



UNIVERSITAS INDONESIA

**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 CELL***

**SKRIPSI**

**MUHAMMAD HATTA ADAM  
0404040313**

**FAKULTAS TEKNIK  
DEPARTEMEN METALURGI DAN MATERIAL  
DEPOK  
DESEMBER 2008**



UNIVERSITAS INDONESIA

**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 CELL***

**SKRIPSI**

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

**MUHAMMAD HATTA ADAM  
0404040313**

**FAKULTAS TEKNIK  
DEPARTEMEN METALURGI DAN MATERIAL  
DEPOK  
DESEMBER 2008**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Muhammad Hatta Adam

NPM : 0404040313

Tanda Tangan :

Tanggal : 24 Desember 2008

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Muhammad Hatta Adam  
NPM : 0404040313  
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material  
Judul Skripsi :

**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***

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 : Dr.Ir. A. Herman Yuwono, M.Phil.Eng. (.....)

Penguji : Dr.Ir. Sotya Astutiningsih, M. Eng. (.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 24 Desember 2008

## 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. dan Dr. Ir. A. Herman Yuwono, 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) dan BATAN di PUSPIPTEK Serpong 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, 24 Desember 2008

Penulis

## HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

---

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

Nama : Muhammad Hatta Adam  
NPM : 0404040313  
Departemen : Metalurgi dan Material  
Fakultas : Teknik  
Jenis karya : Skripsi

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

**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***

berserta 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 : 24 Desember 2008  
Yang menyatakan

(Muhammad Hatta Adam)

## 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 .....	xi
DAFTAR TABEL .....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN .....	xvi
DAFTAR SINGKATAN .....	xvii
DAFTAR SIMBOL .....	xviii
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1 LATAR BELAKANG .....	1
1.2 TUJUAN PENELITIAN .....	2
1.3 BATASAN MASALAH .....	2
1.4 SISTEMATIKA PENULISAN .....	3
BAB 2 LANDASAN TEORI .....	4
2.1 TEKNOLOGI PEM <i>FUEL CELL</i> .....	4
2.1.1 Struktur PEM <i>Fuel Cell</i> .....	5
2.1.2 Pelat Bipolar .....	7
2.1.2.1 Fungsi Pelat Bipolar .....	8
2.1.2.2 Material Pelat Bipolar .....	9
2.1.2.3 Pelat Bipolar Komposit Polimer-Karbon .....	10
2.2 KOMPOSIT .....	11
2.2.1 Komposit Bermatriks Polimer .....	12
2.3 MATRIKS POLIMER .....	13
2.3.1 Polipropilena .....	13

2.3.2 Etilena-Propilena-Diena Terpolimer (EPDM) .....	16
2.4 BAHAN PENGISI KONDUKTIF .....	18
2.4.1 Karbon Hitam .....	18
2.4.2 Grafit Sintetik .....	19
2.4.3 Serat Karbon .....	19
2.5 ADITIF ANTIOKSIDAN .....	21
2.6 FAKTOR YANG MEMPENGARUHI SIFAT KOMPOSIT ...	23
2.6.1 Pengaruh Orientasi dan Konsentrasi Pengisi .....	23
2.6.1.1 Sifat Mekanik .....	23
2.6.1.1 Sifat Konduktivitas Listrik .....	26
2.6.2 Daya Pembasahan .....	27
2.6.3 Antarmuka dan Antarfasa .....	29
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN .....	32
3.1 DIAGRAM ALIR PENELITIAN .....	32
3.2 KOMPOSISI BAHAN .....	34
3.3 PERALATAN DAN BAHAN .....	35
3.3.1 Peralatan .....	35
3.3.2 Bahan-Bahan .....	37
3.3.2.1 Polipropilena (PP) .....	37
3.3.2.2 Karbon .....	38
3.3.2.3 Etilena-Propilena-Diena Terpolimer (EPDM) .....	40
3.3.2.4 Antioksidan .....	41
3.4 PROSEDUR PENELITIAN .....	42
3.4.1 Preparasi dan Fabrikasi Sampel .....	42
3.4.1.1 Penimbangan .....	42
3.4.1.2 Pencampuran ( <i>Compounding</i> ) .....	42
3.4.1.3 Penghalusan ( <i>Crushing</i> ) .....	43
3.4.1.4 Pencetakan Pelat ( <i>Compression Molding</i> ) .....	43
3.4.1.5 Pembuatan Spesimen Uji .....	44
3.4.2 Pengujian Karakterisasi Material .....	45
3.4.2.1 Pengukuran Kerapatan Massa ( <i>Density</i> ) .....	45
3.4.2.2 Pengujian Tarik ( <i>Tensile</i> ) .....	46



