



UNIVERSITAS INDONESIA

**EVALUASI PELAT BIPOLAR GRAFIT KOMPOSIT BERBASIS
LIMBAH EAF (*ELECTRIC ARC FURNACE*) PADA POLIMER
ELEKTROLIT MEMBRAN FUEL CELL (PEMFC)**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

MUHAMMAD ZAKI AZIZI

040504049X

FAKULTAS TEKNIK

DEPARTEMEN METALURGI DAN MATERIAL

DEPOK

JUNI 2009



UNIVERSITAS INDONESIA

**EVALUASI PELAT BIPOLAR GRAFIT KOMPOSIT BERBASIS
LIMBAH EAF (*ELECTRIC ARC FURNACE*) PADA POLIMER
ELEKTROLIT MEMBRAN FUEL CELL (PEMFC)**

SKRIPSI

MUHAMMAD ZAKI AZIZI

040504049X

FAKULTAS TEKNIK

DEPARTEMEN METALURGI DAN MATERIAL

DEPOK

JUNI 2009

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Muhammad Zaki Azizi

NPM : 040504049X

Tanda Tangan :

Tanggal : 26 Juni 2009

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Muhammad Zaki Azizi
NPM : 040504049X
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Judul Skripsi : Evaluasi Pelat Bipolar Grafit Komposit berbasis limbah EAF (*Electric Arc Furnace*) Pada Polimer Elektrolit Membran *Fuel Cell* (PEMFC)

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing 1 : Ir. Yunita Sadeli MSc. ()
Pembimbing 2 : Dr. Ir. Bambang Prihandoko MT. ()
Penguji 1 : Prof. Dr. Ir. Anne Zulfia, M. Phil.Eng. ()
Penguji 2 : Dr.Ir.Akhmad Herman Yuwono, M. Phil Eng ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 26 Juni 2009

KATA PENGANTAR

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

1. Ir. Yunita Sadeli M.Sc selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
2. Dr. Ir. Bambang Prihandoko MT , Andi Suhandi S.Si, Tomi Harianto S.Si di Pusat Penelitian Fisika LIPI Serpong yang telah banyak membantu dalam memberikan dukungan dana dan dalam usaha memperoleh data;
3. Orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan doa, material dan moral;
4. Ihsan Husaeni dan Renanto Prahastio Pratama selaku rekan kerja dalam penyusunan skripsi ini;serta
5. Seluruh pihak yang telah membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini.

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

Depok, 26 Juni 2009

Penulis

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

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

Nama : Muhammad Zaki Azizi

NPM : 040504049X

Departemen : Metalurgi dan Material

Fakultas : Teknik

Jenis karya : Skripsi

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

Evaluasi Pelat Bipolar Grafit Komposit berbasis limbah EAF (*Electric Arc Furnace*) Pada Polimer Elektrolit Membran Fuel Cell (PEMFC)

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 26 Juni 2009

Yang menyatakan

(Muhammad Zaki Azizi)

ABSTRAK

Nama : Muhammad Zaki Azizi
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Judul :

Evaluasi Pelat Bipolar Grafit Komposit berbasis limbah EAF (*Electric Arc Furnace*) Polimer Elektrolit Membran *Fuel Cell* (PEMFC)

Pelat bipolar merupakan komponen penting pada pemanfaatan sistem *fuel cell*. Penelitian-penelitian yang ada sebelumnya berusaha untuk menghasilkan pelat bipolar yang ringan dan biaya produksi yang sangat murah. Pada penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan dan mengembangkan pelat bipolar dari proses *hot press molding* pada suhu 70° C dengan waktu 3 jam, ukuran cetakan panjang 15 cm, lebar 10 cm, dan tebal 4 mm. Pelat bipolar grafit komposit menggunakan karbon pengisi yang berbeda yaitu grafit sintetik pabrikan, grafit elektroda tungku busur listrik (*EAF*), karbon hitam dan menggunakan epoxy thermoset polimer sebagai *binder*, dan methanol. Komposisi dari masing-masing pelat bipolar terletak pada variasi grafit elektroda tungku busur listrik (*EAF*) pada rentang 0-20 % volume. Semua bahan dicampur dan dicetak menjadi sampel untuk pengujian sehingga menghasilkan karakterisasi masing-masing. Dari pengujian karakterisasi dihasilkan pelat bipolar yang memiliki rapat massa 1,902 gr/cm³, konduktivitas listrik 3,79 S/cm, porositas memiliki nilai terkecil yaitu 4,2 % pada komposisi 20 % grafit *EAF*, kekuatan tekuk sebesar 22,28 MPa. Hasil tersebut masih bisa ditingkatkan pada nilai konduktivitas pada pelat bipolar ini sehingga diharapkan mampu digunakan sebagai pelat bipolar pada sistem *fuel cell*.

Kata kunci:

Pelat bipolar, PEM *fuel cell*, epoxy resin, grafit *EAF*, grafit komposit, porositas, konduktivitas listrik, sifat mekanik.

ABSTRACT

Name : Muhammad Zaki Azizi
Study Program : Metallurgy and Materials Engineering
Tittle :

Evaluation of Graphite Composite Bipolar Plate from Electric Arc Furnace waste for Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell (PEMFC)

Bipolar plate is an important key component of fuel cell system application. In the present investigation effort was made to develop bipolar plate which has light weight and effective cost. The objective of this research is to investigate and develop bipolar plate by hot press molding process at temperature 70°C as long as 3 hours with size 15 cm in length, 10 cm width, and 4 mm in thick. The composites were prepared by mixing different carbon filler such as graphite synthetic, graphite from waste of electrode EAF, carbon black, epoxy resin as a binder and methanol. The differential between each bipolar plate were based on ratio 0-20 % graphite waste of electrode electric arc furnace volume fraction. All material was mixing, mold, and become sample that will be measured by properties test each other. Bipolar plate has on density 1,902 gr/cm³, conductivity 3,79 S/cm, flexural stress 22,28 MPa as optimum results. Result of porosity 4,2% as optimum result from ratio 20% graphite EAF. The result of conductivity can be increase so material was good candidate to be use bipolar plate on fuel cell system.

Keywords:

Bipolar plate, PEM Fuel Cell, epoxy resin, graphite EAF, graphite composite, porosity, electrical conductivity, and mechanical properties.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
DAFTAR SINGKATAN	xv
DAFTAR SIMBOL	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	3
1.3 Batasan masalah	3
1.4 Sistematika Penulisan	4
BAB II LANDASAN TEORI	5
2.1 Pengertian Limbah	5
2.2 Teknologi <i>Fuel Cell</i>	6
2.2.1. Struktur PEM <i>Fuel Cell</i>	9
2.3 Pelat Bipolar dan Sifat Materialnya	11
2.3.1 Grafit Sintetis	13
2.3.2 <i>Carbon Black</i>	14
2.3.3 Grafit Sisa Elektroda Busur Listrik	15

2.3.4 Epoxy Resin	17
2.4.5 Methanol	29
2.4 Komposit	19
2.4.1. Faktor-faktor yang mempengaruhi sifat-sifat komposit	19
2.4.1.1. Komposisi	19
2.4.1.2. Sifat konduktivitas listrik	20
2.4.1.3. Daya pembasahan	20
2.4.1.4. Antarmuka dan antarfasa	22
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	24
3.1 Diagram Alir Penelitian	24
3.2 Komposisi Bahan	26
3.3 Peralatan dan Bahan.	27
3.3.1. Peralatan	27
3.3.2. Bahan-bahan (spesifikasinya)	30
3.3.2.1. Epoxy resin	30
3.3.2.2. Epoxy hardener	30
3.3.2.3. Methanol	31
3.3.2.4. Grafit Limbah EAF	32
3.3.2.5. Grafit Sintetis Konduktif	32
3.3.2.6. <i>Carbon Black</i>	32
3.4 Prosedur Penelitian	33
3.4.1 Preparasi dan Fabrikasi Sampel	33
3.4.1.1. <i>Crushing</i> dan <i>Milling</i> Grafit EAF	33
3.4.1.2. Penimbangan	33
3.4.1.3. <i>Mixing</i> (Pencampuran)	34
3.4.1.4. Pencetakan (<i>Hot Press Molding</i>)	34
3.4.1.5. Pembuatan Spesimen Uji	34
3.4.2 Pengujian Karakterisasi Material	34
3.4.2.1. Pengukuran Rapat Massa (Densitas)	34

3.4.2.2. Pengukuran Porositas	35
3.4.2.3. Pengujian Tekuk (<i>Flexural</i>)	36
3.4.2.4. Pengujian Konduktivitas Listrik	36
3.4.2.5. Pengamatan <i>Scanning Electron Microscopy</i>	37
3.4.2.6. Difraksi Sinar X (XRD)	38
3.4.2.7. EDX	38
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	40
4.1 Preparasi Sampel	40
4.1.1. Karakterisasi Grafit EAF	40
4.1.1.1. Hasil SEM	40
4.1.1.2. Hasil Uji EDX	41
4.1.1.3. Hasil Uji XRD	42
4.1.2 Mixing	43
4.1.3 Pencetakan (Hot Press)	43
4.1.4 Pembuatan Spesimen Uji	44
4.2 Pengujian Karakterisasi	45
4.2.1 Pengamatan dengan <i>Scanning Electron Microscope</i>	45
4.2.2 <i>Energy Dispersive X-Ray Analysis</i>	47
4.2.3 Pengukuran Rapat Massa (Densitas)	48
4.2.4 Pengukuran Porositas	49
4.2.5 Pengujian Tekuk (<i>Flexural</i>)	51
4.2.6 Pengujian Konduktivitas Listrik	52
BAB V KESIMPULAN	54
Kesimpulan	54
DAFTAR REFERENSI	55
LAMPIRAN	58

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Diagram perbandingan biaya pembuatan dan berat sistem <i>fuel cell</i>	2
Gambar 2.1. Skema PEM <i>fuel cell</i>	8
Gambar 2.2. Struktur rangkaian PEM <i>fuel cell</i>	9
Gambar 2.3. Struktur kristal grafit	14
Gambar 2.4. Pembuatan elektroda grafit Electric arc Furnace	
Gambar 2.5. Struktur ikatan resin epoxy dengan hardenernya	17
Gambar 2.6. Struktur senyawa Methanol	
Gambar 2.7. kesetimbangan tiga tegangan permukaan kondisi wetting tetes cairan pada permukaan padat	20
Gambar 2.8. Daya pembasahan berdasar sudut kontak	20
Gambar 2.9. Skema bentuk ikatan antarmuka: (a) gaya ikatan elektrostatik ion, (b) gaya ikatan interdifusi, (c) gaya ikatan secara kimia, (d) gaya ikatan secara mekanik.....	22
Gambar 3.1. Diagram alir preparasi dan fabrikasi sampel	23
Gambar 3.2. Diagram alir pengujian karakterisasi sampel	24
Gambar 3.3. Skema Uji <i>flexural</i>	33
Gambar 3.4. Skema Uji Konduktivitas	34
Gambar 3.5. Pola Difraksi Sinar-X	38
Gambar 4.1 (a) Hasil SEM grafit EAF $P=2000X$ (b) Gambar referensi hasil SEM partikel grafit	40
Gambar 4.2 Hasil Uji EDX grafit EAF beserta komposisi	41
Gambar 4.3. Hasil Uji XRD grafit limbah <i>electric arc furnace</i>	42
Gambar 4.4. Hasil Uji XRD grafit pada literatur	42
Gambar 4.5. Hasil <i>mixing</i>	43
Gambar 4.6. Hasil pencetakan	44
Gambar 4.7. Spesimen Uji	44
Gambar 4.8. Hasil SEM perbesaran 2000X	45
Gambar 4.9. Hasil SEM perbesaran 2000X 20% wt EAF	46

Gambar 4.10. Hasil uji EDX	47
Gambar 4.11. Hasil uji densitas	48
Gambar 4.12. Hasil uji porositas	50
Gambar 4.13. Hasil uji <i>flexural</i>	51
Gambar 4.14. Hasil uji konduktivitas	53

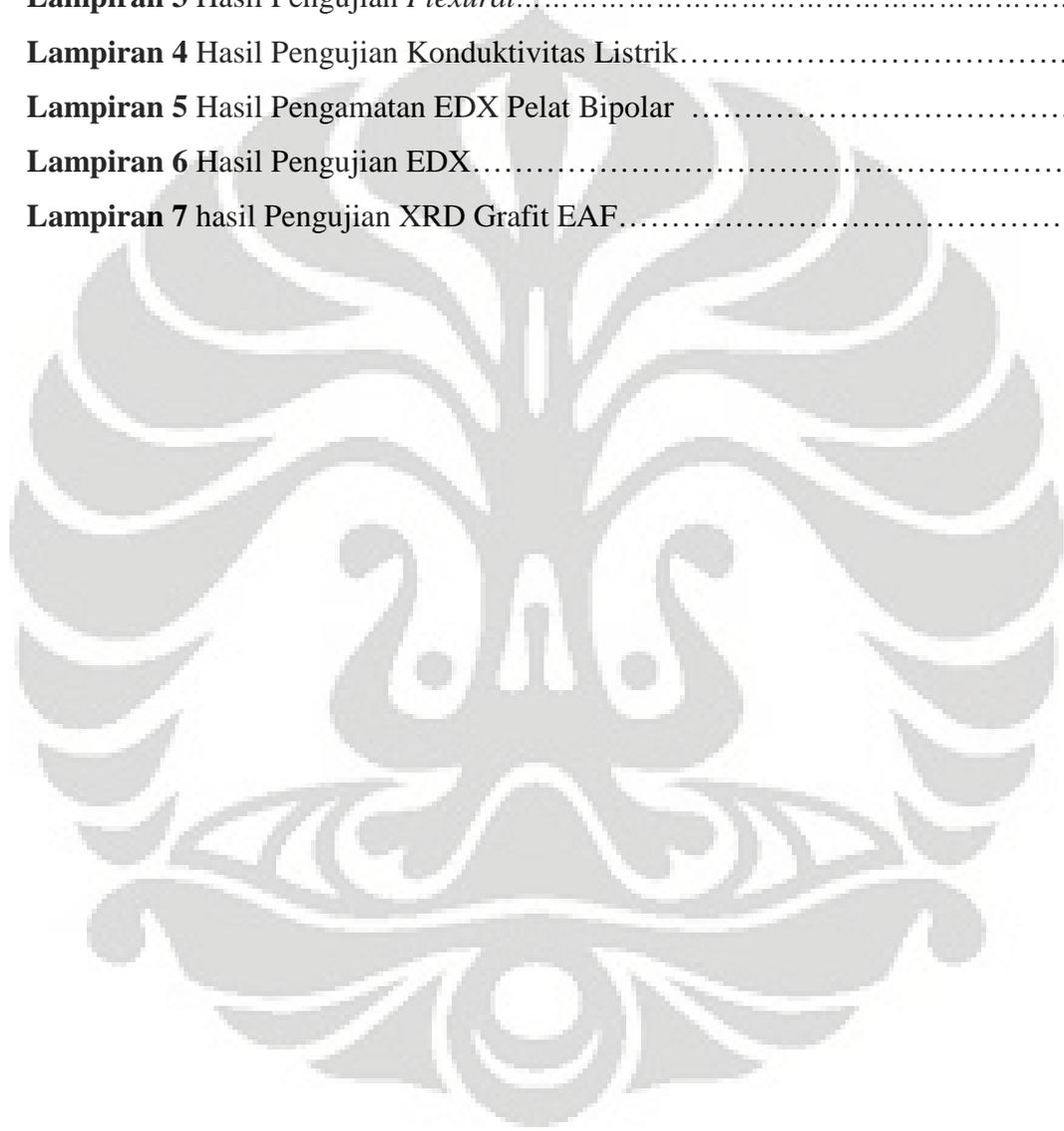


DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. komponen-komponen utama PEM <i>Fuel Cell</i>	10
Tabel 2.2 Sifat material untuk pelat bipolar ideal	11
Tabel 2.3. Perbandingan jenis material pelat bipolar	12
Tabel 2.4. Sifat beberapa elektroda tungku busur listrik	16
Tabel 3.1. Komposisi dan pengkodean formulasi sampel	26
Tabel 3.2. Peralatan yang digunakan beserta gambar	27
Tabel 3.3. Spesifikasi polimer epoxy resin Eposchon	30
Tabel 3.4. Spesifikasi polimer epoxy <i>hardener</i> Eposchon	31
Tabel 3.5. Spesifikasi Methanol Brastaco	31
Tabel 3.6. Spesifikasi Grafit konduktif	32
Tabel 4.1. Hasil Uji EDX	47
Tabel 4.2. Hasil Uji Densitas	48
Tabel 4.3. Hasil Uji Porositas	49
Tabel 4.4. Hasil Uji <i>flexural</i>	51
Tabel 4.5. Hasil Uji Konduktivitas Listrik	52

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Hasil Perhitungan Kerapatan Massa.....	58
Lampiran 2 Hasil Pengukuran Porositas.....	59
Lampiran 3 Hasil Pengujian <i>Flexural</i>	60
Lampiran 4 Hasil Pengujian Konduktivitas Listrik.....	61
Lampiran 5 Hasil Pengamatan EDX Pelat Bipolar	62
Lampiran 6 Hasil Pengujian EDX.....	67
Lampiran 7 hasil Pengujian XRD Grafit EAF.....	68



DAFTAR SINGKATAN

C	<i>Carbon</i>
GDL	<i>Gas diffusion layer</i>
EAF	<i>Electric Arc Furnace</i>
MEA	<i>Membrane electrolyte assembly</i>
SEM	<i>Scanning electrone microscopy</i>
PEM	<i>Polymer Electrolyte Membrane</i>



DAFTAR SIMBOL

Simbol	Keterangan	Satuan
Wt %	Persen berat	
E_c	Modulus elastisitas komposit	N/m^2
E_m	Modulus elastisitas matriks	N/m^2
E_f	Modulus elastisitas pengisi	N/m^2
V_m	Fraksi volume matriks	
V_f	Fraksi volume pengisi	
ρ_c	Rapat massa komposit	gr/cm^3
ρ_f	Rapat massa pengisi	gr/cm^3
ρ_m	Rapat massa komposit	gr/cm^3
σ_{sl}	Tegangan permukaan antara padatan dan cairan	N/m
σ_{sv}	Tegangan permukaan antara padatan dan uap	N/m
σ_{lv}	Tegangan permukaan antara cairan dan uap	N/m
	Sudut kontak antara cairan dan permukaan padat	
ρ_{sampel}	Rapat massa sampel	gr/cm^3
ρ_{air}	Rapat massa air	gr/cm^3
M_u	Massa sampel di udara	gram
M_a	Massa sampel di air	gram

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG

Sampai saat ini tungku busur listrik (*Electric Arc Furnace*) merupakan salah satu cara yang efisien untuk meleburkan bahan baku besi menjadi baja cair. Daya listrik yang dipakai untuk menghasilkan panas pada proses peleburan baja diperoleh dari trafo tiga fasa yang dihasilkan oleh tiga buah elektroda (tanur busur listrik) yang dipakai sebagai satu kesatuan pada sistem peleburan baja.

