polypropylene sindiotaktik*. Sedangkan atactic adalah bila gugus metil terletak secara acak<sup>[28]</sup>.



Sedangkan isomer geometrikal adalah isomer yang disebabkan oleh perbedaan grup R dan atom H terhadap posisi ikatan ganda pada rantai. Isomer geometri dibagi menjadi 2 macam yaitu CIS dan TRANS. Bila grup R dan atom H berada pada sisi yang sama dari rantai utama, maka dinamakan CIS, sedangkan bila grup R dan atom H berada pada posisi yang bersilangan pada rantai utama disebut dengan trans<sup>[27]</sup>. Gambar 2.13 menunjukkan perbedaan antara isomer CIS dan TRANS dari material polyprpylene.



Gambar 2.13 Isomer geometrikal *polypropylene* <sup>[27]</sup>

#### 2.4.2 PP-g-MA

Kopolimer merupakan polimer yang tersusun dari dua jenis atau lebih monomer yang berbeda. Sehingga terdapat beberapa kemungkinan terbentuknya struktur rantai polimer. Struktur rantai kopolimer dapat berupa kopolimer acak (*random*), kopolimer berselang-seling (*alternating*), kopolimer blok (*block*), atau kopolimer cangkok (*grafting*).

PP-g-MA merupakan polimer yang terbuat dengan proses kopolimerisasi antara PP dengan *Maleic Anhydride*. Sifat-sifat *Maleic Anhydride* dapat dilihat pada Tabel 2.6 dibawah ini.

Tabel 2.6 Sifat-Sifat *Maleic Anhydride* <sup>[13]</sup>

Sifat	Nilai
Berat molekul	98,06 gr/mol
Struktur molekul	$C_4H_2O_3$
Wujud	Serpihan putih
Sifat	Higroskopis
Berat jenis	1,480 Kg/dm <sup>3</sup>
Titik leleh	52,8 °C
Titik didih	202 °C

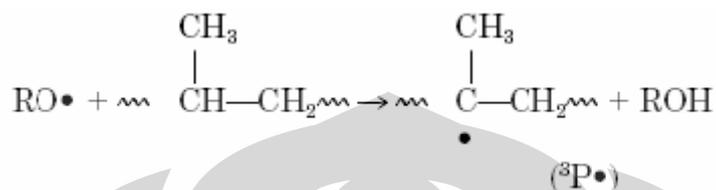
Secara teoritis, PP-g-MA memiliki sifat kompatibilitas yang baik terhadap *filler* (memiliki derajat polaritas yang hampir sama dengan *filler*) sehingga akan amapu untuk berikatan dengan *filler*. Pada sistem komposit PP-*filler*, ikatan kovalen yang terjadi adalah antara gugus OH dari *filler* dengan gugus C=O pada anhidrida maleat dari PP-g-MA<sup>[7]</sup>.

Mekanisme reaksi proses pencangkakan *anhidrida maleat* pada polipropilen adalah sebagai berikut <sup>[7]</sup>.

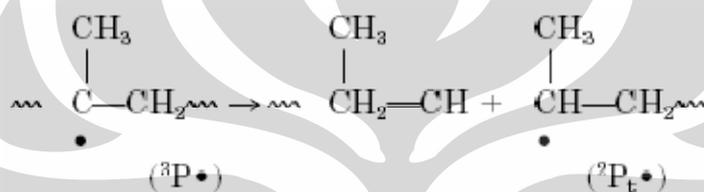
1. Dekomposisi dari inisiator



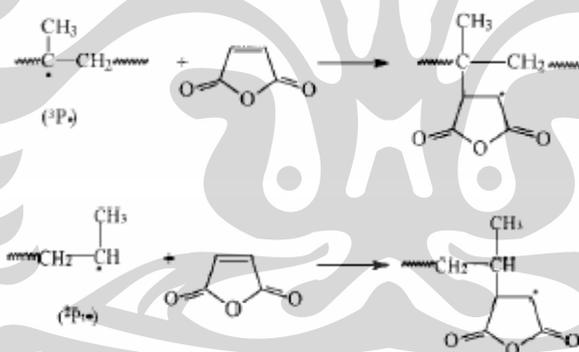
2. Abstraction of Hydrogen



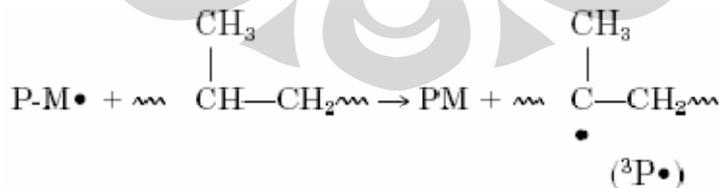
3.  $\beta$  Scission



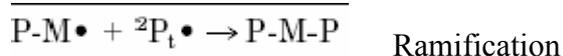
4. Grafting of Maleic Anhydride



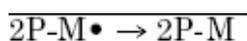
5. Chain Transfer



6. Termination by Combination



## 6. Termination by Disproportioning



Keterangan: >>  $2P_t\bullet$  adalah radikal pada karbon sekunder;

>>  $3P\bullet$  adalah radikal pada karbon tersier;

>> P adalah rantai polipropilen;

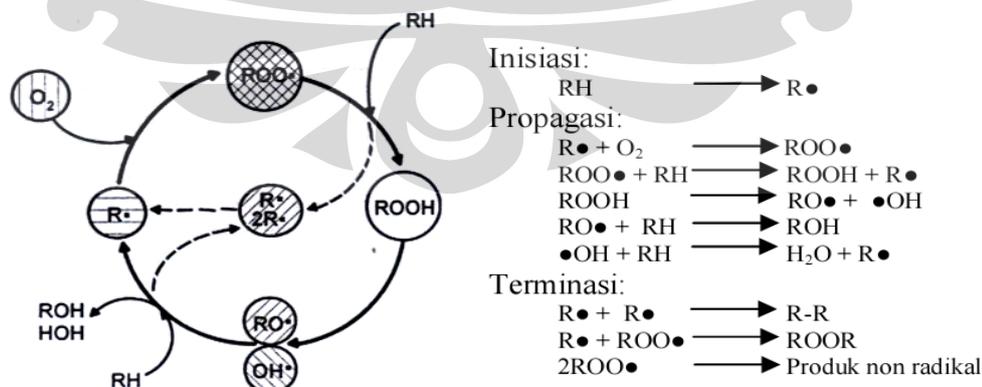
>> M adalah anhidrida maleat; dan

>>  $P-M\bullet$  adalah succinic radikal.

## 2.5 Anti Oksidan

Anti-oksidan merupakan suatu molekul yang berfungsi untuk memperlambat atau mencegah terjadinya oksidasi pada molekul lain. Oksidasi adalah reaksi kimia dimana terjadi transfer elektron dari suatu substansi ke sebuah oksidator. Reaksi oksidasi dapat menghasilkan radikal bebas yang mampu merusak sel. Anti-oksidan mampu mencegah reaksi oksidasi dengan menghilangkan radikal bebas dan menahan oksidasi lain dengan mengorbankan dirinya sendiri<sup>[10]</sup>.

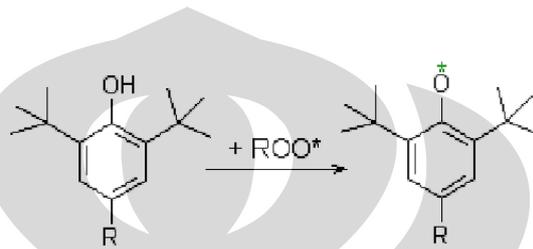
Anti-oksidan dibutuhkan untuk menghindari degradasi material komposit terhadap panas baik selama proses maupun aplikasinya. Pelat bipolar akan terekspos ke lingkungan *fuel*, oksigen, dan juga air yang dapat bersifat oksidatif<sup>[7]</sup>.



Gambar 2.14 Siklus auto-oksidasi<sup>[14]</sup>.

(Keterangan: RH = rantai polimer, \* = radikal, -OH = hidroksida, -OO- = peroksida, -OOH = hidro peroksida, -OR = alkoksi)

Anti oksidan dibagi menjadi dua jenis menurut fungsi mekanisme pencegahan oksidasi yaitu anti oksidan primer dan anti oksidan sekunder<sup>[10]</sup>. Anti oksidan primer berfungsi mendonasikan hidrogen ke reaksi radikal bebas peroksida untuk mencegah tahap propagasi. Anti oksidan primer memiliki tiga tipe yaitu amina, fenolik, dan garam logam



(Keterangan: R = rantai polimer, In = pendonor H, \* = radikal)

Anti oksidan sekunder menghambat oksidasi dengan menyiapkan proliferasi alkoksi dan radikal hidroksi dengan mengurangi hidroperoksida menjadi produk yang tidak reaktif. Jenis-jenis anti oksidan sekunder adalah organofosfor, tioester dan metal deaktivator



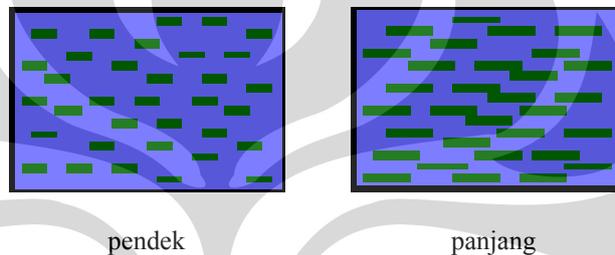
(Keterangan: R =rantai polimer, P = fosfor, X = senyawa organik)

## 2.6 Bahan Pengisi

Bahan pengisi merupakan bahan yang ditambahkan kedalam komposit dengan tujuan untuk memperbaiki sifat mekanik dan konduktivitas dari komposit PP/C-Cu tersebut. Pada penelitian ini bahan pengisi yang digunakan untuk komposit ini terdiri dari karbon serat, karbon hitam, grafit dan serbuk tembaga. Karbon dan grafit digunakan untuk meningkatkan sifat mekanik dan ketahanan korosi serta konduktivitas sedangkan penambahan serbuk tembaga untuk meningkatkan nilai konduktivitas dari komposit ini

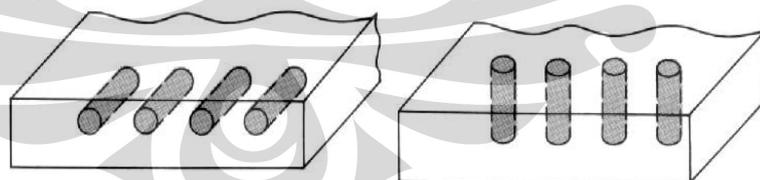
Pengaruh penambahan fiber terhadap sifat mekanik dari suatu komposit dipengaruhi oleh 4 faktor, yaitu :

- Panjang fiber. Panjang atau pendek dari fiber mempengaruhi sifat mekanik. Untuk serat kontinu yang panjang mudah untuk diarahkan dan proses, tetapi serat pendek susah untuk dikontrol orientasinya. Serat fiber yang lebih pendek mempunyai banyak keuntungan antara lain ketahanan impact yang baik, shrinkage rendah, peningkatan permukaan dan kestabilan dimensi yang bagus dan mempunyai siklus fabrikasi yang rendah.



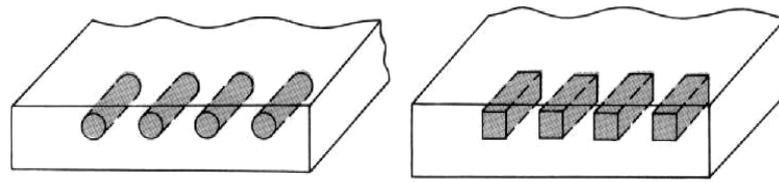
Gambar 2.15 Panjang fiber

- Orientasi serat. Orientasi yang satu arah memberikan kekakuan dan kekuatan yang tinggi pada arah tersebut. Sedangkan untuk serat yang memiliki orientasi yang lebih dari satu arah akan memberikan kekakuan dan kekuatan diberbagai arah.



Gambar 2.16 Arah orientasi serat

- Bentuk serat. Bentuk yang paling umum dari serat adalah melingkar karena penanganannya dan manufacturnya lebih mudah. Tetapi ada bentuk lain juga yaitu hexagon dan kotak yang memiliki keuntungan kekuatan tinggi dan mudah untuk pengolahan



**Gambar 2.17** Bentuk-bentuk fiber

- **Material.** Sifat-sifat dari material yang digunakan akan mempengaruhi kekuatan dari sifat komposit yang dihasilkan. Semakin baik sifat serat yang digunakan, maka komposit yang dihasilkan juga akan memiliki sifat yang lebih bagus juga.

### 2.6.1 Karbon Hitam

Karbon hitam merupakan senyawa anorganik, pigmen hitam dari karbon hitam dihasilkan dari pembakaran yang tidak sempurna minyak bumi berat seperti FCC tar, coal tar, ethylene cracking tar. Karbon hitam memiliki bentuk amorf dan diproduksi secara komersial dengan bentuk karbon koloidal, yaitu berbentuk bulat yang merupakan penggabungan dari agregat dengan ukuran sekitar  $1\mu\text{m}$ . Karbon hitam dibagi menjadi 4 jenis berdasarkan proses produksinya, yaitu <sup>[28]</sup> :

- *Channel black* merupakan karbon hitam yang diproduksi dengan memberikan banyak api kecil ke permukaan yang dingin dengan oksidasi di udara pada temperatur tinggi dan menghasilkan karbon hitam dengan bentuk yang sangat halus
- *Thermal black* merupakan karbon hitam yang diproduksi dengan menggunakan proses pyrolysis gas hidrokarbon (LNG) di dalam ruangan vakum. Partikel yang dihasilkan memiliki ukuran sekitar 100-500 nm
- *Lampblack* diproduksi dengan pembakaran minyak kaya aromatik di dalam di dalam panci yang vakum, kemudian dilakukan proses calcinasi untuk menghilangkan minyak dan menguraikan produk aromatik. Produk yang dihasilkan memiliki ukuran 100-200 nm
- *Acetylene black* diproduksi dengan menggunakan dekomposisi panas acetylene pada suhu  $800^{\circ}\text{C}$ , ukuran partikel yang dihasilkan adalah 3-130 nm

Penambahan karbon hitam didalam polimer thermoplastik banyak digunakan sebagai *antistatic*, *electrostatic*, *dissipative* dan semi konduktif material. Aplikasi karbon hitam dalam dunia polimer antara lain digunakan untuk zat pewarna, proteksi ultra violet, campuran pada plastik konduktif, campuran pada karet, peningkat aliran elektron, penghilang listrik statik dalam partikel non-konduktif, dan sebagai bahan penguat polimer<sup>[10]</sup>.

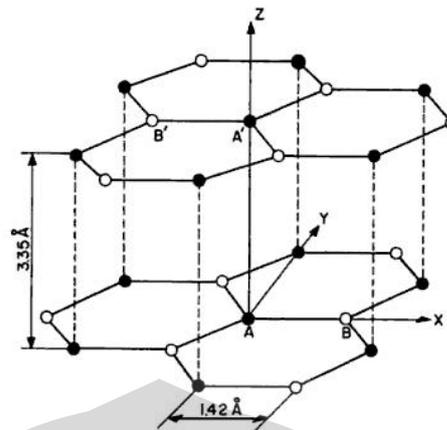
Tabel 2.7 Sifat berbagai jenis karbon hitam<sup>[28]</sup>

Sifat-Sifat	Carbon black	Lampblack	Acetylene black
% komposisi H	0,5-1,0	1,2	
N	0,02-0,09	Traces	
O	2,5-7,0	7,41	
S	0,01-0,03	0,66	
CO <sub>2</sub>	0,1-1,5		
CO	0,2-4,0		
C	seimbang	90,67	99
Produk polimerisasi (%)			<1
Ash (%)			0,03-0,04
Moisture (%)			0,05-0,06
Density (gr/cm <sup>3</sup> )			2,05
Surface area (m <sup>2</sup> /gr)	25-150		65
Ukuran partikel (nm)	10-500		3-130
Oil absorption (cm <sup>3</sup> /gr)	0,5-1,5		

### 2.6.2 Grafit

Grafit digolongkan menjadi dua jenis, yaitu alami dan sintetik. Grafit sintetik lebih murni dibandingkan grafit alami. Grafit sintetik merupakan produk yang dibuat dari material karbon amorf melalui proses perlakuan temperatur-tinggi. Grafit memiliki kandungan lebih dari 99% karbon.

Grafit digunakan sebagai bahan pengisi khususnya dalam matrik polimer untuk meningkatkan sifat konduktivitas listrik, selain itu grafit juga dapat meningkatkan *processability* karena akan bertindak sebagai pelumas ketika proses pelelehan. Karena strukturnya yang berlapis, grafit memberi sifat kekakuan dan dimensi yang stabil terhadap polimer<sup>[10]</sup>.



Gambar 2.18 Struktur kristal grafit<sup>[29]</sup>

Grafit sintetik digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti pengecoran logam, karbon elektrik, pelat bipolar *fuel cell*, pelapisan, proses elektrolitik, sebagai bahan pengisi konduktif, campuran karet dan plastik, serta untuk aplikasi pemboran. Tabel 2.8 di bawah ini menunjukkan sifat-sifat umum grafit

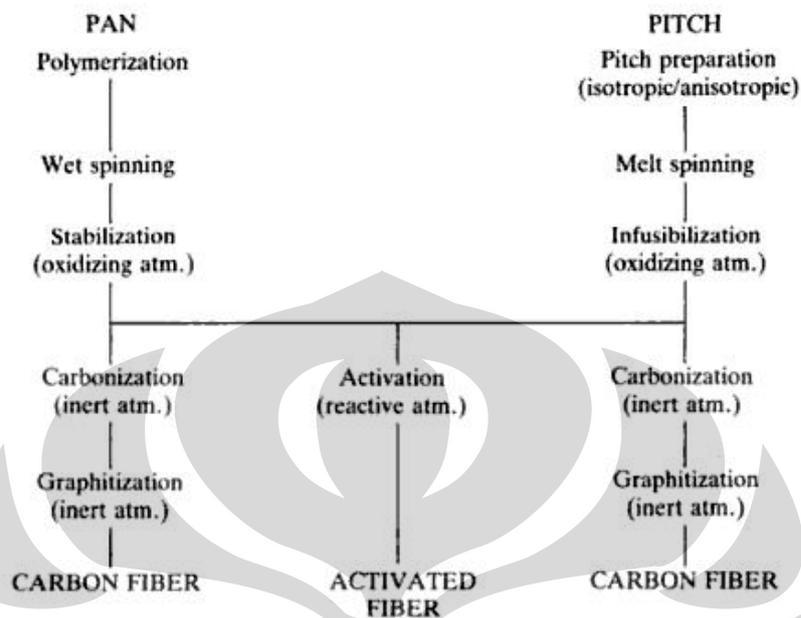
Tabel 2.8 Sifat-sifat umum grafit<sup>[7]</sup>.

Sifat-Sifat	Keterangan
Komposisi Kimia	C (80-99,7%), Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> < 0,2%
Kerapatan	2- 2,25 gr/cm <sup>3</sup>
Titik Lebur	4027 - 4427 °C
Kapasitas Panas	8,517 (25 °C) J.mol <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup>
Konduktivitas Panas	200 W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup>
Kekerasan	1 - 2 Mohs scale
Hambatan Volume	800 – 2500 Ωcm
Warna	Hitam keabu-abuan
Struktur Kristal	Hexagonal

### 2.6.3 Serat Karbon

Serat karbon adalah serat yang memiliki komposisi minimal 92 wt.% karbon. Struktur kristal dari serat karbon bermacam-macam yaitu kristalin, amorf dan semi kristalin. Serat karbon memiliki diameter yang sangat tipis yaitu 0,005-0,010 mm. Tujuan ditambahkan serat karbon didalam sistem komposit adalah untuk meningkatkan sifat mekaniknya. Serat karbon di hasilkan dengan cara

mensintesis dari rayon, poliakrilonitril (PAN), dan *pitch* dengan menghilangkan hidrogen dan nitrogen dalam kondisi atmosfer inert<sup>[10]</sup>.



**Gambar 2.19** Proses pembuatan serat karbon dari PAN dan pitch<sup>[29]</sup>

Perbandingan sifat ketiga jenis serat karbon dapat dilihat pada Tabel 2.9.

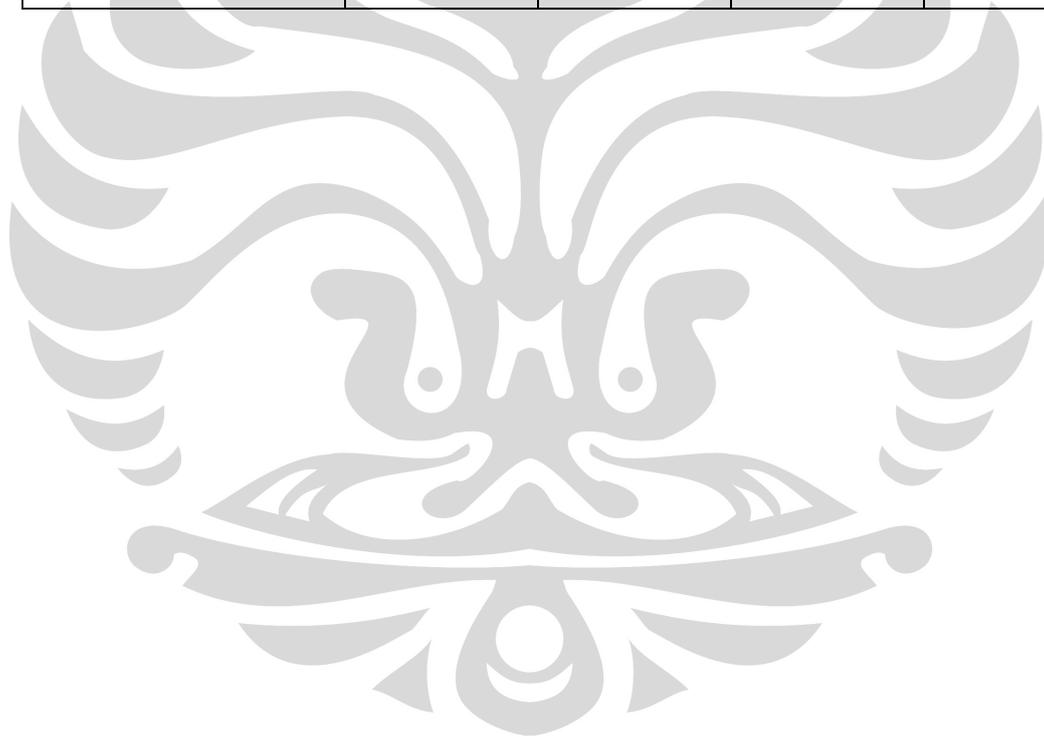
**Tabel 2.9** Sifat serat karbon berdasarkan bahan dasarnya<sup>[17]</sup>.

Sifat-Sifat	Pitch	Rayon	PAN
Kekuatan Tarik (Gpa)	1,55	2,06-2,75	2,5-3,2
Modulus Tarik (Gpa)	370	380-550	210-400
<i>Short Beam Shear</i> (Mpa)			
- <i>untreated</i>	41	28	28-68
- <i>treated</i>	68	56	56-120
Berat Spesifik	2,0	1,7	1,8
Diameter Serat (µm)	-	6,5	7,5

Berdasarkan bahan baku dan kondisi pemrosesan dihasilkan empat jenis kualitas serat karbon yang dibedakan berdasarkan kekuatannya, seperti yang terlihat pada Tabel 2.10.

**Tabel 2.10** Jenis-jenis serat karbon <sup>[7]</sup>.

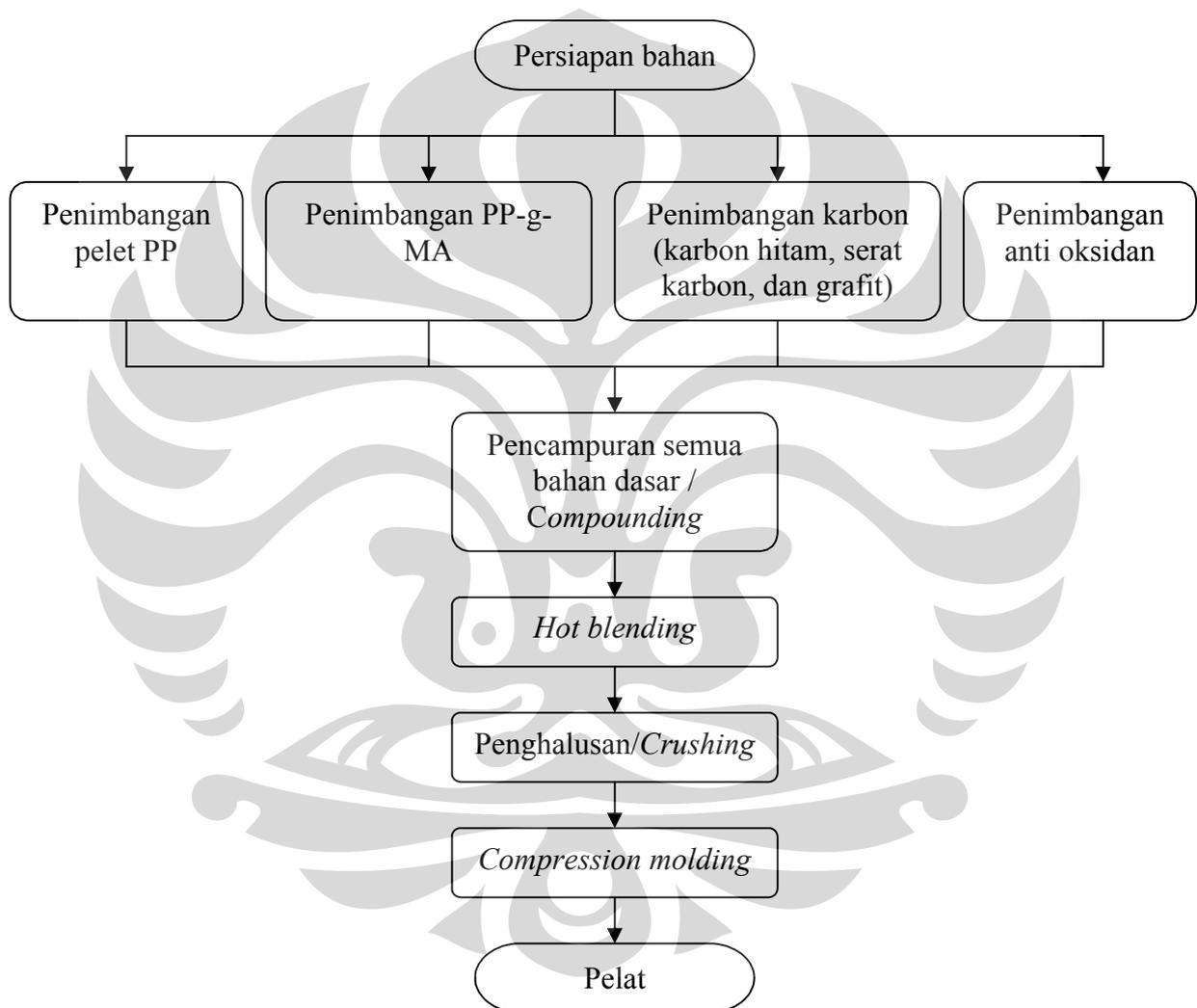
Sifat-Sifat	Low “M” HT Pitch	Intermediate “M” PAN	High “M” Pitch, PAN	Ultra High “M” Pitch, PAN
Kerapatan (g/cm <sup>3</sup> )	1,78	1,76 – 1,80	1,79 – 1,90	1,90 – 2,0
Kekerasan (Mohs)	1	1	1	1
Modulus (Mpa)	240	325	400	450
Kekuatan Tarik (Mpa)	4300	5000	2400	3500
Konduktivitas Panas (W/mK)	17	17	115	-
Koefisien Muai Panas	-0,1	-0,1	-0,5	-
Panas Spesifik	710	710	710	
Hambatan Volume	$1,5 \times 10^{-3}$	$1,5 \times 10^{-3}$	$0,9 \times 10^{-3}$	-



## BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

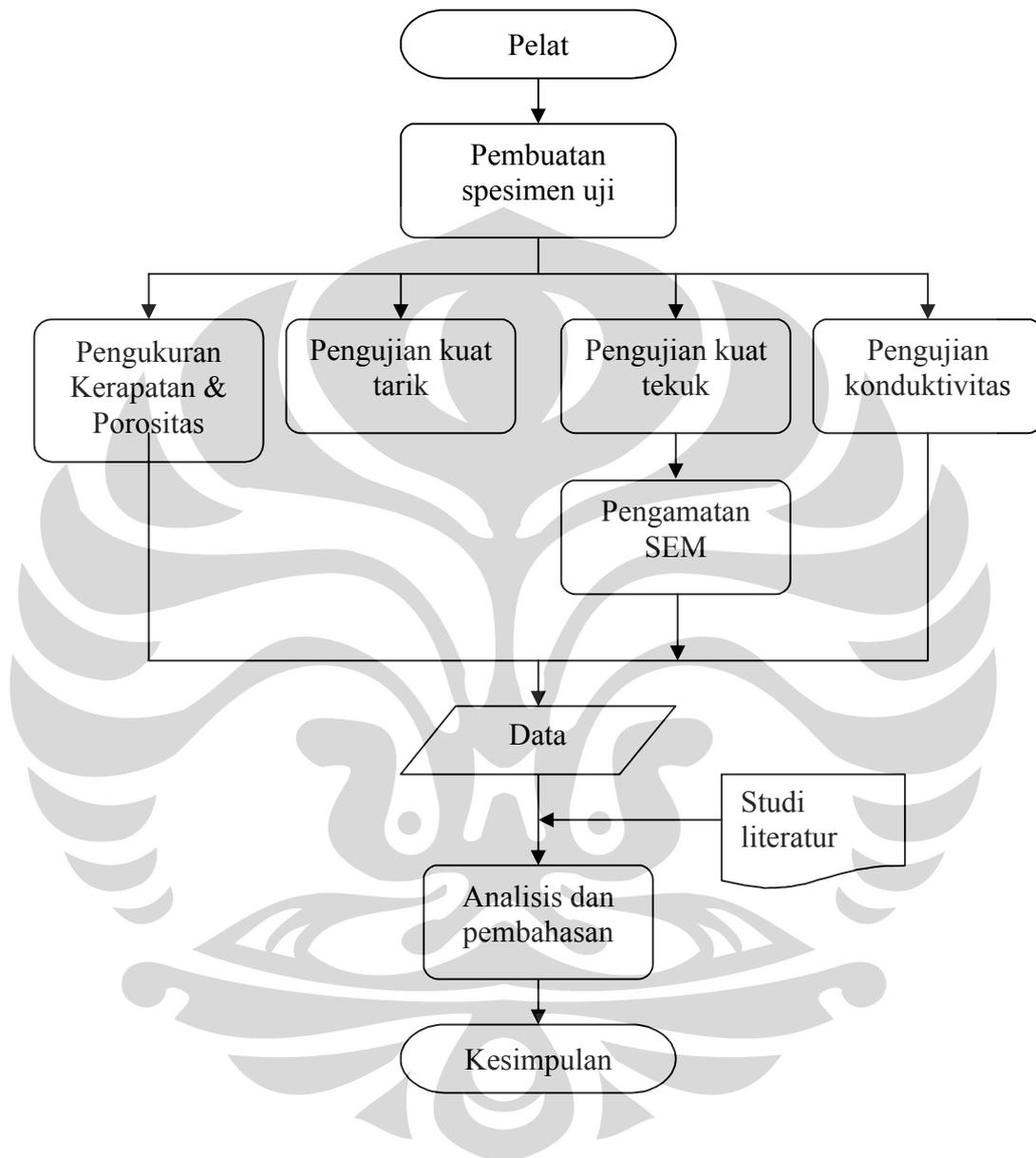
### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Gambar 3.1 berikut menunjukkan diagram alir preparasi dan fabrikasi sampel secara umum pada penelitian ini. Sedangkan Gambar 3.2 menunjukkan diagram alir pengujian karakterisasi sampel.