3.4.2.3 Pengujian Tekuk ( <i>Flexural</i> ) .....	47
3.4.2.4 Pengujian Konduktivitas Listrik .....	48
3.4.2.5 Pengamatan SEM .....	49
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN .....	50
4.1 HASIL PREPARASI SAMPEL .....	50
4.1.1 Hasil Pencampuran ( <i>Compounding</i> ) .....	50
4.1.2 Hasil Penghalusan ( <i>Crushing</i> ) .....	50
4.1.3 Hasil Pencetakan ( <i>Compression Molding</i> ) .....	51
4.1.4 Hasil Pembuatan Spesimen Uji .....	52
4.2 HASIL PENGUJIAN KARAKTERISASI .....	52
4.2.1 Hasil Pengukuran Kerapatan Massa ( <i>Density</i> ) .....	52
4.2.2 Hasil Pengujian Tarik ( <i>Tensile</i> ) .....	54
4.2.3 Hasil Pengujian Tekuk ( <i>Flexural</i> ) .....	58
4.2.4 Hasil Pengujian Konduktivitas Listrik .....	61
4.2.5 Hasil Pengamatan SEM .....	63
4.2.5.1 Permukaan Patahan Spesimen Uji Tarik .....	63
4.2.5.2 Permukaan Patahan Spesimen Uji Tekuk .....	67
BAB 5 KESIMPULAN .....	70
DAFTAR REFERENSI .....	71
LAMPIRAN .....	76

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
<b>Gambar 2.1</b> Diagram PEM <i>fuel cell</i> .....	2
<b>Gambar 2.2</b> Struktur rangkaian PEM <i>fuel cell</i> .....	5
<b>Gambar 2.3</b> Pelat bipolar dengan saluran alir .....	7
<b>Gambar 2.4</b> Letak pelat bipolar ( <i>field flow plate</i> ) pada PEM <i>fuel cell</i> .....	8
<b>Gambar 2.5</b> Jenis komposit berdasarkan bentuk penguat: (a) komposit serat pendek acak, (b) komposit serat panjang sejajar, (c) komposit partikulat, (d) komposit serpihan, (e) komposit berpengisi .....	12
<b>Gambar 2.6</b> Polimerisasi propilena menjadi polipropilena .....	14
<b>Gambar 2.7</b> Susunan stereoregular polipropilena: (a) isotaktik, (b) sindiotaktik, (c) ataktik .....	15
<b>Gambar 2.8</b> Komposit hibrida serat-partikulat ( <i>fiber-particulate hybrids</i> ) .....	18
<b>Gambar 2.9</b> Siklus auto-oksidasi .....	22
<b>Gambar 2.10</b> Orientasi pengisi pada komposit berpenguat serat: (a) panjang dan searah, (b) pendek dan searah, (c) pendek dan acak .....	24
<b>Gambar 2.11</b> (a) Skema kurva tegangan-regangan untuk material serat getas dan matriks ulet. Perpatahan tegangan dan regangan untuk kedua material terlihat. (b) Skema kurva tegangan-regangan untuk komposit berpenguat serat terjajar yang diberi beban tegangan searah penjajaran (arah longitudinal) .....	25
<b>Gambar 2.12</b> Ketergantungan nilai konduktivitas pada fraksi volume pengisi .....	27
<b>Gambar 2.13</b> Keseimbangan tiga tegangan permukaan dalam kondisi <i>wetting</i> tetes cairan pada permukaan padat. Skema sudut kontak $\theta$ dan energi permukaan $\gamma_{SL}$ , $\gamma_{SV}$ , $\gamma_{LV}$ .....	28
<b>Gambar 2.14</b> Daya pembasahan berdasarkan besar sudut kontak ( $\phi$ ) .....	29
<b>Gambar 2.15</b> (a) Skema antarmuka dan antarfasa, (b) Beberapa faktor yang mempengaruhi proses pembentukan antarfasa .....	30

