



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH PENAMBAHAN 10-20 WT.% CARBON BLACK  
TERHADAP KARAKTERISASI KOMPOSIT EPOXY/GRAFIT  
SINTETIS SEBAGAI MATERIAL PELAT BIPOLAR  
POLYMER ELECTROLYTE MEMBRANE FUEL CELL**

**SKRIPSI**

**KENYA DIESTHA LANGEN CITTA  
0606075006**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI METALURGI DAN MATERIAL  
DEPOK  
JULI 2010**



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH PENAMBAHAN 10-20 WT.% CARBON BLACK  
TERHADAP KARAKTERISASI KOMPOSIT *EPOXY*/GRAFIT  
SINTETIS SEBAGAI MATERIAL PELAT BIPOLAR  
*POLYMER ELECTROLYTE MEMBRANE FUEL CELL***

**SKRIPSI**

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

**KENYA DIESTHA LANGEN CITTA  
0606075006**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI METALURGI DAN MATERIAL  
DEPOK  
JULI 2010**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Kenya Diestha Langen Citta

NPM : 0606075006

Tanda Tangan :

Tanggal : 09 Juli 2010

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Kenya Diestha Langen Citta

NPM : 0606075006

Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material

Judul Skripsi : Pengaruh Penambahan 10-20 wt.% *Carbon Black* terhadap Karakterisasi Komposit *Epoxy/Grafit Sintetis* Sebagai Material Pelat Bipolar *Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell*

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 1 : Ir. Yunita Sadeli MSc. ( )

Penguji 1 : Dr. Ir. A. Herman Yuwono, M. Phil. Eng. ( )

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

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 09 Juli 2010

## KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr. Wb.

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik dari Departemen Metalurgi dan Material pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Dengan sepuh hati penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang membimbing dan membantu secara moril dan materil selama masa perkuliahan, penelitian hingga penyusunan skripsi ini. Terima kasih saya ucapkan kepada :

1. Ir. Yunita Sadeli, Msc., selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan kesempatan, waktu, dan pikiran untuk selalu mengarahkan dan membimbing penulis dalam penyusunan skripsi ini;
2. Dr. Ir. Bambang Prihandoko, M.T sebagai pembimbing dari Pusat Penelitian Fisika Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) atas arahan dan bimbingannya kepada penulis selama proses penyusunan skripsi;
3. Prof. Dr. Ir. Bondan Tiara Sofyan, M.Si. selaku pembimbing akademik penulis selama masa perkuliahan;
4. Orang tua penulis Jeddy Januardi dan Murni Widiyati serta kakak penulis Brayang L.P yang telah memberikan dukungan dan motivasi moril maupun materil kepada penulis;
5. Sahabat Mt'06 terbaik penulis Farah Fauziah, Dania Febriyani, dan Nike Lestari atas semua dukungan yang diberikan kepada penulis. Teman-teman tim KFC Beringin Saputra, Rio Kurniawan, Gabriel Sembiring, Desto Wahyu, dan Setiadi atas kerjasamanya dalam penelitian ini;
6. Raja Aditiandra yang selalu memberikan semangat kepada penulis serta sahabat D'Jajans tercinta Uci, Rahmah, Andya, Tisha, Rendy, Sandi, dan Cinde yang telah menghibur penulis di saat jenuh;

7. Seluruh karyawan Departemen Teknik Metalurgi dan Material. Tim Nano dari Fisika LIPI, Pak Andi, Pak Subhan, Mas Hendra, Mas Tomi atas bantuannya kepada penulis selama penelitian;
8. Rekan-rekan KamiMe 2006 dan teman-teman Metalurgi dan Material atas semangat dan dukungannya selama masa perkuliahan hingga penyusunan skripsi. Serta pihak yang turut membantu penulis yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Semoga skripsi ini dapat membantu pihak-pihak yang membutuhkan informasi di dalamnya. Saya menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, saya mengharapkan saran dan kritik dari pembaca.

Depok, 09 Juli 2010

Penulis

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

---

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

Nama : Kenya Diestha Langen Citta

NPM : 0606075006

Departemen : Metalurgi dan Material

Fakultas : Teknik

Jenis karya : Skripsi

demikian 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 10-20 wt.% *Carbon Black* terhadap Karakterisasi Komposit *Epoxy*/Grafrit Sintetis Sebagai Material Pelat Bipolar *Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell***

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, 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 : 09 Juli 2010

Yang menyatakan

(Kenya Diestha Langen Citta)

## ABSTRAK

Nama : Kenya Diestha Langen Citta  
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material  
Judul : **Pengaruh Penambahan 10-20 wt.% Carbon Black Terhadap Karakterisasi Komposit Epoxy/Grafit Sintetis Sebagai Material Pelat Bipolar Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell**

*Fuel Cell* merupakan sumber energi alternatif yang mengkonversi hidrogen menjadi energi listrik, dimana *fuel cell* yang potensial dikembangkan adalah *Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell* (PEMFC) berbahan dasar polimer komposit. Peluang pengembangan PEMFC masih terbuka, terutama pada material pelat bipolar sebagai bagian dari *fuel cell* untuk menurunkan harganya. Penelitian ini bertujuan untuk mendapat komposisi optimum pelat bipolar tersebut dengan menggunakan bahan utama grafit sintetis, polimer termoset *epoxy*, serta penambahan *carbon black* dengan lima komposisi variabel *carbon black* yaitu 10; 12,5; 15; 17,5 dan 20 wt% menggunakan metoda *compression moulding* pada temperatur 70 °C dengan tekanan 300 kg.cm<sup>-2</sup> selama 4 jam. Konduktivitas listrik tertinggi sebesar 0,32 S.cm<sup>-1</sup> dicapai pada penambahan *carbon black* 12,5 wt% dan kekuatan fleksural hanya mencapai 16,21 MPa, sedangkan kekuatan fleksural dan porositas yang optimum terjadi pada penambahan *carbon black* sebesar 10 wt%. Densitas pelat bipolar tidak mempunyai dampak yang signifikan terhadap penambahan *carbon black*.

Kata kunci:

*Fuel cell*, PEMFC, grafit sintetis, *carbon black*, pelat bipolar, konduktivitas listrik, sifat mekanik, kekuatan fleksural

## ABSTRACT

Name : Kenya Diestha Langen Citta  
Study Program : Metallurgy and Materials Engineering  
Title : **The Effect of 10-20 wt.% Carbon Black Addition to the Characteristics of Epoxy/Graphite Synthetic Composite as Bipolar Plate Material of *Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell***

Fuel Cell is an alternative energy source that converting hydrogen into electric energy. One of potential developed fuel cell is Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell (PEMFC) composite material based. PEMFC development opportunities are still open, especially on the bipolar plate material as part of fuel cell that can reduce the cost. This research aimed to obtain the optimum composition of PEMFC's bipolar plate using the main ingredient of synthetic graphite, epoxy thermoset polymer, and addition of carbon black with five variable composition, 10; 12.5; 15; 17.5 and 20 wt% using a compression moulding method at temperature of 70 °C and at pressure of 300 kg.cm<sup>-2</sup> for 4 hours. The highest electrical conductivity is 0.32 S.cm<sup>-1</sup>, which is achieved in the addition of 12.5 wt% carbon black and flexural strength only reaches 16.21 MPa, while the optimum flexural strength and porosity occurred on the addition of 10 wt% carbon black. Density of the bipolar plate has no significant effect on the addition of carbon black.

Keywords:

Fuel cell, PEMFC, synthetic graphite, carbon black, bipolar plates, electrical conductivity, mechanical properties, flexural strength

## DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....	ii
HALAMAN PENGESAHAN .....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH .....	vi
ABSTRAK .....	vii
ABSTRACT .....	viii
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL .....	xii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	4
1.3 Tujuan Penelitian .....	5
1.4 Ruang Lingkup & Batasan Masalah .....	5
1.5 Sistematika Penulisan .....	6
BAB 2 LANDASAN TEORI .....	8
2.1 <i>Fuel Cell</i> .....	8
2.2 Jenis <i>Fuel Cell</i> .....	10
2.3 PEMFC .....	11
2.4 Pelat Bipolar .....	15
2.5 Material Pelat Bipolar Komposit Polimer .....	19
2.5.1 Epoxy Resin .....	19
2.5.2 Grafit .....	21
2.5.3 Carbon Black .....	23
2.5.4 Metanol .....	23
2.6 Komposit .....	24
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN .....	29

3.1 Diagram Alir Penelitian .....	29
3.2 Alat dan Bahan... .....	30
3.2.1 Peralatan .....	30
3.2.2 Bahan .....	30
3.2.2.1 Epoxy Resin & Hardener .....	30
3.2.2.2 Grafit Sintetis .....	31
3.2.2.3 Carbon Black .....	32
3.2.2.4 Metanol .....	32
3.3 Prosedur Penelitian .....	33
3.3.1 Preparasi Sampel .....	33
3.3.1.1 Penimbangan .....	33
3.3.1.2 Proses Pencampuran .....	34
3.3.1.3 Proses Pencetakan .....	35
3.3.1.4 Pembuatan Spesimen Uji .....	36
3.3.2 Pengujian Karakteristik Material.....	37
3.3.2.1 Uji Densitas .....	37
3.3.2.2 Uji Konduktivitas .....	38
3.3.2.3 Uji Porositas .....	39
3.3.2.4 Uji Fleksural .....	41
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN .....	43
4.1 Pengamatan Visual .....	43
4.2 Pengujian Densitas .....	45
4.3 Pengujian Porositas .....	46
4.4 Pengujian Fleksural.....	48
4.5 Pengujian Konduktivitas .....	50
4.6 Perbandingan Pelat Bipolar .....	52
BAB 5 KESIMPULAN .....	54
DAFTAR REFERENSI .....	55
LAMPIRAN .....	60

## DAFTAR GAMBAR

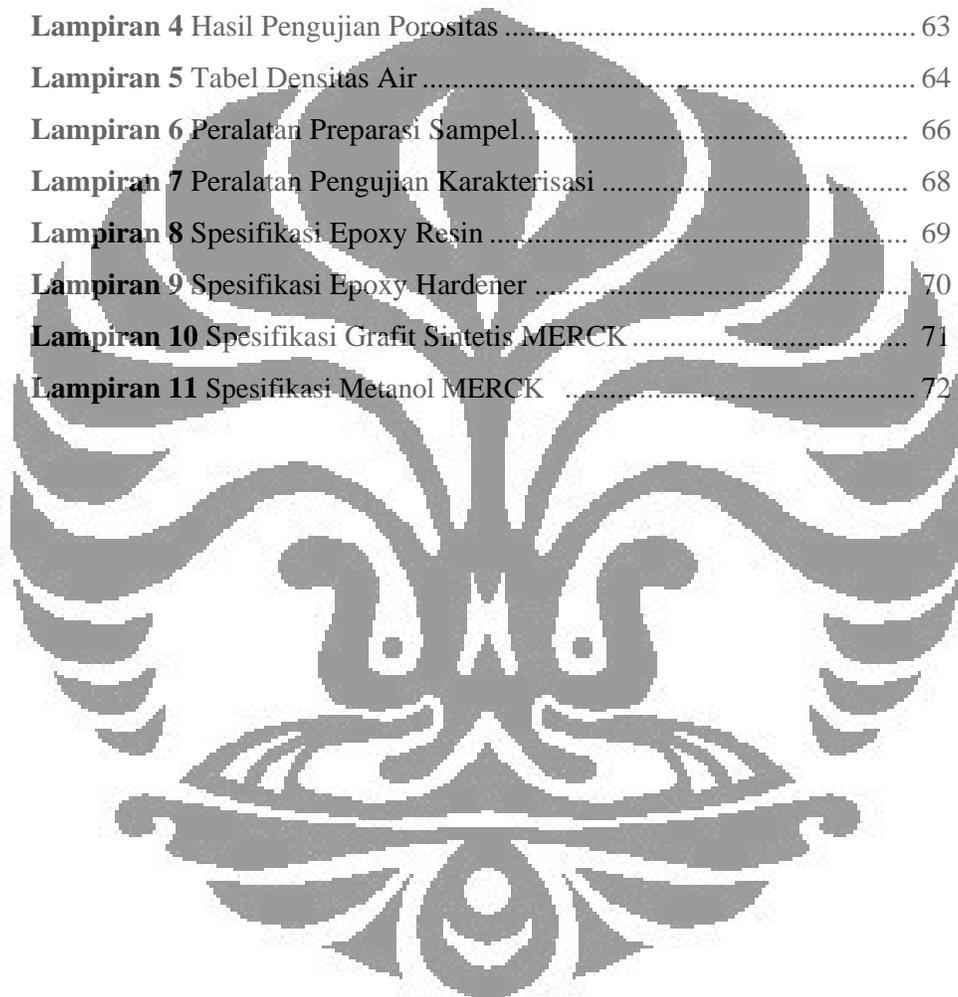
	Halaman
<b>Gambar 1.1</b> Produksi Energi Fosil 2004-2008 .....	1
<b>Gambar 2.1</b> Rangkaian Fuel Cell .....	8
<b>Gambar 2.2</b> Mekanisme PEMFC .....	12
<b>Gambar 2.3</b> Struktur PEMFC .....	13
<b>Gambar 2.4</b> Klasifikasi Material Pelat Bipolar .....	16
<b>Gambar 2.5</b> Pelat Bipolar .....	19
<b>Gambar 2.6</b> Reaksi Pembentukan Epoxy .....	20
<b>Gambar 2.7</b> Struktur Kristal Grafit .....	22
<b>Gambar 2.8</b> Struktur Metanol .....	24
<b>Gambar 2.9</b> Parameter Bahan Pengisi pada Komposit .....	27
<b>Gambar 2.10</b> Fenomena Interface & Interphase pada Komposit .....	28
<b>Gambar 3.1</b> Diagram Alir Penelitian .....	30
<b>Gambar 3.2</b> Hasil Proses <i>Mixing</i> .....	36
<b>Gambar 3.3</b> Proses Pencetakan .....	37
<b>Gambar 3.4</b> Penimbangan Massa Spesimen di Air .....	39
<b>Gambar 3.5</b> Skema Uji konduktivitas .....	40
<b>Gambar 3.6</b> Pengujian Porositas. ....	41
<b>Gambar 3.7</b> Skematis Pengujian Fleksural.....	43
<b>Gambar 4.1</b> Hasil Pencetakan Pelat Bipolar (a) 10 wt.% CB; (b) 12,5 wt.% CB; (c) 15 wt.% CB; (d) 17,5 wt.% CB; (e) 20 wt.% CB.....	44
<b>Gambar 4.2</b> Hasil Pengujian Densitas.....	45
<b>Gambar 4.3</b> Hasil Pengujian Porositas .....	47
<b>Gambar 4.4</b> Hasil Pengujian Porositas .....	49
<b>Gambar 4.5</b> Hasil Pengujian Konduktivitas .....	51

## DAFTAR TABEL

	Halaman
<b>Tabel 1.1</b> Cadangan dan Produk Energi Fosil 2007 .....	2
<b>Tabel 2.1</b> Jenis-jenis <i>Fuel Cell</i> .....	10
<b>Tabel 2.2</b> Komponen Utama dalam PEMFC .....	14
<b>Tabel 2.3</b> Kriteria Standar Pelat Bipolar .....	15
<b>Tabel 2.4</b> Kelebihan dan Kekurangan dari Material Pelat Bipolar .....	17
<b>Tabel 2.5</b> Target DOE untuk Pelat Bipolar .....	18
<b>Tabel 2.6</b> Sifat Umum Grafit .....	22
<b>Tabel 2.7</b> Jenis Komposit beserta Keuntungan dan Kerugiannya .....	25
<b>Tabel 3.1</b> Spesifikasi <i>Epoxy Resin</i> .....	32
<b>Tabel 3.2</b> Spesifikasi Hardener .....	32
<b>Tabel 3.3</b> Spesifikasi Grafit Sintetis .....	33
<b>Tabel 3.4</b> Spesifikasi Metanol .....	34
<b>Tabel 3.5</b> Komposit Pelat Bipolar .....	35
<b>Tabel 4.1</b> Data Pengujian Densitas .....	45
<b>Tabel 4.2</b> Data Pengujian Porositas .....	47
<b>Tabel 4.3</b> Data Pengujian Fleksural .....	48
<b>Tabel 4.4</b> Data Pengujian Konduktivitas .....	50
<b>Tabel 4.5</b> Perbandingan Sifat Pelat Bipolar .....	52

## DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
<b>Lampiran 1</b> Hasil Pengujian Konduktivitas .....	60
<b>Lampiran 2</b> Hasil Pengujian Fleksural .....	61
<b>Lampiran 3</b> Hasil Pengujian Densitas .....	62
<b>Lampiran 4</b> Hasil Pengujian Porositas .....	63
<b>Lampiran 5</b> Tabel Densitas Air .....	64
<b>Lampiran 6</b> Peralatan Preparasi Sampel.....	66
<b>Lampiran 7</b> Peralatan Pengujian Karakterisasi .....	68
<b>Lampiran 8</b> Spesifikasi Epoxy Resin .....	69
<b>Lampiran 9</b> Spesifikasi Epoxy Hardener .....	70
<b>Lampiran 10</b> Spesifikasi Grafit Sintetis MERCK .....	71
<b>Lampiran 11</b> Spesifikasi Metanol MERCK .....	72



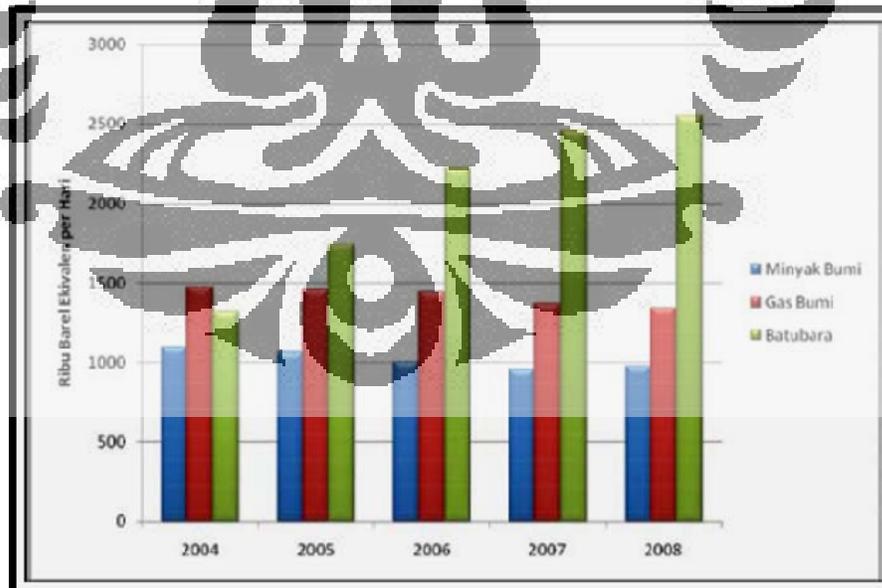
# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Kebutuhan akan sumber energi untuk menunjang kehidupan manusia terus bertambah seiring dengan meningkatnya jumlah serta kualitas hidup dari manusia. Hampir setiap aktivitas yang dilakukan manusia tidak terlepas dari pemakaian energi listrik sehingga kebutuhan akan energi listrik harus dapat terpenuhi setiap saat dan dimana saja. Permasalahan yang timbul adalah adanya perbandingan yang terbalik antara kebutuhan akan energi dengan ketersediaan dari energi tersebut.

Pada periode tahun 2004-2008 di Gambar 1.1, produksi energi fosil cenderung menurun, kecuali batubara. Produksi minyak bumi menurun dari 1.095 barel ekivalen per hari menjadi 978 barel ekivalen per hari. Demikian pula dengan produksi gas bumi yang menurun dari 1.478 barel ekivalen per hari menjadi 1.343 barel ekivalen per hari. Sedangkan produksi batubara meningkat dari 1.315 barel ekivalen per hari menjadi 2.551 barel ekivalen per hari [1].



Gambar 1.1 Produksi Energi Fosil 2004-2008

Berdasarkan data cadangan dan produksi tahun 2007 di Tabel 1.1, maka diperkirakan cadangan minyak akan habis dalam waktu 24 tahun, cadangan gas akan habis dalam waktu 66 tahun, dan cadangan batubara akan habis dalam waktu 86 tahun, dengan asumsi tidak ada eksplorasi baru [2].

**Tabel 1.1** Cadangan dan Produk Energi Fosil 2007

Jenis Energi Fosil	Cadangan	Produksi	Rasio Cadangan/ Produksi
Minyak	8.400.000.000 barel	348.300.000 barel	24 tahun
Gas	185 TSCF	2,8 TSCF	66 tahun
Batubara	18.700.000.000 ton	217.400.000 ton	86 tahun

Ketergantungan manusia kepada sumber energi primer seharusnya dapat dihindari. Menipisnya cadangan sumber energi fosil yaitu minyak bumi, gas bumi, dan batubara, tentu membuat manusia berpikir dan harus segera mendapatkan solusi dari permasalahan ini. Oleh sebab itu, diperlukan suatu sumber energi alternatif untuk memecahkan masalah tersebut.