Elektroda pada Tungku Busur Listrik semakin lama akan semakin habis dan tidak memenuhi syarat operasi akibat proses busur listrik dengan mendekatkan elektroda berbahan grafit sebagai katoda yang dialiri arus tinggi ke bahan baku sebagai anoda. Pemanfaatan grafit sisa elektroda tersebut dapat dimanfaatkan untuk bahan komposit pada aplikasi *Fuel Cell*.

Fuel cell sistem merupakan sumber energi baru canggih untuk menopang kebutuhan energi di masa depan yang bersih dan ramah lingkungan. Penelitian-penelitian yang dilakukan di dunia tentang *fuel cell* sistem ini telah berlangsung kurang lebih 20 tahun. *Fuel cell* terkini yang menggunakan gas alam dapat secara potensial mengurangi emisi karbon dioksida sampai dengan 60% dibandingkan dengan pabrik batu bara yang konvensional, berkurang sebesar 25% dibanding dengan pabrik gas alam saat ini [1]. Kenyataannya, *fuel cell* yang merupakan energi masa depan, bekerja pada turunan hidrogen dari sumber daya yang dapat diperbaharui tidak akan mengeluarkan apapun selain gas yang dihasilkan oleh air. Seperti mesin bakar, *fuel cell* beroperasi menggunakan bahan bakar dari tangki, yang dengan mudah dapat diisi kembali, selama *fuel cell* ini tersedia, sistem dapat bekerja secara terus menerus [2].

Pelat bipolar merupakan komponen utama dalam satu unit Polimer Elektrolit Membran *Fuel Cell* dengan berbagai macam fungsi dan karakterisasinya. Pelat bipolar dibuat dari material yang mampu mengalirkan listrik dan kedap terhadap gas, fungsinya sebagai penyimpan arus dan sebagai

struktur penguat rangkaian *fuel cell*. Pelat ini biasa dibuat dari grafit, logam (titanium, *stainless steel*, dan nikel), atau dapat juga dibuat dari komposit [3].

Sebagai komponen utama, pelat bipolar mencakup 80% total bobot dan 45% biaya, sehingga hal ini bersifat sensitif dan perlu pertimbangan dalam mendesain *fuel cell*^[4]. Pada aplikasi bidang otomotif, bobot secara khusus menjadi bahan pertimbangan, karena penambahan bobot berarti mengurangi efisiensi bahan bakar. Dalam kasus ini, diperlukan pemilihan material dan metode pemrosesan pelat bipolar yang tepat, agar dapat diaplikasikan pada industri otomotif dengan pertimbangan biaya murah, tipis, dan ringan, sehingga dapat mengurangi bobot, volume, dan biaya produksi *fuel cell*. Diagram dibawah ini menunjukkan persen bobot grafit pelat bipolar pada satu unit *fuel cell*, dan pembiayaan dari komponen PEM *Fuel Cell* [1-6]

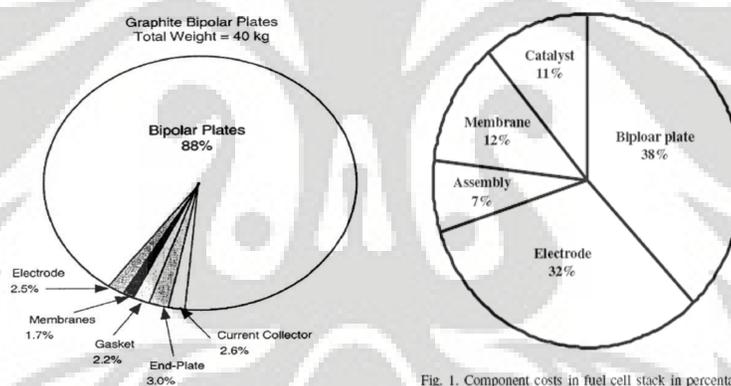


Fig. 1. Component costs in fuel cell stack in percentage.

Gambar 1.1. Diagram perbandingan biaya pembuatan dan berat sistem *fuel cell* [7].

Material baru pelat bipolar harus memiliki konduktifitas yang tinggi dan porositasnya rendah, dibandingkan dengan material lain. Penggunaan material grafit pada pelat bipolar baik itu alami maupun sintetik akan menciptakan karakteristik yang berbeda terhadap stabilitas reaksi kimia, resistivitas yang rendah, penghasilan elektron pada reaksi elektrokimia yang besar [8]. Untuk menghasilkan material tersebut maka pemanfaatan seluruh grafit yang ada harus benar – benar dioptimalkan. Penggunaan limbah grafit EAF(*electric arc furnace*) pada proses peleburan baja diharapkan akan membantu tercapainya efisiensi

limbah industri di Indonesia dan juga menciptakan karakterisasi pelat bipolar sesuai yang diharapkan.

1.2. TUJUAN PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Membuat material pelat bipolar yang terbuat dari komposit bermatriks polimer dengan konduktivitas yang tinggi, bobot yang ringan, serta biaya bahan baku dan proses produksi murah.
2. Menemukan fraksi berat komposisi penggunaan grafit limbah pada material pelat bipolar yang optimum.
3. Mampu memanfaatkan limbah industri yang ada di Indonesia untuk mendukung program penanggulangan pemanasan global, melalui pemakaian limbah grafit *Electric Arc Furnace* pada industri – industri peleburan baja Indonesia.

1.3. BATASAN MASALAH

Komposit polimer grafit ini dihasilkan melalui pencampuran antara resin epoxy dan hardener yang dicairkan dengan methanol, grafit sintetik, grafit limbah EAF, dan pemakaian *carbon black*. Dalam penelitian ini tidak ditambahkan zat aditif pada pencampuran komposit karena penelitian ini memfokuskan pada optimasi komposisi fraksi volume dari pemakaian grafit limbah EAF pada pembuatan pelat bipolar.

Dalam penelitian ini digunakan sampel dengan komposisi 20% epoxy yang dengan perbandingan 1:1 antara resin dengan hardener dicairkan dengan methanol. 80% *wt* carbon dengan variasi % *wt* grafit sintetik, % *wt* carbon black, % *wt* grafit EAF.

Karakterisasi pelat bipolar dari penelitian ini untuk setiap komposisi diuji melalui pembuatan sampel dengan jenis pengujian yaitu pengujian porositas, pengujian densitas, pengujian tekuk (*flexural*), dan pengujian konduktivitas listrik. Untuk menganalisa struktur mikro dari material ini dilakukan pengujian *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dari lintang atau bagian perpatahan material.

1.4. SISTEMATIKA PENULISAN

Penulisan hasil penelitian ini dibagi dalam beberapa bab, dimana masing-masing bab saling berhubungan satu dengan yang lainnya. Adapun urutan dalam penulisan laporan ini terlihat pada uraian dibawah 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.

Bab3 : Metodologi Penelitian

Pada 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 : Penutup

Bab ini berisikan kesimpulan akhir berdasarkan hasil dan pembahasan penelitian ini

BAB 2

LANDASAN TEORI

2.1. PENGERTIAN LIMBAH

Limbah adalah sisa suatu usaha dan atau kegiatan. Limbah merupakan suatu benda yang mengandung zat yang bersifat membahayakan atau tidak membahayakan kehidupan manusia, hewan, serta lingkungan dan umumnya muncul karena hasil perbuatan manusia, termasuk industrialisasi (UU RI. No.23 Tahun 1997 pasal 1).

Limbah B3 adalah setiap limbah yang mengandung bahan berbahaya dan/atau beracun yang karena sifat dan/atau konsentrasinya dan/atau jumlahnya, baik secara langsung maupun tidak langsung dapat mencemarkan dan/atau merusakkan lingkungan hidup, kesehatan, kelangsungan hidup manusia serta makhluk hidup lain (PP18/99 jo PP85/99 pasal 1 ayat 2) .

Limbah bahan berbahaya beracun (B3), adalah setiap limbah yang mengandung bahan berbahaya dan/atau beracun yang karena sifat dan/atau konsentrasinya dan/atau jumlahnya, baik secara langsung maupun tidak langsung dapat merusak dan/atau mencemarkan lingkungan hidup dan/atau dapat membahayakan kesehatan manusia (PP No. 19 Tahun 1994 pasal 1).

Secara Umum limbah dibagi 2 yaitu;

1. Limbah ekonomis, yaitu limbah yang dapat dijadikan produk sekunder untuk produk yang lain dan atau dapat mengurangi pembelian bahan baku.
2. Limbah non ekonomis, yaitu limbah yang dapat merugikan dan membahayakan serta menimbulkan pencemaran lingkungan.

Dari uraian diatas maka sisa elektroda pada penggunaan Tungku Busur Listrik dikategorikan sebagai limbah ekonomis dikarenakan dapat digunakan sebagai bahan sekunder pada proses karburisasi maupun rekayasa permukaan pada baja. Secara rekayasa penggunaan elektroda sisa tersebut diharapkan dapat menjadi bahan baku pembuatan pelat bipolar sebagai komponen pada *fuel cell* sebagai salah satu energi alternatif di masa depan.

2.2. TEKNOLOGI *FUEL CELL*

Fuel cell adalah alat konversi energi elektrokimia yang akan mengubah hidrogen dan oksigen menjadi air, secara bersamaan menghasilkan energi listrik dan panas dalam prosesnya. Struktur fisik dasarnya terdiri atas lapisan elektrolit yang salah satu sisinya merupakan daerah kontak anoda berpori dengan katoda berpori pada sisi lainnya. Sel bahan bakar dibagi atas beberapa kategori berdasarkan kombinasi tipe bahan bakar dan oksidan, tipe elektrolit yang digunakan, temperatur operasi, dan lain-lain [9].

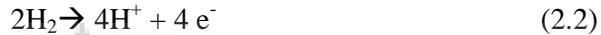
Pada *fuel cell*, bahan gas oksigen didapat dari udara sedang gas hidrogen dapat diperoleh dari reaksi reformer dari hidrokarbon. Gas hidrogen mempunyai kesulitan untuk disimpan dan ditransport karena molekul yang kecil sehingga sulit untuk dicairkan dan mudah terbakar. Usaha memperoleh hidrogen dengan mudah sedang diusahakan dengan berbagai cara misalnya memperkecil reaktor reformer dengan bahan baku LPG atau gas methana, menguraikan metanol yang dibuat dari pabrik besar tetapi dalam bentuk cair sehingga mudah untuk ditransport. Gas hidrogen dapat juga diperoleh dari methanol setelah diuraikan menjadi gas CO dan hidrogen, kemudian gas CO dioksidasi menjadi CO₂ dan air [10].

Ion yang bermigrasi dapat sebagai hidrogen, oksigen atau hidroksida. Seding elektrolit dapat berupa membran polimer, garam karbonat cair, lapisan oksida keramik, larutan alkali dan asam phospat. Elektroda biasanya terbuat dari logam platina atau nikel.

Reaksi kimia pada *fuel cell* :



Pada anoda hidrogen di oksidasi menjadi proton :



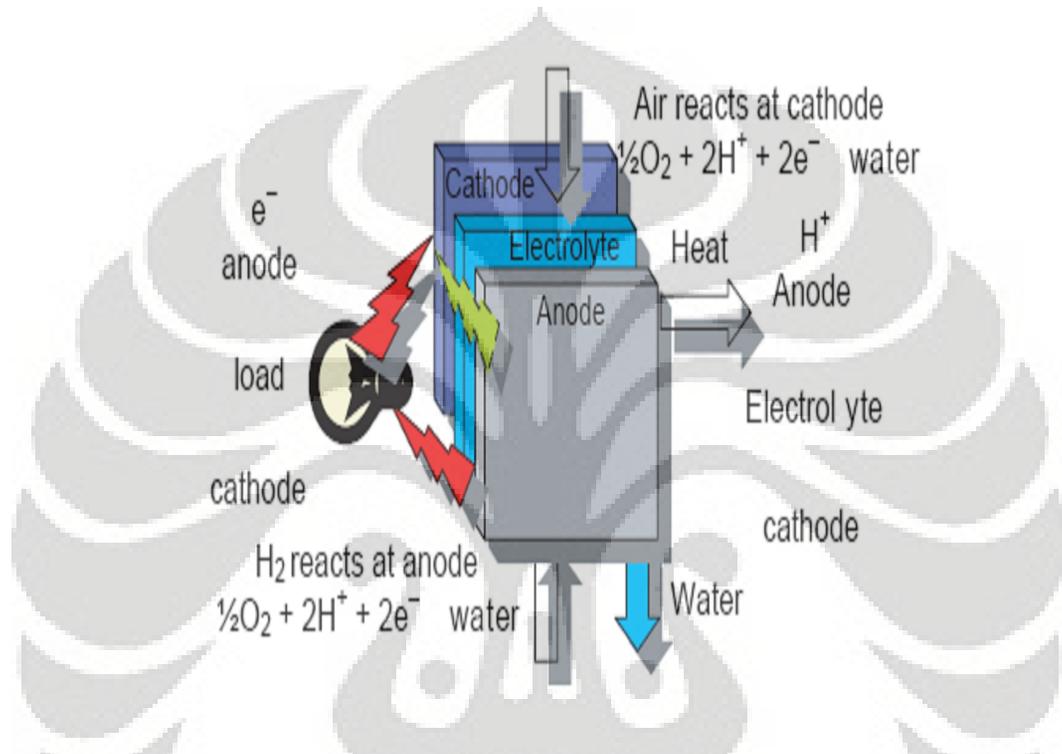
Setiap molekul H_2 terpecah menjadi dua atom H^+ (proton), sedang setiap atom hidrogen melepaskan elektronnya. Proton ini akan bergerak menuju katoda melewati membran. Yang menjadi sasaran dalam penelitian ini adalah *polymer electrolyte membrane fuel cell* yang bekerja pada temperatur yang relatif rendah. Elektron yang terbentuk akan menghasilkan arus listrik kalau dihubungkan dengan penghantar listrik menuju katoda. Pada katoda oksigen dirubah :



Molekul oksigen akan bergabung dengan empat elektron, menjadi ion oksigen yang bermuatan negatif untuk selanjutnya bergabung lagi dengan proton yang mengalir dari anoda. Setiap ion oksigen akan melepaskan kedua muatan negatifnya dan bergabung dengan dua proton, sehingga terjadi oksidasi menjadi air.

Polimer elektrolit Membran *Fuel Cell* adalah sebuah sumber energi terbarukan dari prinsip reaksi elektrokimia yang mengubah secara langsung energi kimia menjadi energi listrik melalui reaksi reduksi dan oksidasi seperti dijelaskan diatas [11]. PEM *Fuel Cell* merupakan sumber energi yang sangat baik bila diaplikasikan pada alat transportasi, karena perangkatnya mudah dibawa kemana-mana. Sebagai salah satu komponen utama dari PEM *Fuel Cell*, pelat bipolar membutuhkan material dan desain yang baru dalam rangka mengurangi biaya produksi, mengurangi berat, dan meningkatkan performa *fuel cell* itu sendiri. Pada pemakaian PEM *Fuel cell* ini seringkali terjadi penurunan performa pada overpotensial ataupun reduksi potensial itu sendiri.