**Gambar 3.1** Diagram alir preparasi dan fabrikasi sampel.

Diagram alir pengujian karakterisasi sampel secara umum pada penelitian ini:



**Gambar 3.2** Diagram alir pengujian karakterisasi sampel.

### 3.2 Komposisi Bahan

Tabel 3.1 di bawah ini menunjukkan komposisi dan pengkodean seluruh sampel yang diteliti:

**Tabel 3.1** Komposisi dan pengkodean formulasi sampel.

Bahan yang digunakan	Satuan	F1	F2	F3
PP	%wt	13,9	13	12
	gr	41,7	39	36
Karbon hitam cabot vulcan xc 72	%wt	20	20	20
	gr	60	60	60
Serat karbon fortafle 243	%wt	40	40	40
	gr	100	100	100
Grafite 4012	%wt	20	20	20
	gr	60	60	60
PP-g-MA	%wt	5	5	5
	gr	15	15	15
Anti Oksidan CN-CAT A 215	%wt	1	1	1
	gr	3	3	3
Cu	%wt	0,1	1	2
	gr	0,3	3	6
<b>Total</b>	<b>gr</b>	<b>300</b>	<b>300</b>	<b>300</b>

### 3.3 Peralatan dan Bahan

#### 3.3.1 Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini disajikan dalam Tabel 3.2 sebagai berikut:

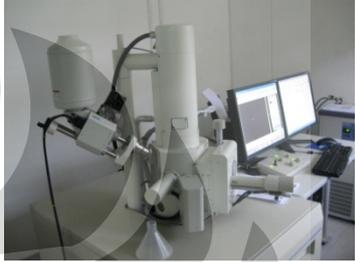
**Tabel 3.2** Peralatan dan spesifikasinya.

Nama Alat	Spesifikasi	Gambar
Timbangan Analitik	<i>Precisa</i> di Laboratorium Kimia Institute Teknologi Indonesia (ITI), Serpong	

Tabel 3.2 Peralatan dan spesifikasinya (Lanjutan)

Nama Alat	Spesifikasi	Gambar
<i>Hot Blender</i>	<i>Rheomix HAAKE</i> <i>Polydrive</i> kapasitas 60 g di Laboratorium Kimia Institute Teknologi Indonesia (ITI), Serpong	
<i>Crusher</i>	<i>Kpi type KF-808-B</i> di Sentra Teknologi Polimer (STP) PUSPIPTEK Serpong	
<i>Hydraulic Hot Press</i>	<i>HPI Hot Plate</i> di PT. Tripolyta Indonesia, Cilegon	
Mesin Abrasif	<i>Rema 2000 type</i> <i>DS04/175</i> di Sentra Teknologi Polimer (STP) PUSPIPTEK Serpong	
<i>Lemari Conditioning</i>	Lemari Kondisioning di Sentra Teknologi Polimer (STP) PUSPIPTEK Serpong	

Tabel 3.2 Peralatan dan spesifikasinya (Lanjutan)

Nama Alat	Spesifikasi	Gambar
<i>Universal Testing Machine</i>	<i>SHIMADZU type AGS-10kNG</i> di Sentra Teknologi Polimer (STP) PUSPIPTEK Serpong	
<i>Scanning Electron Microscope (SEM)</i>	Type JSM-6390 A Merk Jeoul di Laboratorium Metalurgi LIPI Puspitek Serpong	
<i>Mesin Coating Sampel SEM</i>	Type JFC 1600 Auto <i>Finer Coater pt</i> di Laboratorium Metalurgi LIPI Puspitek Serpong	
<i>Conductivity measurement apparatus</i>	<i>LCR-meter type 3522-50</i> di Laboratorium Listrik Magnet BATAN PUSPIPTEK Serpong	
<i>Beaker Glass</i>	<i>Pyrex</i> di Laboratorium Kimia Institute Teknologi Indonesia (ITI), Serpong	
<i>Mesin Grinding</i>	Di laboratorium <i>HST dan Metalografi</i> Metalurgi FTUI	

### 3.3.2 Bahan-Bahan

#### 3.3.2.1 Polypropylene (PP)

Jenis polypropylene yang digunakan sebagai matrik dalam penelitian ini adalah kopolimer blok polipropilena COSMOPLNE yang diproduksi oleh *The Polyolefine Company (TPC) Singapore*. PP yang digunakan memiliki warna putih dan berbentuk pellet. Spesifikasi dan sifat-sifat dari PP dapat dilihat pada Lampiran 3.

#### 3.3.2.2 Karbon Hitam

Pada penelitian ini jenis karbon hitam yang digunakan adalah *Cabot Vulcan XC72* yang merupakan produk dari cabot corporation. Karbon hitam dalam sistem komposit ini digunakan sebagai salah satu pengisinya. Sifat fisik dari karbon hitam adalah memiliki warna hitam, berbentuk butiran-butiran kecil seperti pasir dan halus. Sedangkan sifat mekanik dari *Cabot Vulcan XC72* dapat dilihat pada Lampiran 3.

#### 3.3.2.3 Serat Karbon

Serat karbon yang digunakan dalam penelitian ini disuplai dari *Fortail Carbons*. Serat karbon memiliki warna hitam dan berbentuk seperti bubuk halus. Sifat-sifat umum dari serat karbon *Fortail 243* dapat dilihat pada Lampiran 3.

#### 3.3.2.4 Maleated-anhydride-grafted-polypropylene (PP-g-MA)

PP-g-MA digunakan sebagai bahan aditif dalam komposit PP/C-Cu dengan tujuan sebagai *compatibilizer* antara matrik dan penguat. PP-g-MA berwarna kuning dan berbentuk pellet. Spesifikasi PP-g-MA ditunjukkan pada Lampiran 3

#### 3.3.2.5 Anti Oksidan

Anti oksidan yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis CN-CAT B125 yang merupakan produk dari China Catalyst Ltd. CN-CAT B215 merupakan hasil penggabungan dari anti oksidan A1010 dengan anti oksidan A168 dan ditambah dengan *chelant* stabil. Anti oksidan ini secara visual berwarna putih dan berbentuk serbuk halus. Sifat dari anti oksidan CN-CAT B215 dapat dilihat pada Lampiran 3.

### 3.3.2.6 Tembaga (Cu)

Tembaga yang digunakan dalam penelitian ini disuplai dari *Merck Kga (Germany)*. Tembaga yang digunakan berbentuk serbuk dan berwarna orange dengan ukuran partikel < 63 um. Fungsi utama dari penambahan serbuk tembaga di dalam komposit adalah untuk meningkatkan nilai konduktivitas dari komposit PP/C-Cu. Komposisi dari tembaga yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3.3

Tabel 3.3 Komposisi kimia serbuk tembaga

Komposisi Kimia	Kandungan
Cu	> 99,7%
NaOH	< 0,02%
Ag	< 0,002 %
As	< 0,0005 %
Fe	< 0,005 %
Mn	< 0,001 %
Pb	< 0,01 %
Sb	< 0,001 %
Sn	< 0,01 %
P	< 0,001%

## 3.4 Prosedur Penelitian

### 3.4.1 Penimbangan

Pertama bahan-bahan pelet *polypropylene*, PP-g-MA, karbon hitam, serat karbon, grafit sintetik, serbuk tembaga dan anti oksidan ditimbang dengan menggunakan timbangan analitik precisa sesuai formulasi pada Tabel 3.1. Setelah ditimbang bahan-bahan tersebut diletakkan di dalam beaker glass untuk dilakukan proses pencampuran secara manual.

Prosedur proses penimbangan bahan :

1. Nyalakan tombol on pada alat
2. Setting alat pada kondisi angka "0"
3. Taruh gelas cawan di dalam timbangan dan setting alat di angka "0" kembali
4. Masukkan bahan yang akan di timbang ke gelas cawan
5. Timbang bahan sesuai dengan berat yang di inginkan

6. Setelah selesai penimbangan matikan alat penimbangan kembali, dan bersihkan alat dari kotoran yang menempel
7. Ulangi langkah 2-6 untuk bahan-bahan yang lainnya

### 3.4.2 Pencampuran (*Compounding*)

Proses pencampuran bahan-bahan dilakukan dengan metode pengadukan secara mekanik di dalam beaker glass dengan menggunakan batuan spatula. Proses ini dilakukan selama 2-5 menit (sesuai dengan kebutuhan). Tujuan dari proses pencampuran ini adalah agar semua bahan-bahan yang digunakan akan tercampur secara merata, sehingga ketika proses *hot blending* campuran akan lebih homogen.

Prosedur Proses Pencampuran (*Compounding*) :

1. Bersihkan beaker glass yang akan digunakan untuk tempat pencampuran dari air maupun kotoran yang menempel
2. Masukkan bahan-bahan yang digunakan untuk membuat komposit PP/C-Cu
3. Aduk bahan-bahan tersebut dengan menggunakan spatula hingga semua bahan tercampur secara merata, waktu pengadukan sekitar 2-5 menit.
4. Setelah proses pencampuran selesai, bahan tersebut langsung dimasukkan ke dalam mesin rheomix dan beaker glass dibersihkan kembali
5. Ulangi langkah diatas untuk formula yang lain

### 3.4.3 *Hot Blending*

*Proses hot blending* adalah proses pencampuran secara mekanik melalui proses pemanasan. Proses *hot blending* ini menggunakan mesin *Rheomix Haake Polydrive* yang memiliki kapasitas 60 gr. Proses ini dilakukan sebagai pencampuran awal sebelum dilakukan *crushing* dan *hot pressing*. Untuk setiap formula yang digunakan membutuhkan sampel sebesar 300 gr, oleh karena itu proses *hot blending* dilakukan sebanyak 5 kali untuk masing-masing formula karena kapasitas mesin *hot blending* adalah 60 gr. Pencampuran dilakukan pada

temperatur 180 °C selama  $\pm$  6 menit. Setelah proses pencampuran selesai, hasil percampuran yang berbentuk bongkahan didiamkan hingga dingin kemudian dimasukkan ke dalam wadah.

Prosedur Penggunaan alat *Rheomix* :

1. Siapkan sampel yang akan dilakukan proses *rheomix*
2. Memasukkan bahan yang sudah tercampur di dalam beaker glass ke dalam *chamber* mesin *rheomix* yang kondisi operasinya telah disiapkan dan diatur terlebih dahulu. Persiapan ini termasuk *pre-heating* dan menyalakan rotor sebelum zat dimasukkan.
3. Tekan tombol start untuk menjalan mesin *rheomix* dan tunggu hingga mesin berhenti
4. Setelah proses *rheomix* selesai, maka mesin dibuka dan dibersihkan untuk mengambil *masterbatch* hasil *rheomix*.
5. Ulangi langkah diatas untuk formula lainnya

#### 3.4.4 Penghalusan (*Crushing*)

Hasil dari hot blending yang berbentuk bongkahan harus dihaluskan terlebih dahulu sebelum dilakukan proses pencetakan (*Hot press*). Alat yang digunakan dalam proses penghalusan bahan komposit adalah mesin *Crusher Kpi type KF-808-B*. Pada proses *crushing*, selain bertujuan untuk menghaluskan bongkahan juga bertujuan untuk menjadikan campuran komposit lebih homogen dan akan lebih mudah untuk dilakukan proses *compression*. Dengan demikian, bahan komposit lebih mudah dicetak dan partikel-partikel karbon lebih terdistribusi merata ke seluruh matrik polimer. Bentuk bahan hasil *crushing* berbentuk serpihan dengan berbagai variasi ukuran yang sering kita sebut dengan pellet komposit PP/C-Cu.

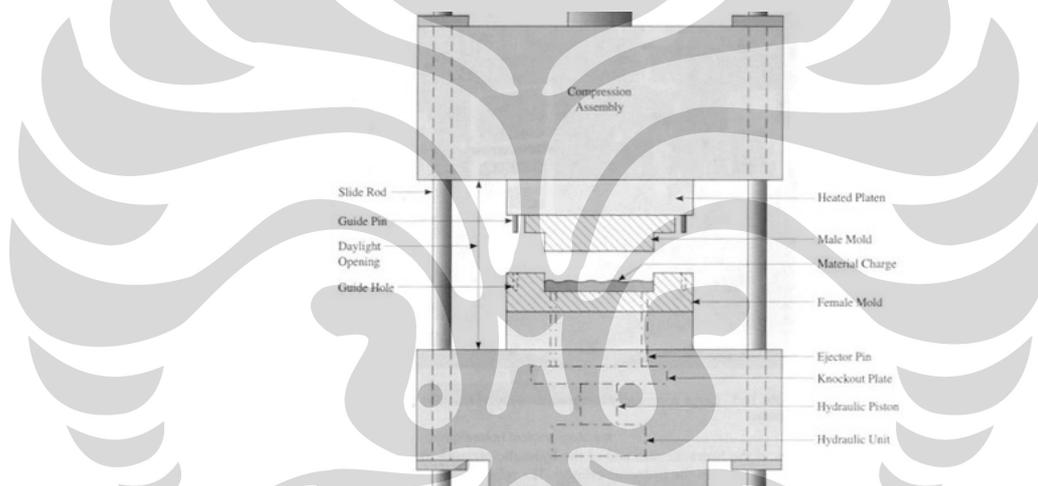
Prosedur *crushing* yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Bersihkan mesin crusher dari kotoran dan debu yang masih menempel pada alat
2. Menyalakan mesin *crusher*.
3. Memasukkan gumpalan hasil *rheomix* ke dalam mesin *crusher*.

4. Setelah proses penghancuran selesai, mesin dimatikan lalu dibuka dan dibersihkan dari sisa hasil *crushing*.
5. Ulangi langkah 1-4 untuk formula lainnya

### 3.4.5 Cetak Panas (*Hot Press*)

Sampel pelat bipolar untuk pengujian karakterisasi dicetak dengan metode *hot pressing*. Alat *Hot press* dilakukan dengan memasukkan pellet komposit hasil *crushing* ke dalam cetakan logam (*mold*) berbentuk segi empat. Pemanasan dilakukan selama 2,5 menit pada temperatur 230 °C dan tekanan 35 kg/mm<sup>2</sup>. Lama pendinginan untuk semua formulasi adalah 2,5 menit. Gambar 3.3 berikut ini adalah diagram skematik alat *hot press*.



**Gambar 3.3** Diagram skematik alat *compression molding* [10].

Masing-masing formula dicetak menjadi bentuk persegi empat dengan ketebalan 3 mm dan panjang sisi 15 cm. Untuk setiap formula dilakukan cetakan sebanyak 2 kali. Hasil dari *hot press* ini akan dibuat menjadi spesimen uji.

Prosedur proses *hot press* :

1. Siapkan pellet yang akan digunakan
2. Bersihkan cetakan dari sisa kotoran yang menempel
3. Lapsi cetakan bagian bawah dengan menggunakan lembaran aluminium foil
4. Masukkan pellet ke dalam cetakan sesuai dengan ukuran cetakan dan tutup kembali bagian atas dengan aluminium foil dan lempengan besi

5. Masukkan cetakan kedalam mesin *hot press*
6. Tekan tombol on pada mesin sampai cetakan tertekan didalam mesin dengan tekanan  $35 \text{ Kg/mm}^2$  dan tunggu hingga proses hot press selesai
7. Taruh cetakan kedalam mesin pendingin dan tunggu hingga mesin mati
8. Ambil sampel dari mesin *hot press*
9. Keluarkan lempengan sampel dari cetakan
10. Ulangi langkah diatas untuk formula yang lain

#### 3.4.6 Pembuatan Spesimen Uji

Pelat bipolar hasil *hot pressing* kemudian pelat tersebut dibuat menjadi spesimen uji tarik, uji tekuk, dan uji konduktivitas. Spesimen uji tarik berbentuk *dog-bone* tipe IV sesuai standar ASTM D638. Sedangkan spesimen uji tekuk sesuai dengan standar ASTM D790. Untuk uji kerapatan massa menggunakan sampel sisa.

Spesimen uji tarik dan uji tekuk yang telah dibuat disimpan pada lemari pengkondisian pada temperatur  $23 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$  dan kelembaban relatif  $50 \pm 5\%$  selama  $\geq 40$  jam sebelum dilakukan pengujian tarik dan tekuk. Hal ini bertujuan untuk menghilangkan tegangan sisa dari polimer akibat adanya proses *hot press*.

Prosedur Pembuatan spesimen Uji :

1. Ambil sampel hasil hot press kemudian bersihkan dari kotoran dengan menggunakan kertas amplas
2. Ukur sampel sesuai dengan standart spesimen uji yang akan dibentuk
3. Potong sampel dengan menggunakan gergaji besi sesuai dengan bentuk dan dimensi spesimen uji tarik dan tekuk
4. Haluskan bagian permukaan dan tepi spesimen uji dengan menggunakan *grinding* atau *milling*

#### 3.4.7 Pengukuran Kerapatan Massa (*Density*) dan Porositas

Pengukuran kerapatan massa dapat dilakukan dengan menggunakan prinsip perbandingan massa material di udara dengan massa material di dalam air. Massa material di dalam air akan berbeda dengan massanya di udara akibat

adanya gaya ke atas (gaya *Archimedes*).

Prosedur pengujian densitas dan porositas:

1. Menyiapkan sampel yang akan diuji densitas dan porositas
2. Menyiapkan timbangan digital, beaker glass 1000 ml, kawat dan aquades
3. Menimbang dan mencatat massa sampel di udara ( $M_u$ )
4. Menimbang berat air yang sudah terisi didalam beaker glass 1000 ml untuk mencari nilai kerapatan massa air yang nantinya akan digunakan untuk uji keerpatan massa dan porositas ( $\rho$  air)
5. Menimbang massa kawat di air
6. Menimbang massa sampel di dalam air dengan cara memasukkan sampel yang telah dililitkan dengan kawat kedalam beaker glass yang terisi air hingga seluruh permukaan sampel tercelup oleh air dan berada dalam keadaan setimbang dan angka tidak berubah-ubah.
7. Ulangi langkah diatas untuk formula yang lain

Dari hasil penimbangan tersebut Massa sampel di air ( $M_a$ ) adalah massa sampel di air dikurangi massa kawat di air. Sedangkan nilai kerapatan massa sampel bisa diperoleh dari persamaan:

$$\rho_{\text{sampel}} = \frac{M_u}{M_a} \rho_{\text{air}} \quad (3.1)$$

Pengukuran kerapatan massa sampel komposit PP/C-Cu dengan metode ini dilakukan di Laboratorium korosi Departemen Metalurgi dan Material FTUI.

Untuk menghitung nilai porositas hasil percobaan dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\% \text{ porositas} = \frac{D_{\text{teoritis}} - D_{\text{percobaan}}}{D_{\text{teoritis}}} \times 100\% \quad (3.2)$$

Dengan :

$D_{\text{teoritis}}$  = densitas teoritis ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )

$D_{\text{percobaan}}$  = densitas percobaan ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )

Nilai densitas teori ini dapat dihitung dengan menggunakan rumus hukum campuran komposit sebagai berikut :

$$\rho_{\text{komposit}} = (V_{\text{matrik}} \cdot \rho_{\text{matrik}}) + (V_{\text{penguat}} \cdot \rho_{\text{penguat}}) \quad (3.3)$$

### 3.4.8 Pengujian Tarik (*Tensile*)

Tujuan pengujian tarik adalah untuk menganalisa respon material pada saat dikenakan beban atau deformasi terhadap pembebanan statis yang diberikan serta untuk memprediksi performa material di bawah kondisi pembebanan.

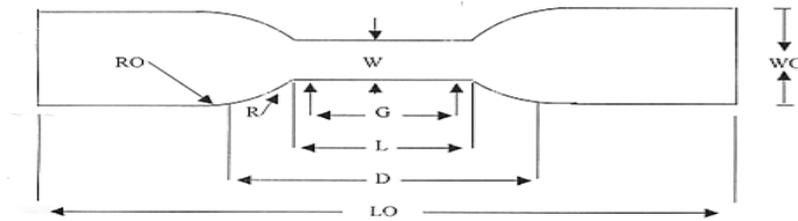
Prinsip pengujian ini yaitu sampel atau benda uji dengan ukuran dan bentuk tertentu diberi beban tarik *uniaxial* (satu arah) yang bertambah secara kontinu hingga spesimen tarik tersebut putus. Standart yang digunakan dalam pengujian tarik adalah standart ASTM D638: “*Standard Test Methode for Tensile Properties of Plastics*”<sup>[19]</sup>. Sampel yang digunakan adalah spesimen *dog-bone* tipe IV. Kondisi pengujian adalah untuk uji tarik ini adalah :

Pretension	: 0,01 N
Gripped Length	: 65 mm
Test Speed	: 5 mm/min
Kondisi Uji	: 24 0C, RH 58 %

Tabel 3.4 dan Gambar 3.4 di bawah ini menunjukkan dimensi dan bentuk skematis spesimen uji tarik.

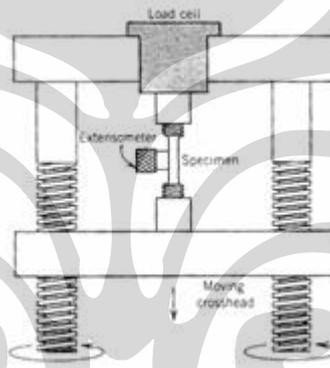
**Tabel 3.4** Dimensi spesimen uji tarik tipe IV <sup>[7]</sup>.

Dimensi	Tipe IV, mm (in)	Toleransi, mm (in)
W ( <i>width of narrow section</i> )	6 / 0,25	± 0,5 (± 0,02)
L ( <i>length of narrow section</i> )	33 / 1,30	± 0,5 (± 0,02)
WO ( <i>width over all, min</i> )	19 / 0,75	+ 6,4 (+ 0,25)
LO ( <i>length over all, min</i> )	115 / 4,50	<i>no max</i>
G ( <i>gage length</i> )	25 / 1,00	± 0,13 (± 0,005)
D ( <i>distance between grip</i> )	65 / 2,5	± 5 (± 0,2)
R ( <i>radius of fillet</i> )	14 / 0,56	± 1 (± 0,04)
RO ( <i>outer radius</i> )	25 / 1,00	± 1 (± 0,4)



**Gambar 3.4** Skema bentuk spesimen uji tarik.

Data yang didapatkan dari pengujian ini terdiri dari modulus elastisitas dari material, kekuatan tariknya, beban maksimum yang dapat diterima material serta besar elongasi saat terjadi perpatahan yang langsung didapatkan pada komputer yang tersambung dengan mesin.



**Gambar 3.5** Skema pengujian tarik

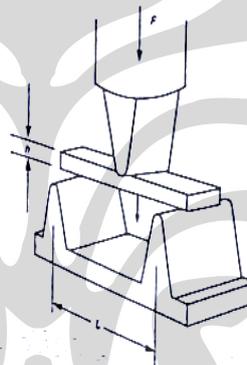
Prosedur pengujian tarik adalah :

1. Menyiapkan spesimen uji tarik
2. Mengukur lebar leher dan tebal spesimen.
3. Mengatur parameter pengujian (kecepatan penarikan, beban, temperatur ruang, dan kelembaban ruang).
4. Meletakkan spesimen pada grip pengujian.
5. Operasikan mesin untuk memulai proses penarikan.
6. Sampel patah, grafik diamati.
7. Catat data hasil pengujian tarik.
8. Ulangi langkah 3 - 7 di atas untuk tiap spesimen.

### 3.4.9 Pengujian Tekuk (*Flexural*)

Tujuan dari pengujian tekuk adalah untuk mengetahui ketahanan material komposit terhadap beban tekuk. Standart yang digunakan untuk pengujian tekuk ini adalah ASTM D790 : “*Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials*” [19]. Pengujian dilakukan dengan melakukan pembebanan pada 3-titik (Gambar 3.6). Kondisi yang digunakan dalam pengujian tekuk antara lain :

Pretension	: 0,01 N
Gripped Length	: 65 mm
Test Speed	: 1,755 mm/min
Kondisi Uji	: 24 0C, RH 58 %



**Gambar 3.6** Skema pengujian tekuk 3-titik [7].

Data yang didapatkan dari pengujian ini terdiri dari kekuatan tekuk, modulus serta beban maksimum dari komposit PP/C-Cu.

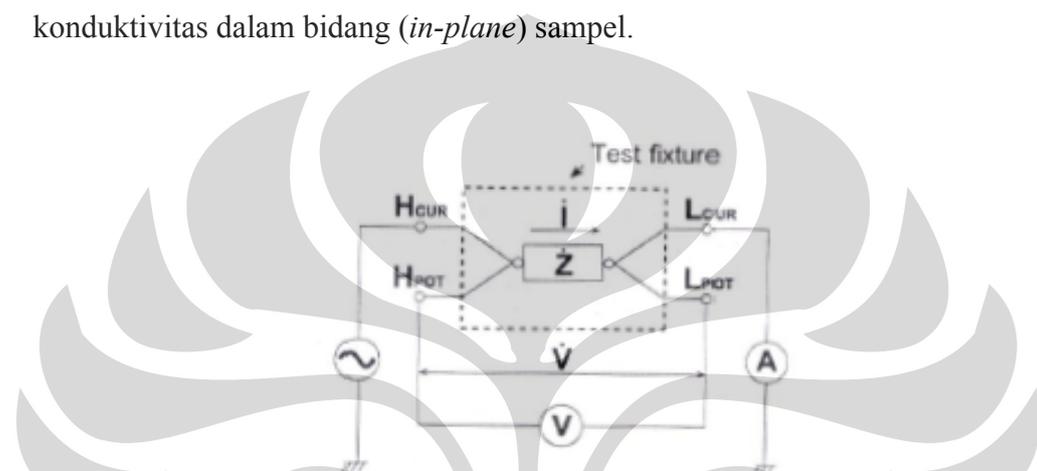
Prosedur pengujian kelenturan adalah :

1. Menyiapkan spesimen uji tekuk
2. Mengukur lebar dan ketebalan spesimen
3. Mengatur parameter pengujian (kecepatan pembebanan, beban, temperatur ruang, dan kelembaban ruang).
4. Meletakkan spesimen pada grip pengujian.
5. Operasikan mesin untuk memulai proses penarikan.
6. Sampel mengalami kegagalan, grafik diamati.
7. Catat data hasil pengujian tarik
8. Ulangi langkah di atas untuk tiap spesimen.