Salah satu solusi yang saat ini tengah dikembangkan merupakan suatu energi alternatif yang memiliki potensi yang baik untuk masa depan yaitu sel tunam (*fuel cell*). Energi alternatif ini dapat diaplikasikan untuk memenuhi kebutuhan manusia akan energi serta diharapkan dapat menjadi pengganti sumber energi fosil yang semakin menipis cadangannya. Penggunaan *fuel cell* ini juga diharapkan dapat meminimalisasi emisi yang dihasilkan sehingga dapat mencegah efek dari pemanasan global dan kelestarian bumi akan tetap terjaga.

*Fuel cell* adalah sebuah perangkat yang mengkonversi energi kimia menjadi energi listrik dengan prinsip elektrokimia secara kontinu selama bahan bakar dari *fuel cell* tersebut tersedia [3]. Perangkat *fuel cell* ini menggunakan hidrogen sebagai bahan bakar untuk memproduksi elektron, proton, panas, dan air[4].

Beberapa keuntungan memakai perangkat *fuel cell* ini yaitu dapat mengeliminasi polusi yang disebabkan oleh pembakaran bahan bakar fosil karena produk dari *fuel cell* sendiri hanya air. Selain itu, bahan bakar *fuel cell* bukan merupakan bahan bakar fosil sehingga dapat mengatasi ketergantungan manusia terhadap sumber energi fosil tersebut. *Fuel cell* juga mempunyai nilai efisiensi yang lebih tinggi, mempunyai umur pakai yang cukup lama, dan tidak menghasilkan suara bising dalam mengoperasikannya [5].

*Fuel cell* telah didemonstrasikan oleh *Sir William Robert Grove*, seorang ahli fisika, pada tahun 1839, dengan melakukan pembalikan elektrolisa air serta elektrode yang digunakan adalah platina. Pada tahun 1889, *Charles Langer* dan *Ludwig Mond* pertama kali menggunakan istilah *fuel cell* ketika melakukan percobaan membuat mesin generator dengan menggunakan udara dan gas arang. Pada tahun 1932, *Francis Bacon* berhasil mengembangkan *fuel cell*. Dalam penerapan *fuel cell* untuk penggunaan praktis baru dapat dilakukan 27 tahun kemudian, yaitu sebagai penghasil tenaga listrik untuk alat las dengan kapasitas 5 kW. Mulai tahun 1950, pihak NASA di Amerika Serikat telah melakukan pemanfaatan untuk program angkasa luar mereka yaitu untuk pesawat roket *Appolo* dan *Gemini*. Selama lebih dari 30 tahun, *US Department of Technology* telah melakukan banyak penelitian dan pengembangan. Kemudian pada tahun 1987 mereka mulai menerapkannya pada kendaraan [6].

*Fuel cell* dibagi menjadi enam tipe berdasarkan pada perbedaan jenis material yang digunakan sebagai elektrolit. Oleh karena itu, penggunaan dari setiap tipe *fuel cell* akan berbeda karena kemampuan untuk menghantarkan listrik juga berbeda. Keenam tipe *fuel cell* tersebut yaitu *Alkaline Fuel Cell* (AFC), *Phosphoric Acid Fuel Cell* (PAFC), *Molten Carbonate Fuel Cell* (MCFC), *Solid Oxide Fuel Cell* (SOFC), *Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell* (PEMFC), dan *Direct Methanol Fuel Cell* (DMFC) [4].

Dari beberapa tipe *fuel cell* yang telah disebutkan di atas, *Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell* (PEMFC) adalah tipe *fuel cell* yang paling banyak mendapat perhatian untuk diteliti dan dikembangkan lebih lanjut karena memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan tipe lain, diantaranya ramah

lingkungan, tidak bising, tidak mengeluarkan gas beracun, efisiensi energi tinggi, dapat beroperasi pada suhu rendah, menggunakan bahan bakar sumber hidrogen secara langsung, serta dapat dikemas dalam sistem yang lebih ringkas sehingga biaya operasinya lebih murah. Aplikasi PEMFC yaitu pada alat elektronik, generator rumah tangga maupun otomotif [7].

Terdapat beberapa komponen utama pada PEMFC yaitu *Membrane Electrode Assembly* (MEA), pelat bipolar, pelat penutup, dan pengumpul arus. Salah satu dari keempat komponen tersebut, yaitu pelat bipolar, merupakan 80% dari total volume, 70% dari total berat, dan 60% dari total biaya produksi pada perangkat PEMFC. Oleh sebab itu, memfokuskan penelitian pada material serta metode produksi dari pelat bipolar dapat mengurangi volume, berat, dan biaya secara signifikan. Salah satu pilihan adalah memfokuskan pada jenis material dari pelat bipolar yang saat ini banyak dikembangkan yaitu suatu material berupa komposit berbasis polimer termoset, mengingat sifat polimer yang memiliki densitas rendah serta harga yang relatif lebih murah [8].

Beberapa penjelasan yang telah disebutkan di atas mengarahkan penelitian ini kepada pengembangan dari komposisi pada material komposit yang berbasis polimer termoset yang dapat mencapai nilai konduktivitas yang tinggi, sifat mekanik, serta performa yang baik. Material yang digunakan dalam pembuatan pelat bipolar ini adalah komposit polimer termoset *epoxy* dengan menggunakan grafit sintetis sebagai penguat (*reinforcement*) dan *carbon black* sebagai *filler*. Akhirnya, hasil penelitian ini diharapkan dapat digunakan untuk beragam aplikasi.

## 1.2 Perumusan Masalah

Penelitian ini dirancang untuk mendapatkan perangkat *fuel cell* yang sesuai dengan berbagai aplikasi. Dengan menggunakan material *epoxy* sebagai matriks dan grafit sintetis sebagai penguat, penelitian ini akan mempelajari karakteristik dari pelat bipolar yang tentunya diharapkan mencapai karakteristik yang sesuai dengan persyaratan umum. *Filler* berupa *carbon black* yang akan

dijadikan variabel dalam pembuatan pelat bipolar ini juga dapat membantu tercapainya karakteristik yang baik.

Untuk mencapai karakteristik yang optimal, dilakukan proses pencampuran (*mixing*) yang baik dari semua bahan yaitu grafit, *epoxy*, dan *carbon black*. Setelah tercampur secara homogen, bakalan yang terbentuk akan dicetak dan ditekan dengan mesin *hot press*. Kemudian preparasi sampel dilakukan untuk beberapa pengujian guna mendapatkan karakteristik seperti nilai konduktivitas, densitas, permeabilitas, serta kekuatan fleksural dari pelat bipolar tersebut.

### 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini secara khusus, antara lain:

1. Mempelajari pengaruh penambahan komposisi 10-20 wt.% *carbon black* terhadap densitas, porositas, konduktivitas dan kekuatan fleksural dari pelat bipolar yang berbahan dasar grafit sintetis.
2. Mengetahui efek dan sifat yang dihasilkan dari penambahan 10-20 wt.% *carbon black* terhadap karakteristik pelat bipolar.
3. Memperoleh komposisi dari material pelat bipolar PEMFC yang memiliki karakteristik yang optimum.

### 1.4 Ruang Lingkup dan Batasan Masalah

Bahan yang digunakan untuk membuat pelat bipolar pada penelitian ini adalah grafit sintetis, *carbon black*, dan *epoxy resin*. Material yang digunakan tersebut memiliki perbandingan yaitu, grafit sintetis dan *carbon black* sebesar 80%, serta *epoxy resin* sebesar 20% dari total berat keseluruhan pelat bipolar pada penelitian kali ini mengacu kepada penelitian sebelumnya [9].

Variabel dalam penelitian ini yaitu penambahan *carbon black* sebesar 10%, 12.5%, 15%, 17.5%, dan 20% dari 80% total berat keseluruhan pelat bipolar. Perbandingan *epoxy* dan *hardener* yang digunakan adalah sebesar 1:1 dari 20% total berat keseluruhan. Total berat keseluruhan dari komposisi bahan tersebut adalah 180 gram.

Langkah-langkah yang dilakukan pada proses pembuatan pelat bipolar adalah sebagai berikut:

- a. Pencampuran grafit sintetis, *carbon black*, serta *epoxy resin* melalui proses *hot mixing* pada temperatur  $70^{\circ}\text{C}$  selama  $\pm 20$  menit. Dibutuhkan metanol masing-masing 35 ml sebagai pelarut untuk *epoxy resin* dan *hardener*.
- b. Pencetakan bakalan (hasil dari pencampuran) ke dalam cetakan yang terbuat dari bahan *duplex stainless steel* berukuran 15 cm x 15 cm, kemudian ditekan dengan mesin *hot press* dengan tekanan  $300 \text{ kg/cm}^2$  pada temperatur  $70^{\circ}\text{C}$  selama 4 jam.
- c. Pengujian sampel yang terdiri dari uji konduktivitas, uji densitas, uji porositas, dan uji fleksural.

Dari beberapa pengujian yang dilakukan pada penelitian ini dapat dipelajari karakteristik dari pelat bipolar yang telah dibuat dan diharapkan memperoleh pelat bipolar dengan karakteristik yang optimum.

### 1.5 Sistematika Penulisan

Penulisan laporan hasil penelitian ini dibagi dalam beberapa bab yang saling berhubungan. Adapun urutan dalam penulisan laporan ini terlihat pada uraian di bawah ini:

#### **Bab 1 : Pendahuluan**

Pada bab ini dijelaskan tentang latar belakang penelitian, tujuan, batasan masalah, dan sistematika penulisan penelitian.

#### **Bab 2 : Landasan Teori**

Pada bab ini diuraikan tentang studi literatur yang berkaitan dengan penelitian skripsi ini.

#### **Bab 3 : Metodologi Penelitian**

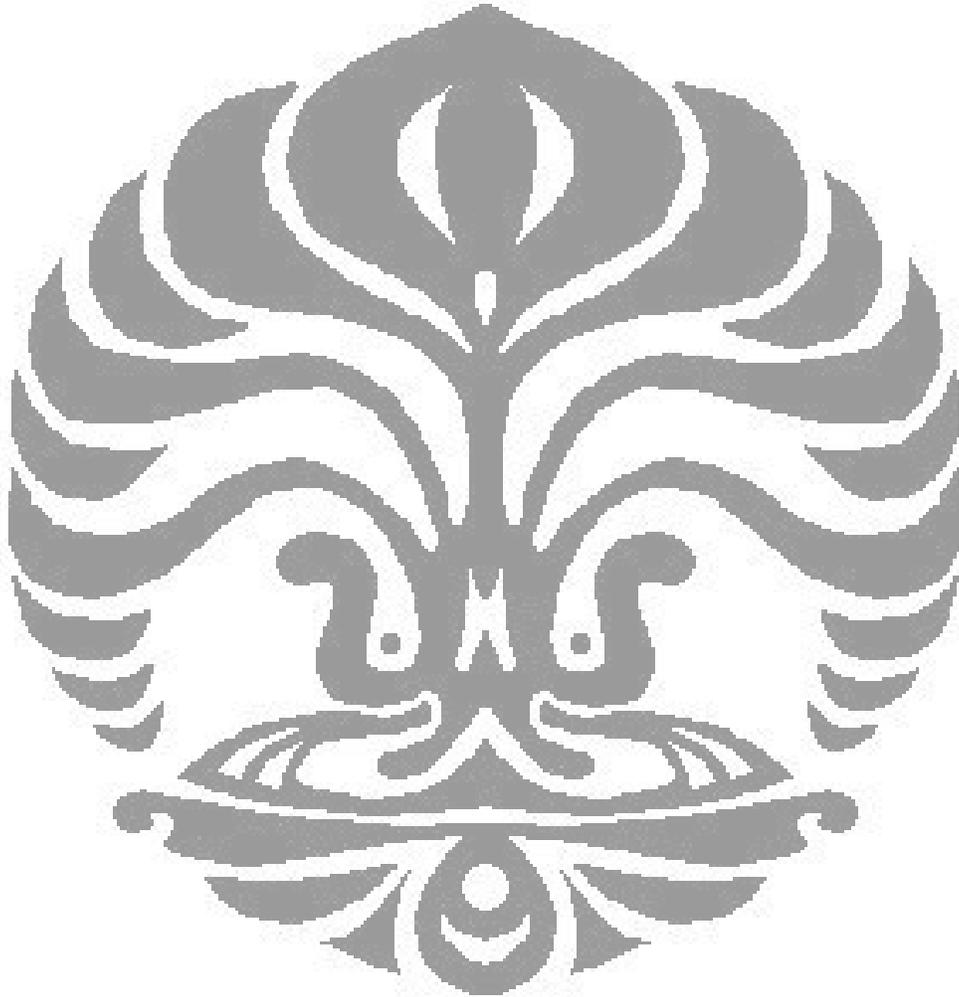
Bab ini berisi prosedur penelitian, daftar alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian.

**Bab 4 : Hasil dan Pembahasan**

Bab ini berisi data-data hasil penelitian dan analisa dari hasil penelitian tersebut.

**Bab 5 : Kesimpulan**

Bab ini berisi kesimpulan akhir berdasarkan hasil dan pembahasan pada bab sebelumnya.

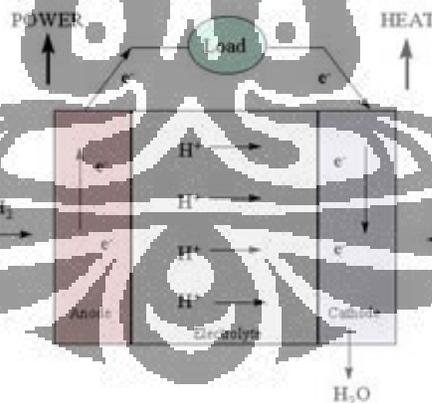


## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1 Fuel Cell

*Fuel cell* merupakan suatu perangkat berprinsip elektrokimia yang dapat mengkonversikan energi kimia menjadi energi listrik secara langsung yang memiliki efisiensi tinggi serta ramah terhadap lingkungan [10]. Bahan bakar yang digunakan pada perangkat tersebut adalah hidrogen ( $H_2$ ) dan oksigen ( $O_2$ ) yang akan dikonversikan menjadi energi listrik dan hasil sampingan dari *fuel cell* ini hanya berupa air sebagai zat buang serta panas dari hasil reaksi. Oleh sebab itu, *fuel cell* merupakan teknologi yang bersahabat dengan lingkungan karena tidak seperti penghasil listrik konvensional yang memanfaatkan bahan bakar fosil. Teknologi ini akan terus menghasilkan energi listrik selama bahan bakar tersedia dan tidak memerlukan *charging* serta tidak menghabiskan reaktan seperti halnya baterai [11]. Gambar 2.1 merupakan rangkaian *fuel cell* dan simulasi kerja dari transfer elektron yang menghasilkan arus listrik.



Gambar 2.1 Rangkaian fuel cell [12]

Perangkat *fuel cell* terdiri dari dua buah elektroda yaitu anoda dan katoda. Kedua elektroda tersebut dipisahkan oleh sebuah membran yang berfungsi sebagai elektrolit. Hidrogen sebagai bahan bakar dari *fuel cell* dialirkan ke bagian anoda, sedangkan oksigen dialirkan ke bagian katoda dan dengan adanya membran, maka

gas hidrogen tidak akan bercampur dengan oksigen [13]. Anoda dan katoda adalah tempat terjadinya reaksi kimia yaitu reduksi dan oksidasi dari masing-masing bahan bakar yang digunakan untuk menghasilkan elektron yang akan dialirkan melalui larutan elektrolit. Elektron tersebut akan menjadi sumber dari energi listrik yang dihasilkan. Bahan bakar yang digunakan di dalam proses merupakan gas oksigen yang didapatkan dari udara bebas, sedangkan gas hidrogen yang digunakan berasal dari reaksi reformer dari hidrokarbon atau dapat diperoleh dari metanol yang diuraikan menjadi gas CO dan hidrogen, kemudian gas CO dioksidasi menjadi CO<sub>2</sub> dan air [14].

Reaksi elektrokimia terjadi pada setiap elektroda untuk dapat menghasilkan arus listrik. Gas hidrogen pada anoda akan dioksidasi menjadi proton H<sup>+</sup> dan elektron. Kemudian elektron akan menghasilkan listrik dan di sisi lain proton H<sup>+</sup> akan direaksikan bersama gas oksigen yang akan direduksi pada katoda untuk menghasilkan zat sampingan yaitu air. Setiap molekul H<sub>2</sub> terpecah menjadi dua atom H<sup>+</sup> dan setiap atom hidrogen tersebut akan melepaskan elektronnya. Berikut ini adalah reaksi yang terjadi pada *fuel cell*:



Teknologi *fuel cell* yang saat ini banyak dikembangkan memiliki banyak keuntungan. Beberapa keuntungan tersebut adalah [11]:

- a. Penggunaan energi fosil yang persediaannya makin terbatas dapat berkurang sehingga ketergantungan akan kebutuhan energi fosil pun dapat berkurang
- b. Dapat meningkatkan ketersediaan energi listrik
- c. Biaya operasi yang lebih rendah jika dibandingkan dengan penghasil energi listrik konvensional
- d. Menghasilkan energi listrik dengan jumlah yang tetap
- e. Bahan bakar yang digunakan tersedia dalam jumlah yang banyak
- f. Emisi yang dihasilkan tidak mencemari lingkungan
- g. Tidak menghasilkan polusi bunyi pada saat operasi

- h. Memiliki efisiensi yang tinggi hingga 90% sehingga penggunaan bahan bakar lebih efisien.

## 2.2 Jenis Fuel Cell

*Fuel cell* secara garis besar dikelompokkan menjadi enam jenis yang dibedakan berdasarkan jenis elektrolit yang digunakan untuk menghantarkan proton. Selain itu, setiap jenis fuel cell juga memiliki temperatur operasi yang berbeda. Jenis-jenis dari *fuel cell* dijelaskan pada Tabel 2.1 [4].

Tabel 2.1 Jenis-jenis Fuel Cell

Jenis	Elektrolit	Temperatur Operasi (°C)	Karakteristik
Alkaline Fuel Cell (AFC)	KOH	60-120	Efisiensi energi tinggi
Phosphoric Acid Fuel Cell (PAFC)	Phosphoric Acid (H <sup>+</sup> )	160-200	Efisiensi energi terbatas, peka terhadap CO <sub>2</sub> (<1,5% Vol)
Molten Carbonate Fuel Cell (MCFC)	Molten Carbonate (CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> )	500-650	Rentan korosi temperature tinggi
Solid Oxide Fuel Cell (SOFC)	Lapisan Keramik(O <sup>2-</sup> )	800-1000	Efisiensi sistem tinggi, temperatur operasi perlu direduksi
Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell (PEMFC)	Polymer Electrolyte (H <sup>+</sup> )	60-100	Kerapatan energi tinggi, memiliki kepekaan terhadap CO (<100ppm)
Direct Methanol Fuel Cell (DMFC)	Electrolyte Polymer(H <sup>+</sup> )	60-120	Efisiensi sistem tinggi, peka terhadap hasil oksidasi di anoda

## 2.3 PEMFC

*Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell* (PEMFC) atau dengan nama lain *Proton Exchange Membrane Fuel Cell* adalah salah satu jenis *fuel cell* yang banyak dikembangkan. PEMFC menggunakan sebuah membran padat berupa lapisan tipis yang terbuat dari polimer sebagai elektrolit yang menghantarkan elektron dan menghubungkan anoda dan katoda. Pengaturan air dalam membran sangat penting untuk menghasilkan performa yang lebih efisien sehingga sel harus dioperasikan di bawah kondisi, yaitu air yang dihasilkan tidak menguap lebih cepat dibandingkan proses pembuatannya karena membran harus terhidrasi. Oleh sebab itu, temperatur operasi PEMFC biasanya sekitar 60 – 80°C. Gas yang digunakan adalah gas yang kaya akan H<sub>2</sub> dengan sedikit atau tidak mengandung CO karena terdapat permasalahan dalam keseimbangan air [10].

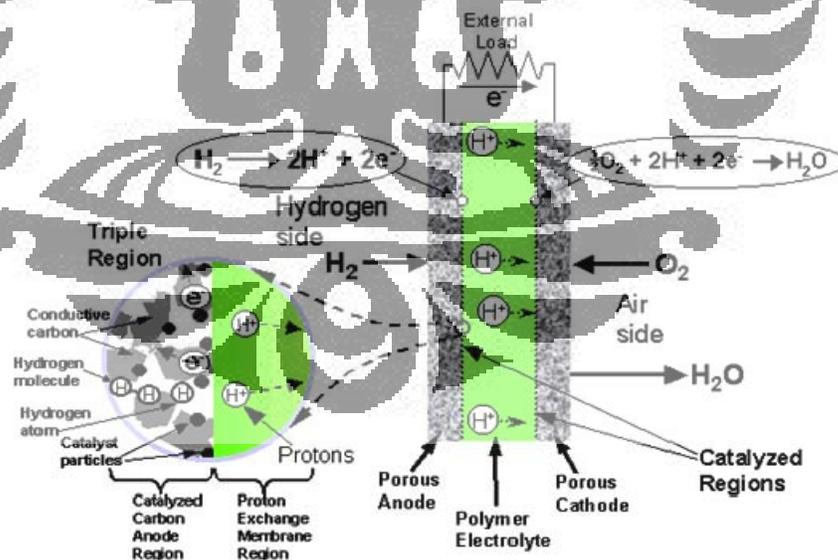
PEMFC memiliki beberapa kelebihan jika dibandingkan dengan jenis *fuel cell* yang lainnya. *Fuel cell* jenis ini mempunyai elektrolit padat yang menyediakan ketahanan yang baik terhadap gas. Di samping itu, temperatur operasi yang rendah membuat sel ini dapat bereaksi lebih cepat sehingga meminimalkan adanya unsur penyebab korosi. Kerapatan arus yang dihasilkan PEMFC dapat mencapai 2 W/cm<sup>2</sup> [10].