Tiga masalah utama dari dampak kehilangan itu adalah kehilangan energi aktivasi, transport massa (gas dan proton), dan kehilangan resistansi elektrik. Secara skematis diagram sistem dari PEMFC dapat dilihat pada Gambar 2.1 berikut ini:



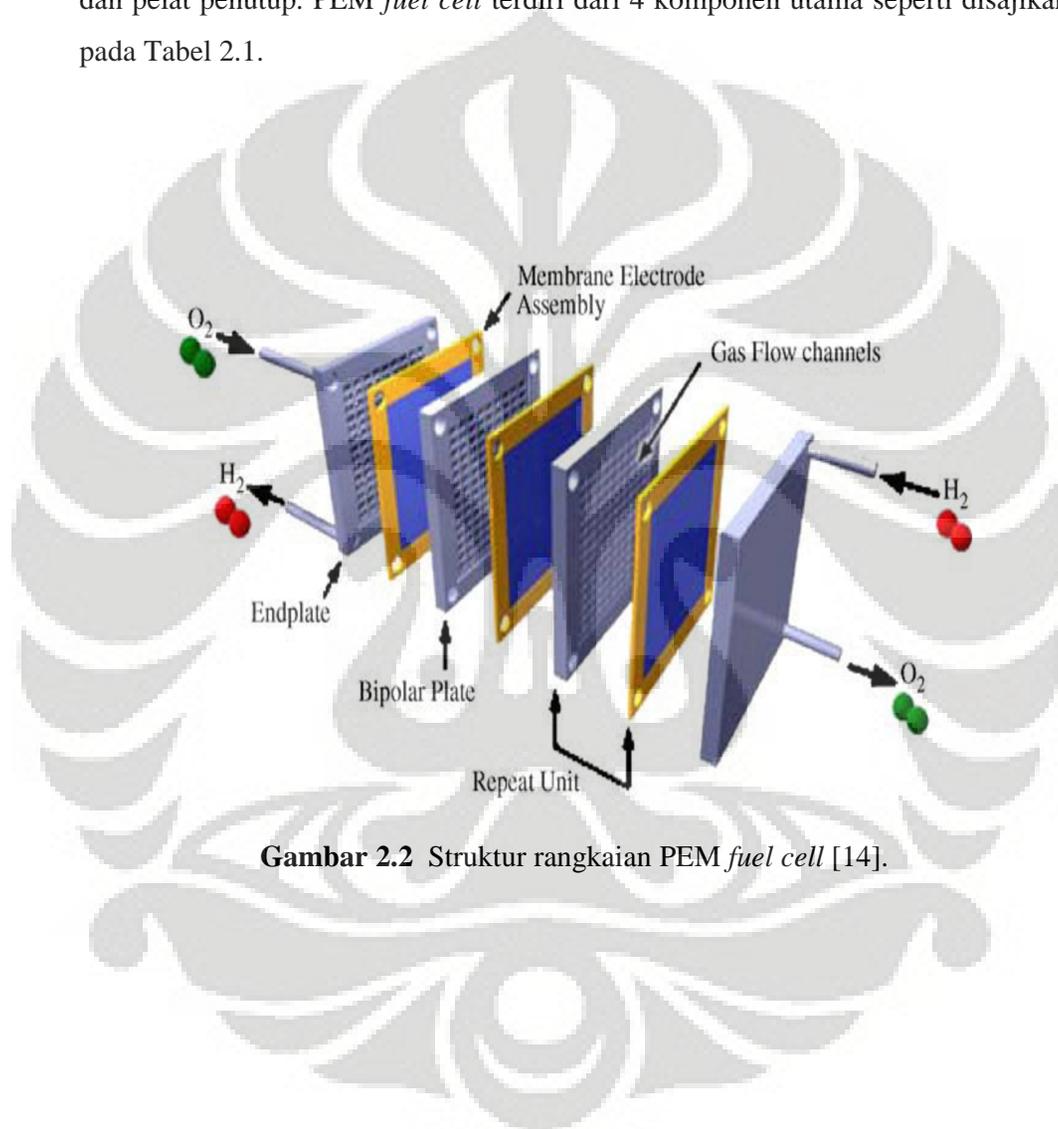
Gambar 2.1 Skema PEM *fuel cell* [12].

PEM *fuel cell* tersusun atas beberapa *cell*. Unit *cell* tersebut yaitu *anode*, *elektrolite* dan *cathode*. Pelat Bipolar menghubungkan antar anoda satu dengan anoda yang lain, begitu juga katoda satu dengan katoda yang lain. Secara umum pelat bipolar berfungsi untuk [13]:

1. Jalur udara, air, dan bahan bakar
2. Pembatas antara masing – masing unit cell
3. Mengalirkan elektron ke seluruh sirkuit.
4. Sebagai penguat mekanis dan penahan membran tipis dan elektroda.

2.2.1. Struktur PEM Fuel Cell

Gambar 2.2. dibawah ini menunjukkan struktur rangkaian PEM *fuel cell* yang terdiri dari *membrane electrolyte assembly* (MEA) dengan lapisan katalis di kedua sisinya, lapisan difusi gas (GDL), gaskets, pelat bipolar, penyimpanan arus, dan pelat penutup. PEM *fuel cell* terdiri dari 4 komponen utama seperti disajikan pada Tabel 2.1.



Gambar 2.2 Struktur rangkaian PEM *fuel cell* [14].

Tabel 2.1. Komponen-komponen utama PEM Fuel Cell [15].

Komponen	Material	Fungsi
Membrane electrolyte assembly (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) 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, stainless steel, atau komposit polimer termoplastik	Mendistribusikan gas di bagian area aktif membran. Mengalirkan elektron dari anoda menuju katoda, membuang air keluar sel
Pelat penutup	Material dengan kekuatan mekanik yang baik	Menyatukan rangkain fuel Cell
Penyimpan arus	Logam dengan kontak elektrik dan konduktivitas yang baik (Cu)	Menyimpan dan mentransfer arus listrik dari dalam ke luar sirkuit sistem fuel Cell.

2.3. PELAT BIPOLAR DAN SIFAT MATERIALNYA

Pada saat ini telah berkembang berbagai material sebagai bahan untuk pelat bipolar seperti lembaran logam, polimer yang dilapis dengan logam, elektrografit, *flexible* grafit, karbon-karbon komposit, grafit polimer komposit dan sebagainya.

Material baru untuk pelat bipolar yang mampu mengurangi berat *fuel cell* sangatlah diperlukan. Saat ini komposit bermatriks polimer sudah banyak diteliti untuk digunakan sebagai memenuhi kriteria bipolar plate yang diharapkan yaitu sebagai berikut [16]:

Tabel 2.2 Sifat material untuk pelat bipolar ideal [17].

parameter	Nilai standar
resistivitas	<0,01 cm ²
Konduktivitas panas	Setinggi mungkin
Hidrogen atau permeabilitas gas	<10 ⁻⁴ cm ³ /s cm ²
Ketahanan korosi	CR: 0,016 mA/cm ²
Rapat massa	<5 gr/cm ³
Kekuatan tekan	>22 lb/in ²

Sejauh ini material yang digunakan pada pembuatan pelat bipolar pada *fuel cell* dapat digolongkan menjadi 3 yaitu:

1. Non-logam : non-porous grafit atau elektrografit
2. Logam: tanpa pelapisan atau pelapisan
3. Komposit: polimer-karbon dan polimer-logam

Perbandingan antara masing-masing material dapat dilihat sesuai dengan karakteristiknya. Hal tersebut dapat secara jelas dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 2.3. Perbandingan jenis material pelat bipolar [18].

Grafit murni	Logam	Grafit Komposit
<i>Keuntungan</i>		
Stabil	Dapat didaur ulang	Ketahanan terhadap korosi bagus
Densitas rendah	Konduktivitas tinggi	
Ketahanan korosi bagus		
Resistansi kontak terhadap elektroda rendah		
<i>Kerugian</i>		
Tipis	Perlu pelapis	Konduktivitas rendah
Sangat rapuh	Terbentuk lapisan oksida	
Mahal	mahal	

Material pelat bipolar yang sering digunakan yaitu grafit komposit. Pemilihan material grafit komposit memiliki keuntungan dari segi tidak reaktif terhadap lingkungan korosif, densitas dan resistivitas yang rendah. Akan tetapi susah pada proses pemesinan, dan merupakan material yang rapuh [19]. Pada pembuatan Pelat Bipolar Grafit Komposit, variasi karbon pengisi berupa grafit sangat diperlukan untuk mencapai target-target tersebut. Grafit digolongkan menjadi dua jenis, yaitu alami dan sintetik [20]. Grafit sintetik lebih murni dibandingkan grafit alami. Grafit sintetik merupakan produk yang dibuat dari

material karbon amorf melalui proses perlakuan temperatur tinggi. Grafit digunakan sebagai bahan pengisi khususnya dalam matriks polimer karena memiliki konduktifitas listrik dan panas yang baik, serta memiliki sifat-sifat pelumasan. Karena strukturnya yang berlapis, grafit memberi sifat kekakuan dan dimensi yang stabil terhadap polimer. Grafit alami (NG), grafit sintetis (SG), *carbon fiber* (CF) dan *carbon black* (CB) digunakan sebagai penguat pada komposit matriks polimer. Selain itu dilakukan penambahan Phenolic Epoxy Resin sebagai bahan pengikat

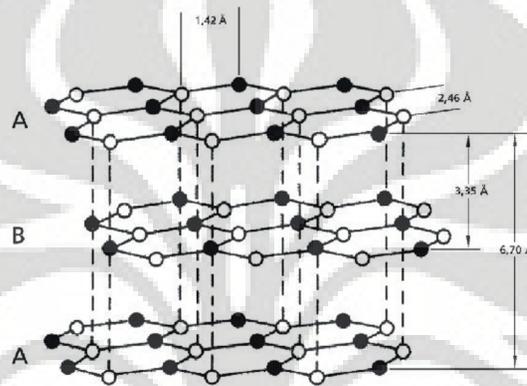
Grafit alami mempunyai konduktifitas listrik yang tinggi akan tetapi mempunyai hardness yang kurang baik dan daya pembasahan yang jelek. Oleh karena itu pemakaian satu jenis grafit tidak akan menghasilkan performa yang baik pada pelat bipolar [17]. *Carbon black* merupakan padatan karbon amorf yang dibentuk dengan proses deposisi dari partikel padat dalam fasa gas. Karbon hitam memiliki ukuran partikel sangat halus. Sifat-sifat karbon hitam adalah suatu fungsi dari sumber bahan bakar manufaktur dan jenis proses pembakaran yang digunakan. Keunggulan untuk karbon hitam adalah pada sifat permukaannya, dengan ukuran partikel yang lebih kecil maka akan dihasilkan sifat surface hardness yang tinggi [21].

2.3.1. Grafit Sintetis

Grafit adalah salah satu bentuk modifikasi dari karbon yang menyerupai struktur dari 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. Perbedaan jenis ikatan ini 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.

Keunikan sifat dari grafit berasal dari keistimewaan struktur lapisan dan sifat inert terhadap kimia mejadikan material ini banyak digunakan dalam berbagai aplikasi karena [22]:

1. Memiliki konduktivitas termal dan elektrik yang baik
2. Memiliki sifat sebagai lubricant yang baik pada perubahan temperatur dan tekanan
3. Memiliki ketahanan oksidasi dan imun pada lingkungan agresif



Gambar 2.3. Struktur kristal grafit [22].

Struktur kristal grafit dapat dilihat pada Gambar 2.3. di atas dengan struktur heksagonal. Pada aplikasinya sebagai pelat bipolar, grafit mampu memberikan konduktivitas listrik yang baik dan juga meningkatkan sifat mekanis dari komposit tersebut. Selain itu, penambahan grafit juga mampu meningkatkan kemampuprosesan dari material komposit karena sifatnya yang baik sebagai pelumas padat. Hal-hal tersebut mampu memberikan performa yang baik dan stabil dalam aplikasi sebagai pelat bipolar.

2.3.2. *Carbon Black*

Carbon black adalah material yang diproduksi dari pembakaran tidak sempurna dari hasil minyak bumi. *Carbon black* merupakan suatu bentuk dari karbon amorf yang memiliki perbandingan luas permukaan dengan volume yang tinggi. *Carbon black* merupakan salah satu material nano yang paling awal digunakan. *Carbon black* banyak diaplikasikan sebagai pigmen dan penguat pada

produk plastik dan karet. *Carbon black* dapat bersifat karsinogenik terhadap tubuh manusia, dimana ia dapat mengganggu jaringan pernafasan apabila debu terkumpul dalam konsentrasi tinggi.

Pada material komposit, penambahan *carbon black* ditujukan sebagai antistatik, *electrostatic dissipative*, dan material semikonduktif. *Carbon black* dengan luas permukaan yang tinggi dapat mengumpulkan arus listrik pada konsentrasi yang lebih rendah dan membentuk jaringan karbon konduktif. Namun, struktur *carbon black* yang berporos dapat mengurangi sifat mekanis dari komposit, sehingga pembebanan yang dapat diterima material komposit menjadi terbatas.

2.3.3. Grafit Sisa Elektroda Busur Listrik

Proses pembuatan baja cair dilakukan dengan bahan-bahan baku seperti besi spon, besi rongsokan atau scrap, besi kasar ke dalam tungku peleburan sehingga dihasilkan baja cair yang kemudian akan dicetak menjadi baja sesuai dengan keperluannya seperti untuk kawat baja, plat baja, pipa baja, dan lain-lain.

Beberapa jenis dapur peleburan dapat dipakai untuk proses pembuatan baja, diantaranya adalah dapur atau tungku busur listrik (TBL) yaitu dapur peleburan baja yang menggunakan energi listrik. Pada tungku pembakaran busur, elektroda yang digunakan adalah grafit dan karbon. Pertimbangan penggunaan karbon atau grafit adalah karena : tidak lumer, menghantarkan listrik, sifat tidak larut, kemurnian kimianya, kekuatan mekanis dan tahan terhadap kejutan thermal. Secara kimia, karbon dan grafit adalah sama, tetapi secara fisis dan listrik banyak perbedaanya.

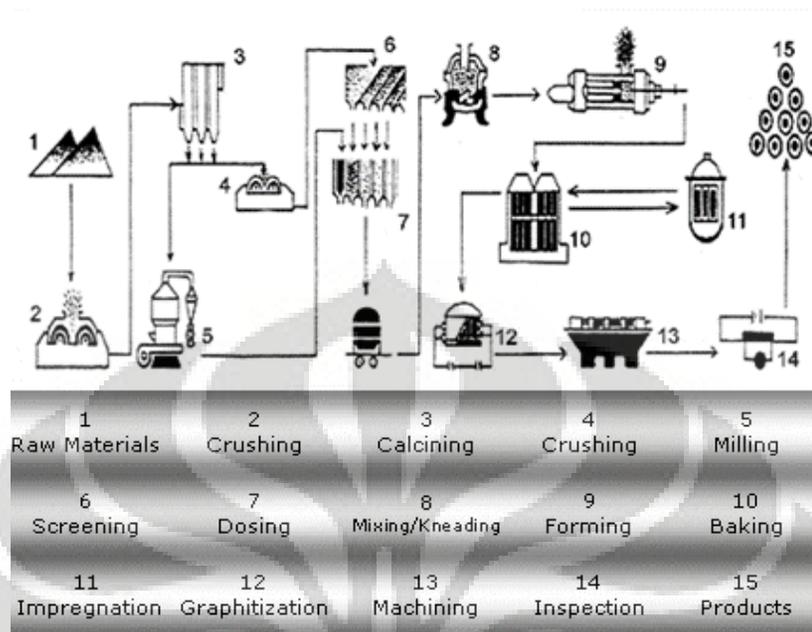
Karbon adalah berongga sedangkan grafit tidak. Grafit diperoleh dengan cara memanaskan karbon pada temperatur tinggi. Resistivitas grafit adalah 0,25 resistivitas karbon sehingga kemampuan hantar arus grafit lebih besar dari karbon biasa.

Busur listrik pada TBL terjadi akibat proses mendekatkan elektroda (katoda) yang dialiri arus listrik tinggi sehingga menyentuh bahan lebur (anoda). Ketika elektroda dan bahan lebur saling bersentuhan layaknya seperti hubung singkat, maka terjadilah proses panas pada permukaan sentuh. Pada suhu tinggi (bisa sampai 4000°C) terjadi proses ionisasi yaitu pancaran ion-ion yang terjadi antara elektroda dan bahan lebur. Jika elektroda dan bahan lebur tidak dipisahkan secara cepat dan jarak antara keduanya tidak terlalu jauh, arus dapat mengalir melalui udara yang terionisasi diantara elektroda dan bahan itu sendiri.