<b>Gambar 2.16</b> Skema bentuk ikatan antarmuka: (a) penjeratan antar molekul, (b) gaya tarik elektrostatik, (c) interdifusi unsur-unsur, (d) reaksi kimia antar gugus, (e) reaksi kimia membentuk senyawa baru terutama pada komposit bermatriks logam, (f) penguncian mekanik .....	31
<b>Gambar 3.1</b> Diagram alir preparasi dan fabrikasi sampel .....	32
<b>Gambar 3.2</b> Diagram alir pengujian karakterisasi sampel .....	33
<b>Gambar 3.3</b> Diagram skematik alat <i>compression molding</i> .....	43
<b>Gambar 3.4</b> Skema bentuk spesimen uji tarik .....	47
<b>Gambar 3.5</b> (a) Skema pengujian tekuk 3-titik .....	47
<b>Gambar 3.6</b> (a) Gambar tempat penyimpanan cuplikan sampel, (b) Hubungan ke alat LCR-meter .....	48
<b>Gambar 3.7</b> Diagram sirkuit pengukuran konduktivitas listrik .....	48
<b>Gambar 4.1</b> <i>Master batch</i> komposit PP/EPDM/C hasil <i>hot blending</i> .....	50
<b>Gambar 4.2</b> <i>Master batch</i> komposit PP/EPDM/C berbentuk granula .....	51
<b>Gambar 4.3</b> Pelat tipe I .....	51
<b>Gambar 4.4</b> Pelat tipe II .....	51
<b>Gambar 4.5</b> Spesimen uji tarik tipe IV dan spesimen uji tekuk .....	52
<b>Gambar 4.6</b> Grafik perbandingan kerapatan massa setiap formulasi komposit PP/EPDM/C .....	53
<b>Gambar 4.7</b> Grafik perbandingan kekuatan tarik setiap formulasi komposit PP/EPDM/C .....	55
<b>Gambar 4.8</b> Gambaran skematik dari <i>craze</i> yang menunjukkan rongga-rongga mikro dan jembatan <i>fibrillar</i> kemudian diikuti oleh retak ( <i>crack</i> ) .....	56
<b>Gambar 4.9</b> Grafik perbandingan modulus tarik setiap formulasi komposit PP/EPDM/C .....	58
<b>Gambar 4.10</b> Grafik perbandingan kekuatan tekuk setiap formulasi komposit PP/EPDM/C .....	59
<b>Gambar 4.11</b> Grafik perbandingan modulus tekuk setiap formulasi komposit PP/EPDM/C .....	60
<b>Gambar 4.12</b> Grafik perbandingan nilai konduktivitas setiap formulasi komposit PP/EDPM/C .....	62

<b>Gambar 4.13</b> Permukaan patahan spesimen uji tarik F2: (a) Perbesaran 50X, (b) Perbesaran 150X. Terlihat ada partikel karbon hitam yang teraglomerasi dan ada rongga ( <i>voids</i> ) di tengah spesimen. Serabut warna putih adalah matriks PP/EPDM, menandakan matriks polimer bersifat ulet .....	63
<b>Gambar 4.14</b> Permukaan patahan spesimen uji tarik F2 dengan perbesaran 500X. Serat karbon terorientasi secara acak dan matriks PP/EPDM tidak membasahi serat karbon secara merata, hanya sedikit serat karbon yang terselimuti matriks. Terlihat sebagian serat karbon tertarik keluar ( <i>pulled out</i> ) .....	65
<b>Gambar 4.15</b> Permukaan patahan spesimen uji tarik F5: (a) Perbesaran 50X, (b) Perbesaran 250X. Permukaan patahan yang datar menandakan komposit bersifat getas. Pada beberapa bagian ada partikel karbon hitam yang teraglomerasi .....	66
<b>Gambar 4.16</b> Permukaan patahan spesimen uji tarik F5 dengan perbesaran 500X. Adhesi yang buruk dan kandungan matriks PP/EPDM yang sedikit menyebabkan terlepasnya serat karbon ( <i>pulled out</i> ) akibat beban tarik .....	66
<b>Gambar 4.17</b> Permukaan patahan spesimen uji tekuk F2 dengan perbesaran 250X. Sebagian serat karbon terselimuti matriks PP/EPDM. Ada partikel karbon yang teraglomerasi (ditandai lingkaran kuning) dan sebagian serat karbon mengalami <i>pulled out</i> (ditandai panah merah) .....	67
<b>Gambar 4.18</b> Skema tegangan tarik-tekan yang dialami spesimen uji tekuk .....	68
<b>Gambar 4.19</b> Mekanisme deformasi material semikristalin, ketika mengalami tegangan tarik terjadi peregangan pada fasa amorf .....	68
<b>Gambar 4.20</b> Permukaan patahan tekuk sampel F4 dengan perbesaran 250X. Permukaan patahan terlihat datar dan banyak serat karbon yang mengalami <i>pulled out</i> .....	69