Selain beberapa kelebihan yang dimiliki PEMFC, terdapat pula kelemahan dari jenis *fuel cell* ini. Temperatur operasi yang rendah membuat pengaturan panas menjadi sulit, khususnya pada rapat arus yang tinggi. Selain itu, PEMFC sangat sensitif terhadap unsur CO, sulfur dan amonia. Permasalahan ini dapat dihindari dengan mengurangi rapat arus yang digunakan dan meningkatkan katalis elektroda [10]. PEMFC juga mengalami keterbatasan terhadap bahan bakar yang digunakan, yaitu hidrogen, mengingat kadar H<sub>2</sub> di udara cukup rendah dan biaya pembuatannya pun masih mahal sehingga perlu pengembangan desain dan material [8].

Prinsip dasar dari PEMFC ini cukup sederhana, yaitu hidrogen dan oksigen akan bereaksi menghasilkan air dan pada saat yang bersamaan juga dapat membangkitkan energi listrik dan panas. Gas hidrogen yang bertekanan masuk ke

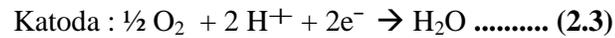
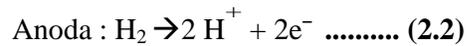
dalam sisi anoda dari *fuel cell* ini, yang kemudian dialirkan melalui katalis dengan memberikan tekanan. Molekul  $H_2$  akan terpecah menjadi dua  $H^+$  dan dua elektron setelah bersentuhan dengan logam platina di katalis [15]. Kemudian dua proton  $H^+$  tersebut bergerak menuju katoda dengan menembus membran tipis berpori yang dibantu oleh adanya medan listrik pada membran, sedangkan elektron yang terkonduksi di anoda akan keluar melalui *external wire* karena terhalang oleh membran menuju sisi katoda dari *fuel cell* dan dipergunakan untuk menghasilkan energi listrik [16].

Pada katoda, gas oksigen digunakan karena tingkat ketersediaan dan nilai ekonomisnya cukup baik. Gas oksigen ini akan dialirkan melalui katalis dan membentuk dua atom oksigen dimana masing-masing atom mempunyai satu pasang elektron dan menarik dua ion  $H^+$  melalui membran sehingga akan bereaksi menghasilkan molekul air ( $H_2O$ ). Reaksi ini dalam *fuel cell* tunggal hanya menghasilkan 0,7 Volts sehingga perlu dilakukan peningkatan dengan mengkombinasikan komponen-komponen serta dengan membentuk suatu tumpukan sel bahan bakar [16]. Mekanisme prinsip kerja PEMFC dapat dilihat pada Gambar 2.2 [17].



Gambar 2.2 Mekanisme PEMFC

Adapun reaksi yang terjadi pada *fuel cell* adalah sebagai berikut [16]:



Satu unit *fuel cell* memiliki keterbatasan pada tegangan yang dihasilkan, yaitu biasanya kurang dari 1 Volt. Agar dapat menghasilkan tegangan yang lebih besar untuk dapat digunakan pada beberapa aplikasi, beberapa unit *fuel cell* harus dihubungkan dalam suatu susunan berupa tumpukan. Tegangan yang dihasilkan pun akan bergantung pada jumlah unit sel dalam suatu tumpukan. Struktur dari PEMFC ditunjukkan pada Gambar 2.3 [18].



Setiap komponen dalam rangkaian PEMFC memiliki sifat dan karakteristik yang berbeda sesuai dengan fungsinya yang dijelaskan pada Tabel 2.2 [19].

Tabel 2. 2. Komponen Utama dalam PEMFC

Komponen	Material	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	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 aluminium)	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.

## 2.4 Pelat Bipolar

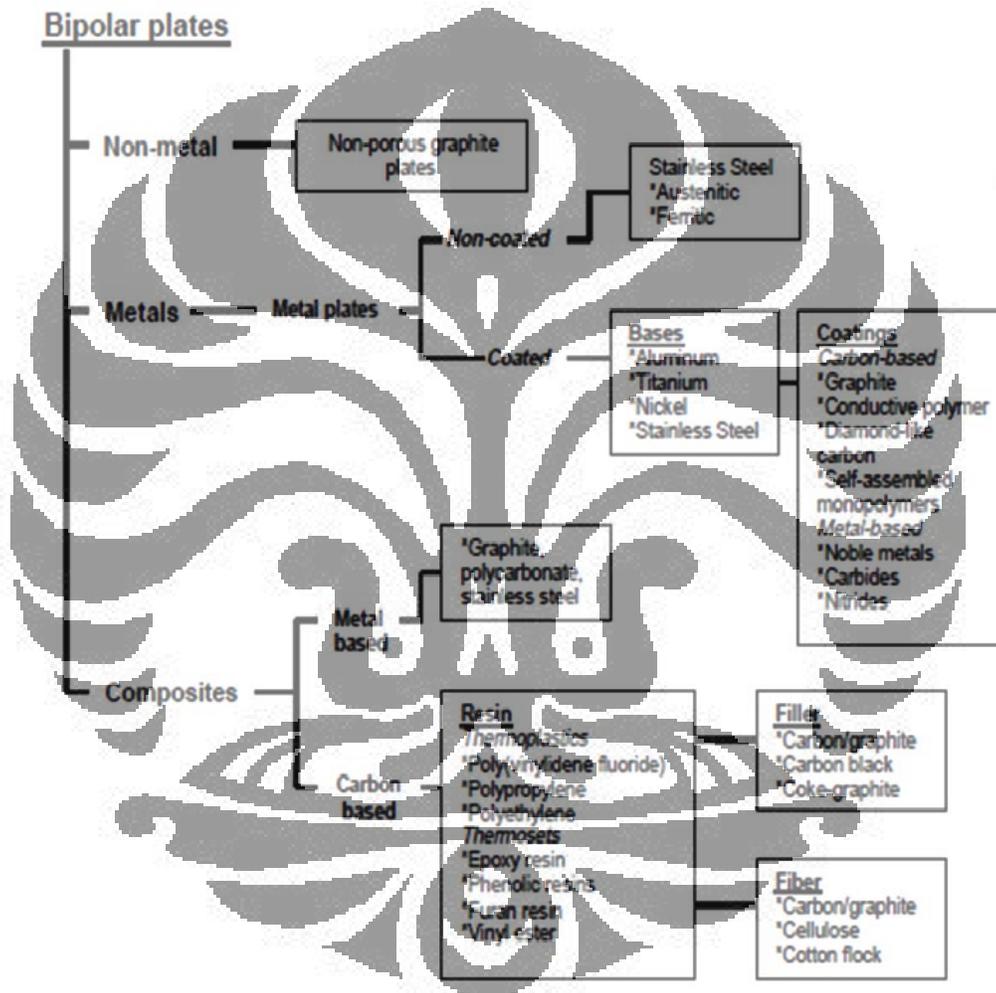
Peranan pelat bipolar pada PEMFC tidak kalah penting dengan komponen yang lainnya. Pelat bipolar, dikenal juga dengan sebutan *flow field plate* atau pelat separator, digunakan sebagai penghubung elektrik antara dua elektroda dengan kutub yang berbeda. Fungsi dari pelat bipolar yaitu untuk mendistribusikan gas ke membran, penghantar elektron dari anoda ke katoda, penghantar panas dari dan menuju elektroda, mengalirkan produk akhir dalam bentuk air dari tiap unit sel, penghalang perpindahan gas antar sel, dan menjaga stabilitas struktur dari PEMFC. Pelat bipolar dibuat dari material yang memiliki konduktivitas listrik baik serta tidak dapat dilewati oleh gas. Pelat bipolar ini juga dapat berlaku sebagai pengumpul arus dan mampu menopang struktur dari PEMFC [20].

Material untuk pelat bipolar yang sangat diperlukan saat ini adalah suatu material yang memiliki nilai konduktivitas dan sifat mekanik yang baik, serta mampu mengurangi berat *fuel cell* karena pelat bipolar adalah komponen penting pada PEMFC yang berkontribusi terhadap 70% total bobot dan 60% biaya pembuatan keseluruhan komponen [21]. Salah satu material yang sudah banyak diteliti oleh berbagai pihak yaitu komposit bermatriks polimer. Penelitian ini mengacu kepada kriteria pelat bipolar yang baik seperti pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Kriteria Standar Pelat Bipolar [8]

Parameter	Kebutuhan
Konduktivitas	>100 S/cm
Kekuatan	Dapat menahan tekanan sebesar 200 Psi
Fleksural	>25 MPa
Bobot	Maksimum 200 gram per pelat
Volume	1 liter/kW
Harga	< \$ 0,0045/cm <sup>2</sup>
<i>Current Density</i>	< 10 % 5000 jam operasi
Permeabilitas	Maksimum 10-4 cm <sup>3</sup> /s-cm <sup>2</sup>
Korosi	$8 \times 10^{-7} \text{ mol/cm}^2$ per 5000 jam atau 0.0016 mA/cm <sup>2</sup> per 5000 jam

Pelat bipolar harus dibuat setipis dan seringan mungkin, ekonomis, dan mudah dibentuk pada proses permesinan. Komponen ini juga harus mempunyai kestabilan thermal dan sifat mekanis yang baik, karena fungsi utamanya untuk menghubungkan sel-sel secara elektrik dan menyalurkan gas pada *fuel cell* [23]. Gambar 2.4 merupakan klasifikasi material yang umum digunakan sebagai pelat bipolar dalam *fuel cell* [24].



Gambar 2.4 Klasifikasi Material Pelat Bipolar

Saat ini, terdapat beberapa jenis pelat bipolar berdasarkan material utama penyusunnya, yaitu pelat bipolar logam dan paduannya, grafit, dan komposit, baik berbasis polimer maupun karbon. Masing-masing dari material tersebut memiliki kelebihan dan kekurangan, seperti pada Tabel 2.4 berikut ini.

Tabel 2.4 Kelebihan dan Kekurangan dari Material Pelat Bipolar [24]

Material	Kelebihan	Kekurangn
<b>Grafit</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ketahanan korosi baik</li> <li>• Resisitivitas rendah</li> <li>• Stabil</li> <li>• Densitas rendah</li> <li>• Ketahanan terhadap kontak elektroda rendah</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sifat mekanik yang buruk (getas)</li> <li>• Porositas</li> <li>• Volume dan berat besar</li> <li>• Biaya produksi mahal</li> </ul>
<b>Logam</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Konduktivitas listrik baik</li> <li>• Konduktivitas panas baik</li> <li>• Biaya produksi rendah</li> <li>• Proses fabrikasi yang mudah</li> <li>• Sifat mekanik yang baik</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perlu pelapis</li> <li>• Terbentuk lapisan oksida hasil korosi</li> </ul>
<b>Komposit karbon - karbon</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ketahanan terhadap korosi baik</li> <li>• Resistansi kontak yang rendah</li> <li>• Densitas rendah</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kekuatan mekanik rendah</li> <li>• Konduktivitas listrik rendah</li> <li>• Harga tinggi</li> </ul>
<b>Komposit karbon - polimer</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Biaya rendah</li> <li>• Ketahanan terhadap korosi cukup baik</li> <li>• Bobotnya ringan</li> <li>• Tidak menggunakan proses permesinan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kekuatan mekanik rendah</li> <li>• Konduktivitas listrik rendah</li> </ul>

Komposit karbon polimer, yang merupakan salah satu jenis material pada pelat bipolar, merupakan obyek yang akan diteliti untuk mendapatkan sifat-sifat dari pelat bipolar yang akan disesuaikan oleh target *Department of Energy*, USA seperti dapat dilihat pada Tabel 2.5. Hal ini dikarenakan komposit karbon polimer

memiliki prospek yang sangat baik untuk dikembangkan karena beberapa keunggulan yang dimiliki, yaitu [25]:

- a. Resistansi kontak permukaan yang sangat kecil
- b. Memiliki berat yang lebih ringan
- c. Nilai konduktivitas yang sangat tinggi
- d. Memiliki kekuatan yang cukup baik dibanding dengan material kandidat lain selain logam
- e. *Gas impermeability* dan ketahanan korosi
- f. Proses relatif lebih singkat
- g. Mudah untuk dibuat *prototype* dengan berbagai dimensi

Tabel 2.5 Target DOE untuk Pelat Bipolar [22]

Characteristic	Units	Status 2005	2010 target	2015 target
Cost	\$/kW	10	5	3
Weight	kg/kW	0.36	<0.4	<0.4
H <sub>2</sub> Permeation	cm <sup>3</sup> sec <sup>-1</sup> cm <sup>-2</sup>	< 2 x 10 <sup>-6</sup>	< 2 x 10 <sup>-6</sup>	< 2 x 10 <sup>-6</sup>
Corrosion	μA/cm <sup>2</sup>	<1 <sup>d</sup>	<1 <sup>d</sup>	<1 <sup>d</sup>
Electrical Conductivity	S/cm	>600	>100	>100
Resistivity	Ohm cm <sup>2</sup>	<0.02	0.01	0.01
Flexural	Mpa	>34	>25	>25
Flexibility	% deflection at mid-span	1.5 to 3.5	3 to 5	3 to 5

Jalur alir gas dibuat pada permukaan pelat bipolar sebagai tempat aliran gas-gas yang bereaksi. Pembuatan saluran alir (*flow path*) pada permukaan pelat bipolar ini merupakan salah satu proses yang membutuhkan biaya dan menjadi salah satu faktor yang menghambat komersialisasi PEMFC. Gambar 2.5 adalah pelat bipolar yang sudah memiliki saluran alir pada permukaannya [26].



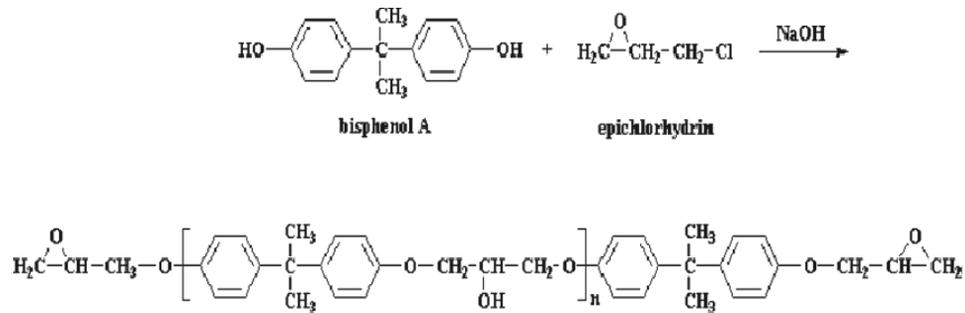
Gambar 2.5 Pelat Bipolar

## 2.5 Material Pelat Bipolar Komposit Polimer

Karakteristik dari pelat bipolar yang dihasilkan bergantung pada material yang digunakan. Oleh karena itu, pemilihan material penyusun pelat bipolar perlu banyak mendapat perhatian. Dalam penelitian ini, material utama yang digunakan adalah *epoxy resin* yang berfungsi sebagai matriks, serta beberapa material lain yaitu grafit sintetis dan *carbon black*.

### 2.5.1 Epoxy Resin

*Epoxy* merupakan salah satu jenis termoset yang tidak dapat menerima siklus pemanasan dan pendinginan secara kontinu. Jenis polimer ini akan melunak dan mampu mengalir di dalam cetakan pada saat dipanaskan di tahap awal. Pada temperatur tinggi, *epoxy* akan mengalami reaksi kimia sehingga menjadi keras dan tidak mampu kembali ke bentuk semula. Jika dipanaskan ulang, *epoxy* tidak mampu melunak kembali, melainkan akan terdegradasi [27]. *Epoxy* juga merupakan salah satu jenis polimer yang mengalami proses *curing*, baik secara polimerisasi maupun *crosslink* ketika dicampur dengan unsur katalis atau *hardener*. Biasanya *epoxy resin* dihasilkan dari reaksi antara *epichlorohydrin* dan *bisphenol-A*, seperti yang terlihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Reaksi Pembentukan Epoxy [28]

*Epoxy resin* merupakan matriks terbaik untuk berbagai jenis komposit, karena memiliki daya isi dan juga sebagai agen penguat yang baik untuk komposit. Reaksi kimia antara *epoxy resin* dengan agent yang lain tidak perlu banyak memerlukan daya pembersihan yang terlalu besar. *Epoxy* bersifat isolator sehingga diperlukan penambahan material lain untuk meningkatkan konduktivitasnya, apabila digunakan pada aplikasi PEMFC. Berikut ini karakteristik dari *epoxy resin* [29]:

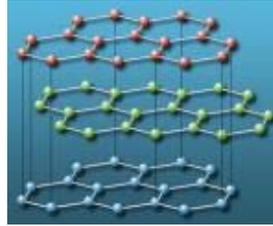
- a. Kekuatan adhesi yang sangat baik
- b. Ketahanan yang baik terhadap panas dan zat kimia lain
- c. Kemungkinan terjadinya penyusutan selama polimerisasi sangat kecil
- d. *Moisture Resistance*
- e. Sifat mekanis yang cukup baik (tergantung jenis *epoxy* tersebut)
- f. Memiliki sifat *electrical insulating* (isolator listrik)
- g. Kemampuan untuk pemodifikasian sifatnya sangat mudah (contohnya: konduktivitas listrik dapat mudah ditingkatkan dengan penambahan *filler* yang mampu menghantarkan listrik dengan baik)
- h. Memiliki ketahanan terhadap *creep* dan fatik
- i. Berbahaya karena mengandung racun kimia jika belum direaksikan
- j. Daya penyerapan terhadap air sangat tinggi
- k. Sulit untuk menggabungkan antara kekuatan dan ketahanan terhadap suhu tinggi
- l. Polimerisasinya lambat

Pada komponen pelat bipolar, *epoxy resin* dicampur dengan *hardener* dengan tujuan yaitu untuk menghasilkan reaksi *curing* sehingga diperoleh matriks polimer yang kuat dan mempunyai sifat mekanis yang baik. Biasanya, proses *curing* yang dilakukan dengan pemberian panas akan menghasilkan polimer yang tahan terhadap kimia dan panas yang baik daripada proses *curing* pada temperatur ruang [29].

### 2.5.2 Grafit

Grafit merupakan salah satu bentuk alotropi atau modifikasi dari karbon yang menyerupai struktur intan. Struktur kristal grafit adalah *hexagonal* yang tersusun atas atom karbon yang terbentuk dari kisi planar dengan ikatan kovalen dan antar lapisannya memiliki ikatan *Van der Waals*. Perbedaan jenis ikatan ini menciptakan derajat anisotropik pada grafit dan berada dalam arah kristalografi yang berbeda. Sebagai contoh, grafit mampu berlaku sebagai pelumas padat sebagai akibat dari sifat anisotropik tersebut. Ikatan *Van der Waals* yang lemah memungkinkan tiap lapisan bergerak secara individual dan memberikan sifat lubrikasi yang baik. Umumnya digunakan sebagai pelumas pada industri, penguat pada baja, *lead* pada pensil dan *reinforcement* untuk komposit dengan kekuatan tinggi [30].

Grafit sintetis yang digunakan pada penelitian ini yaitu sebagai *reinforcement* dan konduktor listrik untuk komposit matriks polimer. Grafit tersebut digunakan dalam bentuk *filler particle* karena dapat memungkinkan terjadinya peningkatan konduktivitas, kekakuan, dan sifat mekanis pada komposit. Selain dapat memperbaiki sifat komposit, alasan lain penggunaan dari grafit sintetis adalah karena ketersediaan barang yang baik dalam pasar. Selain itu, kemampuan proses dari grafit dalam komposit cukup baik karena mempunyai sifat *self lubricant*, yaitu mampu mempunyai sistem lubrikasi sendiri tanpa harus adanya pemberian pelumas secara kontinu [31]. Struktur kristal dari grafit dapat dilihat pada Gambar 2.7.



**Gambar 2.7** Struktur Kristal Grafit [32]

Keunikan sifat dari grafit berasal dari keistimewaan struktur lapisan dan sifat inert menjadikan material ini banyak digunakan dalam berbagai aplikasi karena [33]:

- Memiliki konduktivitas termal dan elektrik yang baik
- Memiliki sifat sebagai *lubricant* yang baik pada perubahan temperatur dan tekanan
- Memiliki ketahanan oksidasi dan imun pada lingkungan agresif

Pada aplikasinya sebagai pelat bipolar, grafit tersebut mampu memberikan konduktivitas listrik yang baik dan juga dapat meningkatkan sifat mekanis dari komposit tersebut. Selain itu, penambahan grafit juga mampu meningkatkan kemampuan prosesan dari material komposit karena sifatnya yang baik sebagai pelumas padat. Hal tersebut mampu memberikan performa yang baik dan stabil dalam aplikasi sebagai pelat bipolar. Beberapa sifat umum dari grafit dapat dilihat pada Tabel 2.6.