Dari prinsip tungku busur listrik pada peleburan baja, maka dibutuhkan elektroda yang mempunyai konduktivitas yang sangat tinggi agar dapat dihasilkan busur-busur listrik pada peleburan. Tabel 2.4. di bawah ini memberikan gambaran beberapa sifat elektroda tungku busur listrik yang digunakan pada proses peleburan baja.

Tabel 2.4. Sifat beberapa elektroda tungku busur listrik [21].

diameter	mm	350-450	500-650	700-800
Densitas	g/cm^3	1.6-1.75	1.67-1.77	1.68-1.77
Elektrikal resistance	μm	5-7.5	4.5-5.5	4-5.5
Kekuatan flexural	N/mm^2	8-13	10-13	10-13
Konduktivitas panas	W/(K.m)	220-270	250-280	250-300
Koefisien ekspansi panas	$\mu\text{m}/(\text{K.m})$	0.5-1.1	0.3-0.6	0.3-0.6



Gambar 2.4. Pembuatan elektroda grafit *Electric Arc Furnace* [21].

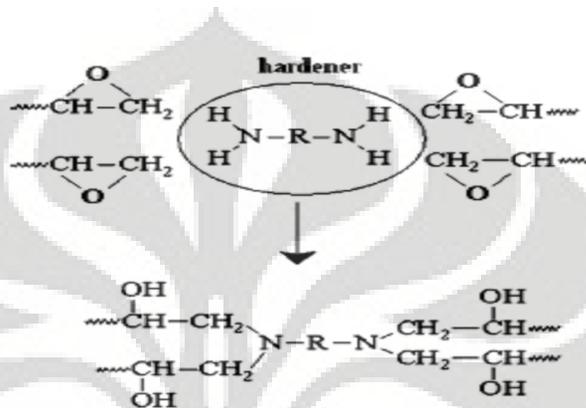
Proses pembuatan elektroda grafit tungku busur listrik memiliki kerumitan dan ditekankan pada peningkatan konduktivitas melalui proses impregnasi dan grafitisasi. Sehingga diharapkan mampu menghasilkan grafit yang konduktif pada proses peleburan baja dengan tungku busur listrik. Gambar 2.4. dapat menjelaskan proses secara keseluruhan pembuatan elektroda grafit dari material awal sampai menjadi produk jadi.

2.3.4. Epoxy Resin

Polimer jenis *thermosetting* digunakan sebagai matriks atau bahan pengikat yang dapat terjadi proses pensettingan pada pemanasan beberapa temperature dan tidak dapat dibentuk kembali pada pemanasan ulang. Secara umum, polimer jenis thermoset terdiri dari dua penyusun. Yaitu susunan resin dan *curing agent* yang akan membuat proses polimerisasi terjadi pada temperatur ruang.

Epoxy merupakan jenis yang paling sering digunakan sebagai matriks komposit meskipun mahal secara harga dan tidak mempunyai ketahanan pada suhu tinggi dibandingkan dengan polimer jenis lain. 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 pembasahan yang terlalu besar. Selain non reaktif terhadap reaksi kimia, juga sebagai isolator yang baik untuk sifat elektrikalnya[6].

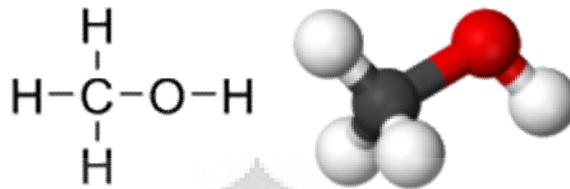


Gambar 2.5. Struktur ikatan resin epoxy dengan hardenernya [6].

Berbagai keunggulan dan kekurangan polimer jenis resin epoxy ini dapat dilihat dibawah ini[23]:

- Mampu mengikat dengan gaya adhesi antara karbon dengan resin secara baik.
- Kemungkinan terjadinya penyusutan selama polimerisasi sangat kecil.
- Ketahanan terhadap reaksi kimia sangat baik.
- Kekuatan tinggi dan fleksibilitas yang rendah.
- Ketahanan terhadap creep dan fatigue bagus.
- Sifat elektrikalnya baik
- Berbahaya karena mengandung racun kimia
- Daya penyerapan terhadap air sangat tinggi
- Sulit untuk menggabungkan antara kekuatan dan ketahanan terhadap suhu tinggi
- Polimerisasinya lambat

2.3.5. Methanol



Gambar 2.6 Struktur senyawa Methanol [26].

Methanol digunakan sebagai pelarut dan pengencer untuk Epoxy Resin serta Epoxy hardener (yang awalnya sangat kental), agar dapat bercampur dengan grafit sehingga pembasahan permukaan grafit bisa lebih baik dan menjangkau area yang lebih luas. Methanol sebenarnya adalah zat kimia beracun dengan formula [CH₃OH](#).

2.4. KOMPOSIT

2.4.1. Faktor-faktor yang mempengaruhi sifat-sifat komposit

Ada banyak faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas dari berbagai komposit secara umum dan grafit komposit secara khusus. Diantaranya yaitu sifat mekanik, konduktivitas listrik, daya pembasahan, antarmuka dan antarfasa antara matriks dan penguat pada komposit.

2.4.1.1. Komposisi

Komposisi penguat dan matrik komposit mempengaruhi karakteristik komposit tersebut. Semakin banyak komposisi material dalam komposit, maka semakin besar material tersebut mendominasi sifat komposit. Sifat yang dipengaruhi oleh adanya komposisi tersebut berupa koefisien elongasi, densitas, stress ratio, strain ratio tensile strength, hardness dll. Pengaruh komposisi terhadap sifat komposit ini diturunkan dengan menggunakan *rule of mixture* memprediksi sifat akhir komposit [24].

$$E_{cl} = E_f V_f + E_m V_m \dots\dots\dots(2.4)$$

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

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

$$\rho_c = \frac{m_c}{V_c} = \frac{m_f + m_m}{V_f + V_m + V_v} = \frac{\rho_f V_f + \rho_m V_m}{V_f + V_m + V_v} = \frac{\rho_f V_f + \rho_m V_m}{1} \dots\dots\dots(2.5)$$

P = Densitas (composite(d), reinforce(f), matrix(m))

2.4.1.2. Sifat konduktivitas listrik

Karbon grafit pada dasarnya bersifat konduktif, dengan nilai konduktivitas kira-kira 10^2 - 10^5 S/cm. Dengan penambahan matriks polimer epoxy meskipun komposisi tidak terlalu dominan akan tetapi memberikan pengaruh besar terhadap nilai konduktivitas grafit yang cenderung akan menyamai konduktivitas material polimer. Konduktivitas material polimer dapat ditingkatkan dengan menambahkan aditif. Dispersi partikel dari bahan pengisi aditif juga berpengaruh pada sifat konduktivitas. Di sisi lain, sering dihasilkan material komposit yang sifat-sifat mekaniknya lebih buruk dari material-material penyusunnya [25].

2.4.1.3. Daya pembasahan

Fenomena ini terjadi karena minimisasi energi interfacial. Jika energi permukaan tinggi, maka akan dikelilingi oleh cairan karena interface akan menurunkan energinya.

Perilaku pembasahan (*wettability*) dari penguat terhadap matrik dapat diketahui dengan menghitung sudut kontak dan energi permukaannya.

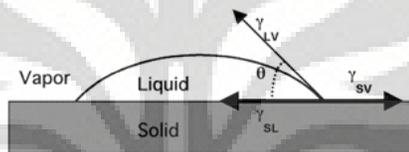
Wettability dari permukaan padat terhadap permukaan cair (contoh adhesive) dapat diketahui berdasarkan persamaan Young [26]:

$$\gamma_{SV} - \gamma_{LV} \cos\theta \dots\dots\dots(2.6)$$

dimana γ_{sv} energi bebas per unit area pada permukaan padat dan gas, γ_{lv} tegangan permukaan antara permukaan cair dan gas, γ_{sl} energi interfacial, dan θ adalah sudut kontak.

Pekerjaan adhesi (*Work of adhesion* - W_A) dari tetesan cairan pada substrat dinyatakan oleh persamaan Dupré's:

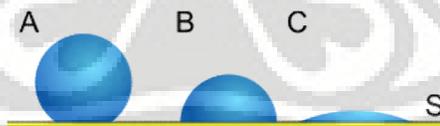
$$W_A = \gamma_{sv} + \gamma_{lv} - \gamma_{sl} \quad \dots\dots(2.7)$$



Gambar 2.7. kesetimbangan tiga tegangan permukaan kondisi wetting tetes cairan pada permukaan padat [26].

Dengan menggabungkan persamaan (2.6) dan (2.7) maka didapat persamaan Young-Dupré:

$$W_A = \gamma_{lv} (1 + \cos \theta) \quad \dots\dots\dots (2.8)$$



Gambar 2.8. daya pembasahan berdasar sudut kontak [26].

Wetting dari beberapa fluida. *A* memperlihatkan fluida dengan tegangan permukaan yang tinggi (little wetting), *C* memperlihatkan fluida dengan tegangan permukaan yang sangat rendah (wetting). *A* mempunyai sudut kontak yang tinggi, *C* mempunyai sudut kontak yang kecil.

Untuk mengurangi tegangan permukaan pada air untuk meningkatkan *wetting ability*-nya, biasanya ditambahkan atau dicampur dengan cairan lain,

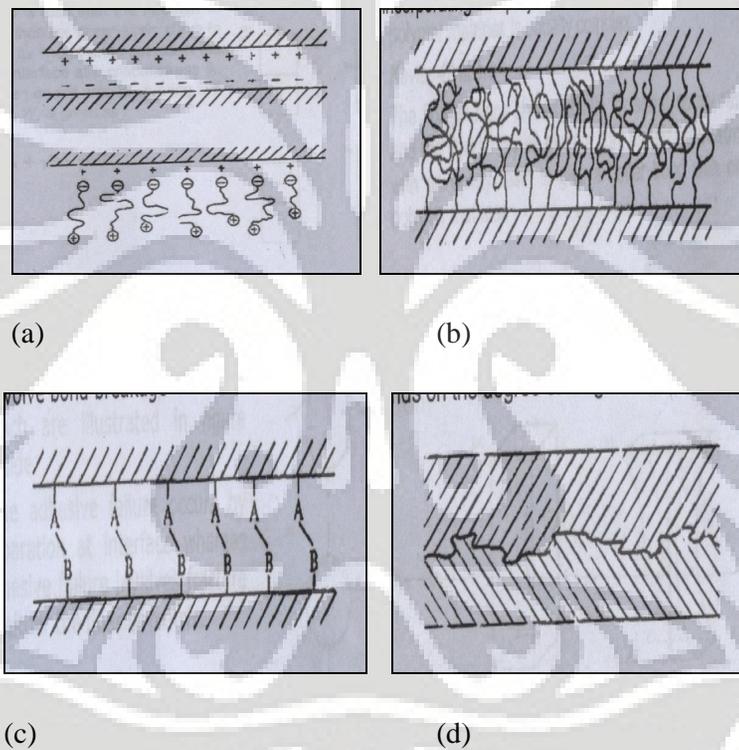
misalnya alcohol, atau detergent. Masing-masing substant disebut *wetting agent*. Mereka mengurangi gaya atraktif antara molekul air dan mengurangi energi permukaannya.

2.4.1.4. Antarmuka dan antarfasa

Dalam komposit, penguat dan matrix menghasilkan kombinasi sifat mekanik yang berbeda dengan sifat dasar dari masing-masing matriks maupun penguat karena adanya *interface* antara kedua komponen tersebut. *Interface* antara matrix-reinforcement dalam pembuatan komposit sangat berpengaruh terhadap sifat akhir dari komposit yang terbentuk, baik sifat fisik maupun sifat mekanik. Pengertian klasik dari *interface* yaitu permukaan yang terbentuk diantara matriks dan penguat dan mengalami kontak dengan keduanya dengan membuat ikatan antara keduanya untuk perpindahan beban. *Interface* mempunyai sifat fisik dan mekanik yang unik dan tidak merupakan sifat masing-masing matriks maupun penguatnya. *Interface* biasanya diusahakan ‘*zero thickness* (atau *volume*)’ dan mempunyai ikatan yang sangat bagus. Konsep dua dimensi dari *interface* sekarang berubah menjadi tiga dimensi yang sering disebut ‘*interphase*’. *Interphase* yaitu permukaan dari matriks-penguat klasik dengan ketebalan tertentu dimana sifat fisik, kimia, dan morfologinya berbeda dari *bulk material*-nya. Pada daerah ini terjadi reaksi kimia, tegangan sisa, dan terjadi perubahan volume. Pengertian tersebut yang sekarang sering disebut dengan *interface*. Contoh *interface*: matriks dan penguatnya. *Interface* bisa berupa ikatan atom yang sederhana (*interface* antara alumina dan *pure aluminium*), bisa juga berupa reaksi antar matriks (*aluminium carbide* antara aluminium dan *carbon fibers*), atau penguatan pada *coating* (*interfacial coatings* antara SiC *monofilaments* dan matriks titanium). Untuk mengontrol *interface* agar mempunyai sifat mekanis yang bagus maka perlu untuk mempelajari mekanisme adhesi dan mekanika perpindahan beban pada *interface*. *Interface* sangat berpengaruh terhadap kekuatan, kekakuan, ketangguhan, ketahanan mulur, dan degradasi terhadap lingkungan pada material komposit [27-29].

Ikatan kimia dan fisika terbentuk pada antarmuka saat matriks dan permukaan serat penguat saling bersentuhan. Gugus kimia permukaan penguat dapat bereaksi dengan gugus kimia yang ada pada matriks membentuk ikatan kimia maupun ikatan fisika, seperti gaya Van der Waals, ikatan hydrogen, dan ikatan elektrostatik.

Jenis dan banyaknya masing-masing ikatan tersebut secara kuat mempengaruhi daya ikat antara matriks dan penguat. Gambar 2.9. berikut ini menunjukkan skema bentuk ikatan antarmuka [27].



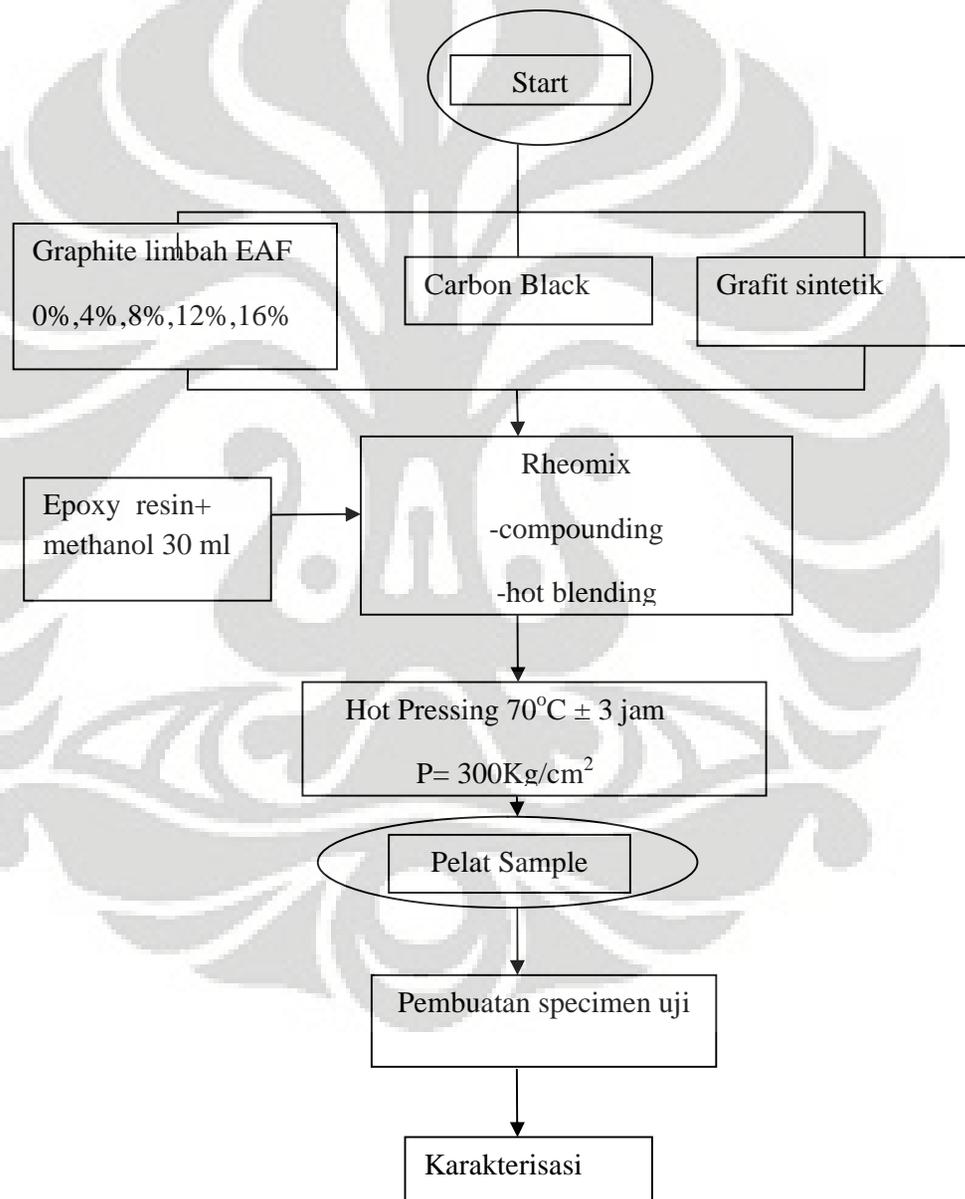
Gambar 2.9. Skema bentuk ikatan antarmuka: (a) gaya ikatan elektrostatik ion, (b) gaya ikatan interdifusi, (c) gaya ikatan secara kimia, (d) gaya ikatan secara mekanik [27].