### 3.4.10 Pengujian Konduktivitas Listrik

Pengujian konduktivitas listrik komposit pelat bipolar menggunakan standar ASTM B193. Alat yang digunakan adalah LCR-meter tipe 3522-50. Alat ini dapat digunakan untuk mengukur sifat listrik material yang meliputi induktansi, kapasitansi, dan konduktansi terhadap fungsi frekuensi. Frekuensi yang dapat dilakukan pada bahan antara 0,01 Hz sampai 100 kHz.

Gambar 3.7 di bawah ini mengilustrasikan sirkuit listrik untuk menghitung konduktivitas dalam bidang (*in-plane*) sampel.



Gambar 3.7 Prinsip dasar pengukuran dengan alat LCR-Meter<sup>[11]</sup>

Data yang didapatkan berupa besar nilai konduktansi ( $G$ ) yang kemudian dibagi dengan perbandingan ketebalan dengan luas permukaan bidang ( $K$ ) sesuai rumus di bawah ini untuk mendapatkan nilai konduktivitas material.

$$\sigma = \frac{G}{K}$$

(3.4)

Prosedur pengujiannya sebagai berikut :

1. Persiapkan sampel uji dan ukur panjang, lebar serta ketebalannya.
2. Letakkan sampel diantara dua pemegang cuplikan yang terbuat dari tembaga, dijepit yang dihubungkan melalui kabel terminal ke alat LCR-meter. Gambar 3.8 merupakan foto penjepit yang digunakan
3. Nyalakan alat LCR, dengan menekan tombol '*Power switch*'.
4. Mensetting parameter yang digunakan dalam pengujian antara lain batas open circuit voltage, batas voltase konstan, batas arus konstan, dan parameter-parameter lainnya.

5. Pengujian dilakukan dengan menggunakan frekuensi dari 0,001 Hz sampai 100000 Hz. Setelah pengukuran selesai, frekuensi harus dikembalikan ke frekuensi rendah.
6. Setelah pengujian selesai, matikan alat LCR-meter dengan menekan tombol power dan melepas kabel test dari alat LCR-meter.

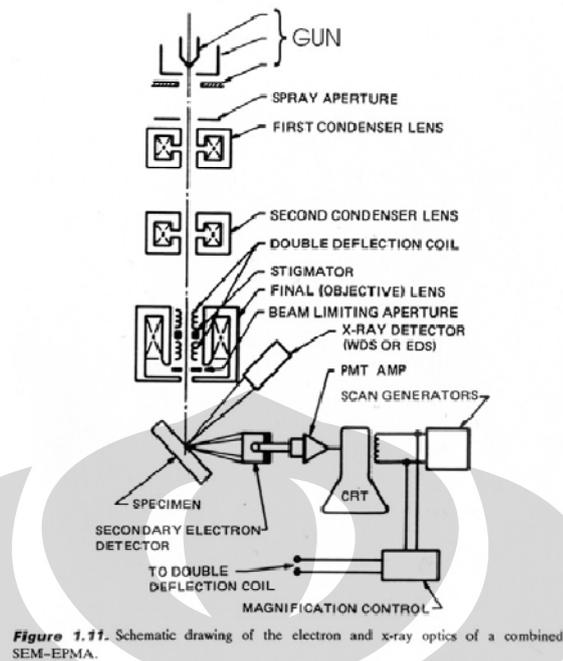


**Gambar 3.8** Tempat penyimpan cuplikan

#### **3.4.11 Pengamatan *Scanning Electron Microscopy (SEM)***

Pengamatan morfologi pada permukaan sampel dilakukan dengan menggunakan SEM. Sebelum dilakukan pengujian SEM, sampel terlebih dahulu dilapisi dengan emas (Au) agar bersifat konduktif sehingga dapat menghantarkan elektron. Tujuan pengamatan adalah untuk mengetahui distribusi bahan pengisi pada matrik, daya pembasahan matrik terhadap serat karbon, dan morfologi perpatahan sampel. Bagian yang diamati adalah pada permukaan perpatahan sampel uji tekuk.

Selain itu sampel juga diuji kandungan unsur-unsur yang terdapat di dalam sampel tersebut dengan menggunakan EDS. Dengan menggunakan EDS ini kita akan mengetahui kandungan apa saja yang terdapat di dalam komposit tersebut.



**Gambar 3.9** Diagram skematis alat SEM <sup>[7]</sup>

Prosedur pengujian SEM adalah :

1. Potong sampel dan letakkan di dalam tempat sampel uji SEM
2. Sampel dilapisi dengan emas dengan kondisi vakum
3. Setelah dilapisi, sampel diletakkan ke dalam *chamber* mesin SEM kemudian divakum.
4. Setelah divakum, elektron dinyalakan.
5. Selanjutnya dilakukan pengambilan gambar terhadap bagian-bagian yang diinginkan
6. Pengambilan gambar dilakukan pada beberapa titik untuk melihat kondisi permukaan secara umum.
7. Langkah tersebut diulangi untuk setiap sampel.

## BAB 4 HASIL PENELITIAN

### 4.1 Hasil Proses *Hot Blending*

Komposit hasil *hot blending* mempunyai bentuk seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.1 di bawah ini :



Gambar 4.1 Komposit Hasil *Hot Blending*

Hasil dari proses *hot blending* ini disebut dengan istilah “*Master Batch*”. Dari hasil pengamatan yang dilakukan secara visual, ternyata *master batch* yang dihasilkan dari ketiga formula memiliki bentuk yang sama yaitu gumpalan padat tidak rata dan berwarna hitam pekat. Gumpalan padat ini terbentuk dari penggabungan antara lelehan polimer dengan karbon dan tembaga. Hal ini disebabkan karena bahan polimer (PP dan PP-g-MA) yang digunakan meleleh pada saat proses *rheomix* dilakukan, karena mesin *rheomix* beroperasi pada temperatur 180 °C dan  $T_m$  polimer sekitar 180 °C.

Selain itu karena mesin *rheomix* yang memiliki cara kerja melelehkan polimer dan mencampur bahan di mesin dengan menggunakan gaya putar oleh *screw* yang terbuat dari *stainless steel*, maka lelehan polimer juga akan didistribusikan merata disemua bagian pada saat proses *rheomix* berlangsung.

Namun, pada proses pencampuran ada sebagian sampel yang menempel pada *screw* mesin *rheomix* dan menyebabkan agak kesulitan dalam proses pembersihan mesinnya. Sampel yang menempel pada *screw* ini berasal dari adanya sebagian lelehan polimer yang menempel pada *screw* tersebut.

#### 4.2 Hasil Proses *Crushing*

Setelah menghasilkan *master batch*, maka sampel selanjutnya dilakukan proses *crushing* dengan tujuan untuk menghasilkan pellet komposit PP/C-Cu yang kemudian akan dilanjutkan dengan proses *hot press* untuk mendapatkan lempengan sampel yang akan dilakukan karakterisasi. Bentuk pellet yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 4.2 ini dibawah ini:



Gambar 4.2 Pellet hasil proses *crushing*

Hasil pengamatan yang dilakukan secara visual terhadap *pellet* komposit, terlihat bahwa pellet komposit berbentuk serpihan-serpihan kasar yang memiliki ukuran berbeda-beda. Dari ketiga formula yang digunakan yaitu F1, F2 dan F3, ternyata pellet komposit yang di hasilkan hampir memiliki bentuk dan warna yang hampir sama. Hal ini disebabkan karena *master batch* dari ketiga formula tersebut memiliki perbandingan antara matrik dan polimer yang hampir sama yaitu 80:20.

#### 4.3 Hasil Proses *Hot Press*

Setelah proses *crushing*, maka pellet selanjutnya dilakukan proses *hot press* untuk mendapatkan sampel yang kemudian akan dilakukan karakterisasi terhadap sifat-sifatnya seperti kekuatan tarik, kekuatan tekuk, konduktivitas, kerapatan massa dan SEM. Hasil dari proses *hot press* ini berbentuk lempengan persegi empat dengan panjang sisi adalah 15 cm dan ketebalan 3-4 mm. Untuk masing-masing formula yang digunakan dilakukan proses *hot press* sebanyak 2 kali. Gambar 4.3 menunjukkan lempengan komposit PP/C-Cu hasil proses *hot press*



**Gambar 4.3** Sampel Hasil *Hot Press*

Dari hasil pengamatan secara visual terhadap lempengan hasil *hot press*, ternyata bagian tepi dari ketiga sampel tidak rata dan bentuk serpihan-serpihan pellet masih tampak jelas pada lempengan sampel seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.4 dibawah ini



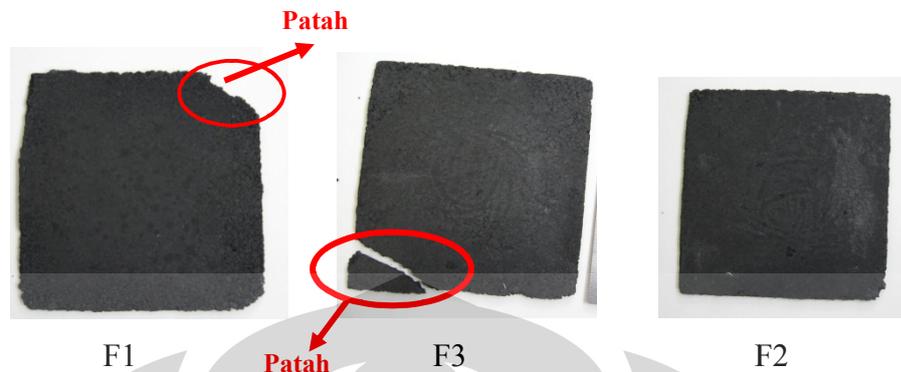
**Gambar 4.4** Bagian tepi lempengan yang tidak rata

Bagian tepi yang tidak rata ini menunjukkan bahwa pellet pada bagian tepi tidak bergabung secara sempurna. Hal ini disebabkan karena kurangnya pellet yang berada di bagian tepi cetakan yang menyebabkan ketika *pellet* di lakukan proses *hot press*, pellet tidak memadat dengan sempurna dibagian tepi. Selain kurangnya pellet pada bagian tepi, tidak rataanya bagian tepi juga bisa disebabkan oleh rendahnya tekanan yang diberikan saat proses *hot press*.

Untuk sampel F1 dan F3 pada sampel hasil *hot press* mengalami patah pada bagian siku tepinya, sedangkan untuk sampel F2 tidak ada yang patah seperti tampak pada Gambar 4.5.

Penyebab patahnya bagian siku tepi sampel F1 dan F3 adalah karena pada saat pelepasan sampel dari cetakan terlalu ditekan dengan sangat kuat. Karena

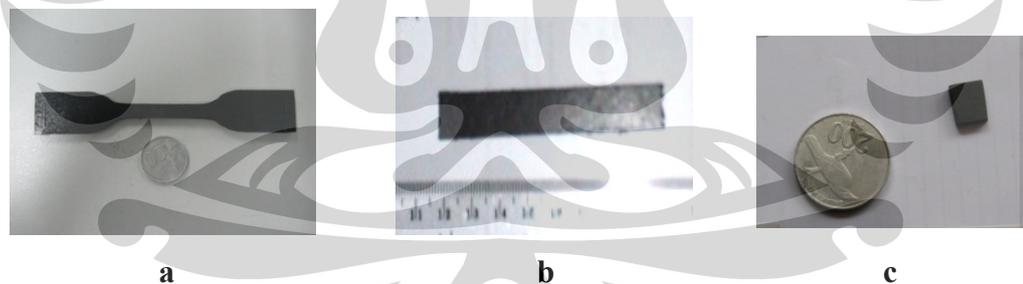
sampel terlalu menempel pada cetakan, jadi ketika sampel ditekan dengan kuat ada bagian yang menempel pada cetakan, maka bagian tersebut menjadi patah.



Gambar 4.5 Patahan sampel bagian siku F1 dan F3

#### 4.4 Hasil Pembuatan Spesimen Uji

Hasil pembuatan spesimen uji seperti tampak pada Gambar 4.6. Untuk spesimen uji tarik berbentuk *dog-bone* tipe IV sesuai standar ASTM D 638. Sedangkan spesimen uji tekuk berbentuk balok sesuai standar ASTM D 790. Untuk sampel uji konduktivitas berbentuk balok.



Gambar 4.6 Spesimen uji tarik (a). Uji tarik, (b). Uji Tekuk, (c). Uji konduktivitas

#### 4.5 Hasil Pengujian Kerapatan Massa (*Densitas*)

Mendapatkan pelat bipolar dengan memiliki nilai kerapatan massa yang kecil merupakan hal yang diinginkan dalam penelitian ini. Hal ini disebabkan karena untuk membuat pelat bipolar harus memiliki nilai kerapatan massa  $< 2 \text{ gr/cm}^3$ . Hasil pengujian kerapatan massa komposit PP/C-Cu dapat dilihat pada Tabel 4.1. Dari tabel pengujian kerapatan massa dapat diketahui sampel yang memiliki nilai kerapatan massa terkecil ialah F1 dengan nilai  $0,87 \text{ gr/cm}^3$ ,

sedangkan nilai kerapatan massa terbesar adalah F3 dengan nilai  $1,1 \text{ gr/cm}^3$ . Nilai densitas ini didapat dengan menggunakan persamaan 3.1.

**Tabel 4.1** Hasil pengujian kerapatan massa

No sampel	F1 ( $\text{gr/cm}^3$ )	F2 ( $\text{gr/cm}^3$ )	F3 ( $\text{gr/cm}^3$ )
1	0,87	0,98	1,02
2	0,93	1,05	1,25
3	0,81	0,98	1,03
<b>Rata-rata</b>	<b>0,87</b>	<b>1,01</b>	<b>1,10</b>

#### 4.6 Hasil Pengujian Porositas

Pengujian porositas ini digunakan untuk mengetahui seberapa banyak ruang-ruang kosong yang terdapat didalam komposit. Hal ini dilakukan karena jumlah porositas yang terdapat di dalam komposit akan sangat berpengaruh terhadap sifat mekanik dan konduktivitas yang dihasilkan. Adanya porositas didalam komposit ini disebabkan karena sepanjang tahapan proses terdapat kemungkinan adanya udara yang terjebak diantara partikel serbuk, seperti misalnya saat penimbangan serbuk, pencampuran serbuk dll. Tabel 4.2 menunjukkan hasil dari pengujian porositas. Pengujian porositas ini didapat dari persamaan 3.2.

**Tabel 4.2** Hasil pengujian porositas

No sampel	F1 (%)	F2 (%)	F3 (%)
1	46,63	42,08	42,40
2	42,69	38,07	29,87
3	50,08	42,20	42,03
<b>Rata-rata</b>	<b>46,47</b>	<b>40,78</b>	<b>38,10</b>

#### 4.7 Hasil Pengujian Tarik

Pengujian tarik yang dilakukan terhadap sampel komposit PP/C-Cu ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar kekuatan komposit dapat menerima beban minimal hingga mengalami deformasi plastis. Untuk setiap formula dilakukan pengujian sebanyak 4 sampel. Data yang diperoleh dari pengujian tarik

adalah kurva tegangan-regangan, dimana dari kurva tersebut dapat dihitung nilai kekuatan tarik, *elongasi*, dan *modulus tarik*. Tabel 4.3 menunjukkan data hasil uji tarik dari ketiga formula yang digunakan :

**Tabel 4.3** Hasil uji tarik sampel F1

No sampel	Kekuatan Tarik (MPa)	Modulus Elastisitas (GPa)	Elongation (%)
1	7,50	1,52	0,69
2	6,63	1,70	0,48
3	9,37	1,57	0,70
4	5,94	1,61	0,67
<b>Rata-rata</b>	<b>7,36</b>	<b>1,60</b>	<b>0,64</b>

**Tabel 4.4** Hasil uji tarik sampel F2

No sampel	Kekuatan Tarik (MPa)	Modulus Elastisitas (GPa)	Elongation (%)
1	6,71	1,69	0,56
2	5,96	1,49	0,73
3	10,98	1,72	0,79
4	8,85	1,64	0,62
<b>Rata-rata</b>	<b>8,13</b>	<b>1,63</b>	<b>0,67</b>

**Tabel 4.5** Hasil uji tarik sampel F3

No sampel	Kekuatan Tarik (MPa)	Modulus Elastisitas (GPa)	Elongation (%)
1	7,25	1,71	0,63
2	7,96	1,80	0,94
3	8,22	1,65	0,60
4	10,75	1,84	0,70
<b>Rata-rata</b>	<b>8,54</b>	<b>1,75</b>	<b>0,71</b>

#### 4.8 Hasil Pengujian Tekuk

Tujuan pengujian tekuk adalah untuk mengetahui kekuatan komposit tersebut terhadap beban tekuk. Untuk setiap formula dilakukan pengujian sebanyak 4 kali. Berikut merupakan data hasil uji tekuk dari ketiga formula yang digunakan.

**Tabel 4.6** Hasil uji tekuk sampel F1

No sampel	Kekuatan Tekuk (MPa)	Modulus Tekuk (GPa)
1	18,78	4,33
2	13,83	3,48
3	13,93	4,08
4	13,50	3,31
<b>Rata-rata</b>	<b>15,01</b>	<b>3,799</b>

**Tabel 4.7** Hasil uji tekuk sampel F2

No sampel	Kekuatan Tekuk (MPa)	Modulus Tekuk (GPa)
1	16,79	4,02
2	17,34	5,85
3	12,49	4,29
4	16,93	5,45
<b>Rata-rata</b>	<b>15,89</b>	<b>4,90</b>

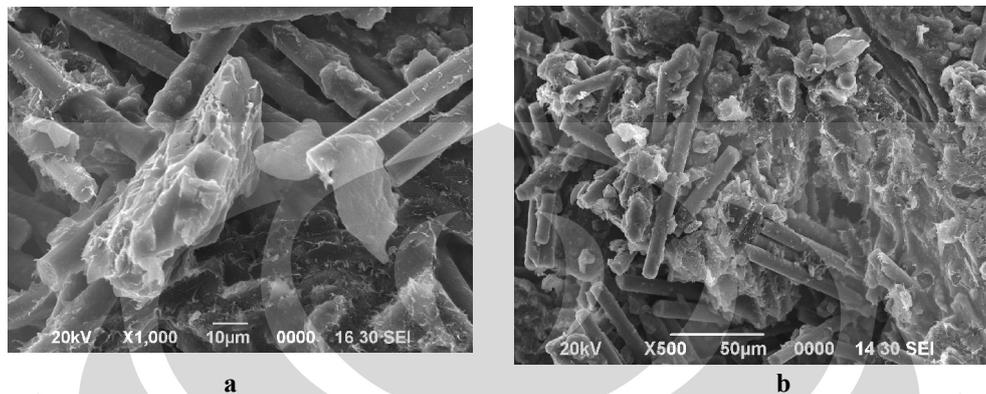
**Tabel 4.8** Hasil uji tekuk sampel F3

No sampel	Kekuatan Tarik (MPa)	Modulus Elastisitas (GPa)
1	17,32	5,89
2	21,57	5,35
3	14,77	5,33
4	15,04	3,83
<b>Rata-rata</b>	<b>17,18</b>	<b>5,10</b>

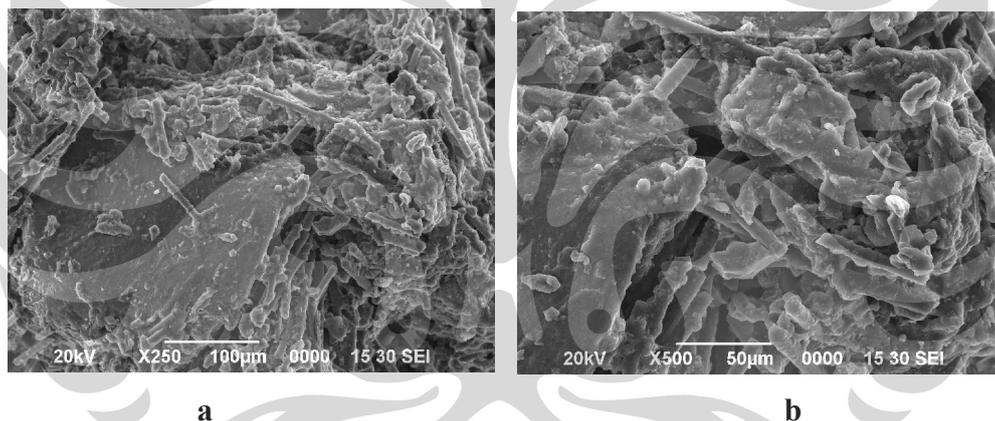
#### 4.9 Hasil Uji SEM

Pengujian SEM digunakan untuk mengetahui bentuk morfologi dari hasil perpecahan dari spesimen uji tekuk dan melihat ikatan antar muka dari bahan-

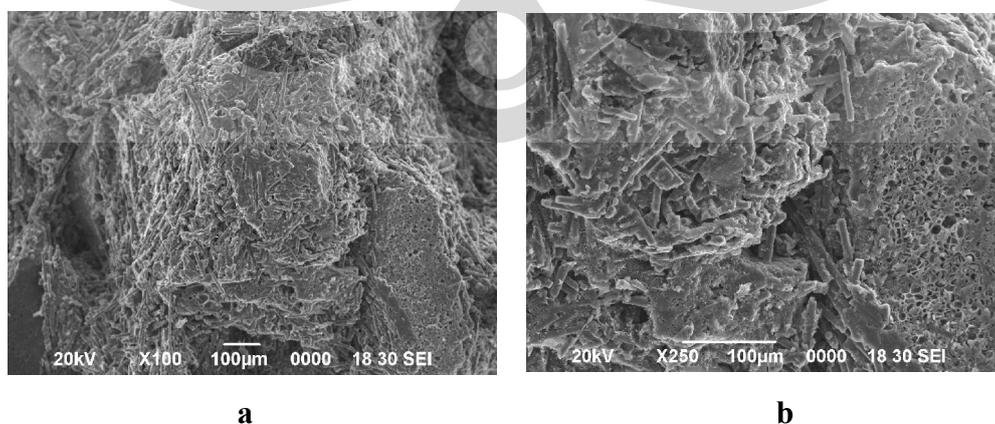
bahan yang digunakan dan porositasnya. Selain itu dari gambar hasil pengujian SEM juga akan menunjukkan apakah bahan-bahan yang digunakan benar-benar tercampur merata diseluruh bagian komposit dalam skala mikroskopis. Berikut merupakan gambar-gambar sampel hasil dari uji SEM.



**Gambar 4.7** Mikrostruktur sampel F1 perbesaran (a) 1000 X, (b) 500 X



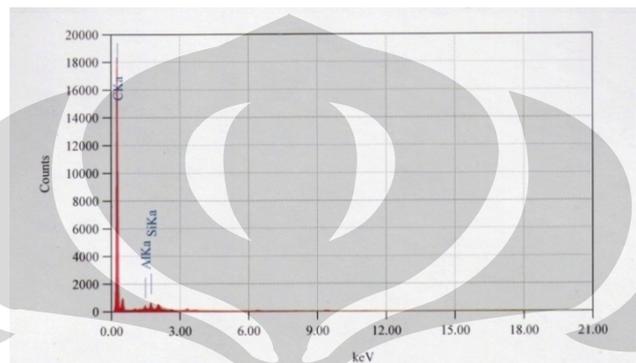
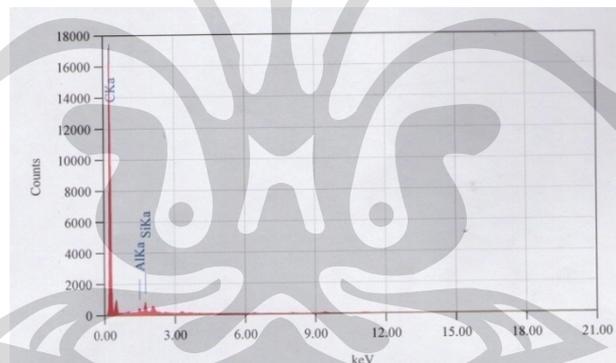
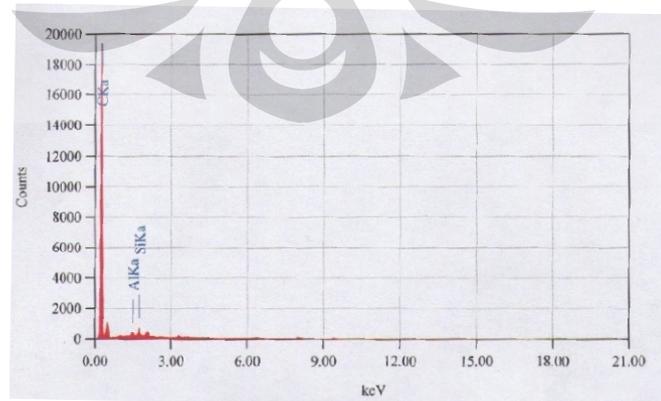
**Gambar 4.8** Mikrostruktur sampel F2 perbesaran (a). 250 X, (b). 500 X



**Gambar 4.9** Mikrostruktur sampel F3 perbesaran (a). 100 X, (b). 250 X

#### 4.10 Hasil Pengujian EDS

Pengujian EDS bertujuan untuk mengetahui unsur-unsur apa saja yang terdapat pada sampel. Analisa unsur-unsur ini hanya dapat dilakukan pada permukaan sampel yang di tembak saja. Data yang dihasilkan dari pengujian EDS adalah berupa data semi kuantitatif. Berikut merupakan grafik hasil pengujian EDS.

**F1****F2****F3****Gambar 4.10** Grafik hasil uji EDS

#### 4.11 Hasil Pengujian Konduktivitas

Pengujian konduktivitas dilakukan untuk melihat kemampuan material komposit dalam menghantarkan listrik. Penyebab dilakukan pengujian konduktivitas pada komposit PP/C-Cu ini adalah karena fungsi pelat bipolar yaitu harus mampu untuk menghantarkan listrik dan nilai minimal konduktivitas yang diperlukan adalah 100 S/cm. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan variasi frekuensi dari 0,01 – 100000 Hz. Tabel 4.9 menunjukkan hasil dari pengujian konduktivitas dari ketiga formula yang digunakan.

Tabel 4.9 Hasil pengujian konduktivitas

Kode sampel	Konduktivitas (S/cm)
F1	0,017
F2	0,120
F3	0,118

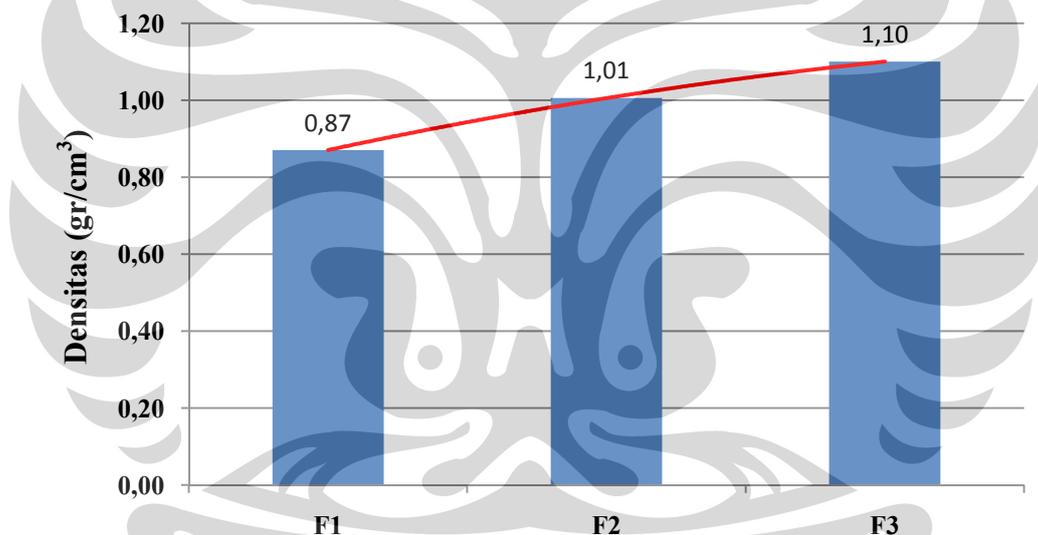
## BAB 5 PEMBAHASAN

### 5.1 Pengaruh Penambahan Cu Terhadap *Densitas* Komposit PP/C-Cu

Tabel 5.1 dan Grafik 5.1 menunjukkan nilai rata-rata hasil pengujian kerapatan massa dari setiap formula yang digunakan.