**Tabel 2.6** Sifat Umum Grafit [34]

Formula	C
System	Hexagonal
Lusture	Sub-Metallic
Hardness (Vickers)	VHN10 = 7 - 11 kg/mm <sup>2</sup>
Modulus of Elasticity	4.8 GPa
Density (calculated)	2.26 g/cm <sup>3</sup>
Molecular Weight	12.011 g/mol
Specific Surface Area	1.00 m <sup>2</sup> /g
Kemurnian	>99.5% C
Ukuran Bubuk	50 μm

### 2.5.3 Carbon Black

*Carbon black* merupakan padatan karbon amorf yang dibentuk dengan proses deposisi dari partikel padat dalam fasa gas dan merupakan hasil pembakaran tidak sempurna dari minyak bumi yang memiliki perbandingan luas permukaan dengan volume yang tinggi [35]. Biasanya, *carbon black* digunakan sebagai agen penguat dalam karet dan juga sebagai aditif yang dapat meningkatkan konduktivitas dari polimer [36].

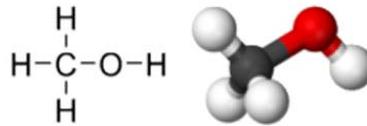
Ukuran partikel yang kecil akan memiliki luas permukaan yang tinggi sehingga akan lebih mudah untuk dibasahi dan dapat dengan mudah larut ketika dicampur dengan material lain daripada *carbon black* yang memiliki ukuran partikel yang besar. Selain itu, ukuran partikel yang kecil akan menghasilkan konduktivitas listrik yang lebih tinggi. Struktur *carbon black* yang besar akan lebih mudah larut dari pada struktur *carbon black* yang kecil karena memiliki bidang terpadat yang rendah sehingga ketika *carbon black* dicampurkan dengan polimer resin, maka resin akan mengisi bidang kosong dari karbon dan membentuk ikatan kimia yang baik.

Aplikasi *carbon black* dalam dunia polimer antara lain digunakan untuk zat pewarna, proteksi *ultra violet* (UV), campuran pada plastik konduktif, campuran pada karet, peningkat aliran elektron, penghilang listrik statik dalam partikel non-konduktif, serta sebagai bahan penguat polimer [35]. *Carbon black* ini juga umum digunakan sebagai *reinforce* pada ban untuk meningkatkan kekakuan, *high performance coating*, *toner* serta tinta untuk printer dan *conductive powder* untuk komposit matriks polimer.

### 2.5.4 Metanol

Metanol yang digunakan disini berfungsi sebagai pelarut dan pengencer untuk *epoxy resin* serta *epoxy hardener*, sehingga *epoxy* dapat bercampur dengan grafit. Dengan adanya metanol, daya pembasahan *epoxy* terhadap grafit meningkat dan dapat membasahi seluruh permukaan grafit sehingga ikatan yang terbentuk antara *epoxy* dan grafit menjadi lebih kuat. Metanol sebenarnya adalah

zat kimia beracun dengan formula  $\text{CH}_3\text{OH}$ . Struktur dari methanol dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Struktur Metanol

## 2.6 Komposit

Komposit didefinisikan sebagai dua macam atau lebih material yang digabungkan dalam skala makroskopis sehingga menjadi material baru dengan sifat yang lebih baik daripada sifat material penyusunnya [37]. Komposit terdiri dari dua penyusun utama, yaitu matriks dan penguat.

Matriks merupakan fasa yang sangat penting dan pada umumnya memiliki jumlah terbanyak dalam sistem komposit. Matriks berfungsi sebagai pengikat dari penguat, mendistribusikan beban antara penguat, memproteksi penguat dari lingkungan, dan melindungi permukaan abrasi mekanis. Pemilihan matriks dalam suatu komposit menjadi penting karena dalam suatu komposit dibutuhkan sifat mekanis yang baik, sifat mampu proses yang baik, dan juga memiliki resistansi yang baik terhadap bahan kimia dan panas [38].

Sedangkan penguat merupakan material tambahan yang berfungsi untuk memperbaiki sifat dari matriks sehingga sifat material penguat lebih baik dari sifat matriks. *Filler* berfungsi sebagai penguat dalam komposit untuk meningkatkan sifat dari material komposit yang dihasilkan dan memiliki kemampuan untuk ditempatkan pada arah pembebanan untuk meningkatkan sifat mekanisnya. Bahan penguat komposit dapat berbentuk serat, partikel, serpihan, atau juga dapat berbentuk yang lain [38].

Pada umumnya, komposit dibagi menjadi tiga kelompok berdasarkan material utama penyusunnya, yaitu sebagai berikut:

- a. Komposit berbasis logam (*Metal Matriks Composite*)

- b. Komposit berbasis keramik (*Ceramic Matriks Composite*)
- c. Komposit berbasis polimer (*Polymer Matriks Composite*)

Keuntungan dan kerugian dari masing-masing komposit dapat dilihat pada Tabel 2.7.

**Tabel 2.7** Jenis Komposit beserta Keuntungan dan Kerugiannya [44]

Jenis Komposit	Keuntungan	Kerugian
<i>Metal Matriks Composite (MMC)</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Temperatur penggunaan tinggi</li> <li>- Kekuatan dan kekakuan baik</li> <li>- Ketangguhan yang baik</li> <li>- Konduktivitas listrik dan panas baik</li> <li>- Dapat difabrikasi dengan metode konvensional</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bobot yang berat</li> <li>- Ketahanan korosi buruk</li> <li>- Biaya produksi mahal</li> </ul>
<i>Ceramic Matriks Composite (CMC)</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Temperatur penggunaan sangat tinggi (&gt;2000<sup>0</sup> C)</li> <li>- Densitas rendah</li> <li>- Elastis modulus besar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kegetasan tinggi</li> <li>- Ketahanan <i>mechanical</i> dan <i>thermal shock</i> buruk</li> </ul>
<i>Polymer Matriks Composite (PMC)</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bobot ringan</li> <li>- Fabrikasi dan pembentukan mudah</li> <li>- Ketangguhan baik</li> <li>- Bisa diproses dengan teknik pembuatan polimer konvensional</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Temperatur penggunaan rendah</li> <li>- Sensitif terhadap lingkungan yang banyak mengandung air</li> </ul>

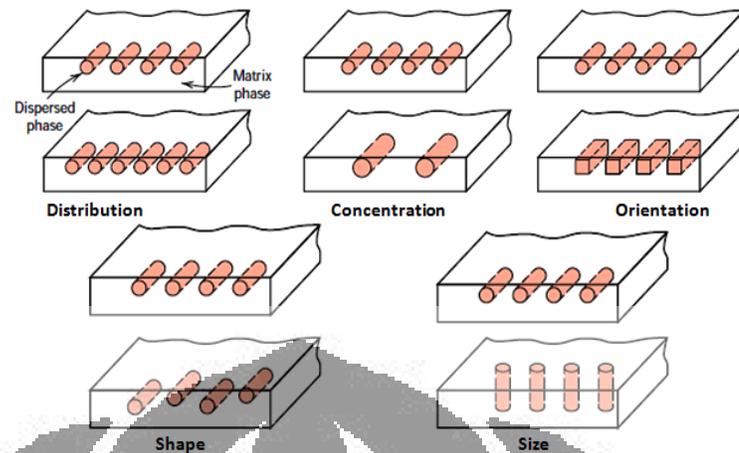
Salah satu dari jenis komposit yang telah disebutkan, yaitu komposit berbasis polimer, merupakan jenis komposit yang menggunakan bahan penguat

berupa serat, partikel, atau serpihan. Sedangkan jenis komposit ini menggunakan polimer sebagai matriks pengikatnya. Jenis serat yang biasa dipakai sebagai penguat dalam matriks polimer adalah serat karbon, serat gelas, dan serat aramid[39]. Keunggulan dari komposit berbasis polimer antara lain biaya pembuatan yang relatif lebih rendah, dapat diproduksi secara massal, mudah dibentuk dan memiliki kemampuan permesinan (*machinability*) yang baik [40].

Komposit yang dibuat dari campuran antara matriks polimer dengan *conductive filler* seperti *carbon black*, serat karbon, grafit, dan partikel logam disebut dengan komposit konduktif polimer. Komposit jenis ini memiliki ketangguhan yang tinggi dan berat yang relatif lebih ringan. Polimer dipilih sebagai matriks karena harganya murah, ketersediaan jumlah yang memadai, tahan terhadap bahan kimia, dan memiliki sifat-sifat mekanik yang baik, serta permeabilitas baik terhadap air dan gas [38].

Sifat dari sebuah material komposit dipengaruhi oleh beberapa faktor. Oleh sebab itu, faktor-faktor tersebut harus diperhatikan dengan baik untuk membentuk sifat yang baik dari komposit. Beberapa faktor yang mempengaruhinya adalah:

- a. Setiap komponen penyusun dari material komposit, yaitu matriks dan penguat sangat berpengaruh secara langsung terhadap sifat akhir dari komposit yang dihasilkan. Ukuran, bentuk, orientasi, konsentrasi dan distribusi dari bahan penguat juga ikut berpengaruh. Sebagai salah satu contoh, bahan penguat yang berbentuk silinder atau tidak bersudut memiliki sifat mekanis yang lebih baik dibandingkan dengan penguat yang memiliki sudut pada sisinya. Hal ini dikarenakan, pada bagian sudut tegangan konsentrasinya lebih besar, sehingga sifat mekaniknya pun lebih buruk. Selain itu, kekuatan dari komposit juga dipengaruhi dari parameter bahan pengisinya, seperti distribusi, konsentrasi, orientasi, bentuk dan ukuran [38]. Parameter bahan pengisi pada komposit dapat dilihat pada Gambar 2.9.



**Gambar 2.9** Parameter Bahan Pengisi pada Komposit

Selain itu, komposisi penguat dan matriks komposit juga dapat mempengaruhi karakteristik dari komposit. Semakin banyak komposisi material di dalam komposit, maka akan semakin besar material tersebut mendominasi sifat komposit. Pengaruh komposisi terhadap sifat komposit ini, diturunkan dengan menggunakan *rule of mixture* memprediksi sifat akhir komposit [41].

$$E_c = E_f V_f + E_m V_m \dots\dots\dots (2.5)$$

$$\rho = \frac{m_c}{v_c} = \frac{m_f + m_m}{V_f + V_m + V_v} = \frac{\rho_f V_f + \rho_m V_m}{\rho_f V_f + \rho_m V_m + 1} \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana :

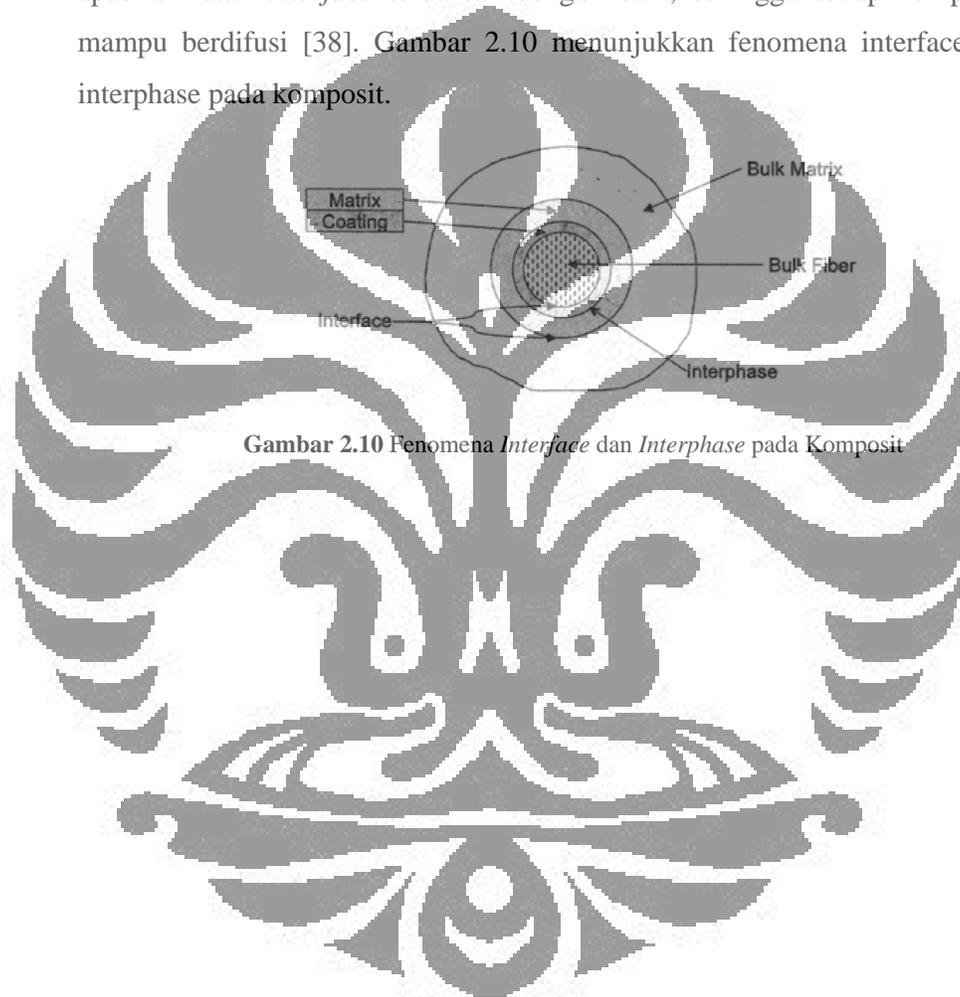
$E$  = Modulus elastisitas (komposit(c), penguat(f), matriks(m)) [GPa]

$V$  = fraksi volume (komposit(c), penguat(f), matriks(m))

$\rho$  = Densitas (komposit(c), penguat(f), matriks(m)) [gr.cm<sup>-3</sup>]

- b. Pada material komposit, penguat dan matriks menghasilkan kombinasi sifat mekanik yang berbeda dengan sifat dasar dari masing-masing matriks maupun penguat karena adanya *interface* antara kedua komponen tersebut. *Interface* merupakan permukaan yang terbentuk diantara matriks dan penguat di dalamnya yang berfungsi sebagai media transfer beban dari matriks dan penguat. Ikatan antara penguat dan matriks ini memiliki peran yang besar

dalam penentuan sifat komposit. Semakin baik ikatan yang terbentuk (ditandai dengan semakin luasnya daerah permukaan kontak), maka semakin baik pula sifat akhir dari komposit yang terbentuk. Permukaan yang terbentuk tersebut akan mempengaruhi sifat-sifat dari komposit nantinya. Selain itu, diantara matriks dan penguat akan terbentuk fasa ketiga (*interphase*) yang memiliki sifat gabungan dari kedua fasa pembentuknya. Fasa ketiga dapat terbentuk apabila ikatan *interface* terbentuk dengan baik, sehingga setiap komponen mampu berdifusi [38]. Gambar 2.10 menunjukkan fenomena interface dan interphase pada komposit.



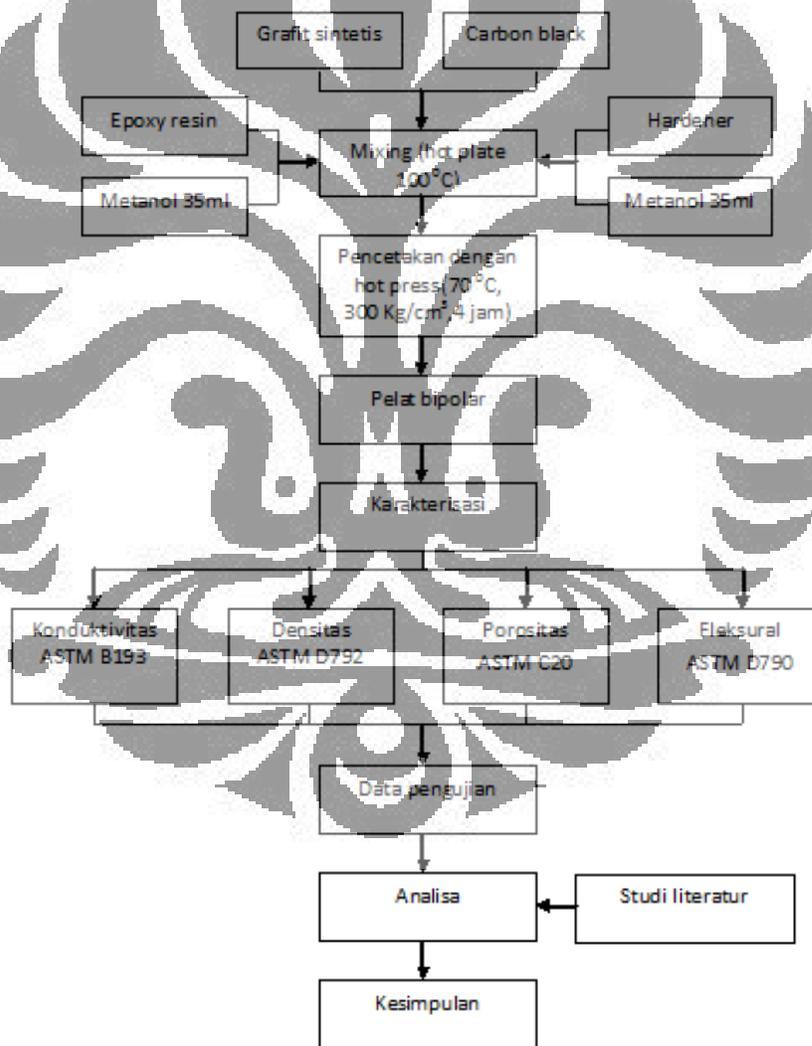
Gambar 2.10 Fenomena *Interface* dan *Interphase* pada Komposit

## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir pada Gambar 3.1 berikut ini menggambarkan kegiatan yang dilakukan secara umum untuk mengetahui pengaruh dari penambahan 10-20 wt.% *carbon black* pada komposit pelat bipolar grafit sintesis.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

## 3.2 Alat dan Bahan

### 3.2.1 Peralatan

Berikut ini adalah peralatan yang digunakan pada penelitian untuk menghasilkan pelat bipolar serta pengujian karakterisasi terhadap pelat bipolar tersebut:

1. Timbangan digital
2. *Beaker glass*
3. *Mixer*
4. *Hot plate*
5. Cetakan *stainless steel*
6. Mesin *hot press*
7. *Conductivity four point probe test machine*
8. *Universal testing machine*
9. Oven

### 3.2.2 Bahan

Pada penelitian ini, material yang digunakan untuk membuat pelat bipolar adalah material komposit yang menggunakan *epoxy resin* sebagai matriks, grafit sintetis sebagai penguat, dan *carbon black* sebagai *filler*. *Epoxy resin* diencerkan dengan methanol yang bertujuan untuk pembasahan material komposit untuk membentuk *interface* yang baik sehingga dapat terbentuk campuran yang homogen. Komposisi dari masing-masing bahan penyusun sampel tergantung pada variabel yang digunakan dengan berat total per sampel sebesar 180 gram.

#### 3.2.2.1 Epoxy Resin & Hardener

Polimer termoset yang digunakan dalam penelitian ini adalah *epoxy resin* dengan merk dagang *Eposchon (Bhispenol A-epichlorohydrin)*. Spesifikasi *epoxy resin* yang digunakan terdapat pada Tabel 3.1.

**Tabel 3.1** Spesifikasi *Epoxy Resin*

Sifat	Nilai
Viskositas pada 25 <sup>0</sup> C	16000 - 20000
<i>Epoxy Egiivalent</i> (g/equiv)	184-204
<i>Hydrolyzable chlorine content</i> (%)	< 0.05
<i>Colour according to the Gardner scale</i>	< 1

Polimer *epoxy* yang digunakan memerlukan sebuah *coupling agent* sebagai stimulan terjadinya proses polimerisasi dengan baik pada suhu ruang. Oleh karena itu digunakan *hardener* dengan merek dagang *Eposchon* (*polyaminoamide*). Tabel 3.2 berikut ini adalah spesifikasi dari *hardener* yang digunakan di dalam penelitian.

**Tabel 3.2** Spesifikasi *Hardener*

Sifat	Nilai
Viskositas (25 <sup>0</sup> C)	100-200
Kekerasan (D)	84
Kekuatan Tarik (kgf/cm <sup>2</sup> )	410
Kekuatan Fleksural (kgf/cm <sup>2</sup> )	810
Kekuatan Tekan (kgf/cm <sup>2</sup> )	740
Kekuatan Geser Adhesive (kgf/cm <sup>2</sup> )	160

### 3.2.2.2 Grafit Sintetis

Komposisi grafit sintetis yang digunakan bergantung pada variabel dari *carbon black* yang jumlah keduanya merupakan 80% total berat dari pelat bipolar. Jumlah grafit sintetis berkurang seiring dengan peningkatan jumlah *carbon black*. Grafit sintetis mempunyai ukuran partikel yaitu lebih kecil dari 50  $\mu\text{m}$  (325mesh). Jika dibandingkan dengan *carbon black* yang digunakan dalam penelitian ini, grafit sintetis dengan merek dagang MERCK ini mempunyai nilai konduktivitas yang lebih baik sehingga grafit sintetis menjadi jumlah yang dominan dalam total

berat pelat bipolar. Tabel 3.3 berikut ini adalah spesifikasi dari grafit sintetis yang digunakan di dalam penelitian.