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

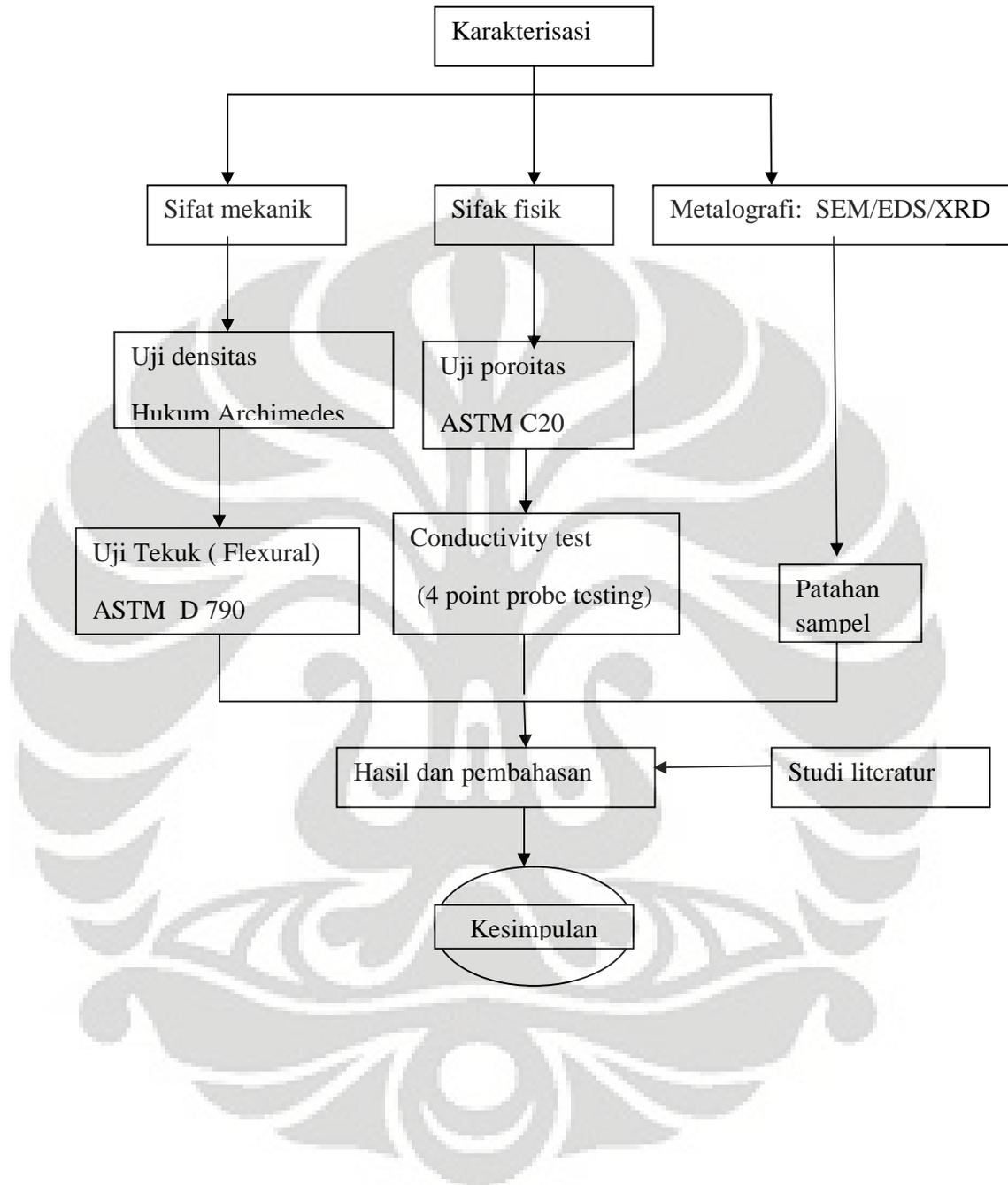
3.1. DIAGRAM ALIR PENELITIAN

Gambar 3.1. berikut merupakan diagram alir preparasi sampel, fabrikas sampel secara umum pada penelitian ini.



Gambar 3.1. Diagram alir preparasi dan fabrikasi sampel

Diagram alir pengujian karakterisasi sampel dapat dilihat pada Gambar 3.2:



Gambar 3.2. Diagram alir pengujian karakterisasi sampel

3.2. KOMPOSISI BAHAN

Tabel 3.1 dibawah ini menunjukkan komposisi dan pengkodean seluruh sampel yang diteliti.

Tabel 3.1. Komposisi dan pengkodean formulasi sampel

Bahan	Satuan	Kode formulasi sampel				
		1	2	3	4	5
Resin epoxy	Wt %	10	10	10	10	10
	gr	12	12	12	12	12
Resin hardener	Wt %	10	10	10	10	10
	gr	12	12	12	12	12
Grafit limbah EAF	Wt %	0	4	8	12	16
	gr	0	4.8	9.6	14.4	19.2
Grafit sintetik	Wt %	76	72	68	64	60
	gr	91.2	86.4	81.6	76.8	72
Carbon black	Wt %	4	4	4	4	4
	gr	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8
total	gr	120	120	120	120	120

3.3. PERALATAN DAN BAHAN

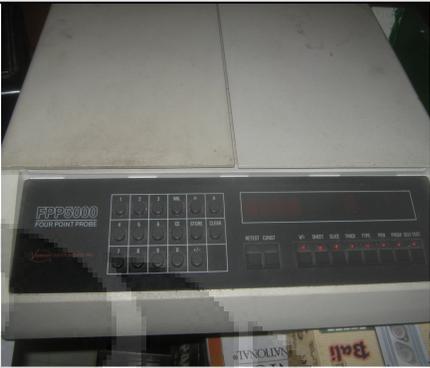
3.3.1. Peralatan

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

Tabel 3.2. Peralatan yang digunakan beserta gambar

Nama alat	Gambar
Timbangan digital	
Mesin disc mill	
Hot plate	

Nama Alat	Gambar
Mixer	
Rotary ball mill	
Mesin hot press	
Scanning electron microscopic	

Nama Alat	Gambar
Conductivity four point probe test machine	
Flexural testing machine (Universal Testing Machine)	

3.3.2. Bahan-bahan (spesifikasinya)

3.3.2.1. Epoxy resin

Polimer termoset yang digunakan sebagai matriks *binder* adalah epoxy resin dengan merek dagang Eposchon (Bhispenol A-epichlorohydrin). Tabel 3.3 berikut ini adalah spesifikasi dari epoxy resin yang digunakan dalam penelitian.

Tabel 3.3. Spesifikasi polimer epoxy resin Eposchon [30]

Sifat-Sifat	Satuan
Densitas	1,16 (gr/ml)
Viskositas	2250 (mPa.S)
Kekuatan tekuk	96 (MPa)
Modulus tekuk	3.0 (GPa)
Elongasi	4,4 %
Temperatur proses	130°C (Compression Molding)

3.3.2.2. Epoxy Hardener

Polimer epoxy memerlukan sebuah *coupling agent* sebagai stimulant terjadinya proses polimerisasi dengan baik pada suhu ruang. Oleh karena itu digunakan *epoxy hardener* dengan merek dagang Eposchon (Polyaminoamide). Tabel 3.4 berikut ini adalah spesifikasi dari *hardener* yang digunakan dalam penelitian

Tabel 3.4. Spesifikasi polimer epoxy *hardener* Eposchon [30]

Sifat-Sifat	Satuan
Densitas	1,16 (gr/ml)
Viskositas	2250 (mPa.S)
Kekuatan tekuk	75(MPa)
Modulus tekuk	3.0 (GPa)
Elongasi	4,4 %
Resistivitas	$2,8 \times 10^{16}$ cm

3.3.2.3. Methanol

Dalam penelitian ini menggunakan methanol teknis dengan merek dagang Brastaco. Penggunaan methanol berfungsi sebagai pengencer polimer epoxy pada saat pencampuran bahan-bahan pelat bipolar. Tabel 3.5 berikut menunjukkan sifat-sifat methanol yang dipakai pada penelitian ini.

Tabel 3.5. Spesifikasi Methanol Brastaco[31]

Molecular formula	CH ₃ OH
Molar mass	32.05 g/mol
Appearance	colorless liquid
Density	0.7918 g/cm ³
Melting point	-97 °C, -142.9 °F (176 K)
Boiling point	64.7 °C, 148.4 °F (337.8 K)
Solubility in water	miscible

3.3.2.4. Grafit Limbah *Electrode Arc Furnace*

Grafit limbah *Elektroda Arc Furnace* dengan konduktivitas 0.5 S/cm dan ukuran < 35 μ m. Tingkat kemurnian dan struktur kristal dari grafit *EAF* dapat dilihat pada pembahasan bab 4 bagian selanjutnya yang terlihat dari karakterisasi SEM,EDX dan pengujian XRD.

3.3.2.5. Grafit Sintetis Konduktif

Dalam penelitian ini menggunakan grafit aktif dengan merek dagang Merck. Tabel 3.6 berikut menunjukkan sifat-sifat grafit yang dipakai pada penelitian ini.

Tabel 3.6. Spesifikasi Grafit konduktif[32]

Formula	C
System:	Hexagonal
Lustre:	Sub-Metallic
Hardness (Vickers):	VHN ₁₀ =7 – 11 kg/mm ²
Modulus of Elasticity:	4.80 Gpa
Density (calculated):	2.26 g/cm ³
Molecular Weight:	12.011 g/mol
Specific Surface Area:	1.00 m ² /g
kemurnian	>99,5% C
Ukuran bubuk	50 μ m

3.3.2.6. Carbon Black

Pada penelitian ini carbon black yang dipakai dihasilkan dari karbon arang buatan tangan sendiri dengan struktur amorf yang berfungsi sebagai katalis grafit konduktif aktif.

3.4. PROSEDUR PENELITIAN

3.4.1. Preparasi dan fabrikasi sampel

3.4.1.1. *Crushing* dan *milling* grafit

Bongkahan diameter elektroda grafit yang berbentuk limbah dihancurkan, untuk menghasilkan ukuran partikel yang homogen dengan grafit sintetis pabrikan maka dilakukan milling dengan disc mill dan rotary mill yang akan menghasilkan ukuran $< 50 \mu\text{m}$. Dalam tahap ini, *carbon black* yang digunakan sebagai katalis untuk meningkatkan konduktivitas pelat bipolar, akan dihancurkan dan dihaluskan untuk menghasilkan butir yang lebih kecil & halus agar dapat memudahkan pada proses pencampuran dan meningkatkan sifat pelat bipolar itu sendiri. Dengan menggunakan bola penghancur dan toples (*jar*) berbahan dasar alumina, maka diharapkan akan terjadi penghancuran dan penghalusan butir-butir dari carbon black. Variabel *ball mill* yang digunakan adalah:

- Waktu milling: 2 x 24 jam
- Perbandingan antara jumlah total berat serbuk (carbon black) : berat bola alumina = (1 : 10)

Proses *milling* carbon black dan grafit Elektroda busur listrik ini dilakukan dalam kondisi kering dengan tujuan untuk menghaluskan *carbon black*.

3.4.1.2. Penimbangan

Bahan-bahan ditimbang untuk mendapatkan takaran sesuai formulasi pada tabel 3.1. Hasil penimbangan lalu ditaruh dalam beaker glass untuk proses selanjutnya.

3.4.1.3. Pencampuran

1. seluruh bahan karbon dimixing selama ± 5 menit
2. epoxy diencerkan dengan methanol lalu dimasukkan kedalam karbon, dimixing selama ± 5 menit.
3. hardener diencerkan dengan methanol, lalu dimasukkan ke adonan, dimixing selama ± 5 menit.
4. blending atau mixing diatas *Hot Plate* ($T = 100^{\circ} C$) selama ± 10 menit.

3.4.1.4. Pencetakan pelat (*Hot Press Molding*)

Dengan ukuran cetakan 15X10X0,4 cm, hasil mixing tersebut dituangkan. Lalu dengan mesin Hot Press dilakukan proses setting bahan epoxy selama 3 jam. Variabel Mesin Hot Press yang dipasang yaitu $P = 300 \text{ Kg/cm}^2$. Dengan suhu sebesar $70^{\circ} C$.

3.4.1.5. Pembuatan specimen uji

Pembuatan specimen uji disesuaikan dengan standar ASTM yang dipakai pada pengujian karakterisasi.

3.4.2. Pengujian karakterisasi material

3.4.2.1. Pengukuran rapat massa (densitas)

Pengukuran rapat massa dapat dilakukan dengan prinsip perbandingan massa material di udara dengan massa material di dalam air. Massa material di dalam air akan berbeda dengan massanya di udara akibat adanya gaya ke atas (gaya Archimedes).

Langkah-langkah pengukurannya adalah sebagai berikut:

- menimbang massa sampel di udara (M_u)
- menimbang massa sampel di dalam air (M_a) sampai berada dalam keadaan setimbang dan angka tidak berubah-ubah.

Dari hasil penimbangan tersebut, maka kerapatan massa sampel bisa diperoleh dari persamaan:

$$\text{sampel} = [M_u/M_a] * \text{air} \dots \dots \dots (3.1)$$

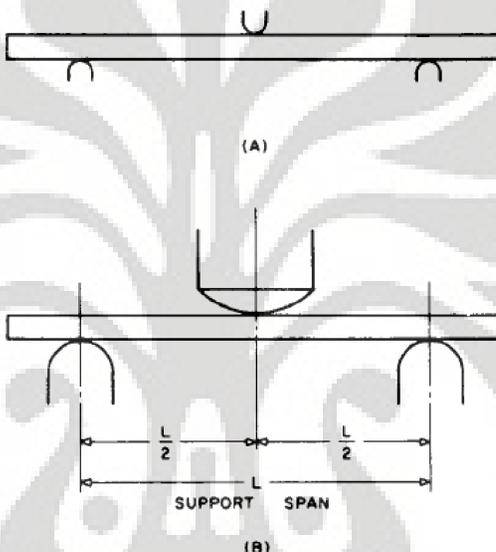
3.4.2.2. Pengukuran porositas

Pengujian porositas mengacu pada standar ASTM C20. Sampel ditimbang di udara luar dan hasilnya dicatat sebagai D. Lalu sampel direndam dalam air pada suhu 100°C selama 2 jam lalu didinginkan selama 12 jam dalam air. Sampel ditimbang dan dicatat sebagai S. Kemudian sampel dikeringkan dengan kain katun, ditimbang dan dicatat sebagai W. Nilai porositasnya dihitung dengan aturan sebagai berikut:

$$\text{Porositas (\%)} = [W-D/D-S] * 100 \dots \dots \dots (3.2)$$

3.4.2.3. Pengujian tekuk(*flexural*)

Pengujian tekuk 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.



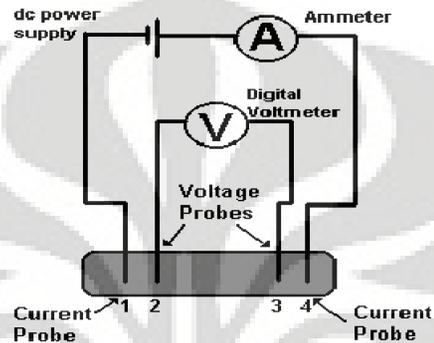
Gambar 3.3. Skema Uji *flexural*

Pengujian *bending* lebih tepat digunakan untuk menentukan kekuatan pelat bipolar daripada uji tarik, karena dalam aplikasi dalam *fuel cell* nanti, pelat bipolar lebih banyak menerima beban tekan dari gas kearah luar daripada menerima beban regang.

3.4.2.4. Pengujian konduktivitas listrik

Alat pengujian konduktivitas listrik ini menggunakan alat four point probe test. Alat ini menggunakan 4 titik yang terdiri dari titik 1 dan 4 sebagai titik pengukur arus yang dibaca di ammeter, sedangkan titik 2 dan 3 sebagai pengukur tegangan yang akan dibaca di voltmeter.