Tabel 5.1 Hasil uji kerapatan massa rata-rata

Sampel	<i>Densitas</i> (gr/cm <sup>3</sup> )
F1	0,87
F2	1,01
F3	1,10



Gambar 5.1 Grafik hasil uji kerapatan massa

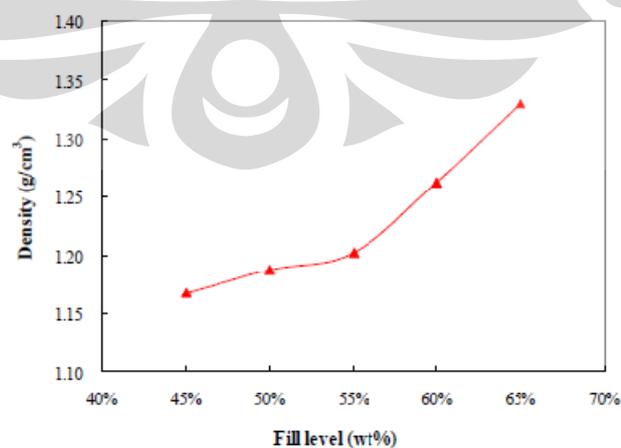
Dari gambar grafik pengujian kerapatan massa diatas dapat diketahui bahwa ada kecenderungan peningkatan nilai kerapatan massa dari sampel F1 ke F3. Nilai kerapatan massa terkecil ialah sampel F1 dengan dengan nilai 0,87 gr/cm<sup>3</sup>, sedangkan nilai kerapatan massa terbesar adalah sampel F3 dengan 1,10 gr/cm<sup>3</sup>. Hal ini menunjukkan bahwa dengan penambahan serbuk tembaga di dalam komposit PP/C-Cu akan meningkatkan nilai kerapatan massanya. Penyebab peningkatan nilai kerapatan massa pada komposit adalah karena serbuk tembaga

memiliki nilai kerapatan massa yang paling besar dibandingkan dengan bahan-bahan lainnya seperti yang terlihat pada Tabel 5.2.

**Tabel 5.2** Densitas literatur

Material	Densitas (gr/cm <sup>3</sup> )
Polypropilene	0,9
Karbon Hitam	1,7-1,9
Grafit	2-2,5
Serat Karbon	1,8
PP-g-MA	1,48
Tembaga	8,9

Dengan penambahan serbuk tembaga yang memiliki nilai kerapatan massa yang paling tinggi, maka secara otomatis nilai kerapatan massa dari komposit PP/C-Cu juga akan meningkat. Hasil ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Y. Wang yang menyatakan bahwa dengan penambahan filler yang memiliki nilai kerapatan massa yang lebih besar di bandingkan matriknya, maka nilai kerapatan massa komposit akan meningkat<sup>[2]</sup>. Didalam penelitian yang dilakukan oleh Y. Wang tersebut menunjukkan bahwa dengan bertambahnya jumlah *filler* dalam komposit nilai kerapatan massa komposit akan meningkat, seperti yang ditunjukkan pada Grafik 5.2.



**Gambar 5.2** Grafik densitas vs jumlah filler (penelitian Y. Wang)<sup>[2]</sup>

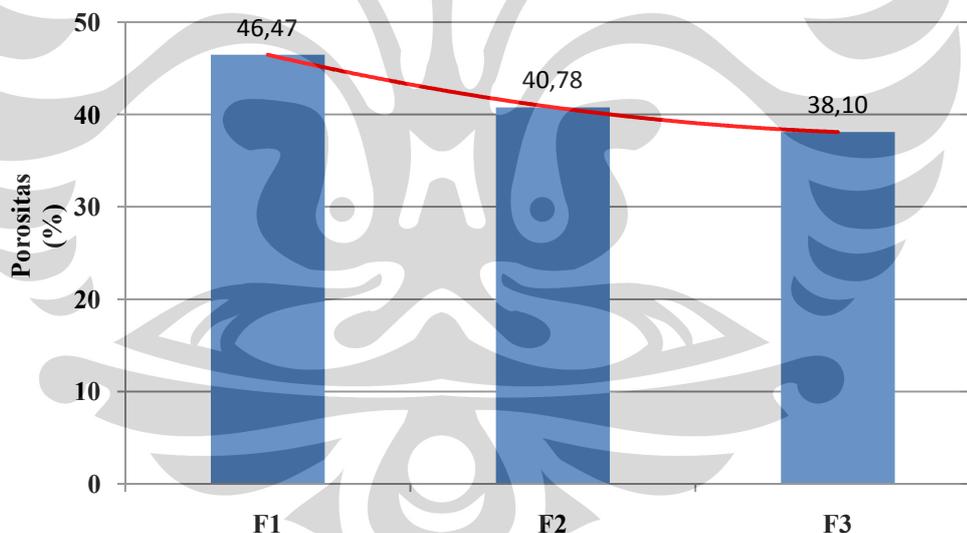
Bila dibandingkan dengan standart kerapatan massa untuk sebuah pelat bipolar yang telah ditetapkan oleh DOE yaitu  $< 2 \text{ gr/cm}^3$ , maka nilai kerapatan massa komposit PP/C-Cu ini memenuhi standart DOE karena nilai kerapatan massanya berada pada range  $0,87-1,1 \text{ gr/cm}^3$ .

## 5.2 Pengaruh Penambahan Cu Terhadap Porositas Komposit PP/C-Cu

Tabel 5.3 dan Grafik 5.3 menunjukkan hasil nilai porositas dari sampel komposisi PP/C-Cu.

Tabel 5.3 Hasil pengujian porositas rata-rata

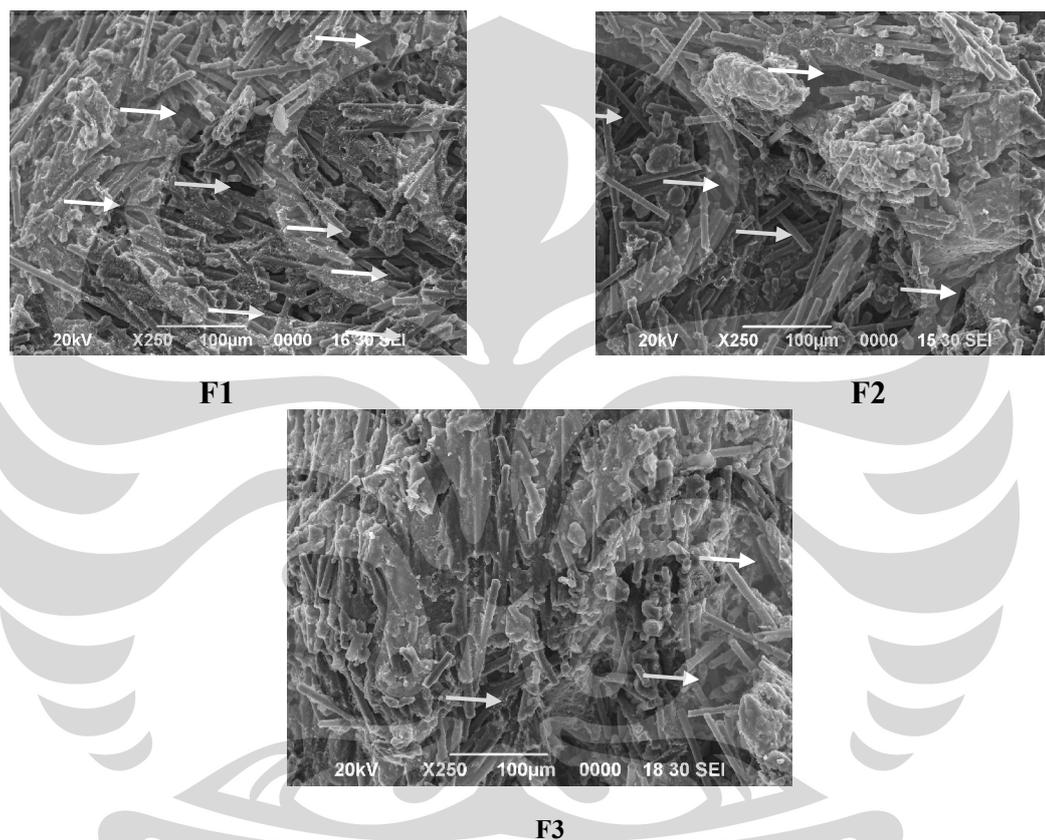
Kode Sampel	Porositas (%)
F1	46,47
F2	40,78
F3	38,10



Gambar 5.3 Grafik hasil uji porositas

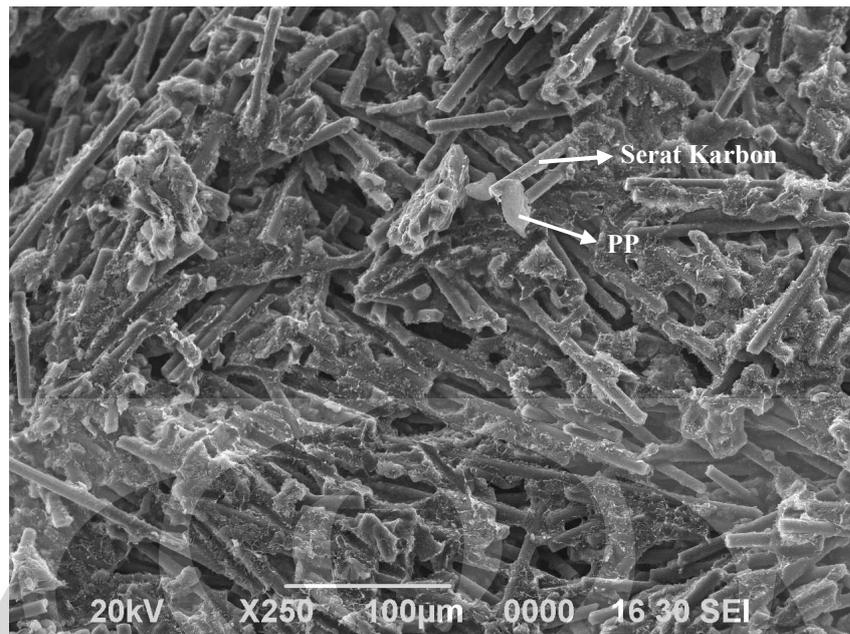
Porositas adalah adanya ruang kosong (*void*) yang terdapat di dalam sampel komposit. Dari Gambar 5.3 dapat diketahui bahwa secara umum nilai porositas komposit PP/C-Cu berkurang dari F1 ke F3. Nilai porositas terbesar dimiliki oleh sampel F1 (0,1 wt% Cu) dengan nilai 46,5 % dan yang paling kecil adalah sampel F3 (2 wt% Cu) dengan 38,1 %.

Semakin kecil nilai porositas menunjukkan semakin sedikit juga rongga-rongga mikro (*micro void*) di dalam komposit tersebut, sedangkan semakin banyak porositas berarti semakin banyak pula rongga-rongga pada komposit tersebut. Perbedaan jumlah porositas dari ketiga sampel dapat diamati dengan menggunakan SEM seperti yang terlihat pada Gambar 5.4 yang ditunjukkan dengan panah berwarna putih.



**Gambar 5.4** Mikrostruktur sampel perbesaran 250 X

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dan Gambar mikrostruktur 5.4 terlihat jelas bahwa sampel yang memiliki rongga-rongga mikro (*micro void*) yang paling banyak adalah F1, sedangkan yang paling sedikit adalah F3. Rongga-rongga mikro (*micro void*) terjadi karena tidak adanya ikatan antarmuka yang baik antara matrik dan dengan pengisinya seperti yang terlihat pada Gambar 5.5.



**Gambar 5.5** Mikrostruktur sampel F1 perbesaran 250X

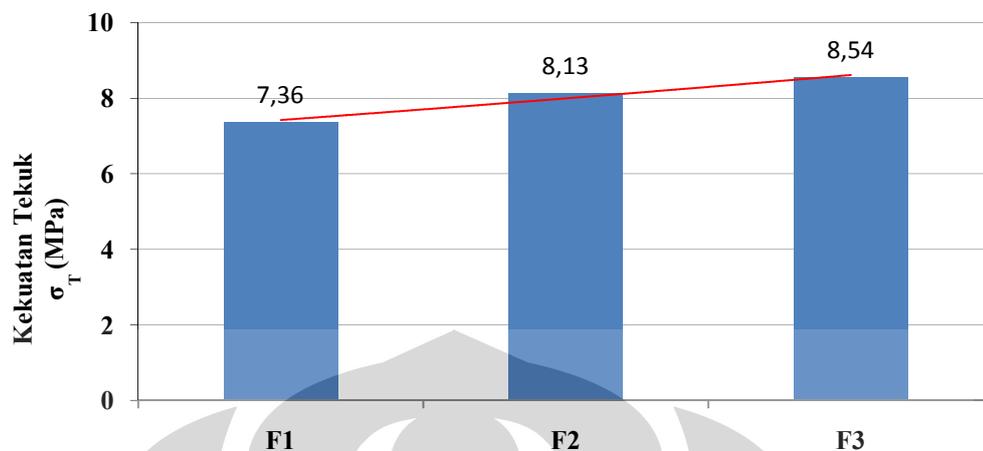
Selain itu terbentuknya rongga-rongga mikro juga disebabkan oleh adanya gas-gas yang terperangkap didalam komposit. Gas-gas yang terperangkap ini dapat terjadi saat proses *hot press* pellet komposit. Hal ini disebabkan karena pellet komposit hasil *crushing* memiliki sifat *higroskopis* yaitu menyerap uap air. Uap air yang terdapat didalam pellet ini akan menguap ketika dilakukan proses *hot press*, sehingga gelembung-gelembung gas akan terperangkap didalam komposit dan akan menjadi porositas.

### 5.3 Pengaruh Penambahan Tembaga Terhadap Nilai Uji Tarik Komposit PP/C-Cu

Hasil pengujian tarik setiap komposit dapat dilihat pada Tabel 5.4 dan grafiknya dapat dilihat di Gambar 5.6.

**Tabel 5.4** Hasil kekuatan tarik rata-rata

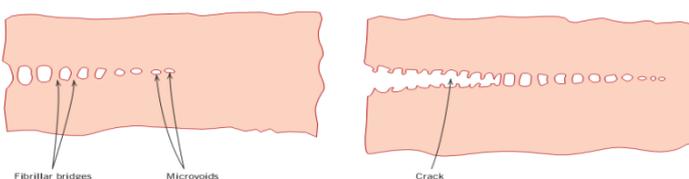
Kode Sampel	$\sigma_T$ (MPa)
F1	7,36
F2	8,13
F3	8,54



Gambar 5.6 Grafik kekuatan tarik

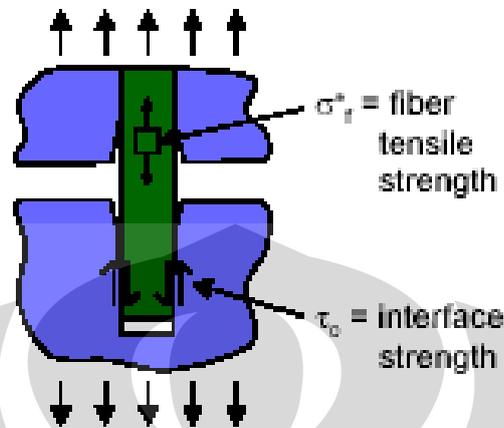
Grafik pada Gambar 5.5 di atas menunjukkan perbandingan kekuatan tarik setiap formulasi komposit. Komposit F3 menunjukkan kekuatan paling tinggi, yaitu 8,544 MPa dan sampel F1 memiliki nilai kekuatan tarik paling kecil yaitu sebesar 7,358 MPa. Hal ini disebabkan karena pada sampel F1 terdapat rongga-rongga mikro yang lebih banyak dibandingkan pada sampel F3 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.4, rongga-rongga mikro inilah yang akan menyebabkan rendahnya energi perpatahan, dan menurunkan kekuatan mekanik.

Rongga-rongga mikro tersebut dapat menjadi titik konsentrasi tegangan (*stress concentration*) dan menyebabkan komposit mudah mengalami perpatahan. Semakin banyak porositas yang terdapat didalam komposit, maka energi yang diperlukan untuk mematahkan sampel juga akan semakin kecil sehingga menyebabkan nilai kekuatan tariknya menjadi turun. Gambar 5.7 berikut ini menunjukkan gambaran skematik dari fenomena perpatahan akibat adanya porositas.



Gambar 5.7 Gambaran skematik dari *craze* yang menunjukkan rongga-rongga mikro dan jembatan *fibrillar* kemudian diikuti oleh retak (*crack*)<sup>[7]</sup>.

Ikatan antarmuka antara matrik dan pengisi juga dapat menjadi salah satu faktor penyebab besar kecilnya nilai kekuatan tarik dari komposit. Gambar 5.8 menunjukkan skematis ikatan antarmuka suatu komposit



**Gambar 5.8** Skematis ikatan antara fiber dan matrik

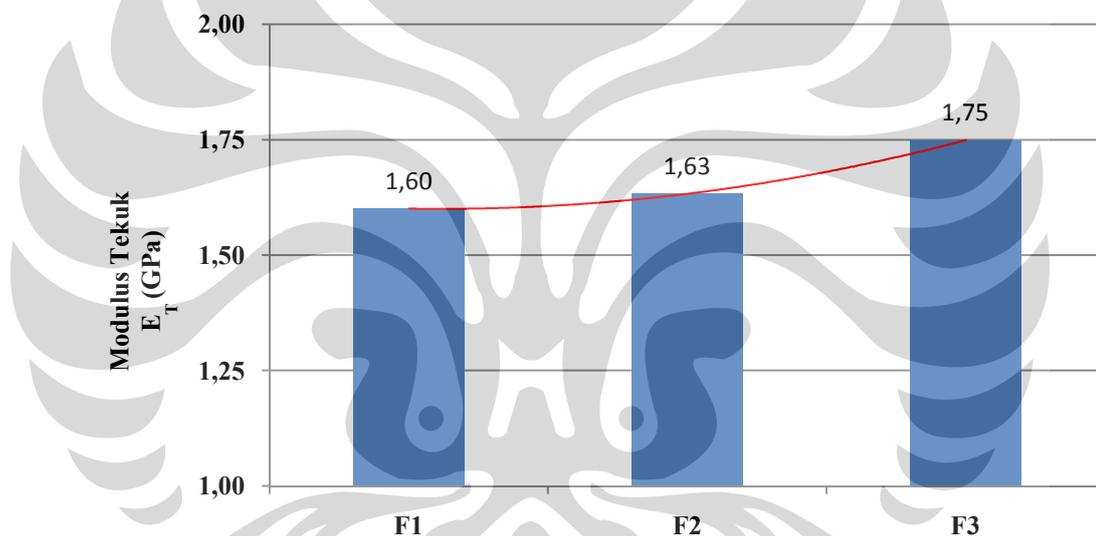
Dari Gambar 5.8 dapat diketahui bahwa semakin kuat ikatan antarmuka antara matrik dan pengisi maka kekuatan tarik antarmuka juga akan semakin tinggi dan menyebabkan kekuatan tariknya juga akan semakin meningkat. Ikatan antarmuka yang kurang baik antara matrik dan pengisi menyebabkan energi yang diperlukan untuk melepaskan antara matrik dan pengisi juga akan semakin kecil, sehingga kekuatan tariknya akan semakin turun. Dari Gambar 5.5 terlihat bahwa ikatan antarmuka antara matrik dan pengisi kurang bagus, sehingga kekuatan tariknya juga akan menurun. Hal ini dibuktikan dengan hasil pengujian tarik yang dilakukan seperti pada Tabel 5.4.

Selain itu faktor yang dapat menyebabkan semakin meningkatnya nilai kekuatan tarik dari sampel komposit F1 ke F3 adalah karena kandungan tembaga di dalam komposit yang semakin meningkat yaitu dari 0,1 wt.% ke 2 wt.%. Serbuk tembaga di dalam komposit akan meningkatkan kekuatan tarik dari komposit tersebut. Penyebab peningkatan nilai kekuatan tarik komposit adalah karena serbuk tembaga memiliki nilai kekuatan tarik yang paling besar dibandingkan dengan bahan-bahan lainnya yaitu sebesar 220 MPa. Dari hasil pengujian kekuatan tarik yang dilakukan menunjukkan bahwa dengan penambahan serbuk tembaga di dalam komposit PP/C-Cu akan meningkatkan nilai kekuatan tariknya.

Selain nilai kekuatan tarik pada pengujian tarik ini didapatkan juga nilai modulus tariknya. Modulus tarik merupakan perbandingan antara stress dan strain dari hasil pengujian tarik. Tabel 5.5 menunjukkan nilai modulus tarik dari komposit PP/C-Cu.

**Tabel 5.5** Nilai modulus tarik sampel komposit rata-rata

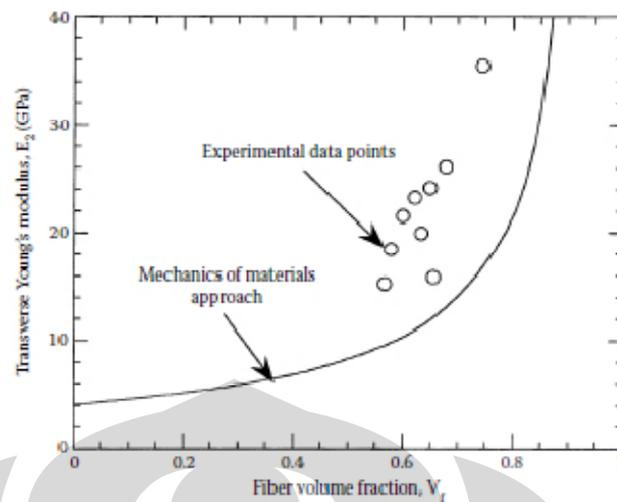
Kode sampel	$E_T$ (GPa)
F1	1,60
F2	1,63
F3	1,75



**Gambar 5.9** Grafik modulus tarik sampel komposit

Dari grafik diatas dapat diketahui bahwa nilai modulus tarik meningkat seiring dengan penambahan tembaga di dalam komposit. Nilai modulus tarik yang paling kecil adalah sampel F1 dengan nilai modulus tekuk 1,601 GPa dan yang paling besar adalah sampel F3 dengan modulus tarik 1,749 GPa. Hal ini sesuai dengan hukum pencampuran komposit dimana nilai kekuatan mekanik komposit merupakan gabungan antara nilai kekuatan mekanik matrik dan pengisinya.

$$\frac{1}{E_2} = \frac{V_f}{E_f} + \frac{V_m}{E_m} \quad (5.1)$$

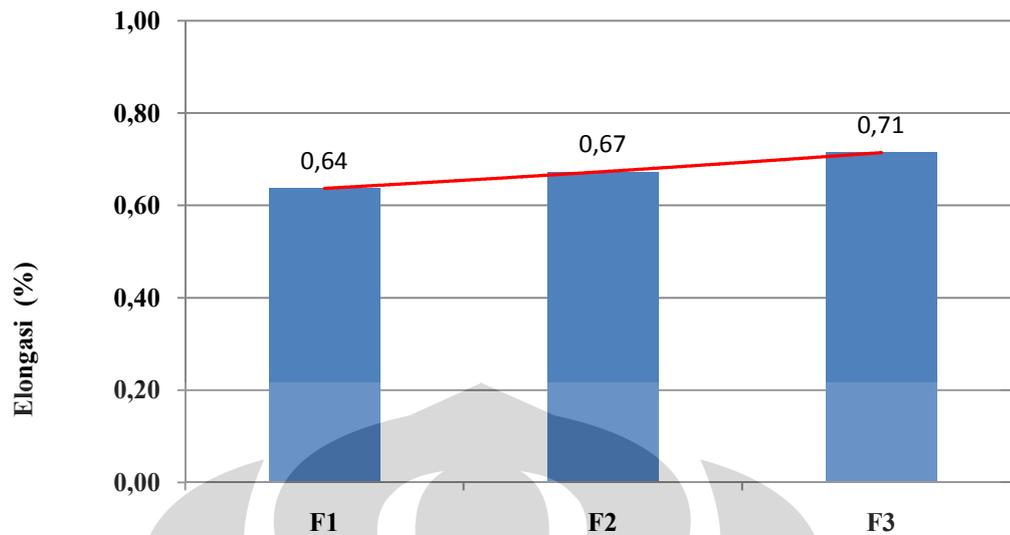


**Gambar 5.10** Grafik volume filler vs modulus young (literature) <sup>[21]</sup>

Ikatan antara matrik dan *fiber* juga mempunyai pengaruh terhadap nilai modulus dari sampel komposit. Dengan semakin rapatnya matrik dan fiber, maka fiber akan dapat menyerap energi pembebanan dengan baik, sehingga ketika diberi pembebanan diperlukan energi lebih banyak untuk memulai terjadinya retak pada komposit. Dengan semakin rapat ikatan antara matrik dan fiber, komposit tersebut juga akan semakin ulet dengan kata lain nilai elongasinya akan semakin meningkat. Hal ini terbukti dengan hasil penelitian yang dilakukan dimana semakin rapat komposit yang dihasilkan (semakin sedikit porositas), maka nilai elongasinya juga akan semakin meningkat seperti terlihat pada Tabel 5.6. Berikut merupakan nilai elongasi dari hasil penelitian

**Tabel 5.6** Nilai elongasi sampel komposit rata-rata

Kode sampel	Elongasi (%)
<b>F1</b>	<b>0,64</b>
<b>F2</b>	<b>0,67</b>
<b>F3</b>	<b>0,71</b>



**Gambar 5.11** Grafik nilai elongasi sampel komposit

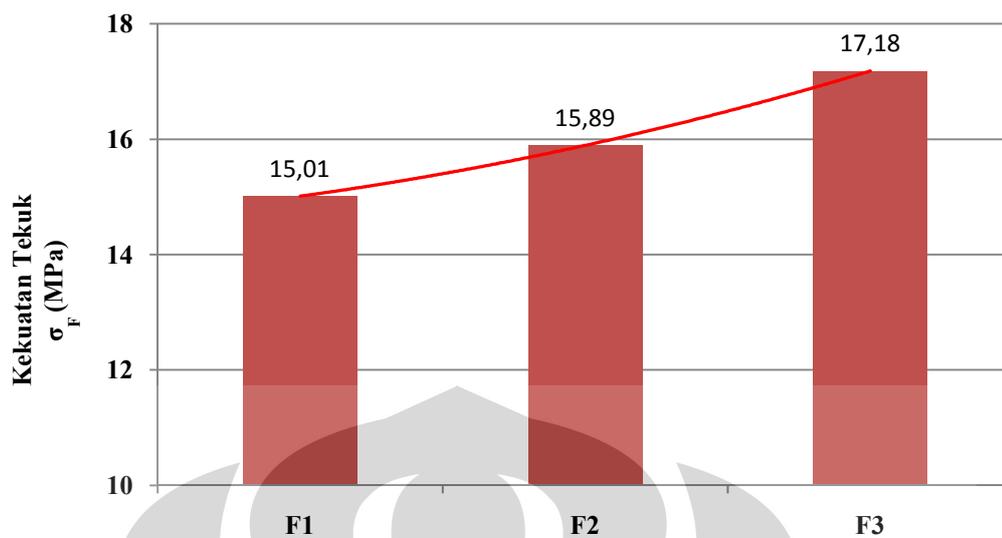
Dari grafik diatas diketahui bahwa dengan peningkatan kadar tembaga di dalam komposit nilai elongasi semakin meningkat. Nilai elongasi terkecil dimiliki oleh F1 dengan 0,64 % dan yang paling besar adalah F3 dengan 0,71 %. Hal ini menunjukkan juga bahwa tembaga selain memberikan nilai kekuatan tarik dan modulus tarik juga meningkatkan *ductilitynya*.

#### 5.4 Pengaruh Penambahan Tembaga Terhadap Nilai Uji Tekuk Komposit PP/C-Cu

Data hasil pengujian tekuk untuk seluruh sampel disajikan dalam Tabel 5.7 dan digambarkan dalam bentuk grafik pada Gambar 5.12.