## DAFTAR TABEL

	Halaman
<b>Tabel 2.1</b> Komponen-komponen utama PEM <i>fuel cell</i> .....	6
<b>Tabel 2.2</b> Sifat material yang dibutuhkan untuk pelat bipolar ideal .....	9
<b>Tabel 2.3</b> Sifat-sifat material untuk pelat bipolar PEM <i>fuel cell</i> .....	10
<b>Tabel 2.4</b> Sifat-sifat PP .....	14
<b>Tabel 2.5</b> Jenis-jenis polipropilena .....	16
<b>Table 2.6</b> Sifat-sifat EPDM .....	17
<b>Tabel 2.7</b> Sifat-sifat umum grafit .....	19
<b>Tabel 2.8</b> Sifat serat karbon berdasarkan bahan dasarnya .....	20
<b>Tabel 2.9</b> Jenis-jenis serat karbon .....	21
<b>Tabel 2.10</b> Nilai konduktivitas untuk jenis material yang berbeda .....	27
<b>Tabel 3.1</b> Komposisi dan pengkodean formulasi sampel .....	34
<b>Table 3.2</b> Perbandingan fraksi massa ketiga jenis karbon .....	34
<b>Tabel 3.3</b> Peralatan dan spesifikasinya .....	35
<b>Tabel 3.4</b> Spesifikasi kopolimer blok polipropilena COSMOPLENE® ....	38
<b>Tabel 3.5</b> Spesifikasi karbon .....	39
<b>Tabel 3.6</b> Sifat-sifat karbon hitam <i>Cabot Vulcan XC-72</i> .....	39
<b>Tabel 3.7</b> Sifat-sifat serat karbon <i>Fortail 243</i> .....	40
<b>Tabel 3.8</b> Spesifikasi karet EPDM .....	41
<b>Tabel 3.9</b> Sifat-sifat CN-CAT B215 .....	42
<b>Tabel 3.10</b> Fase pencetakan untuk sampel F1, F2, dan F3 .....	44
<b>Tabel 3.11</b> Fase pencetakan untuk sampel F4 dan F5 .....	44
<b>Tabel 3.12</b> Dimensi spesimen uji tarik tipe IV .....	46

<b>Tabel 4.1</b> Nilai kerapatan massa ( <i>density</i> ) .....	53
<b>Tabel 4.2</b> Nilai kekuatan tarik ( <i>tensile strength</i> ) .....	54
<b>Tabel 4.3</b> Nilai modulus tarik ( <i>tensile modulus of elasticity</i> ) .....	57
<b>Tabel 4.4</b> Nilai kekuatan tekuk ( <i>flexural strength</i> ) .....	58
<b>Tabel 4.5</b> Nilai modulus tekuk ( <i>flexural modulus of elasticity</i> ) .....	60
<b>Tabel 4.6</b> Nilai konduktivitas listrik .....	61



## DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
<b>Lampiran 1</b> Hasil Perhitungan Kerapatan Massa .....	76
<b>Lampiran 2</b> Hasil Uji Tarik .....	77
<b>Lampiran 3</b> Hasil Uji Tekuk .....	82
<b>Lampiran 4</b> Hasil Uji Konduktivitas Listrik .....	87



## DAFTAR SINGKATAN

C	<i>Carbon</i>
DOE	<i>Department of energy</i>
EPDM	<i>Ethylene-propylene-diene terpolymer</i>
GDL	<i>Gas diffusion layer</i>
LCP	<i>Liquid crystal polymer</i>
MEA	<i>Membrane electrolyte assembly</i>
PAN	<i>Polyacrylonitrile</i>
PEM	<i>Polymer electrolyte membrane</i>
PE	<i>Polyethylene</i>
PP	<i>Polypropylene</i>
PVDF	<i>Polyvinylidene fluoride</i>
SC	<i>Spreading coefficient</i>
SEM	<i>Scanning electron 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	
$\epsilon_c$	Regangan komposit	m/m
$\epsilon_m$	Regangan matriks	m/m
$\epsilon_f$	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	
$\rho_{sampel}$	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