Skema dari alat ini dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 3.4. Skema Uji konduktivitas

Nilai resistivitas dari sampel dihitung dari persamaan terhadap (S) atau jarak antar probe yaitu:

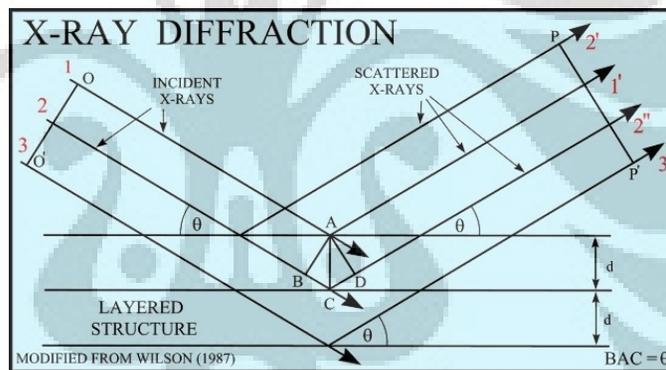
$$= 2\pi * S * (V/I) \dots \dots \dots (3.3)$$

3.4.2.5. Pengamatan Scanning Electron Microscopy (SEM)

Pengamatan morfologi pada permukaan sampel dilakukan dengan menggunakan SEM. Sampel terlebih dahulu dilapisi dengan emas (Au) agar bersifat konduktif sehingga dapat menghantarkan elektron. Detector yang digunakan pada SEM adalah secondary electron. Tujuan pengamatan adalah untuk mengetahui disperse bahan pengisi pada matriks, daya pembasahn matriks terhadap serat karbon, dan morfologi permukaan dan perpatahan sampel. Bagian sampel yang diamati adalah pada permukaan sampel dan perpatahan uji tekuk.

3.4.2.6. Difraksi Sinar X (XRD)

Cara umum yang digunakan untuk menentukan struktur kristal suatu padatan adalah dengan analisis difraksi sinar X (XRD). Prinsip alat XRD secara sederhana adalah sebagai berikut: jika seberkas sinar X dengan panjang gelombang λ , ditembakkan ke permukaan suatu kristal maka sinar tersebut akan dihamburkan atau didifraksikan ke segala arah. Tetapi ada berkas hamburan yang memiliki sudut hambur yang sama dengan sudut datangnya (komplemen θ). Berkas sinar seperti ini sangat penting dalam proses penentuan struktur Kristal. Atom-atom dalam Kristal membentuk lapisan-lapisan berjarak d , sehingga jika seberkas sinar itu ditangkap oleh layar maka gambar yang terbentuk merupakan cerminan lapisan atom yang ada dalam Kristal. Pola difraksi sinar-X dapat dilihat pada gambar dibawah.



Gambar 3.4. Pola Difraksi sinar-X

3.4.2.7. EDX

Energy Dispersive X-ray spectroscopy (EDS atau EDX) merupakan suatu metode yang digunakan untuk menentukan radiasi spektrum energi sinar-X. EDS atau EDAX umumnya digunakan dalam analisis kimia, serta umumnya EDS atau EDAX ini dijumpai sebagai pelengkap dari SEM (*Scanning electron microscopy*) sehingga alat SEM ini dapat digunakan untuk analisis elementar. Analisis menggunakan EDAX atau EDS dilakukan berdasarkan identifikasi dan pencacahan sinar-x karakteristik yang terjadi dari peristiwa efek fotolistrik. Efek fotolistrik terjadi karena elektron dalam atom target (sampel) terkena

sinar berenergi tinggi (radiasi gamma, sinar-x). Bila energi sinar tersebut lebih tinggi daripada energi ikat elektron dalam orbit K, L atau M atom target, maka elektron atom target akan keluar dari orbitnya.

Dengan demikian atom target akan mengalami kekosongan elektron. Kekosongan elektron ini akan diisi oleh elektron dari orbital yang lebih luar diikuti pelepasan energi yang berupa sinar-x. Sinar-x yang dihasilkan merupakan suatu gabungan spektrum berenergi tertentu (*discreet*) yang berasal dari bahan sasaran yang tertumbuk elektron. Jenis spektrum *discreet* yang terjadi tergantung pada perpindahan elektron yang terjadi dalam atom bahan. Spektrum ini dikenal sebagai spektrum sinar-x karakteristik. Analisis EDAX atau EDS dapat digunakan untuk analisis kualitatif dan kuantitatif. Analisis kualitatif memberikan informasi jenis unsur yang terkandung dalam bahan, sedangkan analisis kuantitatif memberikan informasi jumlah unsur yang terdapat dalam bahan tersebut.

Untuk tujuan analisis Sinar-X dapat dihasilkan dengan berbagai cara diantaranya:

1. Membombardir logam tujuan dengan menggunakan elektron berenergi tinggi.
2. Penembakan target dengan sumber sinar-X sehingga dapat mengeluarkan sinar-X berikutnya.
3. Menggunakan bahan radioaktif yang dapat merusak spesi target
4. Menggunakan sumber radiasi sinkrotron.

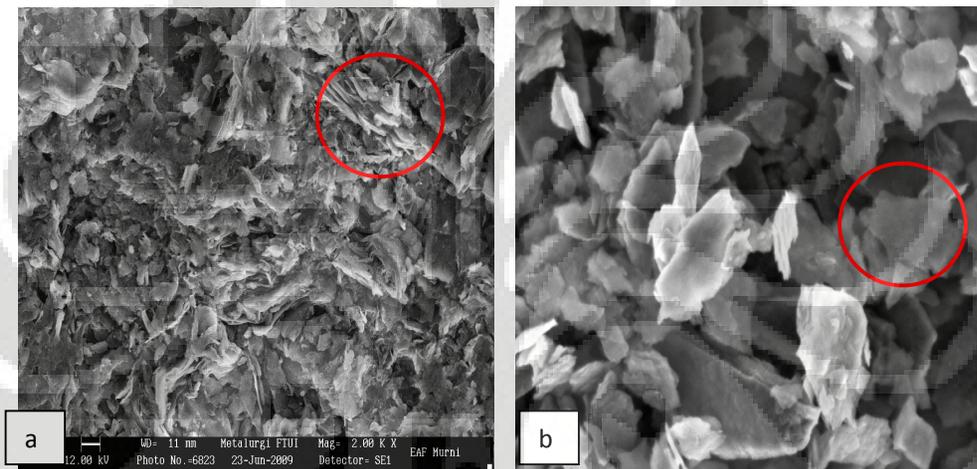
BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. PREPARASI SAMPEL

4.1.1. Karakterisasi Grafit *Electric Arc Furnace*

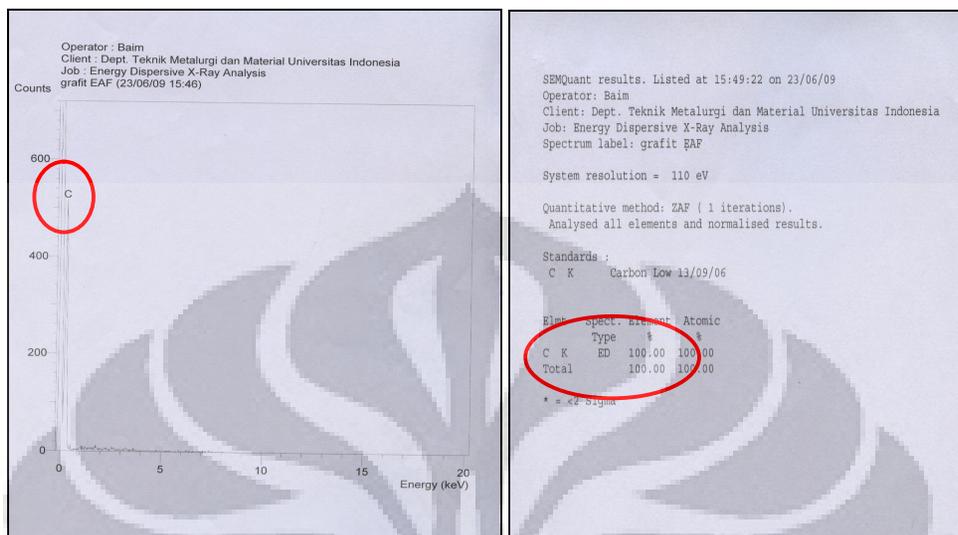
4.1.1.1. Hasil SEM



Gambar 4.1 (a) Hasil SEM grafit EAF $P=2000X$ (b) Gambar referensi hasil SEM partikel grafit [33]

Dari hasil pengujian SEM yang dilakukan terhadap sampel grafit limbah *electric arc furnace* diketahui bahwa dari bentuk dan warna material tersebut didominasi oleh unsur karbon grafit yang ditunjukkan oleh garis lingkaran berwarna merah. Sampel karbon grafit EAF juga terdapat rongga yang menyebabkan warna-warna gelap pada pengujian SEM diatas, hal itu dikarenakan sampel EAF diuji dalam bentuk pemotongan bukan hasil dari bubuk setelah proses *milling*. Dapat disimpulkan bahwa grafit EAF yang dipakai pada penelitian ini merupakan karbon grafit yang sesuai dengan yang diharapkan dari segi bentuk dan warna grafit karena bersesuaian dengan literatur referensi yang diperoleh pada Gambar 4.1.(b) diatas.

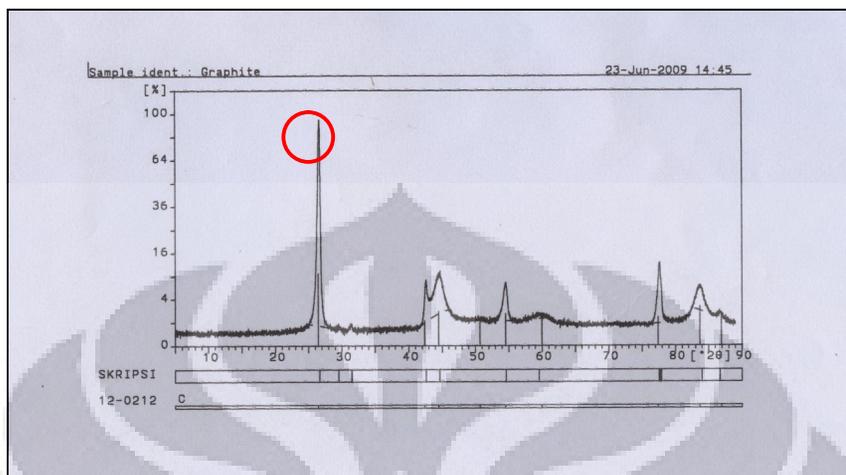
4.1.1.2. Hasil Uji EDX



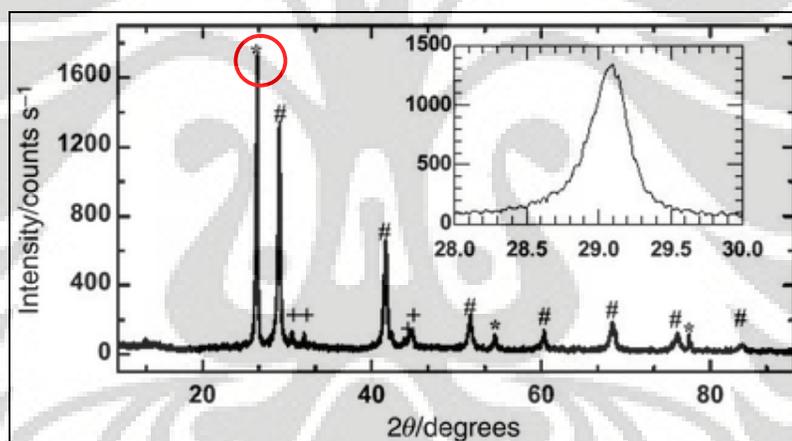
Gambar 4.2 Hasil Uji EDX grafit EAF beserta komposisi

Dari hasil pengujian EDX diatas disimpulkan bahwa grafit limbah *electric arc furnace* memiliki kemurnian yang tinggi dengan kandungan unsur karbon yang mencapai 99,8% bahkan sampai 100%. Hal tersebut dapat ditunjukkan pada Gambar 4.2 diatas melalui puncak *peak* spektra uji EDX yang ditandai oleh garis lingkaran berwarna merah, yang menunjukkan adanya unsur karbon pada titik tersebut. Tingkat kemurnian dari grafit EAF tersebut akan berdampak pada sifat dan karakteristik dari material komposit pelat bipolar yang akan dibuat pada penelitian ini. Tingkat kemurnian grafit yang tinggi tersebut dapat merepresentasikan adanya pengaruh variabel penggunaan grafit EAF tanpa adanya unsur-unsur lain sehingga analisa dari penelitian yang penulis lakukan sesuai dengan lingkup penelitian ini. Apabila tingkat kemurnian dari grafit limbah EAF ini rendah, dikhawatirkan terjadi pengaruh-pengaruh karakterisasi dari unsur maupun senyawa lain yang tidak termasuk karbon grafit pada karakterisasi dan performa pelat bipolar komposit yang dihasilkan pada penelitian ini.

4.1.1.3. Hasil Uji XRD



Gambar 4.3. Hasil Uji XRD grafit limbah *electric arc furnace*



Gambar 4.4. Hasil Uji XRD grafit pada literatur [34]

Tujuan dari dilakukannya pengujian XRD yaitu untuk meyakinkan bahwa grafit EAF yang dipakai pada penelitian ini merupakan karbon yang mempunyai struktur kristal. Dari Gambar 4.3. dapat dilihat bahwa *peak* puncak tertinggi dari sumbu axial 2 memotong pada $26,62^{\circ}$ dengan indikasi terdapat unsur karbon grafit. Hal tersebut berkesesuaian dengan hasil XRD Gambar 4.4 pada literatur. Dari pengujian ini juga dapat disimpulkan bahwa grafit EAF merupakan material karbon kristalin bukan merupakan karbon amorf yang mempunyai karakteristik yang berlainan.

4.1.2. *Mixing*

Hasil pencampuran bahan-bahan komposit berbentuk gumpalan-gumpalan yang dihasilkan dari penggumpalan antara karbon dengan epoxy saat pengadukan diatas *hot plate*. Hasil *mixing* dari percobaan ini dapat dilihat pada Gambar 4.5. Hasil *mixing* yang berbentuk gumpalan diusahakan tidak terlalu kering dan tidak terlalu basah yang mengakibatkan proses *setting* dari epoxy tersebut tidak akan maksimal pada saat di *Hot Press*. Proses pembasahan dari epoxy harus diperhatikan agar tingkat *wettability* pada komposit ini maksimal.

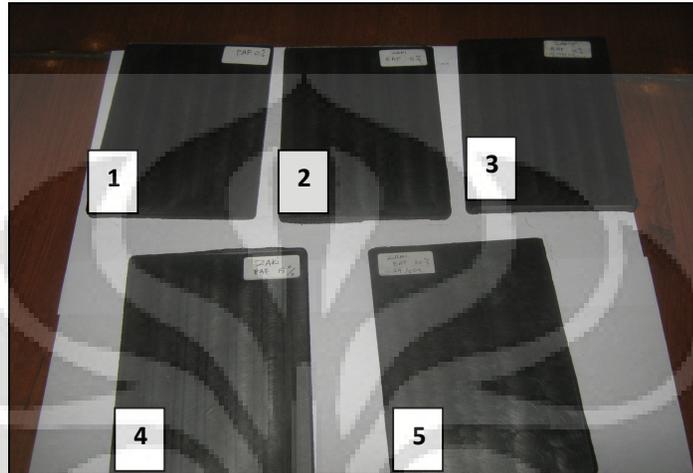


Gambar 4.5. Hasil *Mixing*

4.1.3. Pencetakan (*Hot Press*)

Masing-masing formulasi komposit dicetak dalam pelat yang berukuran 15x10x0,4 cm pada mesin *Hot Press*. Pelat hasil *hot press* terlihat sempurna. Secara visual permukaan pelat komposit secara keseluruhan dapat dikatakan baik.

Hal tersebut dikarenakan proses *setting* dari epoxy itu sendiri dapat berjalan secara optimum. Gambar 4.6. menunjukkan hasil pencetakan pelat bipolar pada penelitian ini.