**Tabel 3.3** Spesifikasi Grafit Sintetis

<b>GRAPHITE (C) – 104206</b>	
Massa molar	12.01 g/mol
<b>Data Kimia dan Fisika</b>	
Kelarutan dalam air	(20 °C) tidak dapat larut
Densitas	2.2 g/cm <sup>3</sup> (20 °C)
Angka pH	5 – 6 (50 g/l, H <sub>2</sub> O, 20 °C)
<b>Spesifikasi</b>	
<i>Particle Size</i> (<50 μm)	≥99.5%
<i>Bulk Density</i>	20 – 30 g/100ml

### 3.2.2.3 Carbon Black

Pada penelitian ini, *carbon black* digunakan sebagai material semi konduktif. *Carbon black* dengan permukaan yang luas akan mampu menghantarkan arus listrik dan membentuk jaringan karbon yang konduktif. Namun, struktur *carbon black* yang berporos akan mengurangi sifat mekanis dari komposit. *Carbon black* yang dipakai dalam penelitian ini dihasilkan dari karbon arang buatan tangan sendiri dengan struktur amorf yang berfungsi sebagai katalis grafit konduktif aktif. Penambahan *carbon black* pada masing-masing pelat bipolar yaitu sebesar 10%, 12.5%, 15%, 17.5%, dan 20%.

### 3.2.2.4 Metanol

Metanol yang digunakan dalam penelitian ini mempunyai merek dagang Brastaco. Adapun fungsi dari metanol dalam penelitian adalah sebagai pengencer dari polimer *epoxy* pada tahap pencampuran bahan-bahan pelat bipolar. Tabel 3.4 berikut menunjukkan sifat-sifat methanol yang dipakai pada penelitian ini.

Tabel 3.4 Spesifikasi Metanol

<b>Formula</b>	CH <sub>3</sub> OH
<b>Massa</b>	32,05 gr/mol
<b>Penampakan</b>	Cairan tidak berwarna
<b>Densitas</b>	0,7918 gr/cm <sup>3</sup>
<b>Titik Leleh</b>	-97 <sup>0</sup> C / -142,9 <sup>0</sup> F / 176 K
<b>Titik Didih</b>	64,7 <sup>0</sup> C / 148,4 <sup>0</sup> F / 337,8 K
<b>Kelautan dalam Air</b>	Larut

### 3.3 Prosedur Penelitian

Sifat dan karakteristik yang akan dihasilkan oleh suatu pelat bipolar, bergantung pada proses pembuatannya. Oleh karena itu, diperlukan beberapa langkah yang dimulai dari proses persiapan material yaitu penimbangan, pencampuran semua bahan, dan pencetakan pelat bipolar hingga kepada pembuatan sampel uji.

#### 3.3.1 Preparasi Sampel

##### 3.3.1.1 Penimbangan

Komponen-komponen penyusun komposit pelat bipolar yang akan digunakan di dalam penelitian ditimbang dengan menggunakan alat timbangan digital dengan kepresisian yang cukup baik. Setiap bahan yang digunakan ditimbang sesuai dengan komposisi yang telah ditentukan sebelumnya dengan variabel berupa penambahan *carbon black* untuk menghasilkan suatu komposit pelat bipolar. Perbandingan yang digunakan adalah 20% matriks dan 80% penguat berupa grafit sintetis serta *carbon black* sebagai *filler*. Tabel 3.5 menunjukkan komposisi dari komposit pelat bipolar.

Tabel 3.5 Komposisi Pelat Bipolar

Bahan	Satuan	Kode Sampel				
		1	2	3	4	5
<i>Epoxy</i>	Wt%	10	10	10	10	10
<i>Resin</i>	gr	18	18	18	18	18
<i>Hardener</i>	Wt%	10	10	10	10	10
	gr	18	18	18	18	18
Grafit	Wt%	70	67.5	65	62.5	60
Sintetis	gr	126	121.5	117	112.5	108
<i>Carbon Black</i>	Wt%	10	12.5	15	17.5	20
	gr	18	22.5	27	31.5	36
Total	gr	180	180	180	180	180

### 3.3.1.2 Proses Pencampuran

Proses selanjutnya adalah proses pencampuran (*mixing*) dari bahan-bahan yang telah ditimbang sebelumnya. Tahap ini merupakan tahap yang paling penting karena menentukan karakteristik akhir dari pelat bipolar yang dihasilkan. Diharapkan dengan proses pencampuran yang baik, komponen-komponen penyusun material komposit dapat terdistribusi secara merata pada setiap bagian dari pelat bipolar yang dihasilkan. Masing-masing komponen dicampur dengan menggunakan *mixer* hingga terbentuk suatu bakalan yang homogen. Gambar 3.2 menunjukkan bakalan hasil *mixing*.

Langkah-langkah yang dilakukan pada proses ini sebagai berikut:

1. Masukkan grafit sintetis dan *carbon black* ke dalam *beaker glass* 1 L, kemudian aduk hingga rata
2. *Epoxy resin* dan *hardener* diencerkan dengan metanol masing-masing sebanyak 35 ml di dalam *beaker glass* yang berbeda

3. Masukkan *epoxy resin* yang telah tercampur rata dengan metanol ke dalam *beaker glass* 1 L yang telah berisi grafit sintesis dan *carbon black*, kemudian *mixing* selama  $\pm 5$  menit
4. Masukkan *hardener* ke dalam bakalan, kemudian *mixing* selama  $\pm 5$  menit
5. *Mixing* diatas *hot plate* ( $T=100^{\circ}\text{C}$ ) selama  $\pm 15$  menit



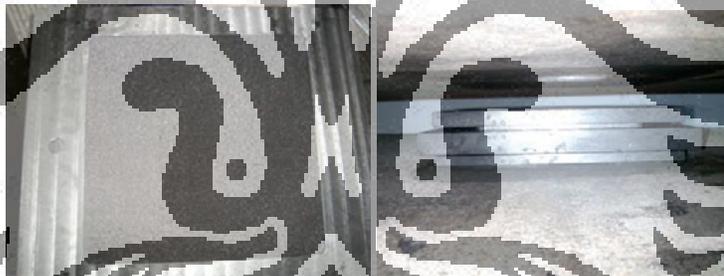
Gambar 3.2 Hasil Mixing

### 3.3.1.3 Proses Pencetakan

Hasil pencampuran kemudian dimasukkan ke dalam cetakan berukuran 15 cm x 15 cm x 0,4 cm. Dalam proses ini, bakalan harus tersebar merata didalam cetakan agar menghasilkan pelat dengan ketebalan yang seragam. Lalu, cetakan diletakkan pada mesin *hot press* untuk dilakukan proses *hot press* pada temperatur  $70^{\circ}\text{C}$  dengan menggunakan tekanan sebesar  $300 \text{ kg/cm}^2$  selama 4 jam lalu didiamkan selama 12 jam. Waktu proses dan waktu diam ini merupakan faktor penting terhadap baik tidaknya pelat bipolar yang dihasilkan. Apabila waktu proses tidak sesuai, pelat bipolar akan mengalami perubahan dimensi berupa ketebalan yang tidak merata dan pelengkungan yang nantinya akan menyulitkan di dalam preparasi sampel untuk pengujian karakteristik yang akan dilakukan. Gambar 3.3 menunjukkan proses pencetakan dari pelat bipolar.

Prosedur proses pencetakan yang dilakukan di dalam penelitian adalah :

1. Bersihkan cetakan baja tahan karat yang akan digunakan dari kotoran yang menempel dan lumuri dengan oli secara merata pada setiap bagian cetakan
2. Masukkan bakalan hasil pencampuran ke dalam cetakan hingga merata
3. Tutup cetakan dan masukkan ke dalam mesin *hot press*
4. Atur tekanan mesin di indikator tekanan hingga  $300 \text{ Kg/cm}^3$  dan temperatur sebesar  $70^\circ\text{C}$
5. Diamkan mesin bekerja selama 4 jam
6. Matikan mesin dan *release* tekanan yang diberikan sebelumnya
7. Diamkan sampel di dalam cetakan pada temperatur kamar selama 12 jam dan setelah itu buka sampel dari cetakan



Gambar 3.3 Proses Pencetakan

#### 3.3.1.4 Pembuatan Spesimen Uji

Pembuatan spesimen uji disesuaikan dengan standar yang dipakai pada pengujian masing-masing karakterisasi yang akan dilakukan. Sampel pelat bipolar hasil pencetakan akan dipotong sesuai dengan dimensi benda uji yang akan dilakukan. Untuk uji konduktivitas, uji densitas, dan uji porositas menggunakan sampel dan ukuran yang sama, yaitu sebesar  $2 \times 2 \text{ cm}$ , sedangkan untuk pengujian fleksural menggunakan sampel yang berbeda, yaitu sebesar  $12 \times 1,3 \times 0,3 \text{ cm}$ .

### 3.3.2 Pengujian Karakteristik Material

#### 3.3.2.1 Uji Densitas

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui massa jenis dari pelat bipolar yang dihasilkan. Densitas memiliki peranan yang penting untuk pelat bipolar karena semakin besar densitas, semakin berat pula bobot pelat bipolar tersebut. Hal ini menyebabkan kurangnya efisiensi yang dihasilkan akibat bobot yang berlebih. Pengujian akan dilakukan berdasarkan ASTM D 792 (*Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement*). Pengujian akan dilakukan dengan prinsip perbandingan massa sampel di udara dengan massa sampel di dalam air. Semakin besar perbandingannya, maka semakin besar pula densitas dari sampel pelat bipolar yang dihitung. Gambar 3.4 menunjukkan cara penimbangan sampel di dalam air.

Prosedur pengukuran densitas yang dilakukan didalam penelitian adalah :

1. Timbang massa sampel di udara dengan timbangan digital (A)
2. Siapkan *beaker glass* berisi air dan sebuah gantungan penimbang
3. Timbang massa sampel di dalam air pada gantungan penimbang dengan timbangan digital (B)

Dari kedua hasil penimbangan tersebut, nilai densitas akan didapat dengan menggunakan rumus berikut:

$$\rho_{\text{sampel}} = \frac{A}{(A - B)} \times \rho_{\text{air}} \dots \dots \dots (3.1)$$

Keterangan :  $\rho_{\text{sampel}}$  = Densitas spesimen [ $\text{gr}/\text{cm}^3$ ]

A = Massa spesimen di udara [gr]

B = Massa spesimen di dalam air [gr]

$\rho_{\text{air}}$  = Massa jenis air [ $\text{gr}/\text{cm}^3$ ]

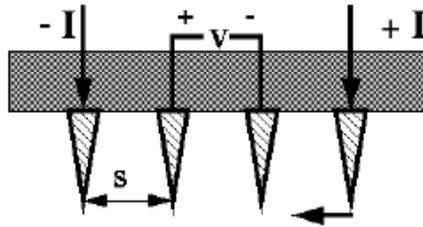
(catatan: massa jenis air untuk setiap temperatur tidak sama)



Gambar 3.4 Penimbangan Massa Spesimen di Air

### 3.3.2.2 Uji Konduktivitas

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui konduktivitas listrik dari pelat bipolar. Konduktivitas merupakan suatu parameter yang dapat digunakan untuk mengetahui seberapa baik suatu material untuk mengalirkan arus listrik. Semakin besar nilai konduktivitas listriknya, semakin baik pula material tersebut mengalirkan arus listrik. Digunakan alat *four point probe test* untuk mengetahui seberapa besar konduktivitas dari sampel. Alat ini terdiri dari 4 buah *probe* dengan jarak tertentu yang terbuat dari logam tungsten, dimana *probe* 1 dan 4 sebagai titik pengukur arus yang dibaca di amperemeter, sedangkan *probe* 2 dan 3 sebagai pengukur tegangan yang akan dibaca di voltmeter. Masing-masing titik dipasang suatu pegas untuk meminimalisir kerusakan yang terjadi pada sampel pada saat proses pengujian. Nilai resistivitas dari sampel akan diketahui dengan menggunakan alat ini. Sampel yang digunakan bisa merupakan lembaran tipis atau tebal. Hal yang harus diperhatikan ketika pengujian adalah sampel yang diuji harus memiliki permukaan yang rata, sehingga perlu dilakukan proses pengamplasan sebelum dilakukan proses pengujian konduktivitas. Gambar 3.5 menunjukkan skema dari alat uji konduktivitas yang digunakan.



**Gambar 3.5** Skema Uji konduktivitas

Prosedur pengujiannya sebagai berikut:

1. Siapkan sampel dengan permukaan rata yang akan diuji
2. Nyalakan voltmeter dan ubah tipe mesin menjadi DC
3. Masukkan sampel kedalam alat *four point probe test* (sampel diletakkan tepat ditengah dimana 4 buah *probe* berada)
4. Pilih mode *slice* sesuai dengan bentuk sampel yang akan diuji
5. Masukkan data ketebalan dari sampel yang akan diuji
6. Tutup sampel dengan penutup alat
7. Nilai resistivitas (R) akan terlihat pada indikator alat

Nilai konduktivitas dari sampel dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

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

Keterangan:  $\rho$  = Nilai konduktivitas material [ $S.cm^{-1}$ ]

R = Nilai resistivitas material [ $\Omega cm$ ]

### 3.3.2.3 Uji Porositas

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar poros yang terbentuk dari pelat bipolar yang dihasilkan. Semakin banyak poros yang

terbentuk, maka semakin buruk efektivitas pelat bipolar yang digunakan. Hal ini terjadi karena gas hidrogen yang digunakan sebagai bahan bakar pada *fuel cell* akan mudah keluar dan efisiensi prosesnya menjadi buruk. Pengujian porositas mengacu pada standar ASTM C 20 (*Standard Test Methods for Apparent Porosity, Water Absorption, Apparent Specific Gravity, and Bulk Density of Burned Refractory Brick and Shapes by Boiling Water*). Prinsipnya adalah perbandingan massa antara sampel yang telah dikeringkan pada oven, massa di dalam air dan massa di udara setelah direndam air dengan suhu  $100^{\circ}\text{C}$ . Gambar 3.6 menunjukkan cara pengujian porositas.



Gambar 3.6 Pengujian Porositas

Prosedur pengujiannya sebagai berikut:

1. Keringkan sampel di dalam oven dengan temperatur  $100^{\circ}\text{C}$  selama 1 jam
2. Timbang massa sampel setelah di oven dengan timbangan digital dan catat sebagai  $D$
3. Siapkan air di dalam *beaker glass* dan panaskan hingga suhu  $100^{\circ}\text{C}$  pada *hot plate*
4. Rendam sampel di dalam *beaker glass* yang berisi air  $100^{\circ}\text{C}$  selama 1 jam
5. Diamkan sampel di dalam air pada temperatur kamar selama 12 jam

6. Timbang massa sampel setelah didiamkan di dalam air dengan timbangan digital dan catat sebagai S
7. Keringkan sampel dengan kain katun
8. Timbang sampel yang telah dikeringkan dengan timbangan digital dan catat sebagai W

Nilai porositasnya dihitung dengan aturan sebagai berikut:

$$\text{Porositas (\%)} = \frac{W - D}{D - S} \times 100 \% \dots \dots (3.3)$$

Keterangan: D= Massa specimen di udara setelah dioven [gr]

S = Massa di air setelah direbus dan didiamkan selama 12 jam [gr]

W= Massa spesimen di udara setelah dikeringkan [gr]

#### 3.3.2.4 Uji Fleksural

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kekuatan pelat bipolar terhadap pembebanan. Dalam aplikasi *fuel cell*, pelat bipolar mengalami pembenanan dari komponen-komponen penyusun lainnya sehingga diperlukan ketahanan terhadap beban yang baik untuk menciptakan pelat bipolar dengan sifat mekanik yang baik pula. Pengujian fleksural dilakukan dengan alat uji yang mengacu pada standar ASTM D790 (“*Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials*”). Pengujian dilakukan dengan melakukan pembebanan pada 3 titik dengan perincian panjang 60 mm, lebar 13 mm dan tebal 3 mm. Dua titik tumpuan terletak pada pinggir spesimen uji dan satu titik tumpuan dibebankan pada bagian tengah. Gambar 3.7 menggambarkan skematis pengujian fleksural.

Adapun prosedur pengujian fleksural tersebut yaitu:

1. Preparasi spesimen pengujian. Hal ini termasuk pemotongan spesimen pengujian dan pengondisian spesimen.

2. Ukur lebar dan ketebalan spesimen.
3. Letakkan spesimen pada grip pengujian.
4. Atur jenis pembabanan dan kecepatan
5. Memulai pembebanan hingga spesimen mengalami perpatahan.
6. Pada indikator akan terlihat besarnya pembebanan yang diberikan hingga spesimen mengalami perpatahan

Nilai porositasnya dihitung dengan aturan sebagai berikut:

$$\sigma_f = \frac{3PL}{2bd^2} \dots \dots (3.4)$$

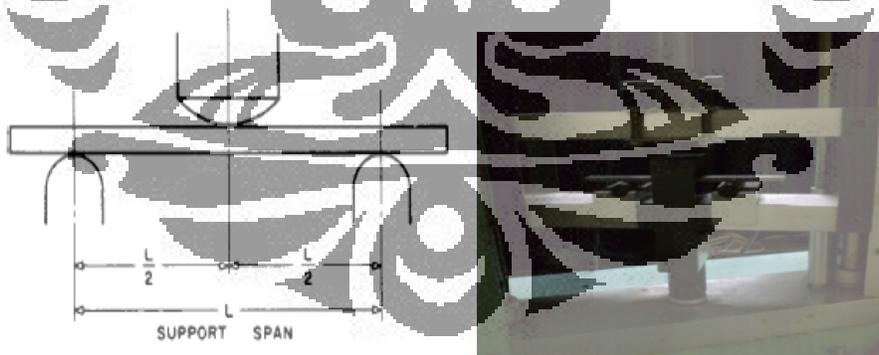
Keterangan:  $\sigma_f$  = Tegangan / kekuatan fleksural [MPa]

P = Beban maksimum [N]

L = Panjang support span [mm]

b = Lebar spesimen [mm]

d = Tebal spesimen [mm]



**Gambar 3.7** Skematis Pengujian Fleksural

## BAB IV

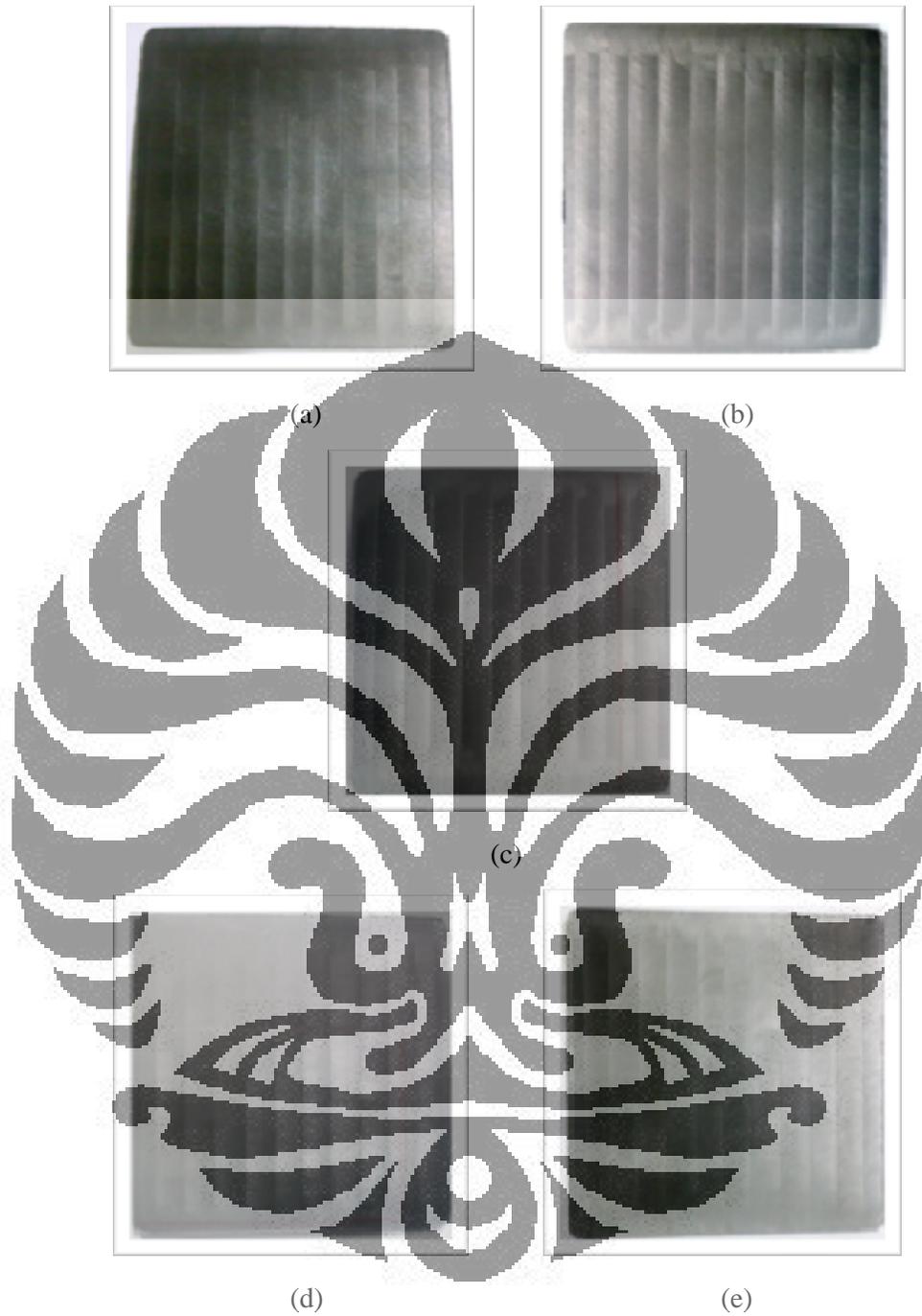
### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Pengamatan Visual

Dari hasil pengamatan visual, sampel pelat bipolar hasil pencetakan secara keseluruhan cenderung memiliki tekstur permukaan yang baik serta layak untuk dipreparasi yang kemudian digunakan sebagai sampel pengujian karakterisasi. Hal ini dikarenakan adanya proses pencampuran yang baik antara *epoxy resin* dan *hardener*, grafit sintesis dan *carbon black*. Setiap proses yang dilakukan, yaitu mulai dari penimbangan, pencampuran, hingga pencetakan, berpengaruh secara langsung terhadap karakteristik akhir dari pelat bipolar yang dihasilkan. Proses pencetakan seperti temperatur, tekanan, dan waktu pemrosesan pada mesin *hot press*, serta lamanya waktu diam dari cetakan setelah proses *hot press* dilakukan berdasarkan metodologi yang telah ditentukan sebelumnya.