**Tabel 5.7** Nilai kekuatan tekuk sampel komposit

Kode sampel	$\sigma_F$ (MPa)
F1	15,01
F2	15,89
F3	17,18



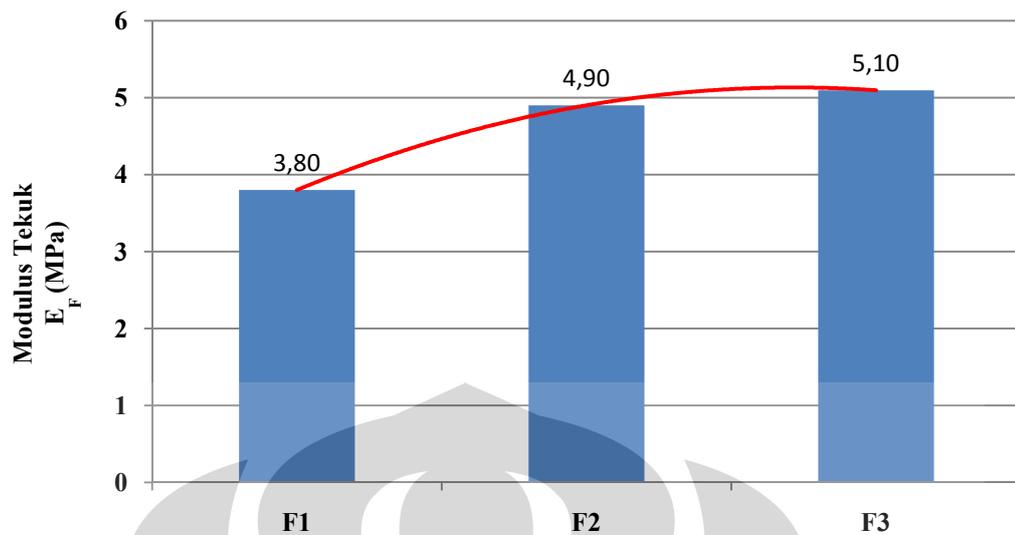
**Gambar 5.12** Grafik nilai kekuatan tekuk komposit

Grafik pada Gambar 5.5 di atas menunjukkan perbandingan kekuatan tekuk setiap formulasi komposit. Komposit F3 menunjukkan kekuatan paling tinggi, yaitu 17,18 MPa dan sampel F1 memiliki nilai kekuatan tekuk paling kecil yaitu sebesar 15,01 MPa. Hal ini disebabkan karena pada sampel F1 terdapat rongga-rongga mikro yang lebih banyak dibandingkan pada sampel F3 seperti telah di jelaskan pada sub- bab 5.3 diatas.

Selain nilai kekuatan tekuk pada pengujian tekuk juga akan didapatkan nilai modulus tekuk dari sampel komposit tersebut. Tabel 5.8 dan Gambar grafik 5.13 menunjukkan nilai modulus tekuk sampel komposit PP/C-Cu hasil dari penelitian.

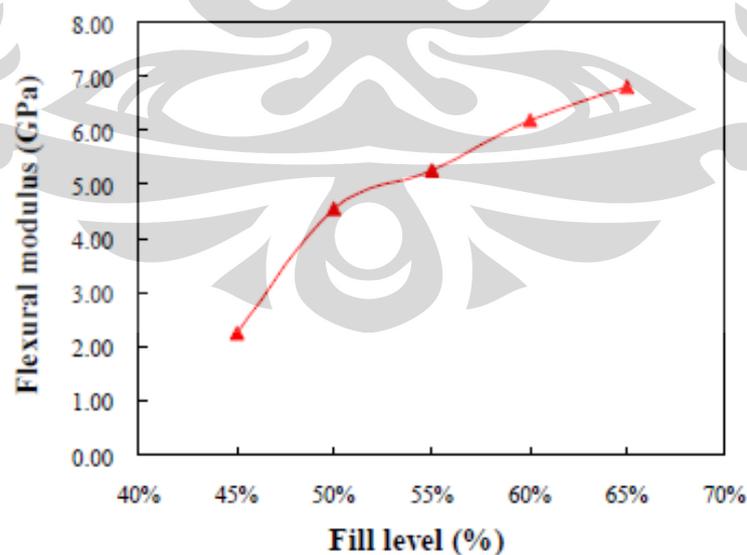
**Tabel 5.8** Nilai modulus tekuk sampel komposit

Kode sampel	$E_F$ (GPa)
<b>F1</b>	<b>3,80</b>
<b>F2</b>	<b>4,90</b>
<b>F3</b>	<b>5,10</b>



**Gambar 5.13** Grafik nilai modulus tekuk sampel komposit

Dari gambar diatas dapat diketahui bahwa dengan peningkatan tembaga secara umum akan meningkatkan nilai modulus tekuk dari komposit PP/C-Cu. Hasil ini sama dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Y. Wang. Di dalam penelitiannya tersebut di dapatkan hasil bahwa dengan penambahan jumlah filler didalam komposit, maka nilai modulus tekuknya akan meningkat. Gambar 5.14 menunjukkan hasil penelitian oleh Y. Wang.

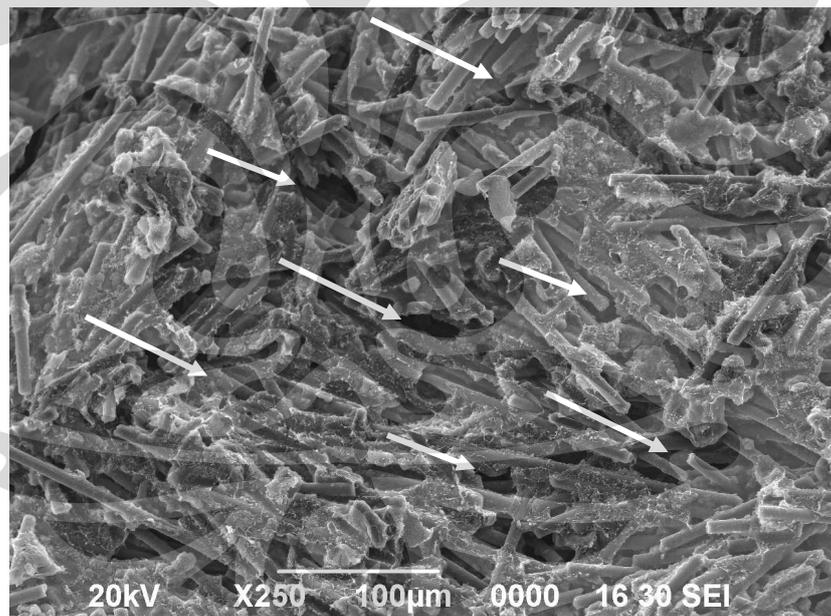


**Gambar 5.14** Grafik perbandingan jumlah filler dengan nilai modulus tekuk hasil penelitian Y. Wang <sup>[2]</sup>.

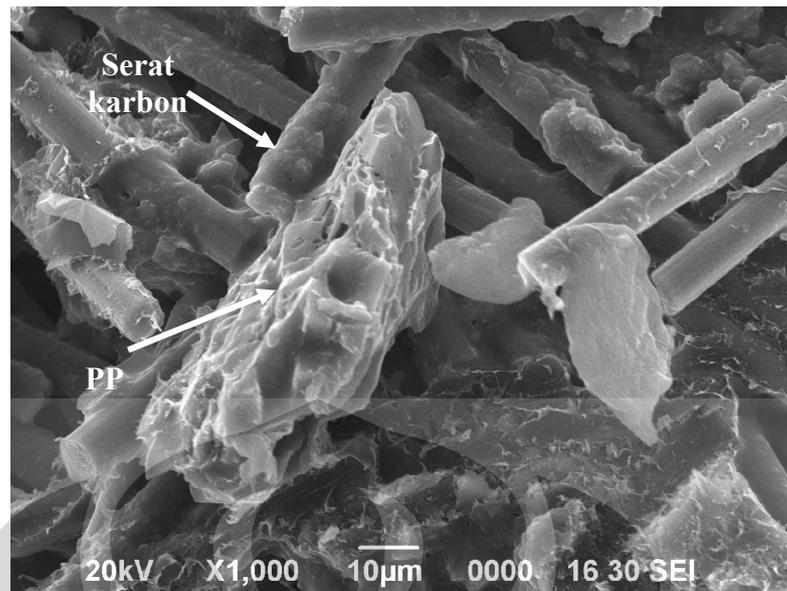
### 5.5 Analisa Permukaan Patahan Komposit PP/C-Cu

Dari pengamatan mikrostruktur yang dilakukan dengan menggunakan *scanning electron microscop* (SEM) ternyata pada sampel komposit PP/C-Cu banyak terdapat rongga-rongga mikro (*micro void*) yang seperti ditunjukkan pada Gambar 5.15.

Panah-panah putih pada Gambar 5.15 menunjukkan daerah yang terdapat rongga-rongga mikro. Penyebab adanya *micro void* ini adalah karena bahan PP-g-MA yang berfungsi sebagai *coupling agent* antara matrik dan fiber tidak dapat melakukan fungsinya dengan baik, hal ini ditunjukkan dengan kurang bagus ikatan antara matrik dan fiber. Karena PP-g-MA tidak dapat berfungsi dengan baik, maka pembasahan antara matrik dengan *filler* pada komposit menjadi buruk. Hal ini tampak pada Gambar 5.16. Selain itu rongga-rongga mikro ini terbentuk juga disebabkan karena adanya gas-gas yang terperangkap didalam komposit.



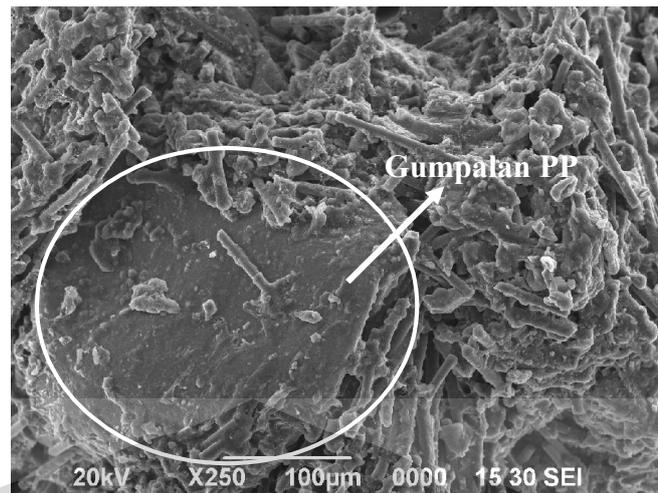
**Gambar 5.15.** Mikrostruktur sampel F1 perbesaran 250 X



**Gambar 5.16** Permukaan patahan spesimen uji tarik F1 dengan perbesaran 1000X. Serat karbon terorientasi secara acak dan matrik PP/PP-g-MA tidak membasahi serat karbon secara merata, hanya sedikit serat karbon yang terselimuti matrik.

Pada Gambar 5.16 terlihat bahwa ikatan antarmuka antara serat karbon dan matrik PP kurang bagus, sehingga ketika diamati mikrostrukturnya dengan menggunakan SEM terlihat jelas ada beberapa serat karbon yang tidak terselimuti oleh matrik PP/PP-g-MA. Tidak adanya serat karbon yang terselimuti oleh matrik ini menunjukkan lemahnya daya *wettability* dari matrik tersebut. Hasil ini juga dibuktikan dengan hasil pengujian tekuk dan tarik yang memiliki nilai sangat rendah. Selain itu dari gambar hasil SEM juga terlihat adanya bahan-bahan yang mengelompok tersendiri seperti yang tampak pada Gambar 5.17 dibawah ini.

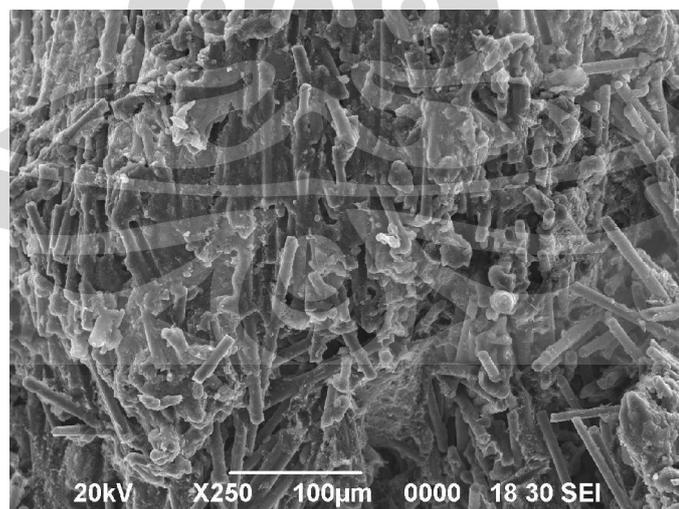
Gambar 5.17 memperlihatkan morfologi penyebaran bahan *Polypropylene* (PP) yang tidak merata, membentuk gumpalan/kumpulan di lokasi tertentu. Penyebab adanya gumpalan-gumpalan PP ini adalah karena proses pendistribusian bahan yang tidak merata di sampel, sehingga membentuk kumpulan-kumpulan bahan-bahan ditempat tertentu. Ketidak meratanya pendistribusian bahan-bahan didalam komposit disebabkan pada saat proses *compounding* maupun *hot blending* yang kurang bagus. Selain itu penyebab lainnya adalah kurang berfungsinya PP-g-MA di dalam komposit tersebut sehingga dapat menyebabkan gumpalan ini terbentuk seperti yang telah di jelaskan pada sub-bab 5.2.



**Gambar 5.17** Mikrostruktur sampel F2 perbesar 250 X. Bahan *polypropilene* (PP) membentuk kelompok tersendiri

Hal ini juga didukung dari hasil pengujian EDS yang dilakukan seperti tampak pada Gambar 4.10, dimana pada bagian yang ditembak tidak ada unsur Cu yang terlihat. Selain itu dari Gambar 5.16 terlihat juga bahwa pembasahan antara PP dan karbon kurang baik.

Dari pengamatan mikrostruktur ini juga dapat diketahui bahwasannya sampel komposit ini bersifat getas seperti yang terlihat pada Gambar 5.18.



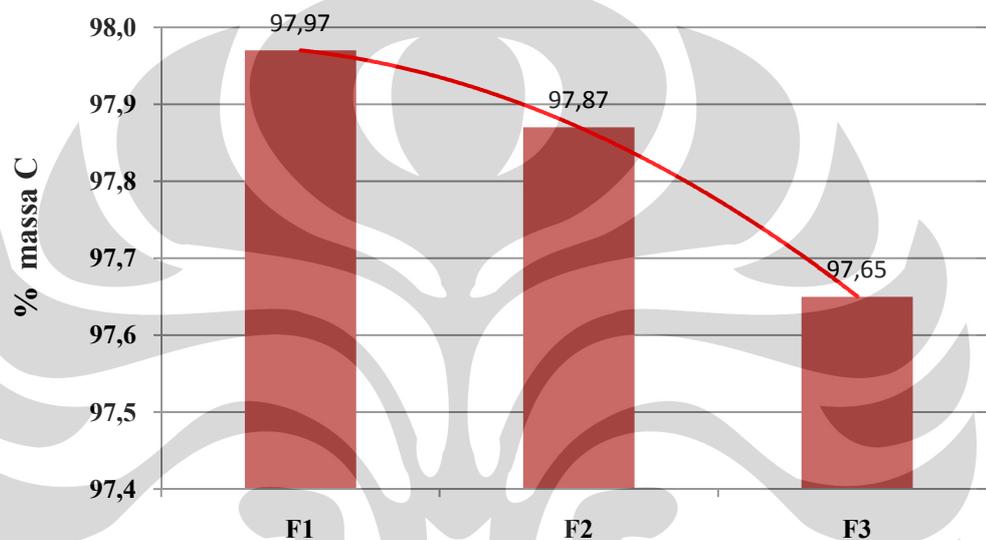
**Gambar 5.18** Permukaan patahan tekuk sampel F3 perbesar 250 X

Dari Gambar 5.18 terlihat bahwa permukaan patahan uji tekuk dari sampel F3 adalah datar. Ini menunjukkan bahwa patahan yang terjadi adalah perpatahan

getas. Hal ini diperkuat juga dari data hasil penelitian nilai elongasi seperti yang terlihat pada Tabel 5.6. Hasil pengujian tekuk menunjukkan bahwa sampel komposit sangat getas dengan nilai elongasi  $< 1\%$ .

### 5.6 Analisa Hasil Uji EDS Komposit PP/C-CU

Berikut merupakan grafik presentasi massa C terhadap formula yang digunakan hasil pengujian EDS.



Gambar 5.19 Grafik perbandingan wt.% C sampel komposit

Dari gambar grafik perbandingan antara % massa C dari ketiga formula yang digunakan, ternyata formula F1 memiliki % massa yang paling tinggi yaitu 97,97 % kemudian F2 dengan 97,87 % dan yang paling rendah adalah F3 yaitu dengan 97,65 %. Unsur C sangat mendominasi di dalam formula yang digunakan, hal ini sesuai dengan komposisi bahan-bahan yang digunakan dimana bahan utama di dalam komposit PP/C-Cu yaitu karbon, PP dan PP-g-Ma memiliki unsur utama C dan memiliki presentase lebih dari 97 %.

Penurunan % massa C dari formula F1 ke F3 ini terjadi karena adanya penurunan presentasi bahan PP didalam komposit yang disebabkan karena meningkatkannya presentase Cu. Karena PP memiliki unsur utama C, maka secara otomatis ketika presentasi PP berkurang di dalam komposit pelat bipolar maka %

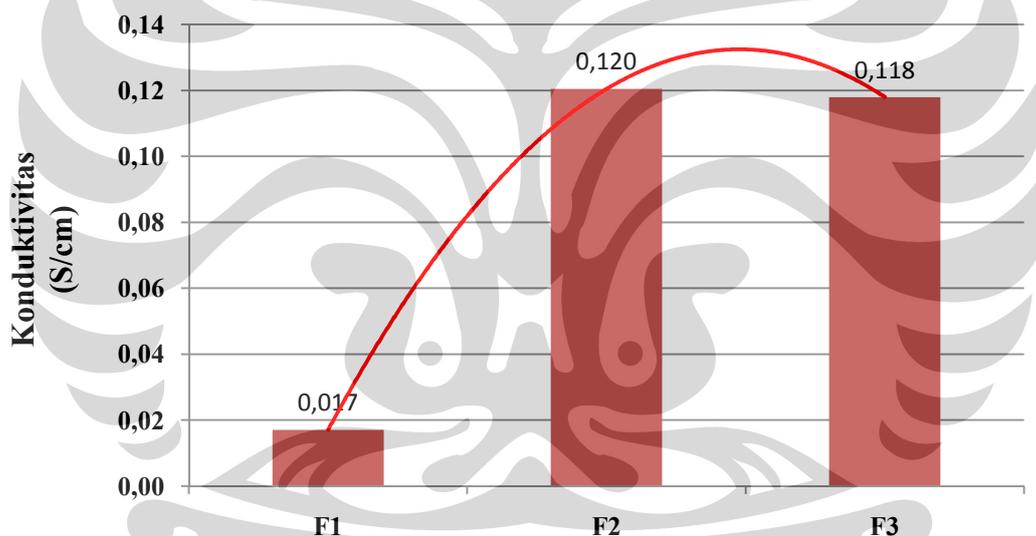
massa C di dalam sampel juga akan berkurang. Berikut merupakan tabel penurunan wt.% C dengan penurunan presentase PP.

**Tabel 5.9** Penurunan wt.% PP dan wt.% C

Bahan yang digunakan	F1	F2	F3
PP (wt.%)	13,9	13	12
C (wt.%)	97,97	97,87	97,65

### 5.7 Pengaruh Penambahan Tembaga Terhadap Sifat Konduktivitas Komposit PP/C-Cu

Hasil pengujian konduktivitas setiap sampel komposit dapat dilihat pada Gambar grafik 5.20.



**Gambar 5.20** Grafik hasil pengujian konduktivitas

Dari grafik diatas secara umum dapat diketahui bahwa dengan penambahan serbuk tembaga (Cu) akan meningkatkan nilai konduktivitas listrik. Hal ini ditunjukkan dengan adanya peningkatan nilai konduktivitas dari sampel F1 ke F2 yaitu dari 0,017 S/cm menjadi 0,12 S/cm. Penyebab meningkatnya nilai konduktivitas pada komposit PP/C-Cu adalah karena logam tembaga (Cu) memiliki konduktivitas yang sangat tinggi, sehingga ketika logam tembaga

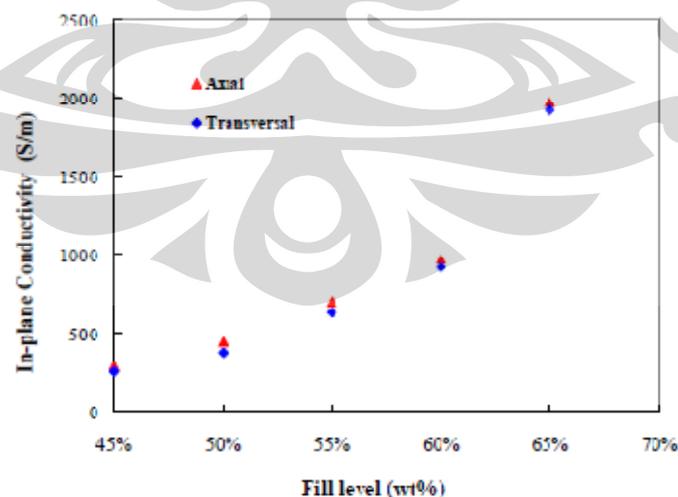
ditambahkan di dalam komposit tersebut, maka nilai konduktivitasnya juga akan meningkat.

Tabel 5.10 merupakan perbandingan nilai konduktivitas berbagai jenis bahan.

**Tabel 5.10** Nilai konduktivitas listrik bahan yang digunakan

Bahan yang digunakan	Konduktivitas (S/cm)
Pp	$1,00^{-14}$
serat karbon fortafile 243	$5,98^{02}$
karbon hitam cabot vulcan xc 72	2,93
grafite 4012	33,333
pp-g-ma	$1,00^{-14}$
Cu	$5,80^{05}$

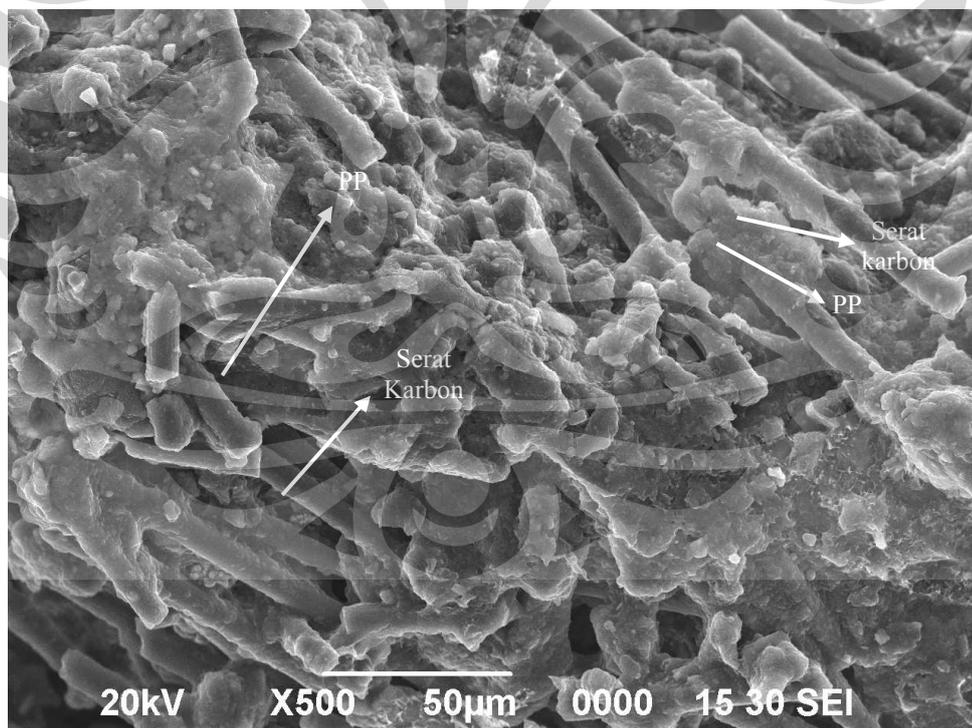
Menurut penelitian yang dilakukan sebelumnya juga menunjukkan bahwa dengan penambahan jumlah filler yang memiliki nilai konduktivitas yang lebih tinggi dibandingkan matriknya, maka nilai konduktivitas komposit akan semakin meningkat<sup>[2]</sup>. Berikut merupakan grafik hasil pengujian konduktivitas penelitian sebelumnya.



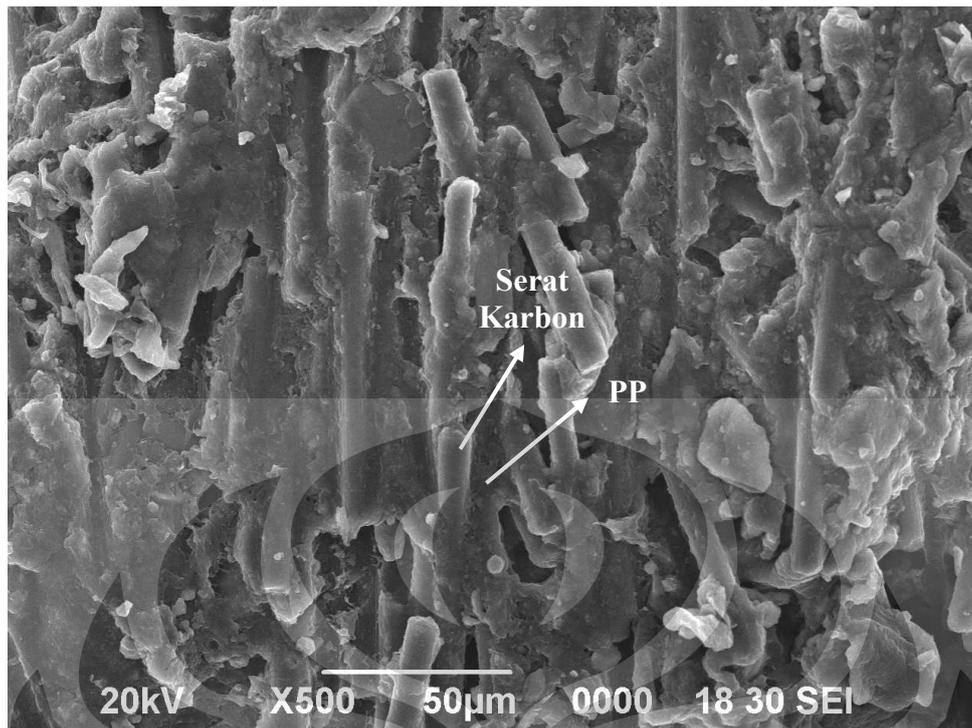
**Gambar 5.21** Grafik nilai konduktivitas vs jumlah filler dalam komposit<sup>[2]</sup>

Sedangkan untuk sampel dari F2 ke F3 mengalami penurunan nilai konduktivitas. Penyebab turunnya nilai konduktivitas dari F2 ke F3 ini disebabkan karena pada sampel F3 lebih banyak serat karbon yang terselubungi oleh polimer dibandingkan dengan sampel F2. Gambar 5.22 menunjukkan perbandingan mikrostruktur sampel F2 dan F3.

Dari Gambar mikrostruktur 5.22 terlihat bahwa serat karbon sampel F3 lebih banyak terselimuti oleh *polypropylene* (PP) dibandingkan sampel F2. Karena *polypropylene* merupakan bahan yang konduktivitasnya paling kecil yaitu  $10^{-17}$  S/cm atau sebagai isolator sehingga serat karbon tidak dapat melakukan fungsinya untuk menghantarkan arus listrik karena terselimuti oleh *polypropylene*. Karena serat karbon terselimuti oleh PP, maka pergerakan elektron akan terhambat dan arus yang mengalir diantara material akan terhalang. Ikatan konduktif antara karbon dan matrik tidak terjadi, hal ini akan menyebabkan nilai konduktivitas dari komposit tersebut akan turun.