Gambar 4.6. Hasil Pencetakan

4.1.4. Pembuatan Spesimen Uji

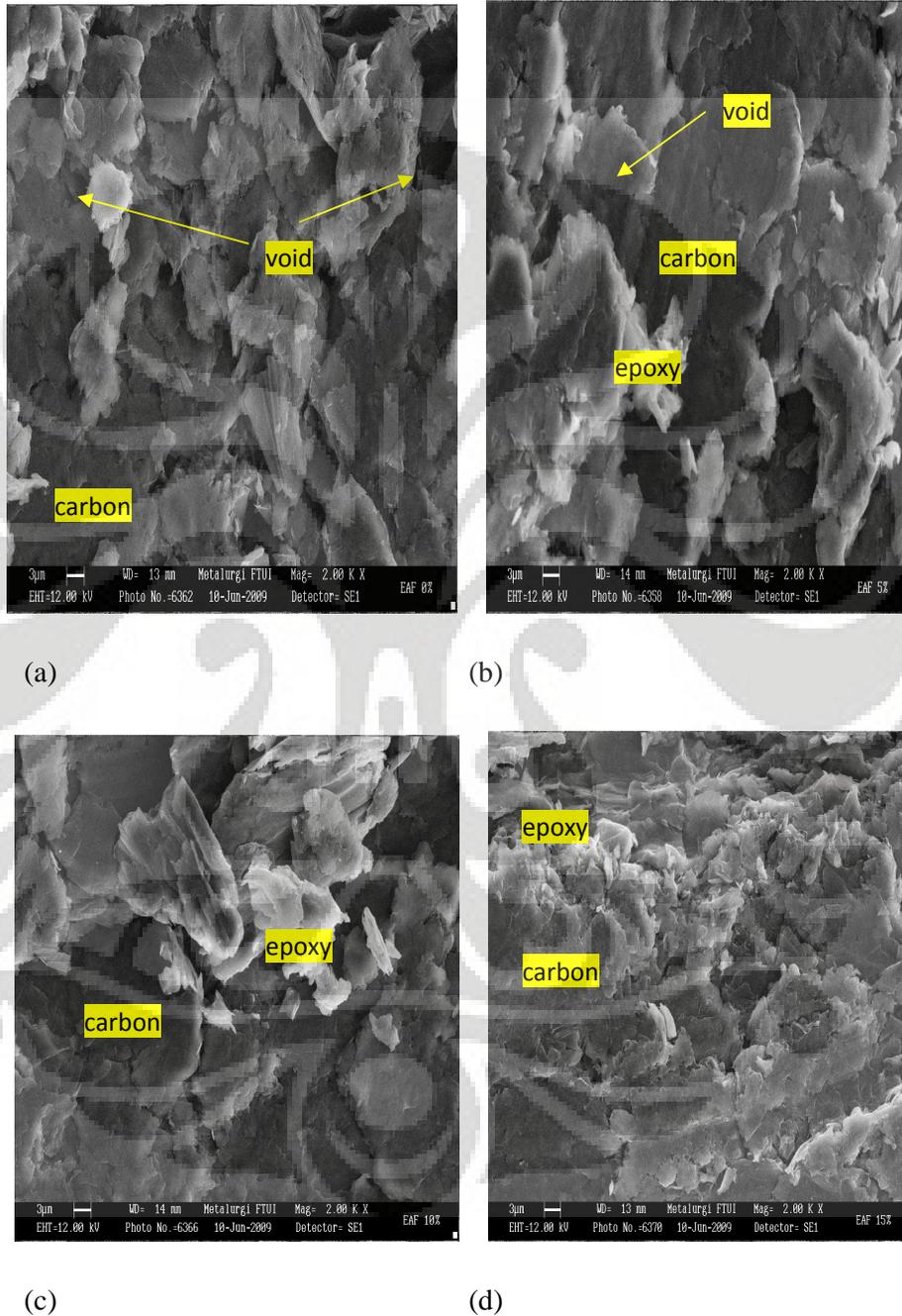
Hasil pembuatan spesimen uji untuk pengukuran sifat mekanis, porositas maupun konduktivitas listrik mengacu pada standar ASTM yang telah disebutkan pada bab 3. Gambar 4.7. merupakan gambar hasil pembuatan spesimen uji yang dilakukan pada penelitian ini.



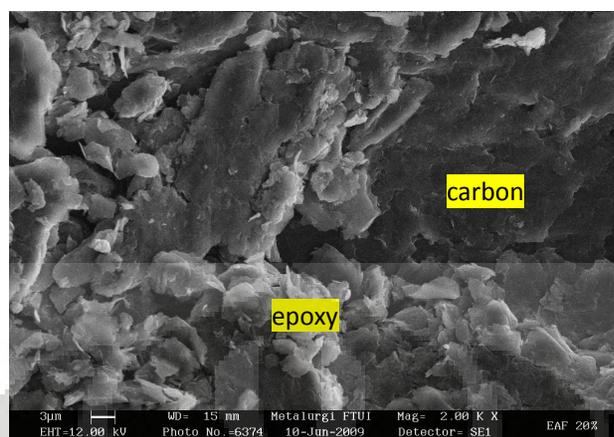
Gambar 4.7. Spesimen Uji

4.2. Pengujian karakterisasi

4.2.1. Pengamatan SEM perbesaran 2000X



Gambar 4.8. Hasil SEM perbesaran 100X (a)0% wt EAF (b) 5% wt EAF (c) 10% wt EAF (d)15% wt EAF



Gambar 4.9. Hasil SEM $P=2000X$ 20% wt EAF

Dari hasil SEM micrograph diatas dapat dilihat perbandingan antara pemakaian bubuk grafit EAF sisa sebagai bahan pelat bipolar. Hasil SEM dapat menganalisa penyebab karakteristik sifat mekanis,porositas maupun konduktivitas. Dari hasil penelitian diatas dapat dilihat bahwa pemakaian bubuk grafit sisa EAF akan memberikan dampak yang baik terhadap penurunan nilai porositas,hal itu dikarenakan penyebaran atau dan pembasahan ukuran bubuk yang sangat kecil berlangsung secara sempurna saat pengadukan maupun proses hot press. Dari hasil SEM diatas dapat dilihat bahwa formulasi EAF (0%wt) mempunyai lebih banyak void-void dibandingkan dengan formulasi yang lainnya. Daya pembasahan dan penyebaran bubuk EAF tadi juga meningkatkan sifat mekanis dalam hal ini yaitu sifat *flexural*nya. Pemakaian EAF yang mempunyai nilai konduktivitas yang rendah (0,5 S/cm) pada masing-masing formulasi akan menyebabkan nilai konduktivitas listrik dari pelat bipolar semakin kecil . Pembasahan dan penyebaran bubuk grafit EAF yang sempurna akan menyebabkan secara keseluruhan pelat bipolar terisi oleh bubuk grafit EAF yang nilai konduktivitas listriknya rendah.

Diantara penyebab terjadinya rongga-rongga dalam spesimen komposit disebabkan oleh beberapa faktor,diantaranya yaitu tingginya viskositas campuran sehingga kemampuan alirnya rendah dan ketika dicetak kepadatannya tidak merata, granula komposit menyerap moistur karena bersifat higroskopis. Moistur yang terperangkap ketika sampel dicetak membentuk gelembung-gelembung

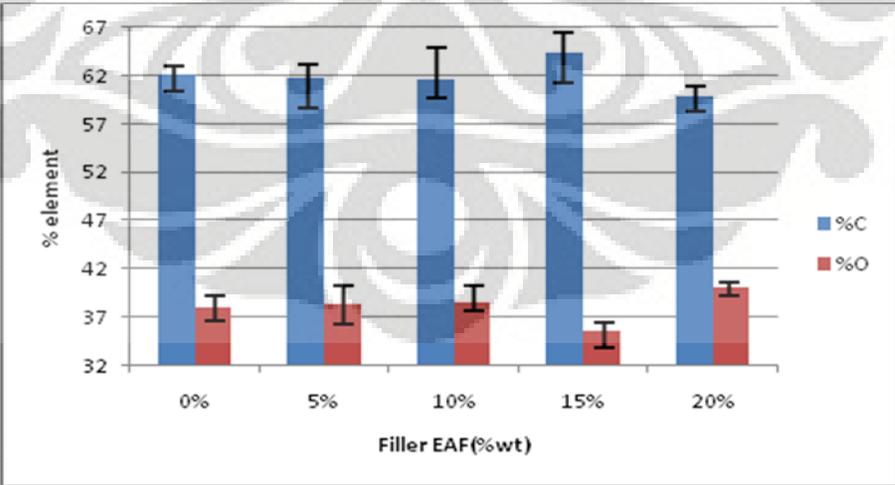
udara. Gelembung-gelembung inilah yang menjadi awal terbentuknya rongga-rongga mikro yang akan menyebabkan dampak negatif pada sifat mekanik,porositas dan konduktivitas listrik komposit pelat bipolar.

4.2.2. Pengujian EDX

Pada pengamatan Energy Dispersive X-Ray Analysis terlihat bahwa % komposisi dari unsur O cenderung sama dan tidak terjadi perbedaan yang signifikan. Data tersebut dapat dilihat pada lampiran hasil uji EDX. Kecenderungan ini dikarenakan sifat higroskopis dari penggumpalan hasil pencampuran maupun saat dicetak pada *hot press* yang sangat besar.

Tabel 4.1. Hasil uji EDX

sampel	% C	% O
1	62.02	37.98
2	61.72	38.27
3	61.51	38.48
4	64.37	35.62
5	59.85	40.14



Gambar 4.10. Hasil Uji EDX

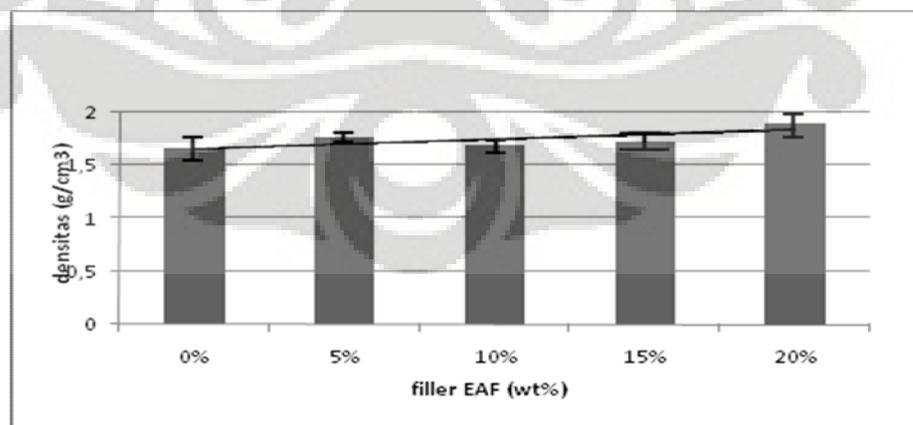
Adanya unsur O yang terdeteksi dihasilkan dari komponen O yang terdapat pada *binder* epoxy resin maupun adanya efek higroskopis yang dijelaskan diatas. Dari gambar 4.3 dapat dilihat bahwa % C cenderung sama dan tidak terjadi perbedaan yang signifikan. Hal ini sesuai dengan metode pembuatan dengan komposisi 8:2 antara karbon:epoxy. Nilai % O terjadi peningkatan disebabkan oleh matriks binder epoxy yang disebutkan diatas.

4.2.3. Pengukuran rapat massa (Densitas)

Pembuatan pelat bipolar grafit komposit yang ringan adalah salah satu persyaratan sistem *Fuel Cell*. Rapat massa pelat bipolar grafit komposit harus lebih kecil dari rapat massa grafit murni sesuai dengan prinsip komposit. Tabel 4.2 menunjukkan hasil pengukuran rapat massa komposit berdasarkan persamaan 3.1, sedangkan pengolahan data secara keseluruhan dapat dilihat pada lampiran 1.

Tabel 4.2. Hasil Uji Densitas

sampel	ρ
1	1.66
2	1.76
3	1.70
4	1.72
5	1.90



Gambar 4.11. Hasil Uji Densitas

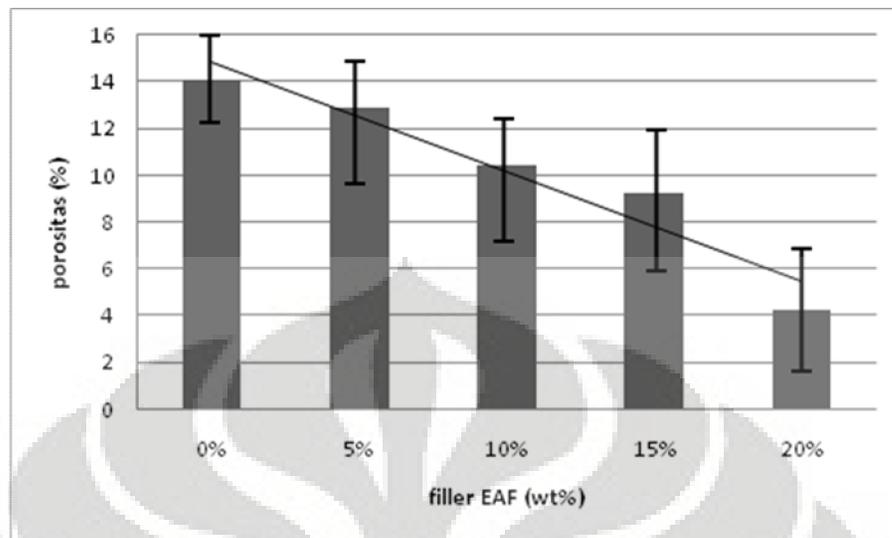
Rapat massa dari grafit murni yaitu pada kisaran $1,88 \text{ gr/cm}^3$. Dari penelitian ini dapat dilihat bahwa perbandingan massa 20% wt epoxy: 80% wt carbon akan menghasilkan densitas yang tidak jauh berbeda dengan densitas dari grafit itu sendiri. Perbedaan hasil nilai kerapatan massa setiap formulasi tergantung pada jenis dan konsentrasi dari bahan pengisi komposit tersebut. Pada Gambar 4.11 terlihat kecenderungan nilai kerapatan massa akan meningkat saat pengisi % grafit EAF semakin meningkat, hal ini dikarenakan ukuran partikel grafit EAF $< 35 \mu\text{m}$ yang akan menyebabkan tingkat dispersi atau penyebaran partikel grafit tersebut semakin bagus. Semakin kecil ukuran partikel maka densitas dari material akan semakin meningkat.

4.2.4. Pengukuran porositas

Porositas merupakan parameter yang menentukan pada kualitas performa bipolar plate pada *Fuel Cell* sistem. Secara umum tingkat porositas akan berbanding terbalik dengan rapat massa dari material. Bipolar plate diharapkan mempunyai porositas yang kecil terhadap H_2 .

Tabel 4.3. Data Uji Porositas

sampel	% porosity
1	14.12
2	12.89
3	10.41
4	9.22
5	4.21



Gambar 4.12. Hasil Uji Porositas

Pada Tabel 4.3. nilai porositas pelat bipolar yang minimal terletak pada komposisi grafit powder limbah EAF 20% wt. Nilai porositas akan menurun seiring penambahan bubuk grafit sisa EAF yang berukuran $<35\mu\text{m}$. Porositas dapat terjadi karena proses penguapan methanol. Dikarenakan, penguapan methanol menyebabkan rongga-rongga. Diantara penyebab terjadinya rongga-rongga dalam spesimen komposit disebabkan oleh beberapa faktor, diantaranya yaitu tingginya viskositas campuran sehingga kemampuan alirnya rendah dan ketika dicetak kepadatannya tidak merata, granula komposit menyerap moisture karena bersifat higroskopis. Moisture yang terperangkap ketika sampel dicetak membentuk gelembung-gelembung udara. Nilai porositas akan semakin kecil pada penambahan bubuk EAF dengan ukuran partikel $<35\ \mu\text{m}$ dikarenakan dispersi atau penyebaran maupun pembasahan oleh monomer epoxy semakin bagus.

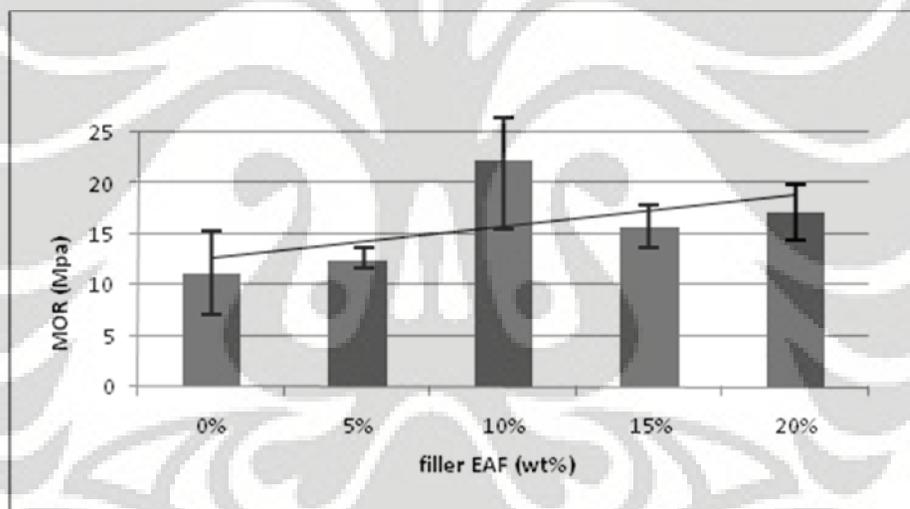
Dengan tingkat porositas yang kecil akan meningkatkan efisiensi performa bipolar pelat pada *fuel cell* sistem. Sehingga diharapkan dapat memenuhi kriteria-kriteria yang dipersyaratkan pada pemakaian fuel cell sebagai energi alternatif di masa depan.