Pada permukaan pelat bipolar terbentuk garis-garis vertikal yang dapat dilihat pada gambar di bawah. Hal ini ditimbulkan oleh permukaan yang terbentuk dari cetakan yang digunakan. Garis-garis yang tidak rata tersebut harus dihilangkan dan dihaluskan ketika dilakukan pengujian karakteristik. Sebagai salah satunya adalah pada pengujian fleksural, garis-garis yang tidak rata tersebut dapat menjadi konsentrasi tegangan dan mempengaruhi nilai kekuatannya sehingga nilai yang didapatkan pada penelitian tidak valid. Apabila setiap proses pembuatan pelat bipolar tersebut dijalankan dengan sangat baik dan teliti, akan didapatkan pelat yang mempunyai permukaan visual yang rata, tidak rapuh, serta minim cacat.

Pada penelitian ini, bobot dari setiap pelat adalah 180 gram. Hal ini sudah sesuai dengan salah satu kriteria dari pelat bipolar yang baik yaitu memiliki bobot kurang dari 200 gram per pelat [8]. Hasil pencetakan pelat bipolar dapat dilihat pada Gambar 4.1.



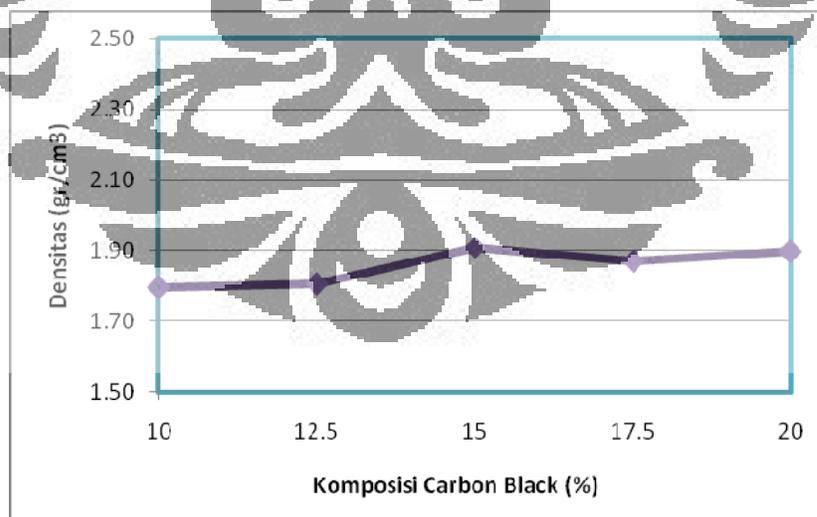
**Gambar 4.1** Hasil Pencetakan Pelat Bipolar (a) 10 wt.% CB; (b) 12,5 wt.%CB; (c) 15 wt.% CB;  
(d) 17,5 wt.% CB; (e) 20 wt.% CB

### 4.3 Pengujian Densitas

Pengujian densitas ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui massa jenis dari suatu pelat bipolar. Densitas merupakan salah satu faktor penting di dalam pelat bipolar. Semakin besar nilai densitas, berarti semakin berat bobot dari pelat bipolar yang dihasilkan. Pelat bipolar dengan densitas yang rendah akan dapat meningkatkan efisiensi sehingga dapat digunakan pada berbagai aplikasi, khususnya alat-alat *portable*. Berdasarkan hasil penelitian, data densitas yang didapatkan pada setiap pelat bipolar dijelaskan pada Tabel 4.1.

**Tabel 4.1** Data Pengujian Densitas

Wt.% CB	Densitas (gr/cm <sup>3</sup> )
10.0	1.80
12.5	1.81
15.0	1.91
17.5	1.87
20.0	1.90



**Gambar 4.2** Hasil Pengujian Densitas

Pada Gambar 4.2, dapat dilihat bahwa seiring dengan penambahan 10-20 wt.% CB, dengan kombinasi kenaikan 2.5 wt.% di setiap variabel, nilai densitas yang diperoleh cenderung fluktuatif. Pada variabel 12.5 wt.% CB ( $1.81 \text{ gr/cm}^3$ ), mengalami kenaikan 0.56% dari variabel 10 wt.% CB ( $1.80 \text{ gr/cm}^3$ ). Nilai densitas kembali naik 5.53% pada 15 wt.% CB ( $1.91 \text{ gr/cm}^3$ ), tetapi kemudian mengalami penurunan 2.09% pada variabel berikutnya yaitu 17.5 wt.% CB ( $1.87 \text{ gr/cm}^3$ ). Setelah itu, kembali naik 1.60% pada 20 wt.% CB ( $1.90 \text{ gr/cm}^3$ ). Fluktuasi dari nilai densitas ini tidak terlihat signifikan dan masih dapat dikatakan bahwa penambahan *carbon black* sampai 20% tidak banyak berpengaruh terhadap densitas dari pelat bipolar.

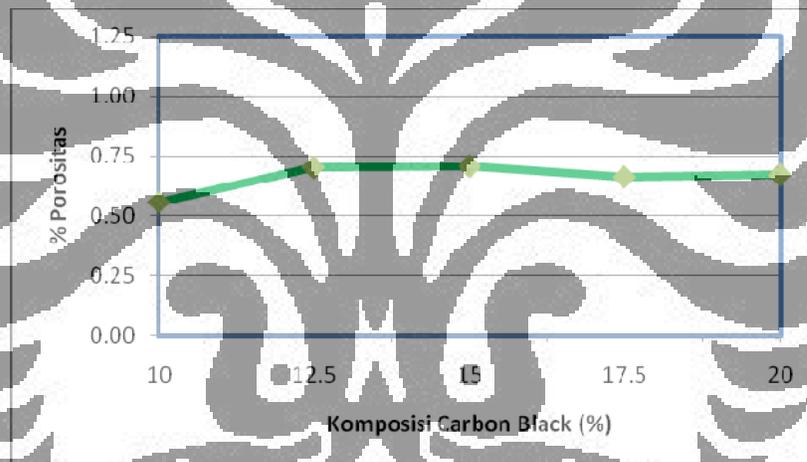
Nilai densitas yang didapat yaitu berkisar antara 1.80 hingga  $1.91 \text{ gr/cm}^3$ . Dalam pengujian ini, diharapkan material dengan komposisi yang tepat memiliki nilai densitas rendah dan kepadatan tinggi karena harus mencapai karakteristik pelat bipolar sesuai dengan standar ideal pelat bipolar yaitu kurang dari  $5 \text{ gr/cm}^3$  [8]. Berdasarkan standar ini, pelat bipolar berbahan dasar grafit sintetis memenuhi persyaratan untuk nilai densitas ideal pelat bipolar PEMFC. Nilai densitas pelat bipolar akan mempengaruhi berat total suatu *fuel-cell stack*. Untuk menghasilkan *fuel cell* yang ringan, nilai densitas pelat bipolar yang didapatkan harus serendah mungkin [23].

#### 4.4 Pengujian Porositas

Selain densitas, porositas merupakan salah satu parameter yang dapat menentukan kualitas performa pelat bipolar pada sistem PEMFC. Porositas merupakan suatu daerah kosong yang terbentuk diantara komponen-komponen penyusun di dalam material komposit pada pelat bipolar. Gas-gas reaktan yang digunakan sebagai bahan bakar pada PEMFC dapat keluar melalui rongga-rongga yang terbentuk pada pelat bipolar dan menurunkan efisiensi dari penggunaan *fuel cell* tersebut. Diharapkan nilai porositas yang dihasilkan pada pelat bipolar sekecil mungkin. Tabel 4.2 menjelaskan nilai porositas yang didapatkan pada setiap pelat bipolar yang dihasilkan.

**Tabel 4.2** Data Pengujian Porositas

Wt.% CB	Porositas (%)
10.0	0.56
12.5	0.70
15.0	0.71
17.5	0.66
20.0	0.67

**Gambar 4.3** Hasil Pengujian Porositas

Gambar 4.3 memperlihatkan grafik hasil pengujian porositas pada pelat bipolar dengan matriks *epoxy* dan penguat grafit sintetis dengan kenaikan 2.5 wt.% CB pada tiap variabel dengan batasan 10-20 wt.% CB. Pada variabel 12.5 wt.% CB (0.70%), mengalami kenaikan 25% dari variabel 10 wt.% CB (0.56%). Nilai porositas kembali naik 1.43% pada 15 wt.% CB (0.71%), tetapi kemudian mengalami penurunan 7.04% pada variabel berikutnya yaitu 17.5 wt.% CB (0.66%). Setelah itu, kembali naik 1.49% pada 20 wt.% CB (0.67%).

Pada grafik terlihat bahwa seiring dengan penambahan *carbon black*, persentase porositas dari pelat bipolar cenderung meningkat, karena setelah

dilakukan *screening* diketahui ukuran partikel dari *carbon black* yaitu sebesar 140 mesh ( $\sim 105 \mu\text{m}$ ) sehingga ukuran partikel *carbon black* ini lebih besar dari grafit sintetis ( $\sim 50 \mu\text{m}$ ). Partikel *carbon black* yang lebih besar menyebabkan terbentuknya rongga-rongga kosong yang lebih banyak pada pelat bipolar.

Porositas juga dapat terjadi karena adanya proses penguapan metanol. Proses *hot press* dalam pencetakan pelat bipolar ini akan mengeluarkan metanol yang digunakan untuk melarutkan *epoxy*. Oleh karena itu, penguapan metanol tersebut akan meninggalkan porositas pada permukaan maupun bagian dalam dari pelat bipolar ini.

Secara keseluruhan, nilai porositas seiring dengan penambahan *carbon black* yang dihasilkan cukup kecil yaitu kurang dari 1%, berkisar antara 0.56% hingga 0.71%. Tingkat porositas yang kecil ini akan meningkatkan efisiensi performa dari pelat bipolar pada sistem PEMFC, sehingga diharapkan dapat memenuhi kriteria pelat bipolar yang baik dalam berbagai aplikasi.

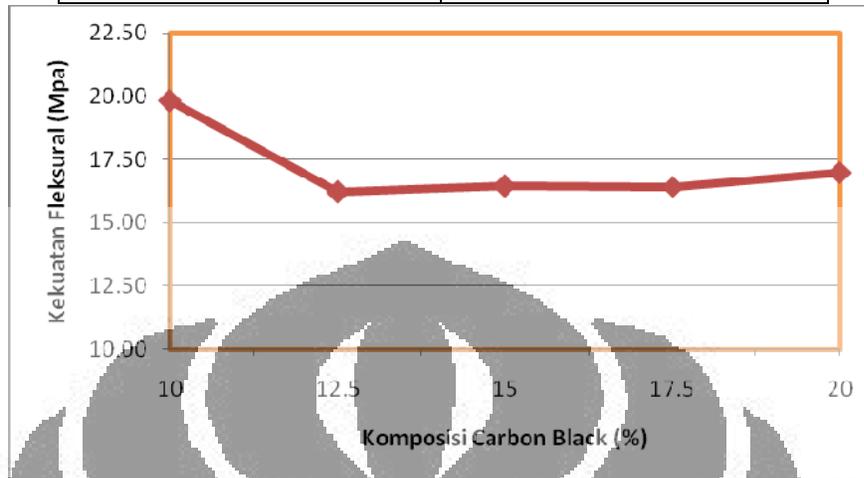
#### 4.5 Pengujian Fleksural

Pelat bipolar yang baik harus memiliki kekuatan fleksural yaitu lebih besar dari 25 MPa [8]. Hal ini dikarenakan pada saat pengaplikasiannya di dalam PEMFC, pelat bipolar tersebut akan mengalami tegangan fleksural dari setiap *stack fuel cell* serta tekanan dari gas, baik yang masuk maupun keluar dari sistem. Dengan kekuatan fleksural yang tinggi, pelat bipolar tidak mengalami keretakan atau kegagalan ketika mengalami suatu pembebanan fleksural. Tabel 4.3 menjelaskan data hasil uji fleksural yang dilakukan pada setiap sampel pelat bipolar.

**Tabel 4.3** Data Pengujian Fleksural

Wt.% CB	Fleksural (MPa)
10.0	19.82
12.5	16.21
15.0	16.46

17.5	16.43
20.0	17.00



Gambar 4.4 Hasil Pengujian Fleksural

Dari hasil pengujian fleksural pada Gambar 4.4, dapat dilihat bahwa variabel 12.5 wt.% CB (16.21 MPa) mengalami penurunan 18.21% dari variabel 10 wt.% CB (19.82 MPa). Nilai fleksural berikutnya naik 1.54% pada 15 wt.% CB (16.46 MPa), tetapi kemudian mengalami penurunan 0.18% pada variabel berikutnya yaitu 17.5 wt.% CB (16.43 MPa). Setelah itu, kembali naik 3.47% pada 20 wt.% CB (17.00 MPa).

Dari data tersebut, dapat dilihat adanya penurunan yang cukup signifikan pada variabel 12.5 wt.% CB. Penambahan sedikit *carbon black* umumnya akan meningkatkan sifat mekanik dari polimer komposit tersebut. Apabila konsentrasi *carbon black* yang ditambahkan sangat tinggi, kekuatan fleksural akan kembali menurun. Kekuatan fleksural akan mencapai maksimal dengan penambahan *carbon black* sebesar 5% pada polimer komposit dan selanjutnya akan menurun seiring dengan meningkatnya kadar *carbon black* di dalam polimer komposit tersebut [43].

*Carbon black* memiliki struktur berongga yang dapat menurunkan sifat mekanis dari pelat bipolar, sehingga dengan meningkatnya kadar *carbon black* pada pelat bipolar maka kekuatan pelat bipolar akan menurun. Rongga yang terdapat dalam pelat bipolar dapat menurunkan kekuatan fleksural karena rongga-

rongga ini akan menginisiasi retak ketika adanya pembebanan terhadap pelat bipolar. Selain itu dapat pula dikaitkan dengan sifat *carbon black* dalam matriks sebagai *inhomogenities* (ketidakhomogenan), yaitu partikel-partikel *carbon black* akan berkumpul pada daerah tertentu dan tidak tersebar secara merata [43]. Ketika proses pencampuran tidak maksimal, pengelompokan *carbon black* dapat terjadi dan meningkatkan ketidakhomogenan yang akan cenderung menurunkan sifat mekanis. Faktor ikatan antarmuka antara matriks dengan penguat juga dapat menjadi faktor yang mempengaruhi kekuatan pelat bipolar. Semakin baik ikatan antara matriks dengan penguat, maka kekuatan suatu komposit juga akan semakin tinggi.

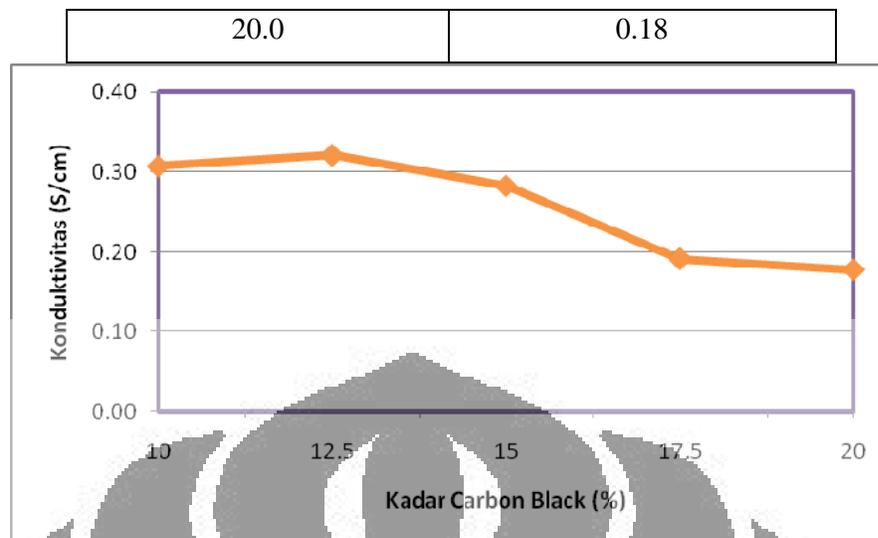
Pada penelitian ini, pelat bipolar yang telah dibuat belum dapat mencapai target kekuatan fleksural yang baik, yaitu di atas 25 MPa. Kekuatan fleksural yang paling baik yang dapat dicapai dalam penelitian ini terdapat pada variabel 10 wt.% CB, yaitu sebesar 19.82 MPa.

#### 4.6 Pengujian Konduktivitas

Material yang diterapkan pada pelat bipolar harus memiliki sifat konduktivitas listrik yang baik untuk mengantarkan atau menghasilkan arus listrik karena pelat bipolar mempunyai peranan yang sangat penting di dalam sistem PEMFC. Fungsi utama dari pelat bipolar tersebut adalah mengalirkan elektron dari kutub anoda ke kutub katoda. Dari hasil pengukuran resistivitas menggunakan alat *four point probe*, didapatkan suatu nilai konduktivitas (S/cm) yang dijelaskan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Data Pengujian Konduktivitas

Wt.% CB	Konduktivitas (S/cm)
10.0	0.31
12.5	0.32
15.0	0.28
17.5	0.19



Gambar 4.5 Hasil Pengujian Konduktivitas

Pada Gambar 4.5, dapat dilihat bahwa variabel 12.5 wt.% CB (0.31 S/cm) mengalami kenaikan 3.33% dari variabel 10 wt.% CB (0.30 S/cm). Kemudian nilai konduktivitas mengalami penurunan sebesar 9.68% pada 15 wt.% CB (0.28 S/cm). Setelah itu, penurunan kembali terjadi pada variabel 17.5 wt.% CB (0.19 S/cm) yaitu sebesar 32.14% dan juga pada 20 wt.% CB (0.18%) yaitu sebesar 5.26%. Dari data tersebut, dapat dilihat bahwa nilai konduktivitas akan cenderung turun seiring dengan penambahan *carbon black*. Nilai konduktivitas yang didapatkan dari lima pelat bipolar tersebut masih belum memenuhi target *Department of Energy, USA* yaitu di atas 100 S/cm [8].

Adanya penambahan *carbon black*, yang digunakan sebagai *conducting filler*, dengan luas permukaan yang tinggi dapat mengumpulkan arus listrik dan membentuk jaringan karbon konduktif. *Carbon black* berfungsi sebagai medium dari proses migrasi elektron di dalam grafit dan *epoxy resin*, sehingga arus yang mengalir di dalam komposit pelat bipolar tersebut akan saling terdorong dan mudah bergerak secara kontinu yang akhirnya menyebabkan arus yang dihasilkan semakin besar.

Faktor yang dapat menyebabkan nilai konduktivitas pada penelitian ini menurun yaitu ukuran partikel dari *carbon black* (~105  $\mu\text{m}$ ) yang lebih besar dari grafit sintesis (~50  $\mu\text{m}$ ), sehingga semakin banyak komposisi *carbon black* dalam

campuran serbuk komposit tersebut, akan semakin banyak kemungkinan partikel yang lebih besar di dalam campuran serbuk komposit tersebut. Hal ini membuat rongga-rongga yang terbentuk semakin banyak dan menjadi hambatan untuk mengantarkan arus listrik.

#### 4.7 Perbandingan Sifat Pelat Bipolar

Dari hasil penelitian komposit pelat bipolar dengan matriks *epoxy* dan penguat grafit sintetis dengan penambahan 10-20 *wt.% carbon black*, perbandingan karakteristik komposit pada setiap pelat dapat dilihat pada Tabel 4.5.