F2



F3

**Gambar 5.22** Mikrostruktur sampel F2 dan F3 dengan perbesaran 500 X. Karbon serat terselimuti oleh lelehan polimer (PP dan PP-g-MA)

## BAB 6 KESIMPULAN

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

1. Sifat-sifat yang dihasilkan oleh pelat bipolar yang terbuat dari komposit PP/C-Cu secara keseluruhan belum memenuhi standart yang telah ditetapkan oleh DOE
2. Densitas yang dihasilkan adalah  $0,87 \text{ gr/cm}^3$ ,  $1,01 \text{ gr/cm}^3$ , dan  $1,10 \text{ gr/cm}^3$ . Densitas yang paling kecil adalah F1 (0,1 wt% Cu) dan yang paling besar adalah F3 (wt%Cu)
3. Nilai porositas semakin menurun dari F1 ke F3 (F1 : 46,47%, F2 : 40,78 dan F3 : 38,10)
4. Nilai hasil pengujian tarik dan tekuk ( $E_T$ ,  $E_F$ ,  $\sigma_F$ ,  $\sigma_T$  dan elongasi) semakin meningkat dari F1 ke F3.
5. Nilai konduktivitas yang paling besar adalah F2 : 0,1204 S/cm dan yang paling kecil adalah F1 : 0,017 S/cm
6. Penambahan serbuk tembaga secara umum meningkatkan nilai densitas, kekuatan tarik, kekuatan tarik, modulus tekuk, modulus tarik, elongasi, konduktivitas dan mengurangi porositas
7. Kompatibilizer PP-g-MA tidak dapat mengikat antara matrik dan pengisi dengan baik

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] EG & G Services Parsons Inc, *Fuel Cell Handbook 7<sup>th</sup> Edition* (West Virginia: U.S. Department of Energy, November 2004)
- [2] Y. Wang. “Conductive Thermoplastic Composite Blends for Flow Field Pelats for Use in Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cells (PEMFC).” *Thesis Master of Applied Science*, Chemical Engineering University of Waterloo, Ontario Canada, 2006,  
<http://etd.uwaterloo.ca/etd/y74wang2006.pdf> diakses pada 18/10/09.
- [3] R Chris and S Scott, “*Introduction to Fuel Cell Technology*” (Notre Dame : U.S.A Department of Aerospace and Mechanical Engineering University of Notre Dame, may 2003)
- [4] [http://www.vok.lth.se/~eep/eep-test/files/pdf/Fuel\\_Cell\\_Energy\\_Gases](http://www.vok.lth.se/~eep/eep-test/files/pdf/Fuel_Cell_Energy_Gases) diakses pada 19/12/09
- [5] K.S. Dhathathreyan and N. Rajalakshmi, Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell, *Journal of fuel cell*
- [6] D. P. Davies, *et al.*, “Bipolar pelat materials for solid polymer fuel cells”, *Journal of Applied Electrochemistry* (2000), 30.  
<http://www.springerlink.com/content/j38103237826366h/fulltext.pdf> diakses pada 19/12/09.
- [7] Suharjanto, Yoghi. “*Komposit Konduktif PP/PP-g-MA/C untuk Aplikasi Pelat Bipolar PEMFC*”, 2009
- [8] Lecture note mata kuliah komposit, Prof Dr. Ir. Anne Zulfia M.Phil Eng, Metalurgi dan Material FTUI
- [9] D. Tripathi, *Practical Guide to Polypropylene* (Shawbury: Rapra Technology Ltd, 2002),
- [10] Adam, M. Hatta . “*Analisis Sifat Mekanik dan Konduktivitas Komposit Polipropilena/ Etilena-Propilena-Diena Terpolimer/Karbon (PP/EPDM/C) untuk Aplikasi Pelat Bipolar pada Polymer Electrolyte Membrane (PEM) Fuel Cells*”, 2009

[11] Mat Web–Material Property Data. *Overview of Materials for Polypropylene Copolymer*.

<http://www.matweb.com/Search/MaterialGroupSearch.aspx?GroupID=1018>.

Diakses pada tanggal 19/12/09

[12] W. D. Callister, *Materials Science and Engineering: An Introduction*, 7<sup>th</sup> Edition (New York: John Wiley & Sons, 2007)

<http://www.springerlink.com/content/n67067986mw03871/> diakses pada 19/12/09

[13] Kirk Othmer, *Encyclopedia of Chemical Technology*, 4<sup>th</sup> edition Vol 6 (New York: John Wiley 1995)

[14] H. Zweifel (Editor), *Plastics Additives Handbook 5<sup>th</sup> Edition* (Munich: Hanser Publishers, 2001),

[15] <http://www.specialchem4polymers.com/tc/Antioxidants/> diakses pada 18/12/09.

[16] Edward E. Muccio, *Plastics Processing Technology* (USA: ASM International, 1994)

[17] Bor Z. Jang, *Advanced Polymer Composites* (USA: ASM International, 1994), hlm. 3 – 4, 38.

[18] <http://www.tpc.com.sg/> diakses pada 20/12/09.

[19] ASTM International, *Annual Book of ASTM Standards, Vol. 08.01*.

[20] <http://en.wikipedia.org/wiki/Copper> diakses pada 20/12/09

[21] Kaw, Autur K, “Mechanic of Composite Material 2<sup>nd</sup> edition”, taylor & francic : London, 2006

[22] ASTM International, *Annual Book of ASTM Standards, Vol. 08.01*.

[23] [http://www.scientific-computing.com/features/feature.php?feature\\_id=126](http://www.scientific-computing.com/features/feature.php?feature_id=126) diakses pada 19/12/09

[24] <http://journal.uui.ac.id/index.php/Teknoin/article/view/136/99> diakses pada 19/12/09

[25] <http://www.lenntech.com/polypropylene.htm> diakses pada 18/12/09

[26] <http://www.sdplastics.com/polypro.html> diakses pada 18/12/09

[27] **Lecture note mata kuliah teknologi polimer**, Dr. Ir. A. Herman Yuwono, M. Phil. Eng dan Ir. Sumadi Agustinus, Metalurgi dan Material FTUI.

[28] Morgan Peter, Carbon Fibers and their composites, taylr & francis : america, 2005

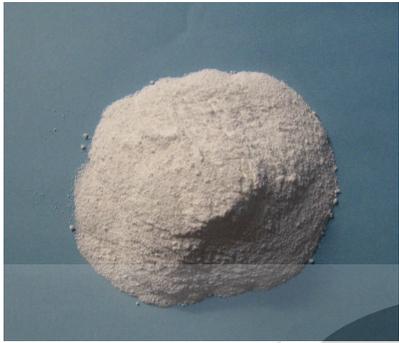
[29] Chung Deborah D.L, “Carbon Fiber Composites”, Butterworth-Heinemann: America, 1995



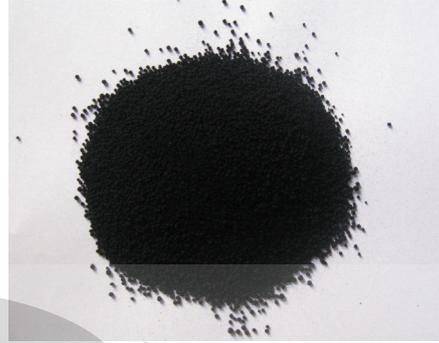


## Lampiran 1

### Foto-Foto Bahan yang digunakan



**Anti Oksidan**



**Karbon hitam**



**Karbon Serat**



**Tembaga**



**Grafit**



**Polypropylene**



**PP-g-MA**



**Seluruh Bahan**

## Lampiran 2

### Komposisi Bahan yang Digunakan

Komposisi bahan yang dipakai

Bahan yang digunakan	Satuan	F1	F2	F3
PP	%wt	13,9	13	12
	gr	41,7	39	36
Karbon hitam cabot vulcan xc 72	%wt	20	20	20
	gr	60	60	60
Serat karbon fortafite 243	%wt	40	40	40
	gr	100	100	100
Grafite 4012	%wt	20	20	20
	gr	60	60	60
PP-g-MA	%wt	5	5	5
	gr	15	15	15
Anti Oksidan CN-CAT A 215	%wt	1	1	1
	gr	3	3	3
Serbuk Cu	%wt	0,1	1	2
	gr	0,3	3	6
<b>Total</b>	<b>gr</b>	<b>300</b>	<b>300</b>	<b>300</b>

### Lampiran 3

#### Tabel Sifat-Sifat Bahan yang digunakan

Spesifikasi kopolimer blok polipropilena COSMOPLENE [7]

<b>Kode</b>	AH561		
<b>Nama Produk</b>	Kopolimer Blok Polipropilena COSMOPLENE®		
<b>Aplikasi</b>	Komoditas, Baterai, Wadah, Kursi, Tempat Duduk		
<b>Karakteristik</b>	Sifat Alir Sedang-Tinggi, Tahan Impak, Kaku		
	<b>Sifat-Sifat</b>	<b>Satuan</b>	<b>Metode Uji</b>
Laju Aliran Leleh (MFR)	3	g/10 min	ASTM D1238
Kerapatan Massa	0.9	g/cm <sup>3</sup>	ASTM D1505
Kekuatan Impak Izod	23°C: 24,5; -20 °C: 4,7	KJ/m <sup>2</sup>	ASTM D256
Modulus Tekuk	1080	MPa	ASTM D790
Kekuatan Tarik <i>Yield</i>	24.5	MPa	ASTM D638
Kekuatan Tarik <i>Ultimate</i>	30.4	MPa	ASTM D638
Elongasi	680	%	ASTM D638
Kekerasan Rockwell	85	R Scale	ASTM D785
HDT	112	°C	ASTM D648
Penyusutan MD-TD	15/15	1/1000	-

Sifat-sifat karbon hitam *Cabot Vulcan XC-72* [7]

Sifat-Sifat	Keterangan
Bentuk	Bubuk hitam
Bau	Tidak
Kerapatan Massa	1,7-1,9 g/cm <sup>3</sup> @ 20 °C
Kerapatan Massa Ruah	20-550 kg/m <sup>3</sup>
Ukuran Partikel	60 x 325 mesh

Sifat-sifat serat karbon *Fortail 243* [7]

Spesifikasi	Keterangan
Bentuk	Flake
Kekuatan Tarik	> 3450 Mpa
Modulus Tarik	> 207 Gpa
Elongasi	1,70 %
Kerapatan Massa	1,8 g/cm <sup>3</sup>
<i>Cross-sectional Area</i>	3,3 x 10 <sup>-5</sup> mm <sup>2</sup>
Diameter Filamen	6 mikron
Hambatan Listrik	1,67 mOhm-cm
Panjang Serat	3 mm

Sifat-sifat PP-g-MA [7]

Sifat	Nilai
Berat Molekul	98,06 gr/mol
Struktur Molekul	$\text{C}_4\text{H}_2\text{O}_3$
Wujud serpihan	Putih
Sifat	Higroskopis
Berat jenis	1,480 Kg/dm <sup>3</sup>
Titik leleh	52,8 °C
Titik didih	202 °C

Sifat-sifat CN-CAT B215 [7]

Sifat-Sifat	Keterangan
Bentuk	Bubuk putih
Warna Larutan	Bening
Komposisi	A 168: 61,5-71,5% A 1010: sisanya
TGA (100 °C, 2 jam)	0,5% (max)
<i>Transmittance:</i>	
425 nm	96% (min)
500 nm	98% (min)

Sifat-sifat tembaga literatur [7]

Properties	Value
Density	8,9 9/cm <sup>-3</sup>
Melting Point	1084,62 °C
Boiling Point	2562 °C
Spesification heat capacity	(25 °C) 24.440 J.mol <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup>
Electrical resistivity	(20 °C) 16,78 nΩ.m
Thermal conductivity	(300 K) 401 W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup>
Thermal Expansion	(25 °C) 16,5 μm.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup>
Young Modulus	110-128 Gpa
Shear modulus	48 Gpa

## Lampiran 4

### Perhitungan Nilai Kerapatan Massa

**Rumus :**

$$\rho_{\text{sampel}} = \frac{M_u}{M_a} \rho_{\text{air}}$$

$\rho_{\text{air}}$  : 0,9731 gr/cm<sup>3</sup>

Massa di Udara (gr)

Kode Sampel	F1	F2	F3
1	1,73	2,87	2,01
2	1,58	2,01	2,05
3	1,76	3,52	3,76

Massa di Air (gr)

Kode Sampel	F1	F2	F3
1	1,94	2,84	1,91
2	1,65	1,86	1,60
3	2,11	3,49	3,55

Kerapatan Massa Sampel Komposit PP/C-Cu

No sampel	F1 (gr/cm <sup>3</sup> )	F2 (gr/cm <sup>3</sup> )	F3 (gr/cm <sup>3</sup> )
1	0,867764	0,983379	1,024048
2	0,931817	1,051576	1,246784
3	0,811685	0,981465	1,030664
<b>Rata-rata</b>	<b>0,870422</b>	<b>1,005473</b>	<b>1,100499</b>

## Lampiran 5

### Perhitungan Nilai Porositas

Rumus :

$$\% \text{ porositas} = \frac{D_{\text{teoritis}} - D_{\text{percobaan}}}{D_{\text{teoritis}}} \times 100\%$$

Kerapatan Massa Sampel Komposit PP/C-Cu

No sampel	F1 (gr/cm <sup>3</sup> )	F2 (gr/cm <sup>3</sup> )	F3 (gr/cm <sup>3</sup> )
1	0,867764	0,983379	1,024048
2	0,931817	1,051576	1,246784
3	0,811685	0,981465	1,030664
<b>Rata-rata</b>	<b>0,870422</b>	<b>1,005473</b>	<b>1,100499</b>

Densitas masing- masing bahan Literature

Bahan yang digunakan	Density (gr/cm <sup>3</sup> )
pp	0,9
serat karbon fortafle 243	1,8
karbon hitam cabot vulcan xc 72	1,7-1,9
grafite 4012	1,26-1,69
pp-g-ma	0,91
anti oksidan CN-CAT A 215	0,85
Cu	8,89

### Perhitungan Densitas Literature Sampel Komposit

$$\rho_{\text{komposit}} = \rho_{\text{PP}} \cdot V_{\text{pp}} + \rho_{\text{Cf}} \cdot V_{\text{Cf}} + \rho_{\text{Cb}} \cdot V_{\text{cb}} + \rho_{\text{G}} \cdot V_{\text{G}} + \rho_{\text{PP-g-MA}} \cdot V_{\text{PP-g-MA}} + \rho_{\text{AO}} \cdot V_{\text{AO}} + \rho_{\text{Cu}} \cdot V_{\text{Cu}}$$

Densitas Sampel Komposit

Formula	F1	F2	F3
Densitas	1,62599	1,6979	1,7778

Porositas Sampel Komposit PP/C-Cu

No sampel	F1	F2	F3
1	46,6316	42,0826	42,398
2	42,6923	38,0661	29,8693
3	50,0805	42,1954	42,0259
<b>Rata-rata</b>	<b>46,4682</b>	<b>40,7814</b>	<b>38,0977</b>

## Lampiran 6

### Hasil Uji Konduktivitas

Nama Pemakai : Taufiq AB

Tanggal percobaan : 04/11/2009

Operator : Purnama

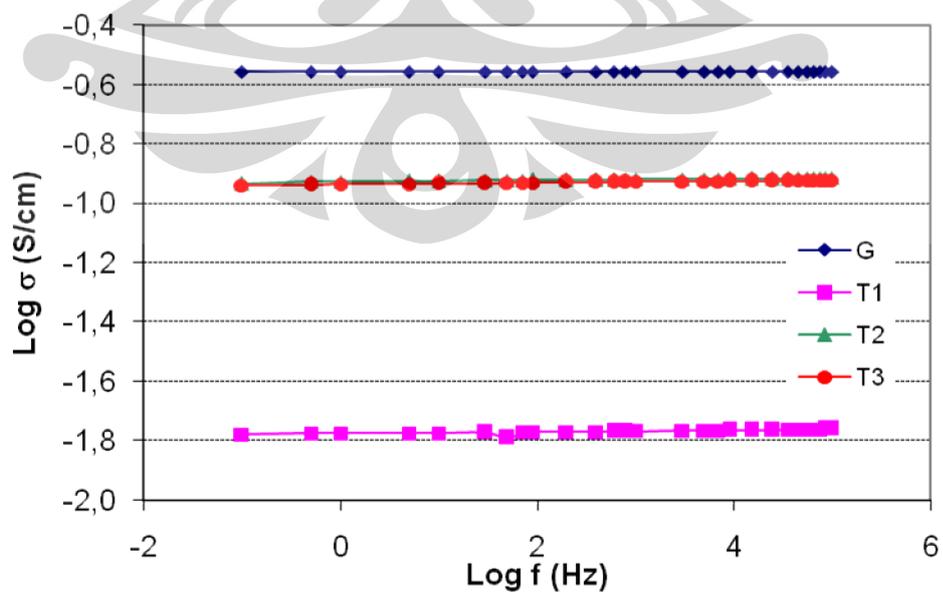
Nama Sampel : Komposit PP/C-Cu

Parameter	F1	F2	F3
t (cm)	0,10	0,30	0,30
A (cm <sup>3</sup> )	0,81	0,88	0,81
K=t/A	0,123457	0,34090909	0,37037037

f (Hz)	T1 (S)	T2 (S)	T3 (S)
0,1	1,350E-01	3,422E-01	3,096E-01
0,5	1,359E-01	3,466E-01	3,120E-01
1	1,361E-01	3,479E-01	3,129E-01
5	1,363E-01	3,487E-01	3,140E-01
10	1,364E-01	3,494E-01	3,146E-01
30	1,367E-01	3,502E-01	3,152E-01
50	1,314E-01	3,510E-01	3,160E-01
70	1,372E-01	3,513E-01	3,163E-01
90	1,374E-01	3,517E-01	3,170E-01
200	1,376E-01	3,519E-01	3,172E-01
400	1,378E-01	3,522E-01	3,178E-01
600	1,382E-01	3,529E-01	3,181E-01
800	1,384E-01	3,533E-01	3,185E-01
1000	1,385E-01	3,538E-01	3,189E-01
3000	1,388E-01	3,542E-01	3,195E-01
5000	1,390E-01	3,545E-01	3,198E-01
7000	1,393E-01	3,548E-01	3,201E-01
9000	1,395E-01	3,554E-01	3,205E-01
15000	1,396E-01	3,556E-01	3,207E-01
25000	1,398E-01	3,558E-01	3,210E-01
35000	1,401E-01	3,564E-01	3,214E-01
45000	1,404E-01	3,568E-01	3,218E-01
55000	1,403E-01	3,575E-01	3,221E-01
65000	1,404E-01	3,577E-01	3,225E-01
75000	1,406E-01	3,580E-01	3,226E-01
85000	1,408E-01	3,583E-01	3,228E-01
100000	1,409E-01	3,585E-01	3,229E-01

<b>f (Hz)</b>	<b>T1 (S/cm)</b>	<b>T2 (S/cm)</b>	<b>T3 (S/cm)</b>
0,1	1,666E-02	1,167E-01	1,147E-01
0,5	1,677E-02	1,181E-01	1,155E-01
1	1,680E-02	1,186E-01	1,159E-01
5	1,682E-02	1,189E-01	1,163E-01
10	1,684E-02	1,191E-01	1,165E-01
30	1,687E-02	1,194E-01	1,168E-01
50	1,621E-02	1,197E-01	1,170E-01
70	1,693E-02	1,198E-01	1,172E-01
90	1,696E-02	1,199E-01	1,174E-01
200	1,698E-02	1,200E-01	1,175E-01
400	1,701E-02	1,201E-01	1,177E-01
600	1,705E-02	1,203E-01	1,178E-01
800	1,707E-02	1,205E-01	1,180E-01
1000	1,709E-02	1,206E-01	1,181E-01
3000	1,713E-02	1,208E-01	1,183E-01
5000	1,715E-02	1,209E-01	1,184E-01
7000	1,719E-02	1,209E-01	1,186E-01
9000	1,721E-02	1,211E-01	1,187E-01
15000	1,723E-02	1,212E-01	1,188E-01
25000	1,725E-02	1,213E-01	1,189E-01
35000	1,729E-02	1,215E-01	1,190E-01
45000	1,732E-02	1,216E-01	1,192E-01
55000	1,731E-02	1,219E-01	1,193E-01
65000	1,733E-02	1,219E-01	1,194E-01
75000	1,735E-02	1,220E-01	1,195E-01
85000	1,737E-02	1,221E-01	1,196E-01
100000	1,739E-02	1,222E-01	1,196E-01
<b>Rata-rata</b>	<b>0,01706</b>	<b>0,1204</b>	<b>0,1179</b>

log f	log $\sigma$ (S/cm)	log $\sigma$ (S/cm)	log $\sigma$ (S/cm)
-1,0000	-1,7783	-0,9331	-0,9405
-0,3010	-1,7754	-0,9276	-0,9373
0,0000	-1,7747	-0,9259	-0,9359
0,6990	-1,7742	-0,9249	-0,9344
1,0000	-1,7737	-0,9241	-0,9336
1,4771	-1,7729	-0,9231	-0,9327
1,6990	-1,7902	-0,9221	-0,9317
1,8451	-1,7712	-0,9217	-0,9312
1,9542	-1,7707	-0,9212	-0,9303
2,3010	-1,7700	-0,9210	-0,9300
2,6021	-1,7693	-0,9206	-0,9292
2,7782	-1,7683	-0,9197	-0,9288
2,9031	-1,7677	-0,9192	-0,9283
3,0000	-1,7672	-0,9187	-0,9277
3,4771	-1,7662	-0,9181	-0,9270
3,6990	-1,7656	-0,9177	-0,9265
3,8451	-1,7648	-0,9174	-0,9261
3,9542	-1,7643	-0,9167	-0,9255
4,1761	-1,7637	-0,9164	-0,9253
4,3979	-1,7631	-0,9162	-0,9249
4,5441	-1,7622	-0,9155	-0,9244
4,6532	-1,7614	-0,9149	-0,9238
4,7404	-1,7617	-0,9142	-0,9234
4,8129	-1,7612	-0,9139	-0,9229
4,8751	-1,7606	-0,9135	-0,9228
4,9294	-1,7601	-0,9132	-0,9224
5,0000	-1,7598	-0,9129	-0,9223





**Lampiran 7**  
**Hasil Pengujian Tarik**

# Test Certificate

## Plastics Tensile Test

Order No.....J1090473  
 Teststandard.....ASTM D638typeIV  
 Tester.....abd

Material.....Komposit kodeT1  
 Tested on.....2009-12-10  
 Kondisi Uji.....24oC , RH 58%

Testing machine.....AGS-G  
 Pretension.....0.01 N  
 Gripped length.....65 mm  
 Test speed 1.....0 % -> 5 mm/min

Directory.....J1090473  
 Parameterset.....ASTM D638 IV

### Legend

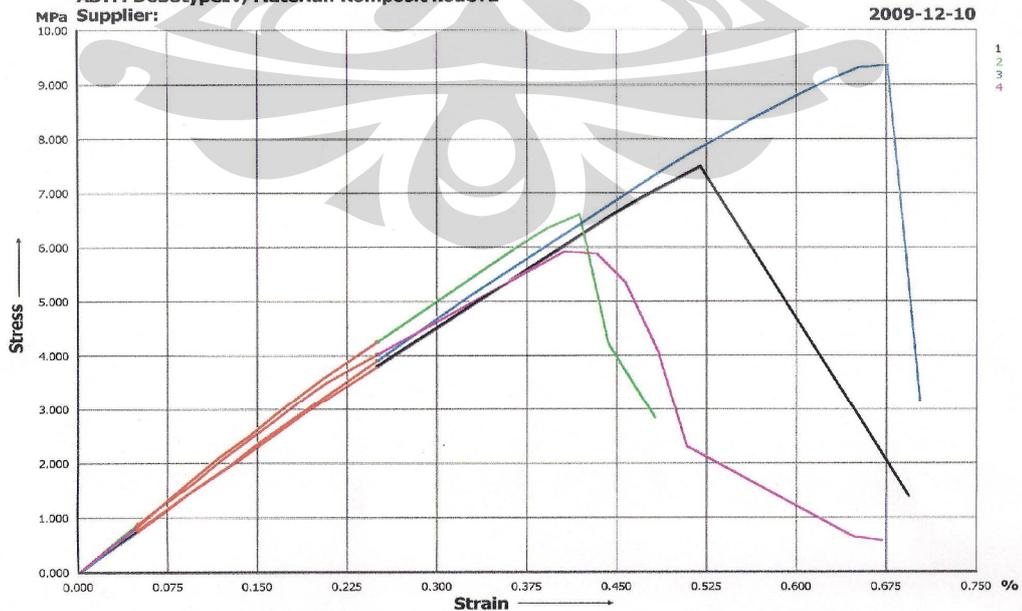
BNo.....Batch number  
 a.....Thickness  
 b.....Width  
 E.....E-Modulus

"M.....Tensile strength  
 "B.....Strain at Break  
 Fmax.....Maximum load  
 Comment.....Comment

Test No	BNo	a mm	b mm	E GPa	"M MPa	"B %	Fmax kN	Comment
1	komposit T1-1	3.750	5.450	1.524	7.498	0.693	0.153	
2	komposit T1-2	3.890	5.320	1.697	6.625	0.482	0.137	
3	komposit T1-3	4.370	7.180	1.568	9.374	0.702	0.294	
4	komposit T1-4	3.890	5.820	1.614	5.936	0.671	0.134	
Mean:		3.975	5.942	1.601	7.358	0.637	0.180	
Minimum:		3.750	5.320	1.524	5.936	0.482	0.134	
Maximum:		4.370	7.180	1.697	9.374	0.702	0.294	
Std.dev.:		0.271	0.852	0.074	1.488	0.104	0.077	
W(0.95) %:		10.87	22.80	7.349	32.18	26.01	67.90	
Values:		4	4	4	4	4	4	

Test No 1 - 4  
 ASTM D638typeIV, Material: Komposit kodeT1  
 Supplier:

2009-12-10



# Test Certificate

## Plastics Tensile Test

Order No.....J1090473  
 Teststandard.....ASTM D638typeIV  
 Tester.....abd

Material.....Komposit kodeT2  
 Tested on.....2009-12-10  
 Kondisi Uji.....24oC , RH 58%

Testing machine.....AGS-G  
 Pretension.....0.01 N  
 Gripped length.....65 mm  
 Test speed 1.....0 % -> 5 mm/min

Directory.....J1090473  
 Parameterset.....ASTM D638 IV

### Legend

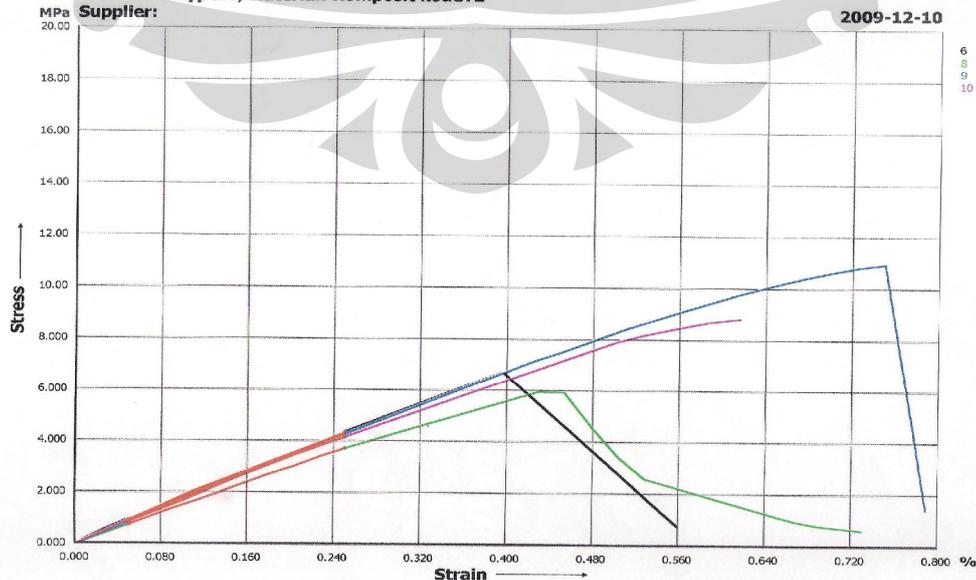
BNo.....Batch number  
 a.....Thickness  
 b.....Width  
 E.....E-Modulus

"M.....Tensile strength  
 "B.....Strain at Break  
 Fmax.....Maximum load  
 Comment.....Comment

Test No	BNo	a mm	b mm	E GPa	"M MPa	"B %	Fmax kN	Comment
6	komposit T2-1	3.990	5.940	1.690	6.711	0.559	0.159	
8	komposit T2-2	3.710	5.200	1.491	5.964	0.729	0.115	
9	komposit T2-3	4.560	7.940	1.718	10.98	0.788	0.398	
10	komposit T2-4	4.070	6.630	1.635	8.852	0.615	0.239	
Mean:		4.082	6.427	1.633	8.127	0.673	0.228	
Minimum:		3.710	5.200	1.491	5.964	0.559	0.115	
Maximum:		4.560	7.940	1.718	10.98	0.788	0.398	
Std.dev.:		0.354	1.165	0.101	2.262	0.104	0.124	
W(0.95) %:		13.79	28.84	9.843	44.28	24.70	86.88	
Values:		4	4	4	4	4	4	

Test No **6 - 10**  
 ASTM D638typeIV, Material: Komposit kodeT2  
 Supplier:

2009-12-10



# Test Certificate

## Plastics Tensile Test

Order No.....J1090473  
 Teststandard.....ASTM D638typeIV  
 Tester.....abd

Material.....Komposit kodeT3  
 Tested on.....2009-12-10  
 Kondisi Uji.....24oC , RH 58%

Testing machine.....AGS-G  
 Pretension.....0.01 N  
 Gripped length.....65 mm  
 Test speed 1.....0 % -> 5 mm/min

Directory.....J1090473  
 Parameterset.....ASTM D638 IV

### Legend

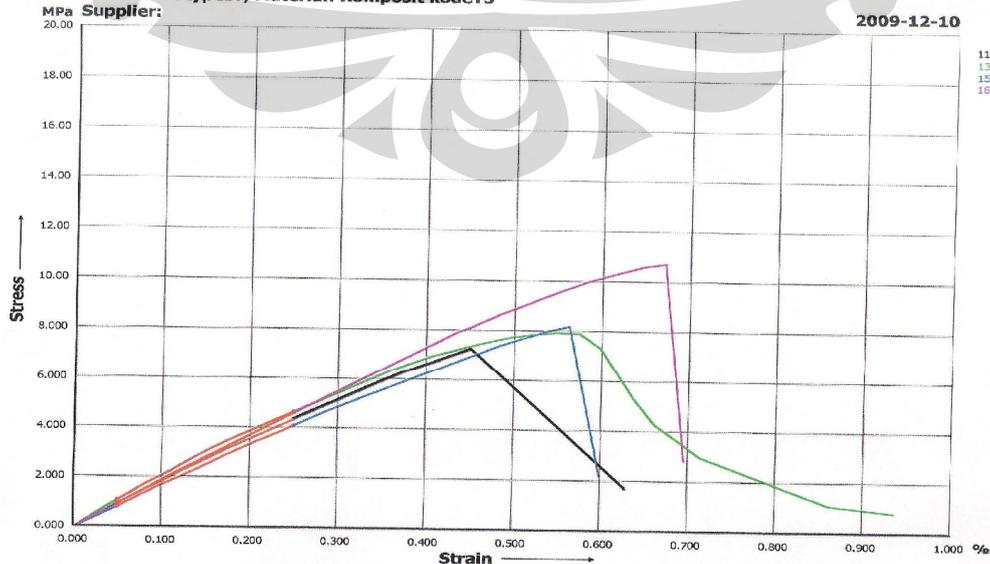
BNo.....Batch number  
 a.....Thickness  
 b.....Width  
 E.....E-Modulus

"M.....Tensile strength  
 "B.....Strain at Break  
 Fmax.....Maximum load  
 Comment.....Comment

Test No	BNo	a mm	b mm	E GPa	"M MPa	"B %	Fmax kN	Comment
11	komposit T3-1	3.850	5.560	1.713	7.250	0.628	0.155	
13	komposit T3-2	3.670	5.100	1.802	7.955	0.935	0.149	
15	komposit T3-3	4.190	7.160	1.646	8.221	0.598	0.247	
16	komposit T3-4	4.270	7.050	1.836	10.75	0.695	0.323	
Mean:		3.995	6.217	1.749	8.544	0.714	0.219	
Minimum:		3.670	5.100	1.646	7.250	0.598	0.149	
Maximum:		4.270	7.160	1.836	10.75	0.935	0.323	
Std.dev.:		0.283	1.043	0.086	1.527	0.153	0.083	
W(0.95) %:		11.27	26.69	7.839	28.43	34.05	60.42	
Values:		4	4	4	4	4	4	

Test No 11 - 16  
 ASTM D638typeIV, Material: Komposit kodeT3  
 Supplier:

2009-12-10





**Lampiran 8**

**Hasil Pengujian Tekuk**

# Test Certificate

## Flexural Test

Order No.....J1090418  
 Test Standard.....ASTM D790  
 Tester.....abd

Material.....Kompst PP/C-Cu T1  
 Tested on.....2009-12-02  
 Kondisi Uji.....23.3oC,RH59%

Testing machine.....AGS-G  
 Test speed 1.....0 % -> 1.652 mm/min

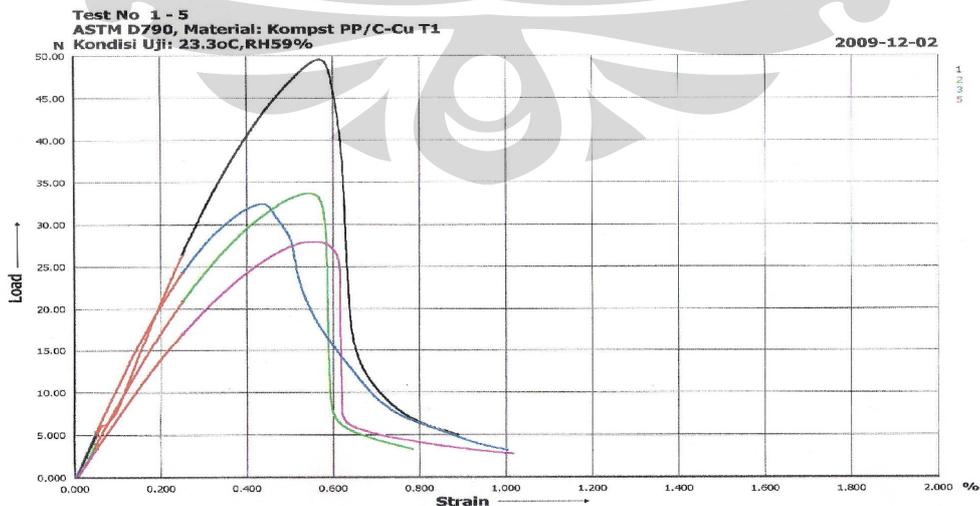
Directory.....J1090418  
 Parameterset.....astm d790

### Legend

BNo.....Batch number  
 a.....Thickness  
 b.....Width  
 Ls.....Support span

Ef.....E-Modulus  
 "fM.....Flexural strength  
 Fmax.....Maximum load

Test No	BNo	a mm	b mm	Ls mm	Ef GPa	"fM MPa	Fmax kN
1	KompPP/C-CuT1-1	4.230	14.28	64.48	4.331	18.78	0.050
2	KompPP/C-CuT1-2	4.100	14.30	65.60	3.477	13.83	0.034
3	KompPP/C-CuT1-3	4.040	13.88	64.64	4.082	13.93	0.033
5	KompPP/C-CuT1-4	3.870	12.87	61.92	3.307	13.50	0.028
Mean:		4.060	13.83	64.16	3.799	15.01	0.036
Minimum:		3.870	12.87	61.92	3.307	13.50	0.028
Maximum:		4.230	14.30	65.60	4.331	18.78	0.050
Std.dev.:		0.149	0.670	1.573	0.486	2.520	9.41E-3
W(0.95) %:		5.856	7.708	3.901	20.36	26.71	41.59
Values:		4	4	4	4	4	4



# Test Certificate

## Flexural Test

Order No.....J1090418  
 Test Standard.....ASTM D790  
 Tester.....abd

Material.....Kompst PP/C-Cu T2  
 Tested on.....2009-12-02  
 Kondisi Uji.....23.3oC,RH59%

Testing machine.....AGS-G  
 Test speed 1.....0 % -> 1.763 mm/min

Directory.....J1090418  
 Parameterset.....astm d790

### Legend

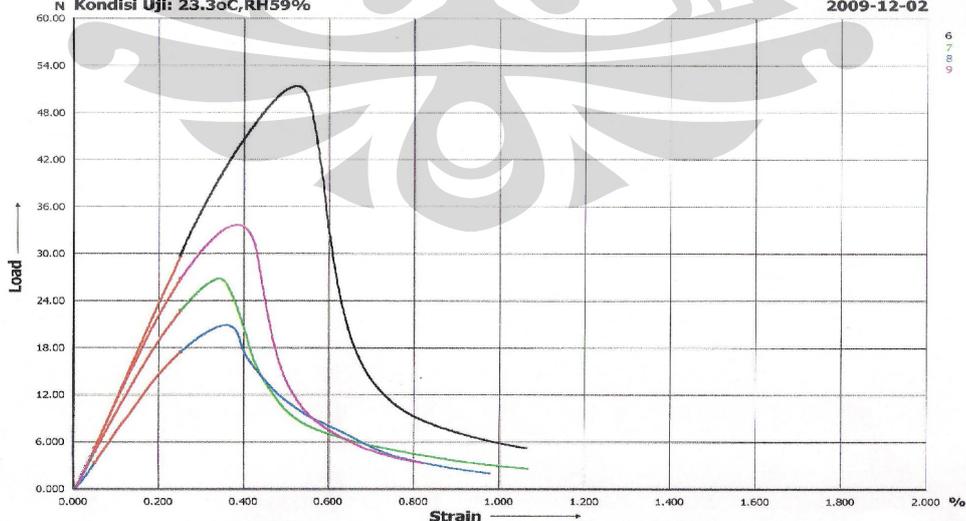
BNo.....Batch number  
 a.....Thickness  
 b.....Width  
 Ls.....Support span

Ef.....E-Modulus  
 "fM.....Flexural strength  
 Fmax.....Maximum load

Test No	BNo	a mm	b mm	Ls mm	Ef GPa	"fM MPa	Fmax kN
6	KompPP/C-CuT2-1	4.510	14.85	65.76	4.016	16.79	0.051
7	KompPP/C-CuT2-2	3.450	12.51	64.00	5.845	17.34	0.027
8	KompPP/C-CuT2-3	3.660	12.05	64.00	4.293	12.49	0.021
9	KompPP/C-CuT2-4	3.830	13.48	66.08	5.451	16.93	0.034
Mean:		3.863	13.22	64.96	4.901	15.89	0.033
Minimum:		3.450	12.05	64.00	4.016	12.49	0.021
Maximum:		4.510	14.85	66.08	5.845	17.34	0.051
Std.dev.:		0.459	1.238	1.116	0.884	2.277	0.013
W(0.95) %:		18.90	14.90	2.734	28.71	22.80	62.96
Values:		4	4	4	4	4	4

Test No 6 - 9  
 ASTM D790, Material: Kompst PP/C-Cu T2  
 Kondisi Uji: 23.3oC,RH59%

2009-12-02



# Test Certificate

## Flexural Test

Order No.....J1090418  
 Test Standard.....ASTM D790  
 Tester.....abd

Material.....Kompst PP/C-Cu T3  
 Tested on.....2009-12-02  
 Kondisi Uji.....23.3oC,RH59%

Testing machine.....AGS-G  
 Test speed 1.....D % -> 1.755 mm/min  
 Directory.....J1090418  
 Parameterset.....astm d790

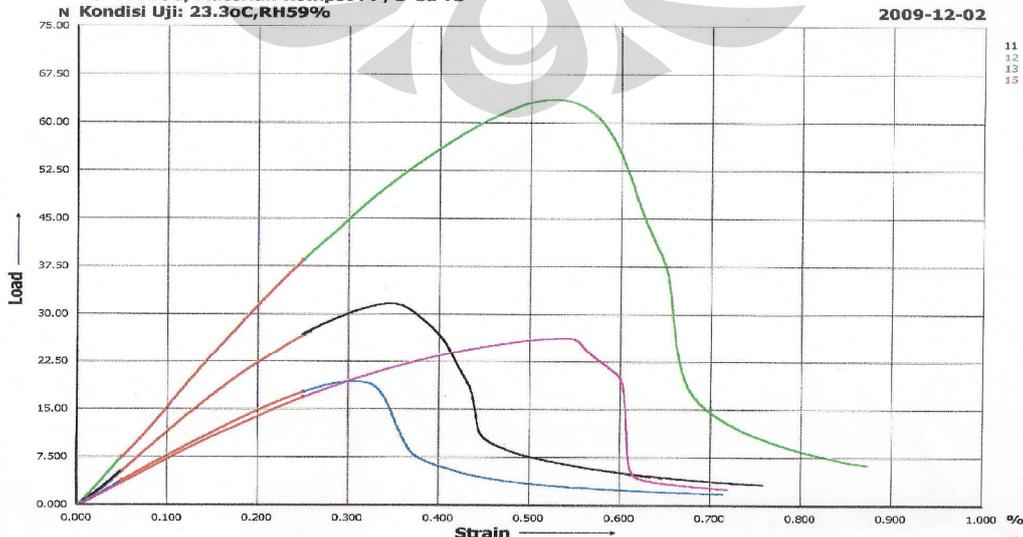
### Legend

BNo.....Batch number  
 a.....Thickness  
 b.....Width  
 Ls.....Support span

Ef.....E-Modulus  
 "fM.....Flexural strength  
 Fmax.....Maximum load

Test No	BNo	a mm	b mm	Ls mm	Ef GPa	"fM MPa	Fmax kN
11	KompPP/C-CuT3-1	3.950	12.23	69.60	5.890	17.32	0.032
12	KompPP/C-CuT3-2	4.530	14.85	68.80	5.347	21.57	0.064
13	KompPP/C-CuT3-3	3.290	12.25	67.04	5.326	14.77	0.019
15	KompPP/C-CuT3-4	3.750	12.30	65.76	3.825	15.04	0.026
Mean:		3.880	12.91	67.80	5.097	17.18	0.035
Minimum:		3.290	12.23	65.76	3.825	14.77	0.019
Maximum:		4.530	14.85	69.60	5.890	21.57	0.064
Std.dev.:		0.514	1.295	1.730	0.887	3.145	0.020
W(0.95) %:		21.07	15.97	4.060	27.70	29.14	88.23
Values:		4	4	4	4	4	4

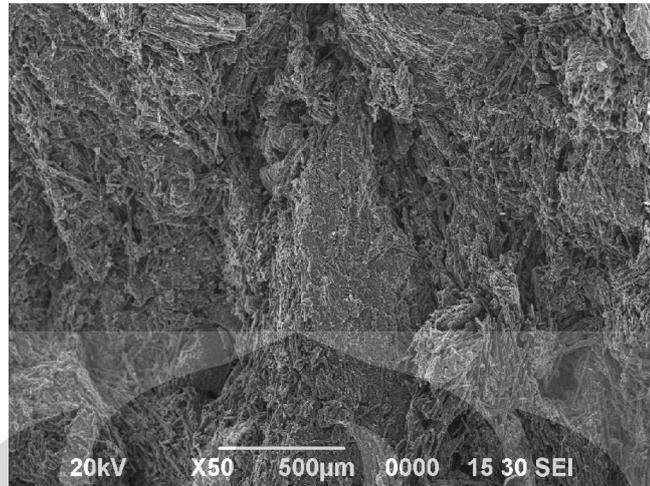
Test No 11 - 15  
 ASTM D790, Material: Kompst PP/C-Cu T3  
 Kondisi Uji: 23.3oC,RH59%