**Tabel 4.5** Perbandingan Sifat Pelat Bipolar

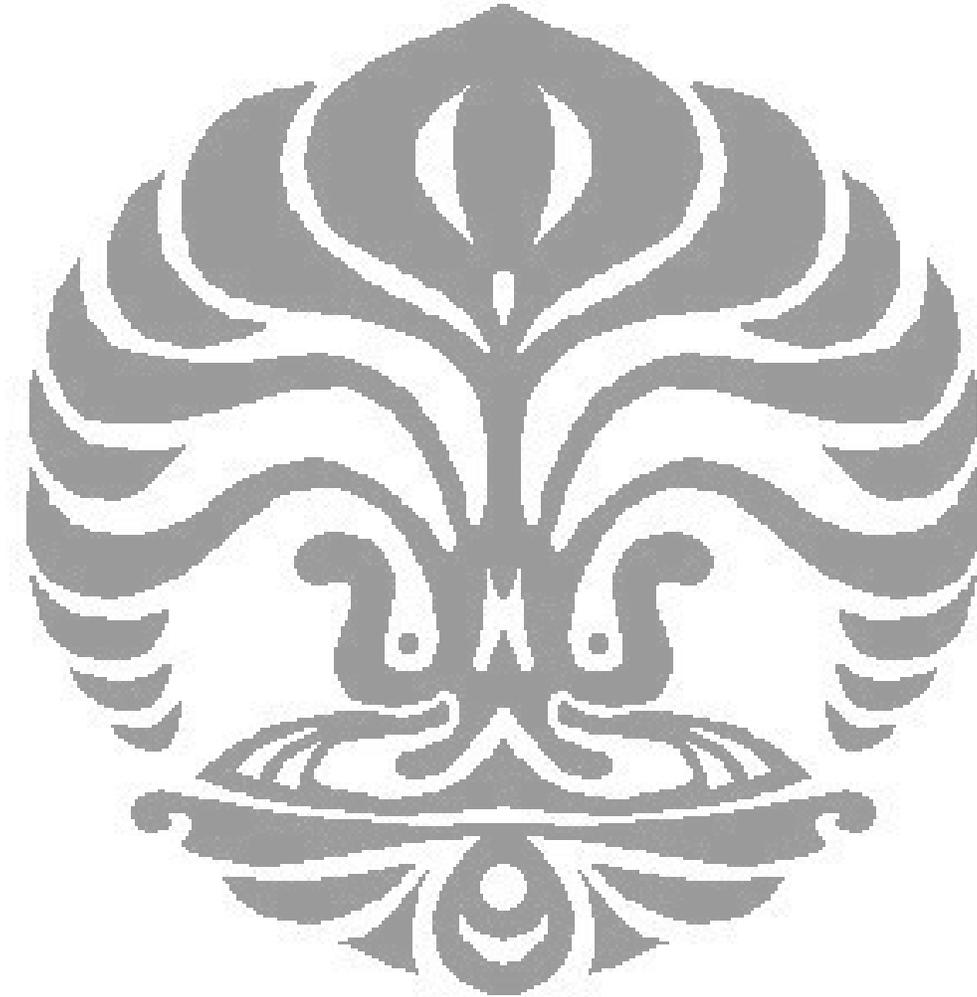
Penambahan CB (wt.%)	Densitas (gr/cm <sup>3</sup> )	Porositas (%)	Fleksural (MPa)	Konduktivitas (S/cm)
10.0	1.80	0.56	19.82	0.31
12.5	1.81	0.70	16.21	0.32
15.0	1.91	0.71	16.46	0.28
17.5	1.87	0.66	16.43	0.19
20.0	1.90	0.67	17.00	0.18

Dari data yang ditunjukkan Tabel 4.5, dapat dilihat bahwa sampel dengan variabel 10 *wt.% CB* yang memiliki nilai kekuatan fleksural yang paling tinggi (19.82 MPa), nilai porositas (0.56%) dan nilai densitas (1.80 gr/ cm<sup>3</sup>) yang paling rendah, serta nilai konduktivitas kedua tertinggi (0.31 S/cm), merupakan pelat bipolar yang mempunyai karakteristik optimum dalam penelitian kali ini.

Pada penelitian sebelumnya, dengan penambahan variabel 0-10 *wt.% carbon black*, karakteristik yang optimum dicapai pada penambahan 5 *wt.% CB*. Pada komposisi tersebut, nilai fleksural yang dicapai telah memenuhi standar yaitu 25.72 MPa dan nilai densitas yang juga memenuhi standar yaitu 1.78gr/ cm<sup>3</sup>. Nilai porositas yang didapat pada komposisi tersebut sebesar 1.64 % serta nilai

konduktivitas sebesar 0.29 S/cm belum dapat mencapai standar pelat bipolar yang diharapkan [44].

Nilai konduktivitas dan fleksural yang didapat pada penelitian ini masih belum mencapai target DOE, sehingga perlu adanya penelitian lebih lanjut agar dihasilkan komposisi dan performa komposit pelat bipolar yang optimal agar dapat diaplikasikan sebagai sumber energi alternatif masa depan.



## BAB V

### KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Penambahan 10-20wt.% *carbon black* pada pelat bipolar menghasilkan penampakan visual yang baik, sehingga penambahan *carbon black* ini tidak berpengaruh terhadap proses pembuatan dan dapat diproduksi secara masal.
2. Komposit pelat bipolar 10 wt.% CB memiliki nilai densitas terbaik yaitu sebesar 1.80 gr/cm<sup>3</sup>. Nilai densitas ini sudah memenuhi standar yaitu kurang dari 5 gr/cm<sup>3</sup>.
3. Komposit pelat bipolar 10 wt.% CB memiliki nilai porositas terbaik yaitu sebesar 0.56%. Nilai ini sudah dapat memenuhi standar yaitu kurang dari 1%.
4. Komposit pelat bipolar 10 wt.% CB memiliki nilai kekuatan fleksural tertinggi yaitu sebesar 19.82 MPa. Nilai ini masih belum berhasil memenuhi standar DOE yaitu di atas 25 MPa.
5. Komposit pelat bipolar 12.5 wt.% CB memiliki nilai konduktivitas listrik tertinggi yaitu sebesar 0.32 S/cm. Nilai ini masih belum memenuhi standar DOE yaitu di atas 100 S/cm.
6. Komposisi pelat bipolar yang paling optimal terjadi pada penambahan 10 wt.% CB karena mempunyai kekuatan fleksural tertinggi (19.82 Mpa), nilai porositas (0.56%) dan densitas (1.80 gr/cm<sup>3</sup>) terendah, serta nilai konduktivitas kedua tertinggi yaitu 0.31 S/cm, jika dibandingkan dengan penambahan *filler* CB 12.5%, 15%, 17.5%, dan 20%.
7. Penambahan *carbon black* di atas 10% tidak menghasilkan pelat bipolar dengan performa yang diharapkan.

## DAFTAR REFERENSI

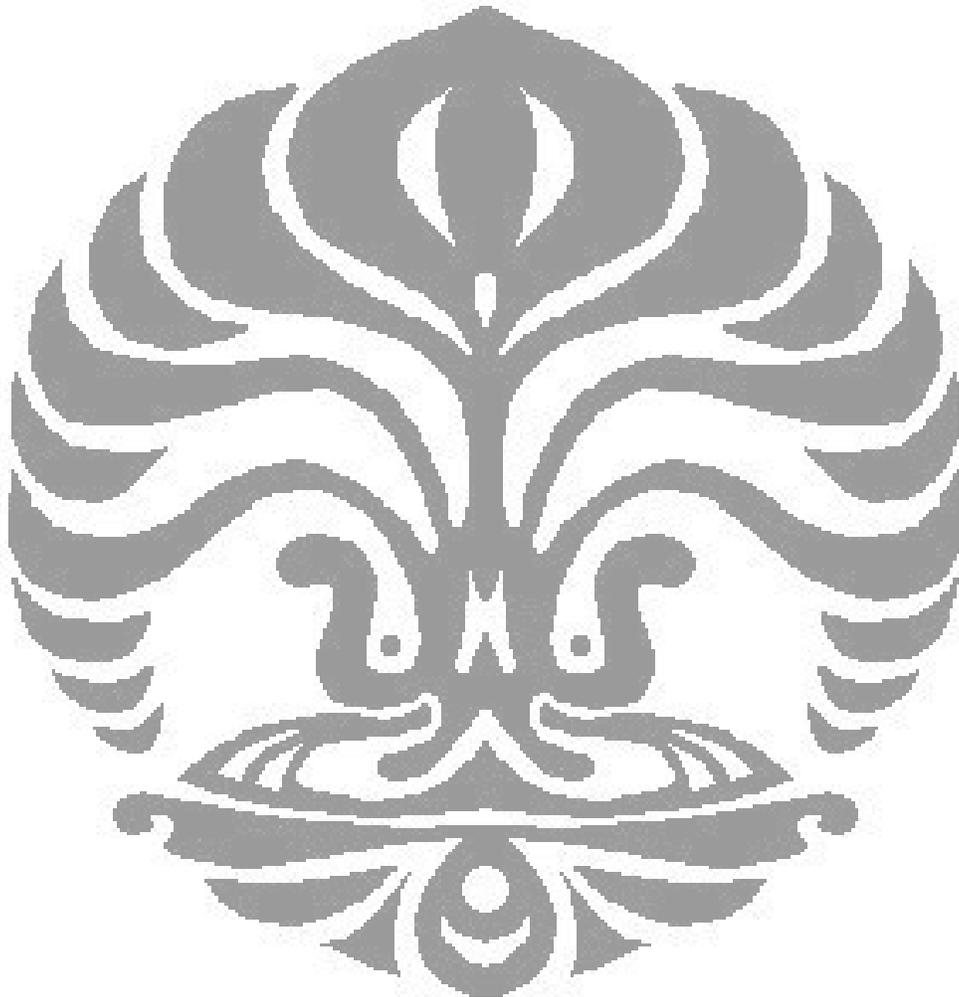
- [1] Departemen ESDM, 2008 ([http://www.menlh.go.id/slhi/slhi2008/7\\_energi.pdf](http://www.menlh.go.id/slhi/slhi2008/7_energi.pdf) diakses pada 8 maret 2010)
- [2] Handbook of Energy & Economic Statistics of Indonesia 2008, Departemen ESDM ([http://www.menlh.go.id/slhi/slhi2008/7\\_energi.pdf](http://www.menlh.go.id/slhi/slhi2008/7_energi.pdf) diakses pada 8 maret 2010)
- [3] Hoogers, Gregor. (2003). *Fuel Cell Technology Handbook*. CRC Press. Washington D.C.
- [4] Rayment, Chris. (2003). *Introduction to Fuel Cell Technology*. Department of Aerospace and Mechanical Engineering. Notre Dame.
- [5] <http://www.fuelcelltoday.com/media/pdf/education-kit/Advantage-Disadvantages.pdf> (diakses pada 12 maret 2010)
- [6] Suhada, Hendrata. (2001). *Fuel Cell Sebagai Penghasil Energi Abad 21*. Dosen Fakultas Teknologi Industri Jurusan Teknik Mesin-Universitas Kristen Petra. <http://puslit2.petra.ac.id/ejournal/index.php/mes/article/viewFile/15946/15938> (diakses pada 12 maret 2010)
- [7] Dewi, Eniya Listiani. (2007). *Mass Transfer Study On Polymer Electrolyte Fuel Cell*. Seminar Nasional Teknologi.
- [8] Y. Wang. (2006). *Conductive Thermoplastic Composite Blends for Flow Field Plates for Use in Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cells (PEMFC)*. Chemical Engineering University of Waterloo, Ontario.
- [9] Husaeni, Ihsan. (2009). *Penambahan Reinforcement MnO<sub>2</sub> pada Pembuatan Carbon Composite Bipolar Plate dengan Bahan Dasar Grafit Electric Arc Furnace*. Departemen Metalurgi dan Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

- [10] US. Department of Energy. (2004, November). *Fuel Cell Handbook 7<sup>th</sup> Edition*, EG & G Technical Services Inc., Morgantown, West Virginia.
- [11] Stambouli, A. Boudghene. (2001, October) *Fuel cells, an alternative to standard sources of energy*. E.Traversa University of Roma ‘Tor Vergata’. Department of Chemical Science and Technology. Roma, Italy.
- [12] [http://www.grc.nasa.gov/WWW/Electrochemistry/images/fuel\\_cell.jpg](http://www.grc.nasa.gov/WWW/Electrochemistry/images/fuel_cell.jpg)  
(diakses pada 27 april 2010, 11:45)
- [13] Mahasiswanegarawan. (2007). *Sel Bahan Bakar (Fuel Cell) Sebuah Energi Alternatif Berkelanjutan dan Ramah Lingkungan*. Wordpress.  
<http://mahasiswanegarawan.wordpress.com/2007/08/18/sel-bahan-bakar-fuel-cell-sebuah-energi-alternatif-berkelanjutan-dan-ramah-lingkungan/> (diakses pada 23 Juni 2010, 18.00)
- [14] EG & G Technical Services Inc. (2000, Octoer). *Fuel Cell Handbook 5<sup>th</sup> Edition*. U.S. Department of Energy Office of Fossil Energy National Energy Technology Laboratory. West Virginia, USA.
- [15] Ling Du. (2008). *Highly Conductive Epoxy/Graphite Polymer Composite Bipolar Plates In Proton Exchange Membrane (Pem) Fuel Cells*.
- [16] Nikhil H. Jalani. (2006). *Development of Nanocomposite Polymer Electrolyte Membranes for Higher Temperature PEM Fuel Cells*. Chemical Engineering, WORCESTER POLYTECHNIC INSTITUTE.
- [17] [http://www.thirdorbitpower.com/PEM\\_mechanism.html](http://www.thirdorbitpower.com/PEM_mechanism.html) (diakses pada 12 Mei 2010)
- [18] [http://www.fuelcells.org.au/Fuel-Cell-Education-NSW-Australia\\_files/image018.jpg](http://www.fuelcells.org.au/Fuel-Cell-Education-NSW-Australia_files/image018.jpg) (diakses pada 30 april 2010, 15.33)
- [19] H. Tawfik, Y. Hung, D. Mahajan. (2006). *Metal bipolar plates for PEM fuel cell—A review*. Journal of Power Sources, 163, 755–767

- [20] V. Mehta dan J. S. Cooper. (2003). *Review and analysis of PEM fuel cell design and manufacturing*. Journal of Power Sources 114, 32-53
- [21] [http://www.sentrapolimer.com/index.php?option=com\\_content&task=view&id=34&Itemid=1](http://www.sentrapolimer.com/index.php?option=com_content&task=view&id=34&Itemid=1) (diakses pada 12 Mei 2010)
- [22] Orest L. Adrianowycz et al., *Presentation: Flexible Graphite Resin Composite Bipolar Plates for High Temperature High Energy Density PEM Fuel Cells*. GrafTech International
- [23] Hsu-Chiang Kuan, Chen-Chi M. Ma, Ke Hong Chen, Shih-Ming Chen. (2004). *Preparation, Electrical, Mechanical, and Thermal Properties of Composite Bipolar Plate for a Fuel Cell*. Journal of Power Sources 134, 7-17
- [24] Allen Hermann, Tapas Chaudhuri, Priscila Spagnol. (2005). *Bipolar plates for PEM fuel cells : A review*. International Journal of Hydrogen Energy 30, 1297 – 1302
- [25] Besmann, Ted, James Klett, John Henry, Jr., and Edgar Lara-curzio. (2000). *Carbon Composite Bipolar plate for PEM Fuel Cells*. Metals and Ceramics Division Oak Ridge National Laboratory.
- [26] [http://www.bombayharbor.com/productImage/0650820001242577502/Graphite\\_Bipolar\\_Plate.jpg](http://www.bombayharbor.com/productImage/0650820001242577502/Graphite_Bipolar_Plate.jpg) (diakses pada 30 april 2010)
- [27] *Polymers: Characteristics and Compatibility for Ultrasonic Assembly* <http://www.branson-plasticsjoin.com/pdf/PW-01CharComp.pdf> (diakses pada 23 Juni 2010)
- [28] <http://www.efunda.com/> (diakses pada 12 Mei 2010)
- [29] [http://www.huntsman.com/advanced\\_materials/index.cfm?PageID=5865](http://www.huntsman.com/advanced_materials/index.cfm?PageID=5865) (diakses pada 12 Mei 2010)
- [30] <http://www.galleries.com/minerals/elements/graphite/graphite.htm> (diakses 12 Mei 2010)

- [31] <http://www.alpensteel.com/article/65-109-energi-fuel-cell-sel-bahan-bakar/1742--penerapan-teknologi-fuel-cell.html> (diakses pada 12 Mei 2010)
- [32] <http://www.physics.berkeley.edu/research/lanzara/research/images/Graphite%20Structure.png> (diakses pada 23 Juni 2010, 19.45)
- [33] [www.graphite.de/pdf/infoblatt-brennstoff-engl.pdf](http://www.graphite.de/pdf/infoblatt-brennstoff-engl.pdf) (diakses pada 12 Mei 2010)
- [34] [www.graftech.com/getdoc/46c98ecfcc4b4345aefd8c913367d29/gti\\_download.aspx](http://www.graftech.com/getdoc/46c98ecfcc4b4345aefd8c913367d29/gti_download.aspx) (diakses pada 5 september 2009)
- [35] [http://en.wikipedia.org/wiki/Carbon\\_black](http://en.wikipedia.org/wiki/Carbon_black) (diakses pada 12 Mei 2010)
- [36] *The Fundamentals of Carbon Black*. Cabot Corporation Billerica, Massachusetts USA.
- [37] <http://ramatawa.wordpress.com/2008/11/23/komposit-part-definisiklasifikasiaplikasi/> (diakses pada 12 Mei 2010)
- [38] W. D. Callister. (2006). *Materials Science and Engineering - An Introduction 7/e*. John Willey and Sons, New York.
- [39] Anatole A. Klyosov. (2007). *Wood Plastic Composites*. New York: John Willey & Sons, 161 – 173.
- [40] A. Heinzl, *et al.*, *Injection molded low cost bipolar plates for PEM fuel cells*. <http://www.zbt-duisburg.de/downloads/Grove2003-ZBT-Bipolar.pdf> (diakses pada 10 Desember 2009)
- [41] *ASM Handbook Volume 21 Composite*. (2001). ASM Internasional.
- [42] Akovali, Güneri. (2001, Juni). *Handbook of Composite Fabrication*. RAPRA Technology Ltd.
- [43] Blunk, Richard, et al. (2005). *Polymeric Composite Bipolar Plates for Vehicle Application*. General Motor Global R&D Center, Fuel Cell Activities, 30500 Mound road. USA.

- [44] Sembiring, Gabriel. (2009). *Pengaruh Penambahan 10-20 wt.% Carbon Black Terhadap Karakterisasi Epoxy/Grafit Sintetis Sebagai Material Pelat Bipolar Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell*. Departemen Metalurgi dan Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia.