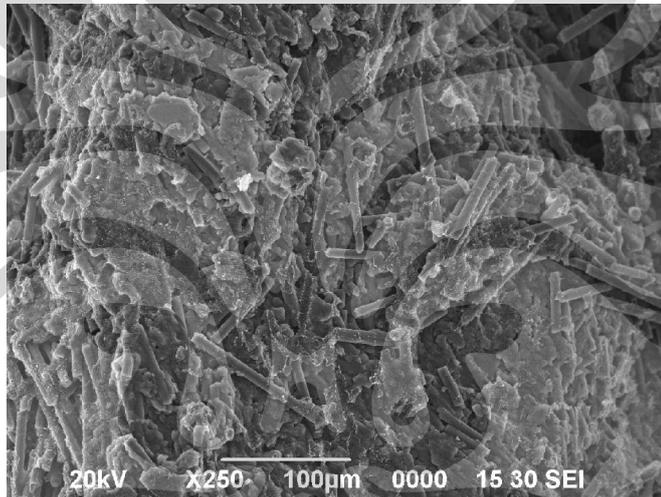


**Lampiran 9**  
**Hasil Uji SEM dan EDS**

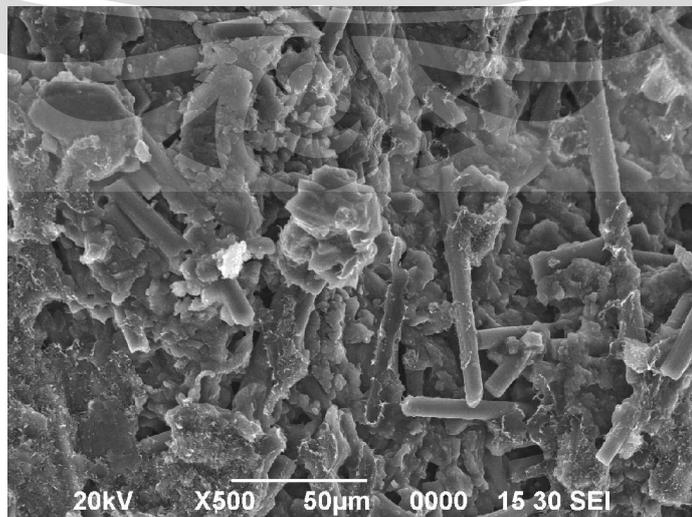
## Hasil Uji SEM Sampel F1 Titik ke 01



Sampel F1 titik ke 01 perbesaran 50 X

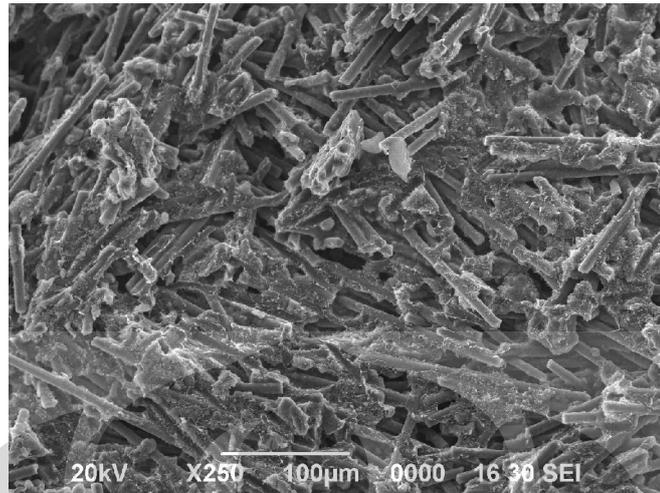


Sampel F1 titik ke 01 perbesaran 250 X

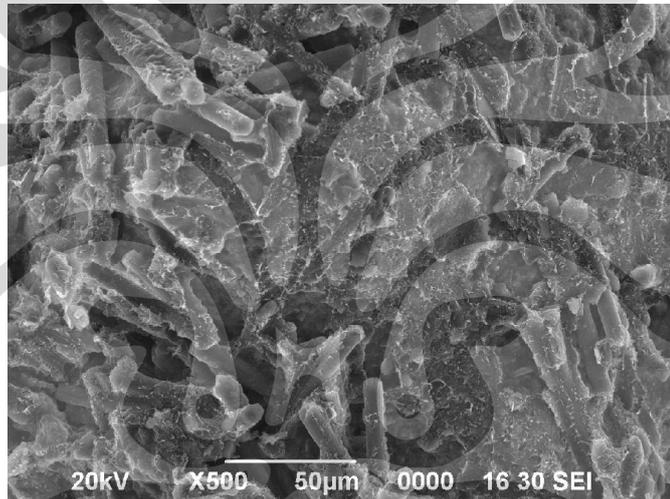


Sampel F1 titik ke 01 perbesaran 500 X

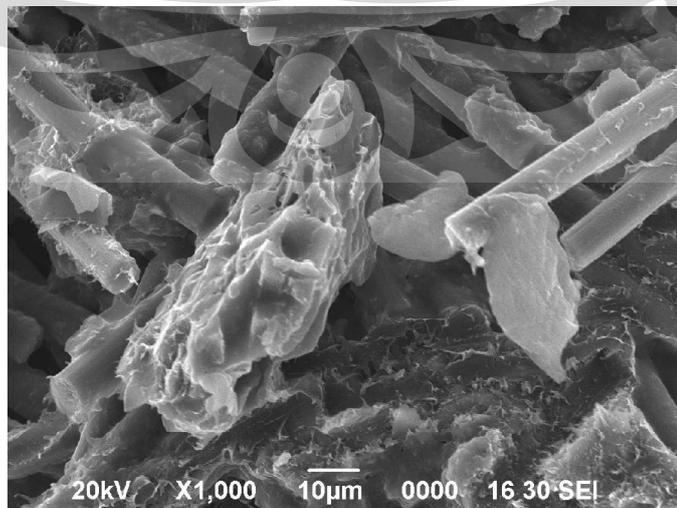
## Hasil Uji SEM Sampel F1 Titik ke 02



Sampel F1 titik ke 02 perbesaran 250 X

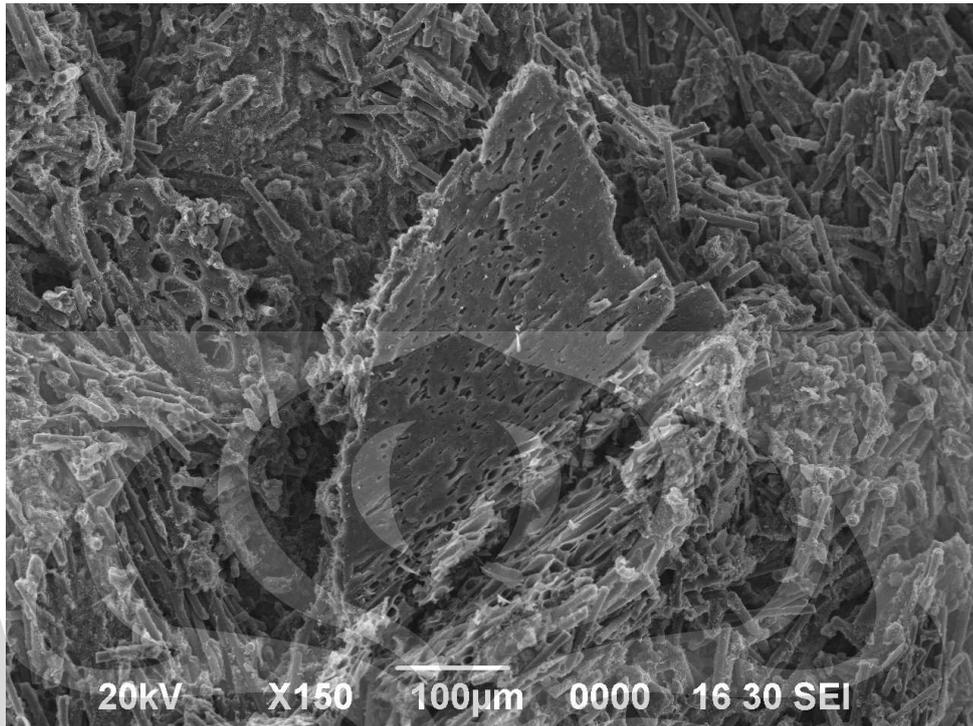


Sampel F1 titik ke 02 perbesaran 500 X

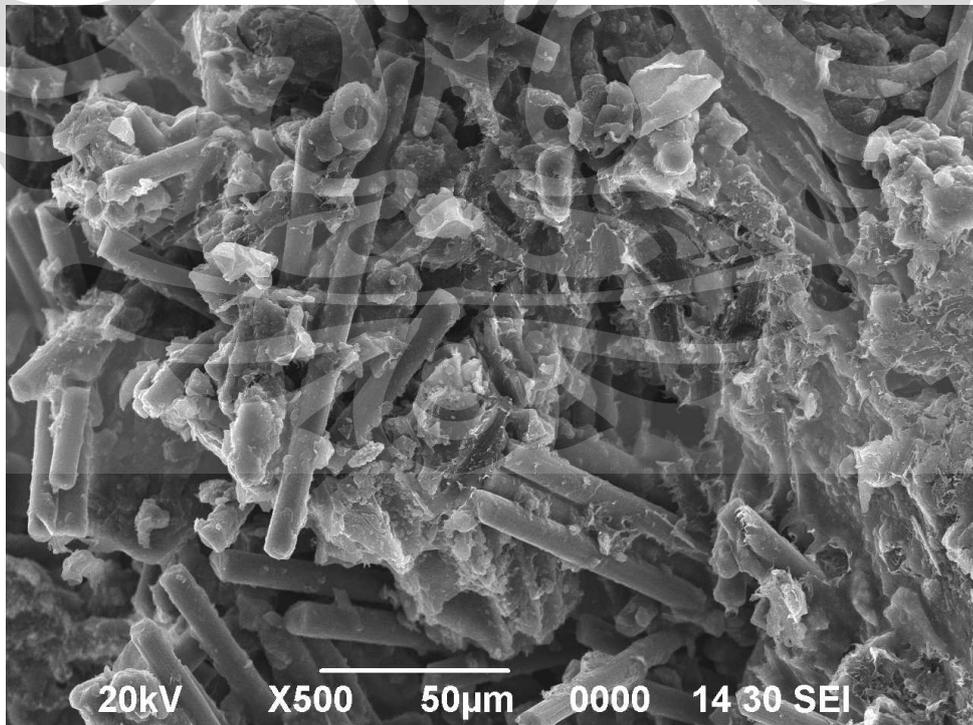


Sampel F1 titik ke 02 perbesaran 1000 X

**Hasil Uji SEM Sampel F1 Titik ke 03**

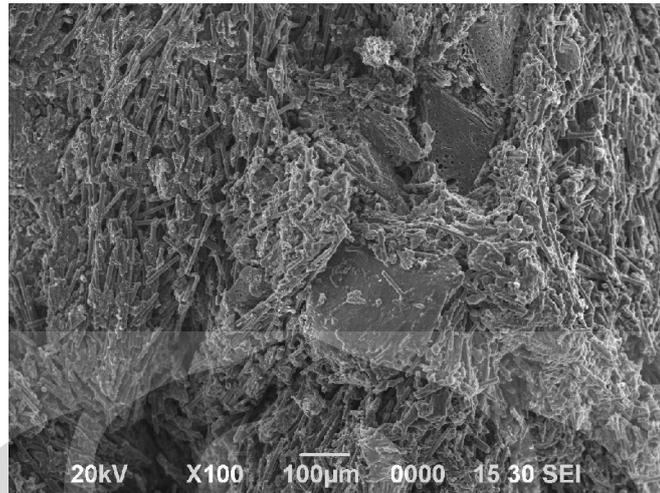


**Sampel F1 titik ke 03 perbesaran 150 X**

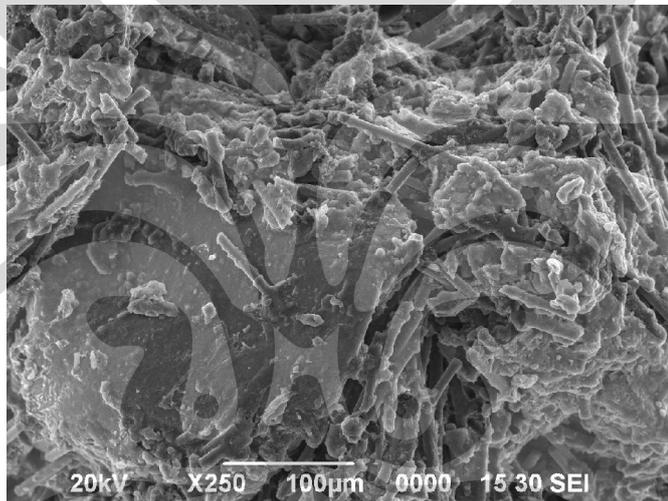


**Sampel F1 titik ke 03 perbesaran 500 X**

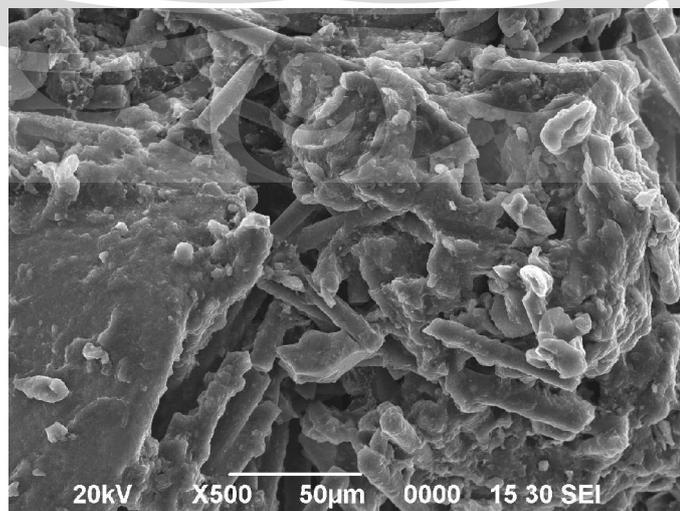
## Hasil Uji SEM Sampel F2 Titik ke 01



Sampel F2 Titik ke 01 Perbesaran 100 X

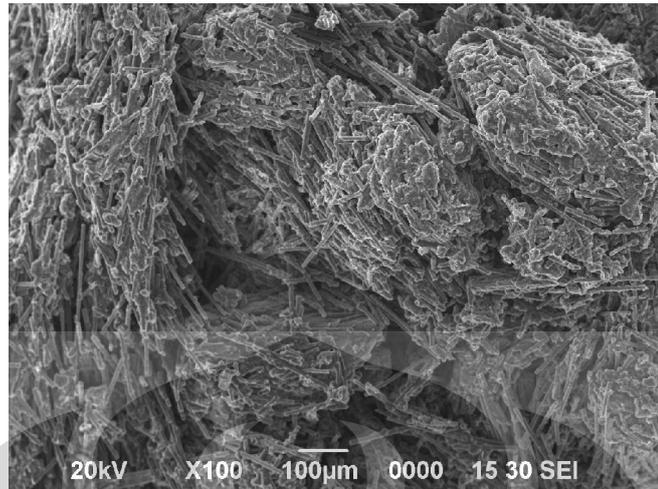


Sampel F2 Titik ke 01 Perbesaran 250 X

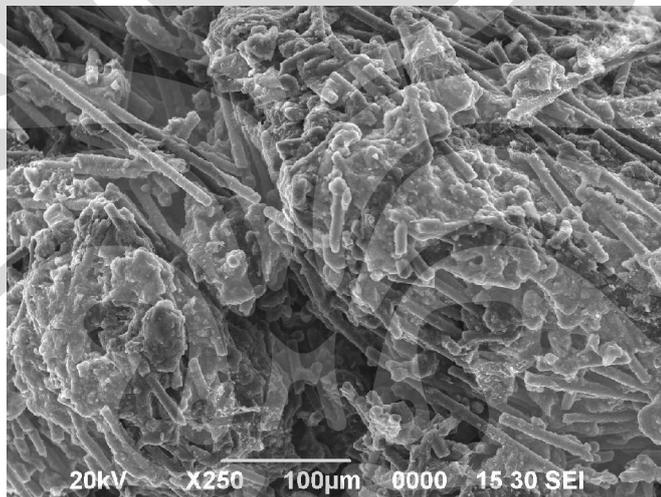


Sampel F2 Titik ke 01 Perbesaran 500 X

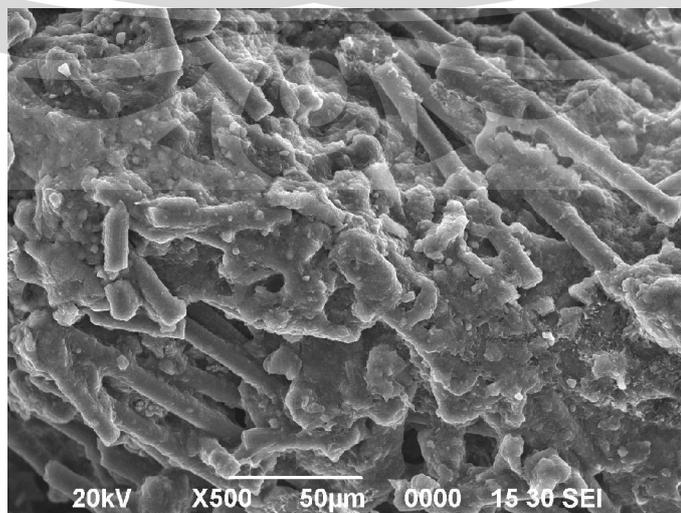
## Hasil Uji SEM Sampel F2 Titik ke 02



Sampel F2 Titik ke 02 Perbesaran 100 X

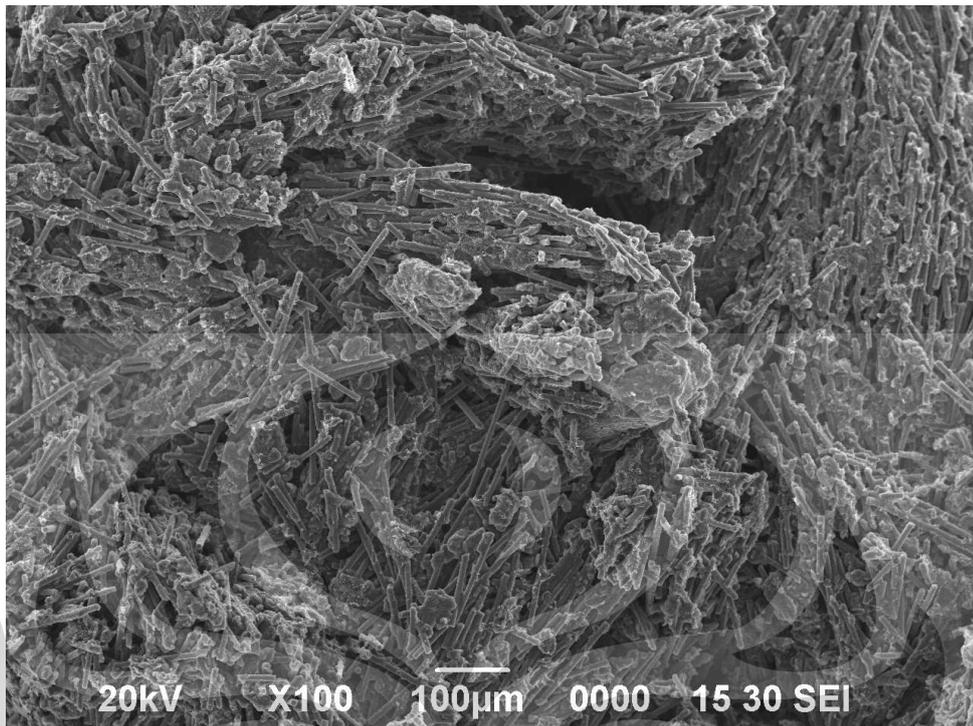


Sampel F2 Titik ke 02 Perbesaran 250 X

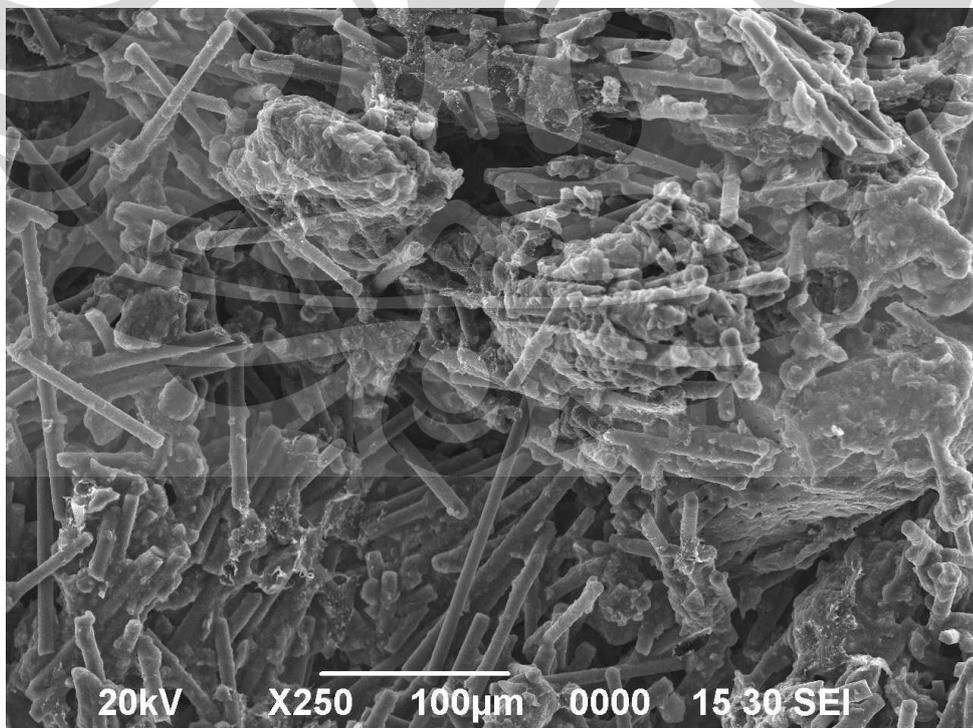


Sampel F2 Titik ke 02 Perbesaran 500 X

### Hasil Uji SEM Sampel F2 Titik ke 03

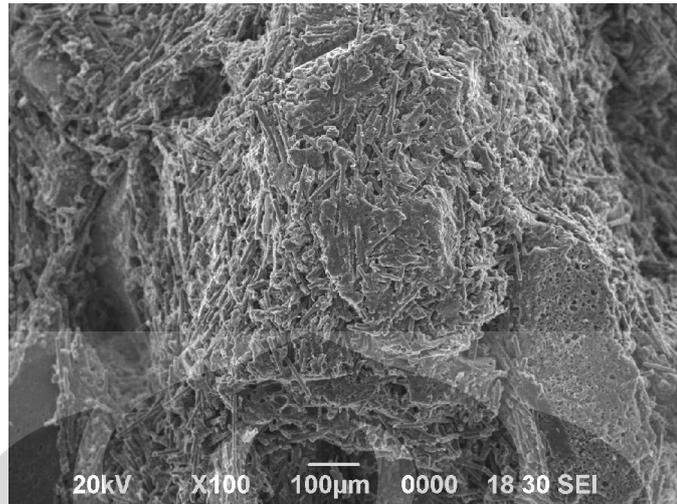


Sampel F2 Titik ke 03 Perbesaran 100 X

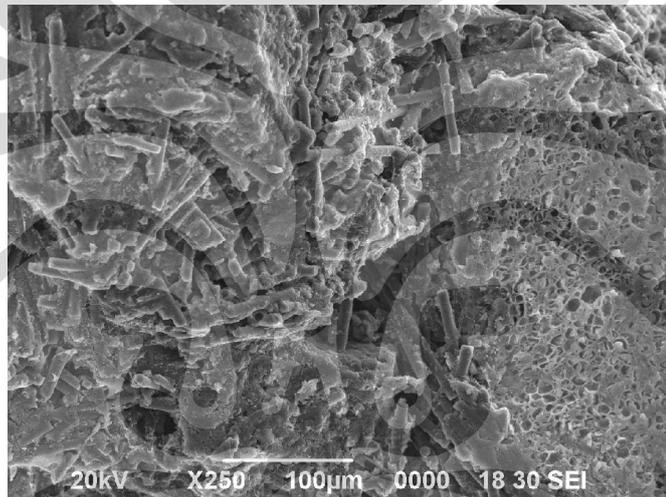


Sampel F2 Titik ke 03 perbedsaran 250 X

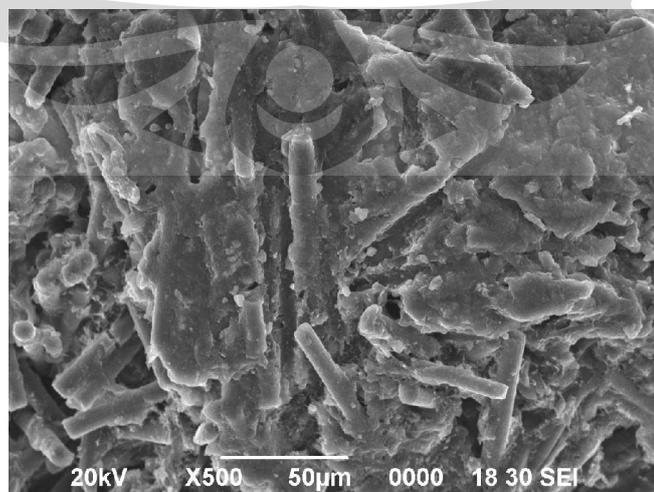
## Hasil Uji SEM Sampel F3 Titik ke 01



Sampel F3 Titik ke 01 Perbesaran 100 X

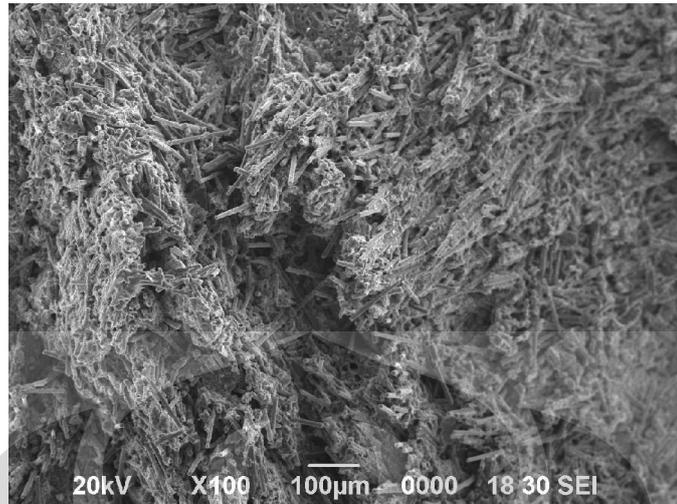


Sampel F3 Titik ke 01 Perbesaran 250 X

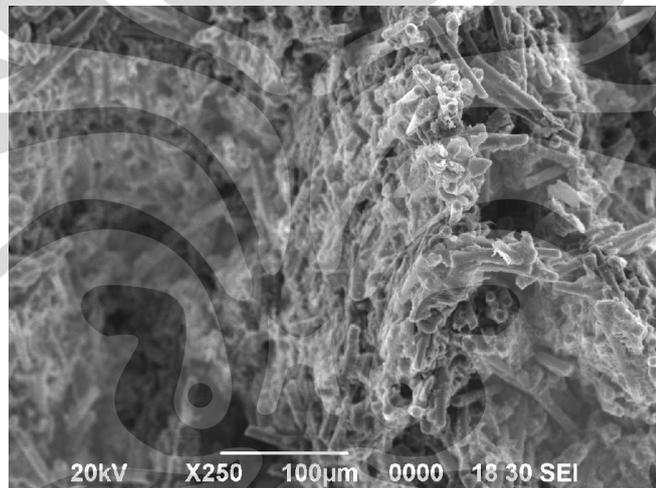


Sampel F3 Titik ke 01 Perbesaran 500 X

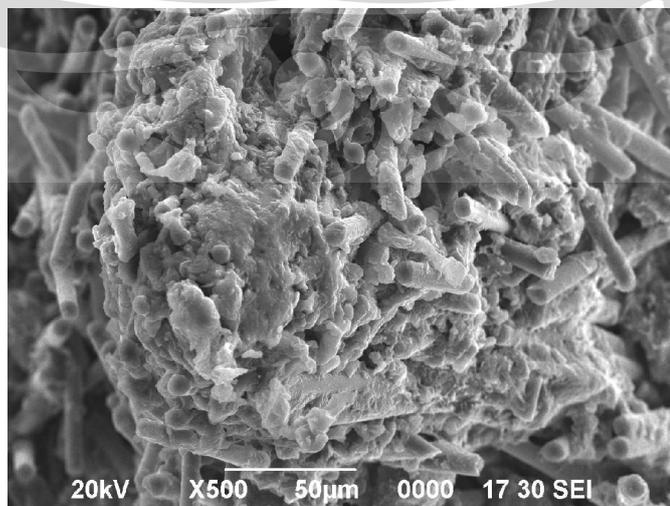
## Hasil Uji SEM Sampel F3 Titik ke 02



Sampel F3 Titik ke 02 Perbesaran 100 X

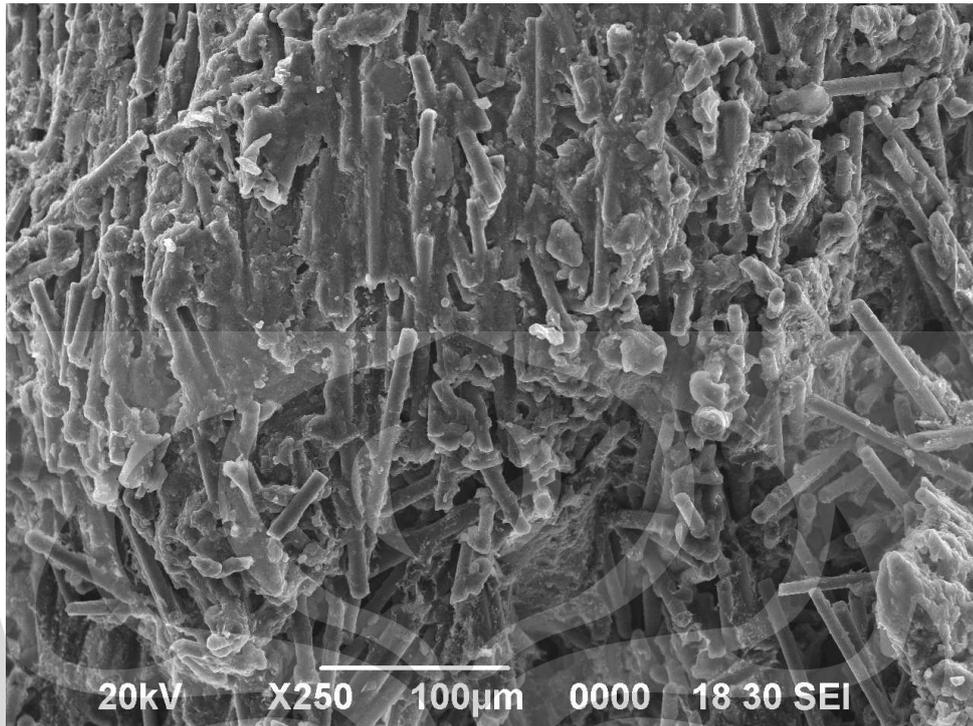


Sampel F3 Titik ke 02 Perbesaran 250 X

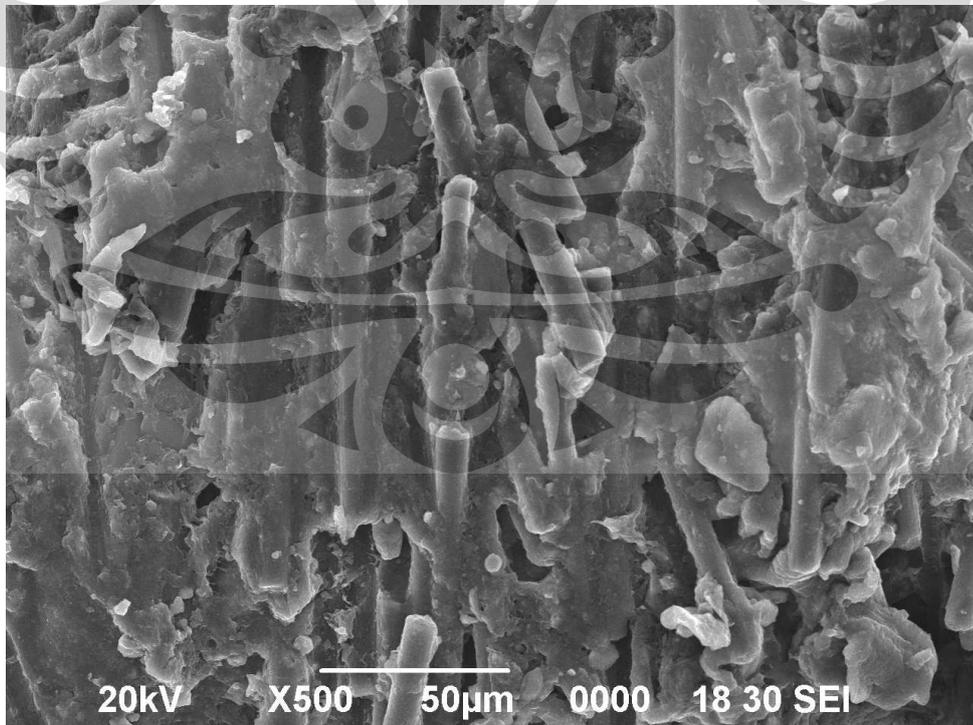


Sampel F3 Titik ke 02 Perbesaran 500 X

**Hasil Uji SEM Sampel F3 Titik ke 03**



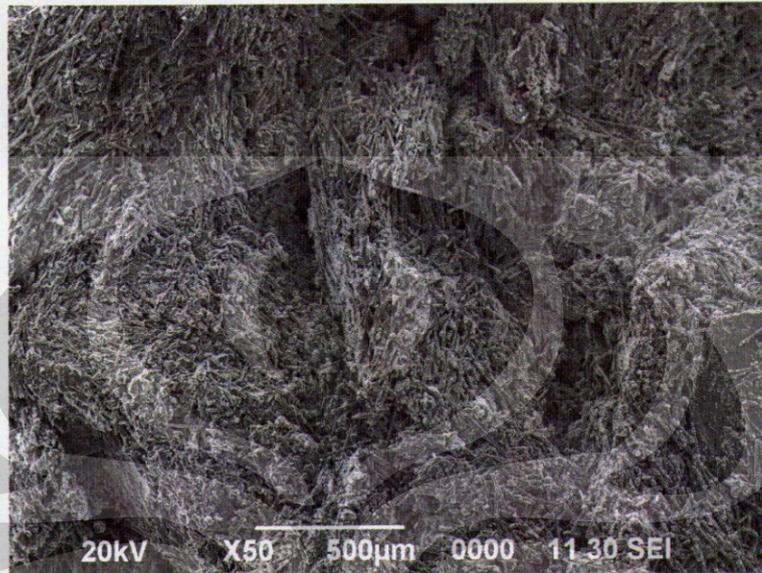
**Sampel F3 Titik ke 03 Perbesaran 250 X**



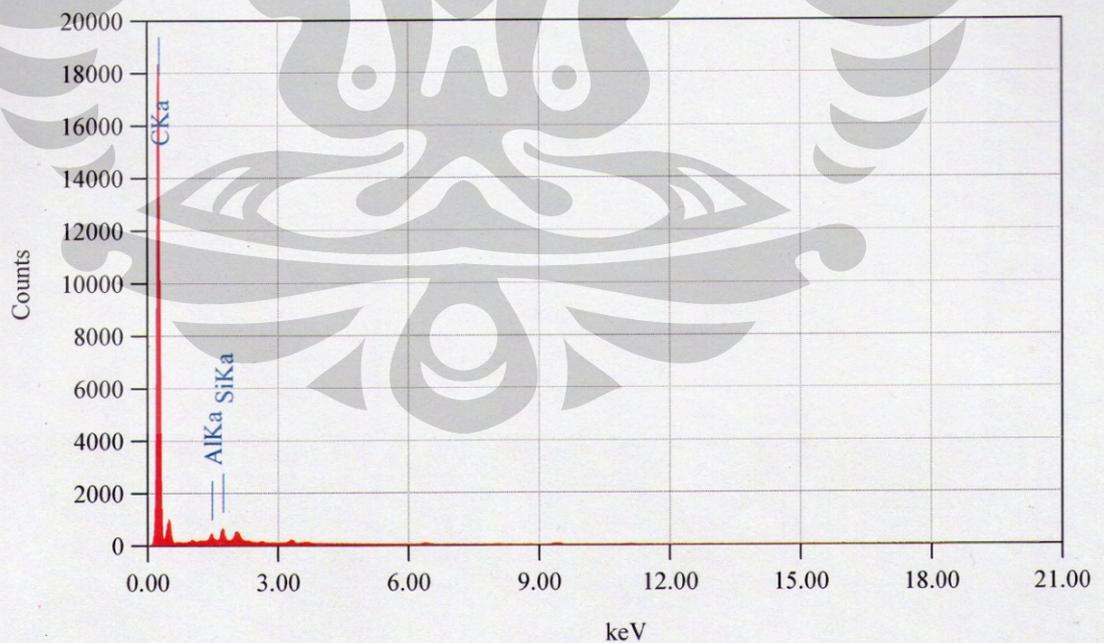
**Sampel F3 Titik ke 03 Perbesaran 500 X**

## Hasil Uji EDS Sampel F1

### 7. Foto Permukaan Electron Microscope Titik 3 (perbesaran 50 x)

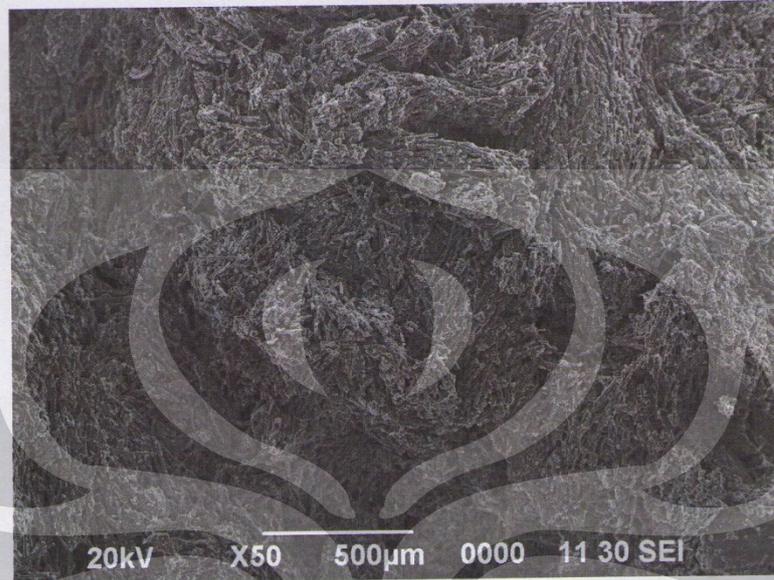


### 8. Grafik Analisis Kualitatif (Perbesaran 50 x)

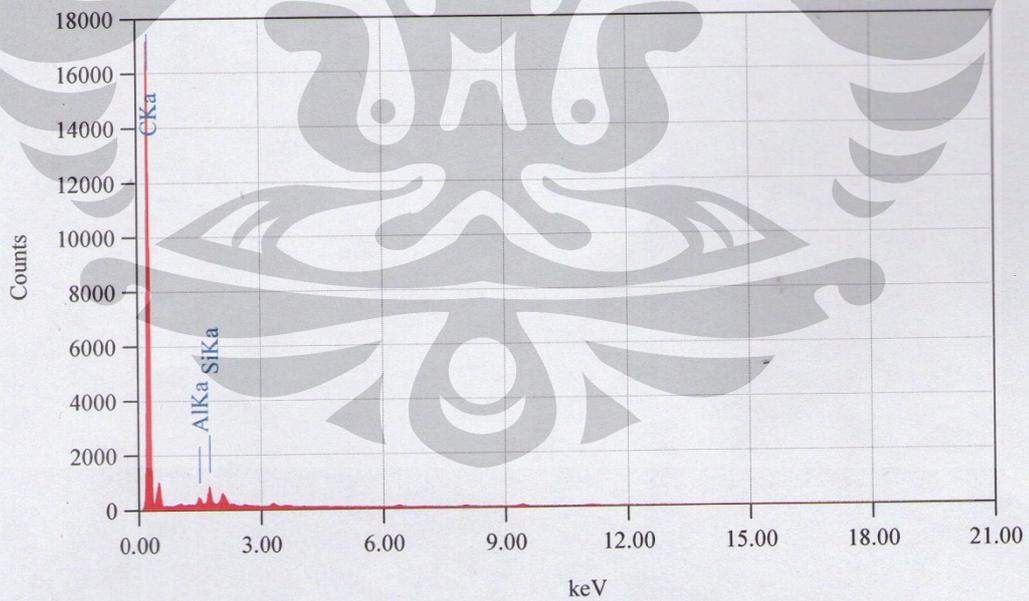


## Hasil Uji EDS Sampel F2

### 9. Foto Permukaan Electron Microscope Titik 3 (perbesaran 50 :

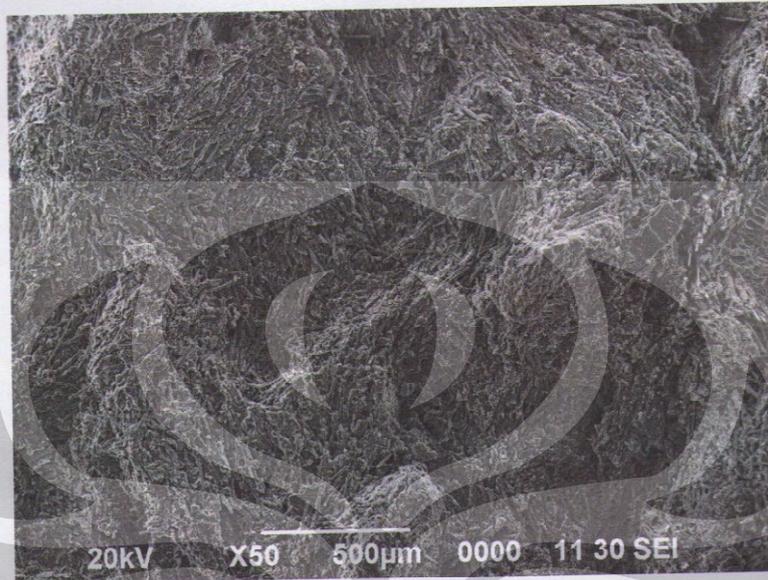


### 10. Grafik Analisis Kualitatif (Perbesaran 50 x)



## Hasil Uji EDS Sampel F3

### 9. Foto Permukaan Electron Microscope Titik 3 (perbesaran 50 x)



### 10. Grafik Analisis Kualitatif (Perbesaran 50 x)