## Lampiran 1. Hasil Pengujian Konduktivitas

Contoh Perhitungan:

$$R = 3.64 \Omega.cm$$

$$\rho = \frac{1}{R} = \frac{1}{3.64} = 0.27 \text{ S.cm}^{-1}$$

	Resistivitas ( $\Omega.cm$ )	Konduktivitas ( $S.cm^{-1}$ )	Konduktivitas rata-rata ( $S.cm^{-1}$ )
10.0% CB	3.64	0.27	0.31
	4.64	0.22	
	2.32	0.43	
12.5% CB	4.52	0.22	0.32
	1.74	0.58	
	6.03	0.17	
15.0% CB	3.21	0.31	0.28
	4.70	0.21	
	3.09	0.32	
17.5% CB	7.07	0.14	0.19
	4.45	0.22	
	4.80	0.21	
20.0% CB	5.26	0.19	0.18
	5.21	0.19	
	6.59	0.15	

## Lampiran 2. Hasil Pengujian Fleksural

Contoh Perhitungan:

b = 16.90 mm

d = 4.60 mm

L = 64.00 mm

P = 64.00 N

$$\sigma_f = \frac{3 PL}{2bd^2} = \frac{3(64.00 \times 64.00)}{2(16.90 \times 4.60^2)} = 17.18 \text{ MPa}$$

	b (mm)	d (mm)	L (mm)	P (N)	$\sigma_f$ (MPa)	$\sigma_f$ rata-rata (MPa)
10.0% CB	16.90	4.60	64.00	64.00	17.18	19.82
	16.25	4.40	64.00	72.00	21.97	
	17.15	4.60	64.00	76.80	20.32	
12.5% CB	16.95	4.65	64.00	60.80	15.93	16.21
	18.00	4.75	64.00	73.60	17.40	
	16.55	4.80	64.00	60.80	15.31	
15.0% CB	16.55	4.00	64.00	51.20	18.56	16.46
	17.45	4.30	64.00	60.80	18.09	
	18.25	4.60	64.00	51.20	12.73	
17.5% CB	17.90	4.00	64.00	51.20	17.16	16.43
	18.10	4.20	64.00	51.20	15.39	
	17.50	3.90	64.00	46.40	16.73	
20.0% CB	20.10	4.20	64.00	67.20	18.19	17.00
	20.10	4.50	64.00	67.20	15.85	
	16.75	4.35	64.00	56.00	16.96	

**Lampiran 3. Hasil Pengujian Densitas**

Contoh Perhitungan:

$$A = 3.08 \text{ gr}$$

$$B = 1.37 \text{ gr}$$

$$\rho \text{ air (28.0}^\circ\text{C)} = 0.996232 \text{ gr.cm}^{-3}$$

$$\rho \text{ sampel} = \frac{A}{(A - B)} \times \rho \text{ air} = \frac{3.08}{3.08 - 1.37} \times 0.996232 = 1.79 \text{ gr.cm}^{-3}$$

	A(udara) (gr)	B(Air) (gr)	A-B (gr)	$\rho$ air (gr.cm <sup>-3</sup> )	Densitas (gr.cm <sup>-3</sup> )	Densitas rata-rata (gr.cm <sup>-3</sup> )
10% CB	3.08	1.37	1.71	0.996232	T = 28.0°C	1.79
	3.95	1.76	2.19			1.80
	3.57	1.59	1.98			1.80
12.5% CB	2.96	1.33	1.63	0.996373	T = 27.5°C	1.81
	3.18	1.42	1.76			1.80
	2.61	1.17	1.44			1.81
15% CB	3.46	1.41	2.05	0.996373	T = 27.5°C	1.68
	3.43	1.80	1.63			2.10
	3.20	1.57	1.63			1.95
17.5% CB	3.67	1.72	1.95	0.996373	T = 27.5°C	1.87
	3.86	1.80	2.06			1.87
	4.19	1.96	2.23			1.87
20% CB	3.31	1.57	1.59	0.996373	T = 27.5°C	1.90
	3.01	1.43	1.58			1.89
	3.19	1.52	1.67			1.90

#### Lampiran 4. Hasil Pengujian Porositas

Contoh Perhitungan:

D = 3.19 gr

S = 1.40 gr

W = 3.20 gr

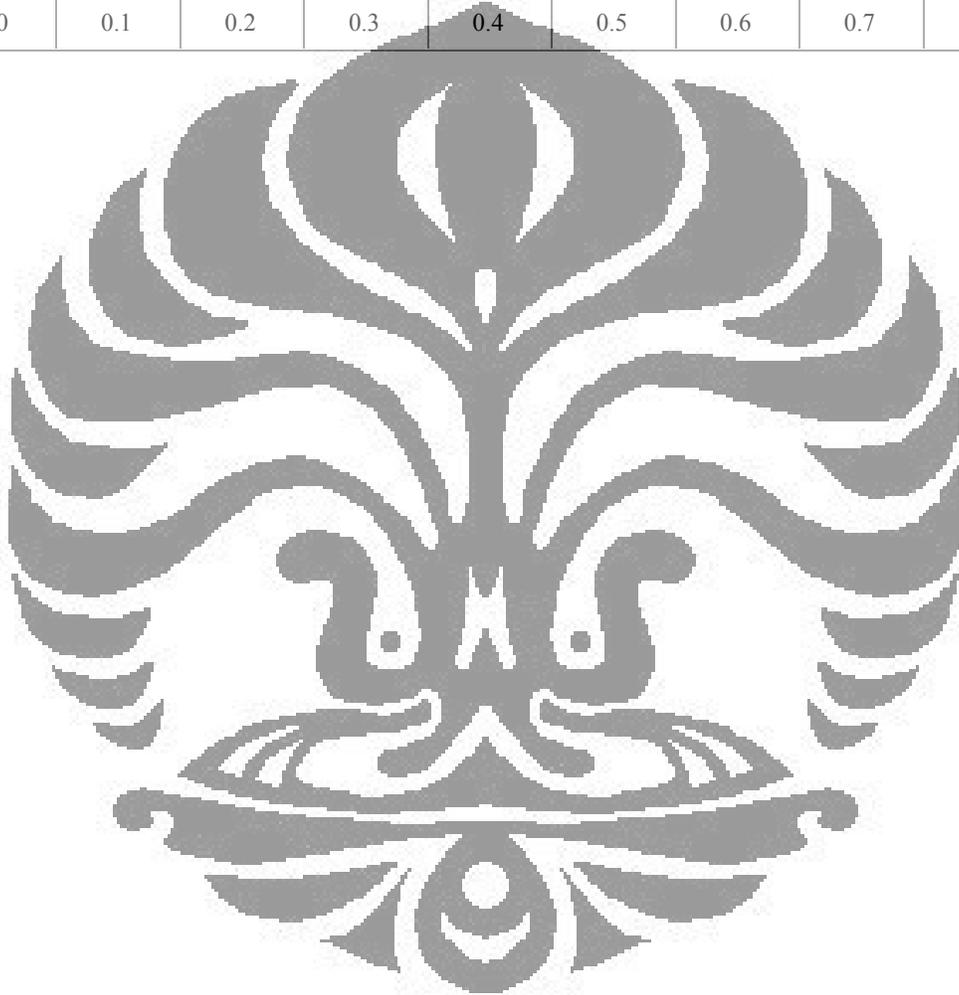
$$\text{Porositas (\%)} = \frac{W - D}{D - S} \times 100\% = \frac{3.20 - 3.19}{3.19 - 1.40} \times 100\% = 0.56\%$$

	D (gr)	S (gr)	W (gr)	W-D (gr)	D-S (gr)	Porositas (%)	Porositas rata-rata (%)
10% CB	3.19	1.40	3.20	0.01	1.79	0.56	0.56
	3.36	1.48	3.37	0.01	1.88	0.53	
	3.03	1.32	3.04	0.01	1.71	0.58	
12.5% CB	3.44	1.66	3.45	0.01	1.78	0.62	0.70
	3.41	1.53	3.42	0.01	1.88	0.75	
	2.94	1.33	2.95	0.01	1.61	0.73	
15% CB	3.38	1.64	3.39	0.01	1.74	0.73	0.71
	3.88	2.10	3.89	0.01	1.78	0.63	
	4.00	2.42	4.02	0.02	1.58	0.75	
17.5% CB	3.13	1.48	3.14	0.01	1.65	0.72	0.66
	3.66	1.72	3.67	0.01	1.94	0.63	
	3.84	1.80	3.86	0.02	2.04	0.63	
20% CB	2.92	1.49	2.93	0.01	1.43	0.68	0.67
	3.00	1.54	3.01	0.01	1.46	0.66	
	2.63	1.35	2.64	0.01	1.28	0.68	

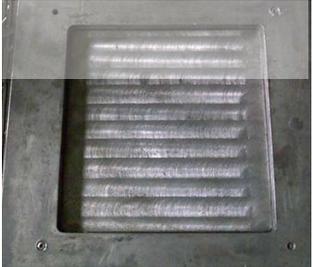
Lampiran 5. Tabel Densitas Air

	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0	0.999841	0.999847	0.999854	0.999860	0.999866	0.999872	0.999878	0.999884	0.999889	0.999895
1	0.999900	0.999905	0.999909	0.999914	0.999918	0.999923	0.999927	0.999930	0.999934	0.999938
2	0.999941	0.999944	0.999947	0.999950	0.999953	0.999955	0.999958	0.999960	0.999962	0.999964
3	0.999965	0.999967	0.999968	0.999969	0.999970	0.999971	0.999972	0.999972	0.999973	0.999973
4	0.999973	0.999973	0.999973	0.999972	0.999972	0.999972	0.999970	0.999969	0.999968	0.999966
5	0.999965	0.999963	0.999961	0.999959	0.999957	0.999955	0.999952	0.999950	0.999947	0.999944
6	0.999941	0.999938	0.999935	0.999931	0.999927	0.999924	0.999920	0.999916	0.999911	0.999907
7	0.999902	0.999898	0.999893	0.999888	0.999883	0.999877	0.999872	0.999866	0.999861	0.999855
8	0.999849	0.999843	0.999837	0.999830	0.999824	0.999817	0.999810	0.999803	0.999796	0.999789
9	0.999781	0.999774	0.999766	0.999758	0.999751	0.999742	0.999734	0.999726	0.999717	0.999709
10	0.999700	0.999691	0.999682	0.999673	0.999664	0.999654	0.999645	0.999635	0.999625	0.999615
11	0.999605	0.999595	0.999585	0.999574	0.999564	0.999553	0.999542	0.999531	0.999520	0.999509
12	0.999498	0.999486	0.999475	0.999463	0.999451	0.999439	0.999427	0.999415	0.999402	0.999390
13	0.999377	0.999364	0.999352	0.999339	0.999326	0.999312	0.999299	0.999285	0.999272	0.999258
14	0.999244	0.999230	0.999216	0.999202	0.999188	0.999173	0.999159	0.999144	0.999129	0.999114
15	0.999099	0.999084	0.999069	0.999054	0.999038	0.999023	0.999007	0.998991	0.998975	0.998959
16	0.998943	0.998926	0.998910	0.998893	0.998877	0.998860	0.998843	0.998826	0.998809	0.998792
17	0.998774	0.998757	0.998739	0.998722	0.998704	0.998686	0.998668	0.998650	0.998632	0.998613
18	0.998595	0.998576	0.998558	0.998539	0.998520	0.998501	0.998482	0.998463	0.998444	0.998424
19	0.998405	0.998385	0.998365	0.998345	0.998325	0.998305	0.998285	0.998265	0.998244	0.998224
20	0.998203	0.998183	0.998162	0.998141	0.998120	0.998099	0.998078	0.998056	0.998035	0.998013
21	0.997992	0.997970	0.997948	0.997926	0.997904	0.997882	0.997860	0.997837	0.997815	0.997792
22	0.997770	0.997747	0.997724	0.997701	0.997678	0.997655	0.997632	0.997608	0.997585	0.997561
23	0.997538	0.997514	0.997490	0.997466	0.997442	0.997418	0.997394	0.997369	0.997345	0.997320
24	0.997296	0.997271	0.997246	0.997221	0.997196	0.997171	0.997146	0.997120	0.997095	0.997069

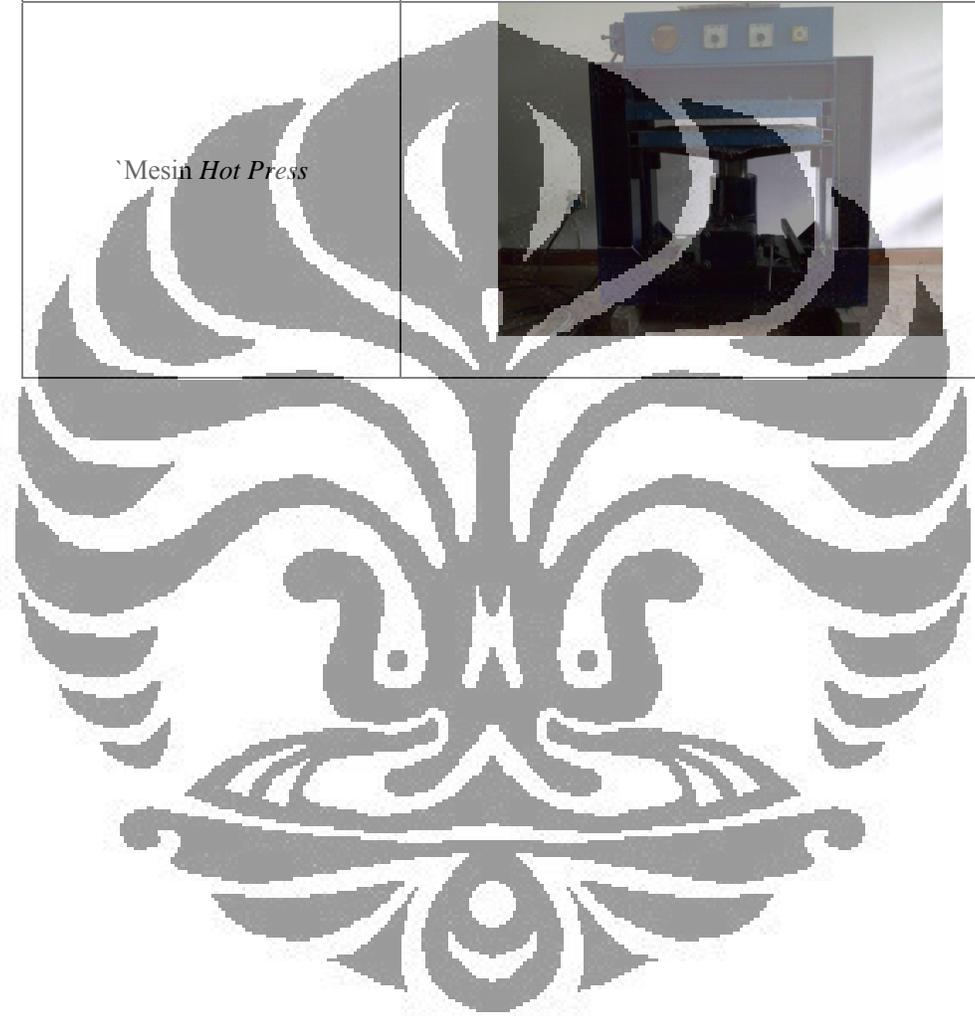
25	0.997044	0.997018	0.996992	0.996967	0.996941	0.996914	0.996888	0.996862	0.996836	0.996809
26	0.996783	0.996756	0.996729	0.996703	0.996676	0.996649	0.996621	0.996594	0.996567	0.996540
27	0.996512	0.996485	0.996457	0.996429	0.996401	0.996373	0.996345	0.996317	0.996289	0.996261
28	0.996232	0.996204	0.996175	0.996147	0.996118	0.996089	0.996060	0.996031	0.996002	0.995973
29	0.995944	0.995914	0.995885	0.995855	0.995826	0.995796	0.995766	0.995736	0.995706	0.995676
30	0.995646	0.995616	0.995586	0.995555	0.995525	0.995494	0.995464	0.995433	0.995402	0.995371
	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9



Lampiran 6. Peralatan Preparasi Sampel

Nama Alat	Foto Alat
Timbangan Digital	
<i>Hot Plate Magnetic Stirring</i>	
Cetakan <i>Stainless Steel</i>	

<p><i>Mixer</i></p>	
<p><i>Mesin Hot Press</i></p>	



**Lampiran 7. Peralatan Pengujian Karakterisasi**

<b>Nama Alat</b>	<b>Foto Alat</b>
<i>Conductivity Four Point Probe Test Machine</i>	
<i>Universal Testing Machine</i>	
<i>Oven</i>	



Technical Information

EP

## Bakelite® EPR 174

Unmodified, liquid standard epoxy resin based on Bisphenol-A

### Characteristics

Properties	Unit	Value
Viscosity at 25 °C	mPa.s	12000 ± 2000
Epoxy equivalent	g/equiv.	189 ± 5
Hydrolyzable chlorine content	%	< 0.05
Colour according to the Gardner scale		< 1

### Curing agent

According to the purpose of application, all usual cold, warm and hot curing agents.

### Applications

As standard resin suitable for moulding, adhesive and lamination sectors, and for low solvent free paints and coating masses.

### Shelf Life

In sealed containers at room temperature at least a one year. Bakelite 0164/LV can be crystallize under certain circumstances after longer storage. The crystallization can be removed by heating to 60-70 °C and stirring.

### Precautions

When handling Bakelite epoxy resins and Bakelite hardeners, will you please observe the APME documentation "epoxy resins and curing agents".

P.T. JUSTUS TIMIARAYA  
JAKARTA

TECHNICAL DATA SHEET

**EPOXY HARDENER V-140**

Epoxy Hardener V-140 is a reactive polyamide resin based on dimerized fatty acid and polyamines and designed for use with solid or liquid epoxy resin. Epoxy Hardener V-140 offers ambient cure, excellent adhesion and resistance properties which may be used in high solid coating, adhesive, sealant, primer, and enamel paint formulations, putties and small casting.

**SPECIFICATION :**

Appearance	: Brown clear liquid
Colour (gardner)	: <10
Viscosity (poise/25°C)	: 100-200
Amine Value (mg KOH/g)	: 335-550

**TYPICAL PROPERTIES :**

Theoretical Amino Hydrogen Equi.Wt.	: 105
Solid %	: 100
Mix ratio with 190 EEW Epoxy Liquid	: 55 (phr)

**TYPICAL PROPERTIES IN A CURED COATING :**

Tack Free Time, hours	: 5
Pot Life, minutes	: 120
Geltime, minutes	: 108
Through Cure Time, hours	: 23

**TYPICAL CURED RESIN PROPERTIES :**

Hardness (shore D)	: 84
Tensile Strength (kgf/cm <sup>2</sup> )	: 410
Flexural Strength (kgf/cm <sup>2</sup> )	: 310
Compressive Strength (kgf/cm <sup>2</sup> )	: 740
Shear Adhesive Strength (kgf/cm <sup>2</sup> )	: 160

**CHEMICAL RESISTANCE PROPERTIES :**

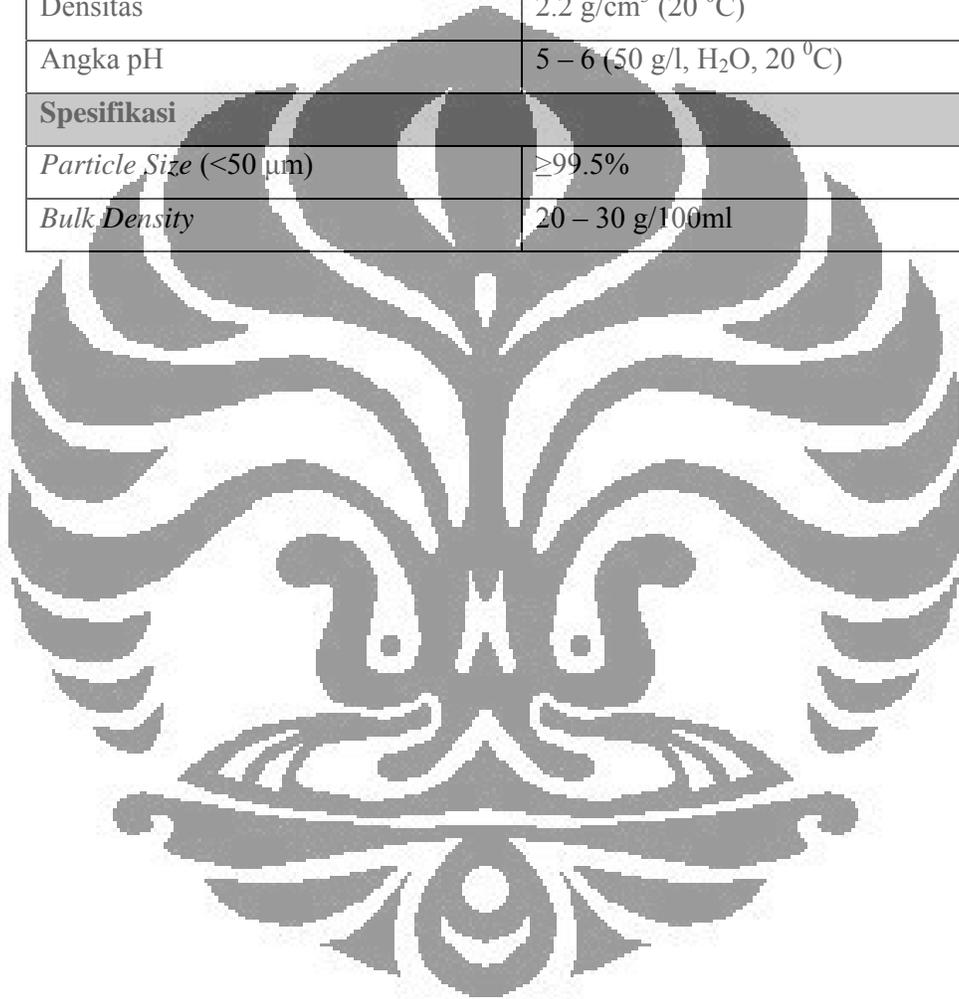
(weight change after 10 days immersion, %)

Water destilated	: 0.4
10% Hydrochloric Acid	: 1.0
10% Sodium Hydroxide	: 0.5
5% Sodium Chloride	: 0.5
10% Sulfuric Acid	: 1.3
Methyl Ethyl Kefone	: 35
Xylene	: 0.6
Mineral Spirits	: 0.1

*P. Jusuf Kimataya*  
LABORATORIA

**Lampiran 10. Spesifikasi Grafit Sintetis MERCK**

<b>GRAPHITE (C) – 104206</b>	
Massa molar	12.01 g/mol
<b>Data Kimia dan Fisika</b>	
Kelarutan dalam air	(20 °C) tidak dapat larut
Densitas	2.2 g/cm <sup>3</sup> (20 °C)
Angka pH	5 – 6 (50 g/l, H <sub>2</sub> O, 20 °C)
<b>Spesifikasi</b>	
<i>Particle Size</i> (<50 μm)	≥99.5%
<i>Bulk Density</i>	20 – 30 g/100ml



**Lampiran 11. Spesifikasi Metanol MERCK**

Sifat	Nilai
Formulasi kimia	CH <sub>3</sub> OH
Massa molar (g/mol)	32.04
Densitas (g/cm <sup>3</sup> ) (20 °C)	0.792
Titik leleh (°C)	-98
Titik didih (°C) (1013 hPa)	64.5
Kelarutan dalam air (°C)	20