4.2.5. Pengujian *flexural*

Data hasil pengujian tekuk untuk seluruh sampel disajikan dalam Tabel 4.4. dan digambarkan dalam bentuk grafik pada Gambar 4.13.

Tabel 4.4. Data hasil uji *flexural*

sampel	flexural stress (MPa)
1	11.04
2	12.44
3	22.28
4	15.70
5	17.11



Gambar 4.13. Hasil Uji *Flexural*

Dari Gambar 4.13. menunjukkan nilai kekuatan tekuk setiap formulasi komposit (0%,5%,10%,15%,20%) bubuk grafit EAF. Formulasi komposit dengan kandungan EAF 10% memiliki nilai kekuatan tertinggi sebesar 22,28 MPa, sedangkan formula komposit EAF 0% memiliki nilai kekuatan tekuk terendah sebesar 11,04078 MPa. Dari grafik terlihat kecenderungan nilai kekuatan tekuk yang fluktuatif. Tetapi dari hasil grafik diatas juga dapat terlihat bahwa nilai kekuatan tekuk akan semakin meningkat pada saat penggunaan bubuk grafit EAF

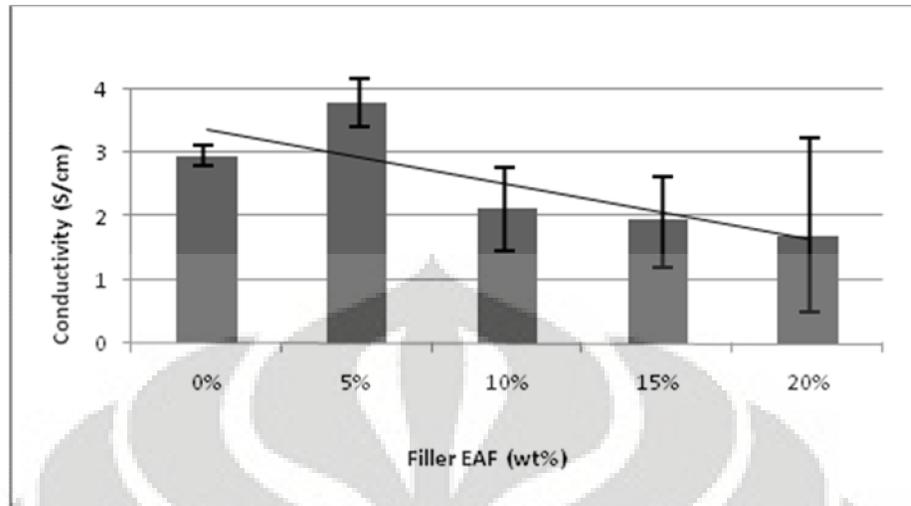
pada bipolar komposit. Pada EAF 10% terjadi hal yang berbeda dikarenakan tingkat pembasahan epoxy terhadap grafit sempurna sehingga akan menyebabkan polimerisasi terhadap grafit yang menyebabkan nilai kekuatan tekuk akan semakin besar. Hal itu kemungkinan besar pada saat pencetakan material sangat padat dan proses *setting* dari epoxy sendiri. Peningkatan nilai kekuatan tekuk secara keseluruhan diakibatkan penyebaran yang bagus dan mengalami pembasahan yang sempurna dari komposit dikarenakan memakai bahan bubuk grafit EAF yang pada proses preparasinya memiliki ukuran $<35\mu\text{m}$.

4.2.6. Pengujian konduktivitas listrik

Secara umum pelat bipolar memiliki peranan besar pada sistem fuel cell. Fungsi utama dari pelat bipolar yaitu untuk mengumpulkan dan mengalirkan arus antara dua kutub. Oleh karena itu material pelat bipolar harus memiliki sifat konduktivitas listrik yang bagus. Tabel 4.4 dan Gambar 4.15 menunjukkan data dan grafik hasil pengujian konduktivitas listrik yang didapatkan dari perhitungan resistivitas dengan alat *four point probe test*.

Tabel 4.5. Data hasil uji konduktivitas

sampel	S (S/cm)
1	2.95
2	3.79
3	2.14
4	1.96
5	1.69



Gambar 4.14. Hasil Uji Konduktivitas

Dari Gambar 4.14. di atas terlihat data yang diperoleh fluktuatif. Formulasi komposit EAF 5% memiliki nilai konduktivitas yang lebih besar dibandingkan dengan yang lain yaitu sebesar 3,79 S/Cm. Secara keseluruhan pada penelitian ini dihasilkan nilai konduktivitas berkisar antara 2-4 S/Cm. Dapat diperbandingkan antara komposisi 0% EAF dengan keempat lainnya, nilai konduktivitasnya tidak jauh berbeda.. Dengan menggunakan bubuk grafit sisa EAF ukuran partikel <math><35\mu\text{m}</math> akan menyebabkan nilai konduktivitas yang dihasilkan akan semakin menurun. Hal tersebut menyebabkan penurunan nilai konduktivitas pelat bipolar disebabkan konduktivitas EAF yang rendah (0,5 S/cm). Dari hasil pengujian dapat dilihat bahwa penambahan 5 %wt EAF sebagai komposisi yang optimum pada performa pelat bipolar untuk menghasilkan konduktivitas listriknya. Grafit limbah EAF hanya berfungsi sebagai katalis grafit konduktif pada pelat bipolar dan tidak sesuai dengan nilai konduktivitas awalnya yang tinggi.

BAB 5

KESIMPULAN

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

1. Pelat bipolar grafit komposit dengan menggunakan 20% *wt* elektroda tungku busur listrik memiliki nilai rapat massa tertinggi sebesar 1,901 gr/cm³. Nilai rapat massa tersebut masih dalam rentang yang diharapkan pada penggunaan pelat bipolar pada sistem *fuel cell*.
2. Pelat bipolar grafit komposit dengan menggunakan 20% *wt* elektroda tungku busur listrik memiliki nilai porositas terkecil sebesar 4,205 %.
3. Komposit pelat bipolar grafit dengan komposisi 10% *wt* elektroda tungku busur listrik memiliki nilai kekuatan tekuk tertinggi sebesar 22,28 MPa.
4. Komposit pelat bipolar grafit dengan komposisi 5% *wt* elektroda tungku busur listrik memiliki nilai konduktivitas tertinggi sebesar 3,79 S/cm.
5. Performa pelat bipolar secara sifat mekanis optimum pada % *wt* EAF yang tertinggi, tetapi hal tersebut disebabkan ketidakhomogenan ukuran grafit saat preparasi. Nilai konduktivitas optimum pada 5% *wt* EAF sebagai komposisi pelat bipolar dikarenakan hanya berfungsi sebagai katalis grafit konduktif aktif pabrikan.
6. Hasil pengamatan SEM pada permukaan patahan menunjukkan adanya *void-void* yang banyak dikarenakan daya pembasahan (*wettability*) yang tidak sempurna dan ikatan adhesi antarmuka yang kurang kuat. Semakin dengan penambahan % elektroda tungku busur listrik maka *void-void* tersebut semakin berkurang.
7. Hasil pengujian EDX menunjukkan unsur yang terkandung pada komposit pelat bipolar grafit yaitu karbon dengan oksigen. Oksigen berasal dari monomer penyusun epoxy sebagai *binder* pada material pelat bipolar.

DAFTAR REFERENSI

1. Kamaruzzaman Sopian , Wan Ramli Wan Daud . (2005). **Challenges and future developments in proton exchange membrane fuel cells.** *Renewable Energy* 1–9.
2. J. Larminie, A. Dicks.(2000). *Fuel Cell Systems Explained*. New York. John Wiley & Sons.
3. Hermann, A, Chaudhuri,T, Sagnol, P. (2005). **Bipolar plates for PEM fuel cells: A review.** *International Journal of Hydrogen Energy*. 1297 – 1302
4. Tsuchiya H, Kobayashi O. (2005). *International Journal Hydrogen Energy* . 29:985–90.
5. Barbir F, and Gomez ,T. (1997). **Efficiency and economics of PEM fuel cell.** *Int Journal Hydrogen Energy* ;22(10/11):1027–37.
6. Kakati Biraj, K, and Deka Dhanapati.(2007). **Effect of Resin Matrix Precursor on the Properties of Graphite Composite Bipolar Plate for PEM Fuel Cell.** *Energy & Fuel* 21, 1681-1687
7. Kamarudin SK, Daud WRW, Som AMd, Takriff MS, Mohammad AW. (2006). **Technical design and economic evaluation of a PEM fuel cell system.** *Power Sources* ;157:641–9
8. S.I. Heo, J.C. Yun, C.K. Jung, K.S. Han. (2004). **Fabrication and characterization of graphite reinforced conductive polymer composites,** in: *Proceeding of the KSCM Spring Annual Meeting*. pp. 147–150.
9. J.H. Hirschenhofer, D.B. Stauffer, R.R. Engleman, and M.G. Klett, (1998). *Fuel Cell Handbook Fourth Edition*, Parsons Corporation.
10. Gupta R.B. (2009) *.HYDROGEN FUEL: Production, Transport and Storage*, CRC Press, Florida.

11. Sopian K, Shamsuddin AH, Nejat Veziroglu T. (1995). *Solar hydrogen energy option for Malaysia Proceeding of the international conference on advances in strategic technology*, June 209–20.
12. Chris Rayment Scott Sherwi, (2003). *Introduction to Fuel Cell Technology*, Department of Aerospace and Mechanical Engineering University of Notre Dame Notre Dame, IN 46556, U.S.A.
13. Moreira J, Ocampo AL, Sebastián PJ, Smit MA, Salazar MD, del Angel P, Montoya JA, Perez R, Martinez L. (2003). *International Journal Hydrogen Energy* .28:625–7.
14. Tsuchiya H, Kobayashi O. (2005). *International Journal Hydrogen Energy* . 29:985–90.
15. J.K.Kim dan Y.W.Mai, Engineered Interfaces in Fiber Reinforced Composites(Elsevier Science Ltd,1998,hlm1,5-8
16. Onischak, M., Marianowski, L.G., Fan, Q., Chervinko, J. (1999). **Development of a \$10/kW bipolar separator plate.** *In: Joint. DOE/EPRI/ERI Review Conference on Fuel Cell Technology, Chicago, IL, August 3–5.*
17. V. Mehta dan J.S. Cooper. (2003). *Review and analysis of PEM Fuel Cell design and manufacturing.* hal.114,32-53
18. Xianguo Li, Imran Sabir. (2005). **Review of bipolar plates in PEMfuel cells: Flow-field designs.** *International Journal of Hydrogen Energy* 30; 359 – 371
19. Makkus RC, Janssen AHH, de Bruijn FA, Mallant RKAM. (2000). *Fuel Cell Bull.* 3:5.
20. R.B. Mathur, S.R. Dhakate, D.K. Gupta, T.L. Dhami, R.K. Aggarwal. (2008). **Effect of different carbon fillers on the properties of graphite composite bipolar plate.** *journal of materials processing technology* 2 0 3 .184–192
21. BDG Graphite and Carbon Fibers. *Buckyballs, Diamond, and Graphite.* <http://www.chem.wisc.edu/~newtrad/CurrRef/BDGTopic/BDGtext/BDGGraph.html>. (5 Desember 2008)
22. www.graphite.de/pdf/infoblatt-brennstoff-engl.pdf (18 Mei 2009 13.47 WIB)

23. Harper.A. Charles. (2000). *modern plastics handbook2000*.Mc Graw-Hill published company.hlm 2.62.USA
24. Mattews and Rawlings.(2005) .*Composite Material: Engineering and Science*. New York
25. S.R. Dhakate, S. Sharmaa, M. Borah, R.B. Mathur, T.L. Dhami, (2008) **Expanded graphite-based electrically conductive composites as bipolar plate for PEM fuel cell**. *international journal of hydrogen energy*. 33 .7146 – 7152
26. D.F. Caulfield et al., *Wood Thermoplastic Composites Handbook of Wood Chemistry and Wood Composite*, Chap 13 (Taylor and Francis,2005), hlm 4-5
27. D.Hull dan T.W Clyne, (1996). *An Introduction to Composite Material 2nd Edition* (Cambridge: Cambridge University Press,1996),hlm.134-135,154.
28. Xianguo Li, Imran Sabir. (2005). **Review of bipolar plates in PEMfuel cells: Flow-field designs**. *International Journal of Hydrogen Energy* 30; 359 – 371
29. Gregor Hoogers. 2003. *Fuel Cell Technology Handbook*. CRC Press. Washington D.C.
30. <http://www.dow.com/productsafety/finder/bisphenol.htm> Mei 2009 13.47 WIB)
31. http://www.chemicalbook.com/ProductChemicalPropertiesCB9369364_EN.htm (18 Mei 2009 14.50 WIB)
32. http://www.graftech.com/getdoc/46c98ecf-cc4b-4345-aefd-8c913367d299/gti_download.aspx (5 Juni 2009 11.00 WIB)
33. www.chem.ox.ac.uk/icl/faagroup/particleSEM.html (23Mei 2009 12.30 WIB)
34. http://www.foundrymag.com/Content/Site018/Articles/10_01_2006/grphtelectrdbyp_00000024848.gif (6 Juli 2009 12.00 WIB)

LAMPIRAN 1 Hasil Pengujian Rapat Massa

sampel	udara 1	air1	udara 2	air2	udara 3	air3	udara4	air4	udara5	air5
0%	1.543	1.0235	1.6836	0.96	1.8513	0.97	1.324	0.998	1.647	1.0024
5%	1.964	1.0995	2	1.113	1.7724	1.0775	1.897	1.0607	1.965	1.0997
10%	1.4457	0.8315	1.572	0.9425	1.0591	0.6175	1.0591	0.6654	1.78	0.996
15%	1.67	0.9035	1.59	0.9995	1.6183	0.941	1.76	0.951	1.632	0.949
20%	1.947	0.998	1.7942	1.1065	1.9476	1.08	1.983	0.899	1.986	1.03

sampel	0%	5%	10%	15%	20%
ρ_1	1.507572	1.786266485	1.738665	1.848367	1.950902
ρ_2	1.75375	1.796945193	1.667905	1.590795	1.621509
ρ_3	1.908557	1.644918794	1.715142	1.61911	1.803333
ρ_4	1.326653	1.788441595	1.591674	1.850683	2.205784
ρ_5	1.788442	1.786850959	1.787149	1.719705	1.928155
Σ	8.284974	8.803423026	8.500534	8.628661	9.509684
μ	1.656995	1.760684605	1.700107	1.725732	1.901937

LAMPIRAN 2 Hasil Pengukuran Porositas

sampel	0%	5%	10%	15%	20%
D1	1.543	1.964	1.4457	1.67	1.9478
D2	1.6836	2	1.572	1.59	1.7942
D3	1.8513	1.7724	1.0591	1.6183	1.9476
D4	1.324	1.897	1.0591	1.76	1.983
D5	1.647	1.965	1.78	1.632	1.986

sampel	0%	5%	10%	15%	20%
S1	1.0235	1.0995	0.8315	0.9035	0.998
S2	0.96	1.113	0.9425	0.9995	1.1065
S3	0.97	1.0775	0.6175	0.941	1.08
S4	0.998	1.0607	0.6654	0.951	0.899
S5	1.0024	1.0997	0.996	0.949	1.03

sampel	0%	5%	10%	15%	20%
W1	1.6	2.0955	1.50424	1.742	1.9822
W2	1.7524	2.086	1.6234	1.6712	1.8053
W3	1.932	1.8037	1.184	1.6195	2.002
W4	1.3989	1.997	1.067	1.834	2.0792
W5	1.763	2.165	1.812	1.725	1.9922

LAMPIRAN 3 Hasil Pengujian *Flexural*

sampel1	0%	5%	10%	15%	20%
l	52	52	52	52	52
b	14	12	12	13	12.5
h	4.8	3.8	4	4	4
pound	6	8	10	9	8
load	26.7272	35.636	44.54545	40.09	35.63636
MOR	6.463051	16.04114	18.09659	15.03375	13.89818

sampel4	0%	5%	10%	15%	20%
l	52	52	52	52	52
b	13	11.5	12.2	13	12
h	3.7	4	3	4	4
pound	6	8	8	10	10
load	26.7272	35.6366	35.63636	44.54545	44.54545
MOR	11.71389	15.10682	25.31545	16.70454	18.09659

sampel2	0%	5%	10%	15%	20%
l	52	52	52	52	52
b	13.8	12.7	12.5	13	12.5
h	3.6	4	4	4	4
pound	7	8.5	10	8	10
load	31.1818	37.8636	44.54545	35.63636	44.54545
MOR	13.59915	14.53426	17.37273	13.36364	17.37273

sampel5	0%	5%	10%	15%	20%
l	52	52	52	52	52
b	13	11.5	12.2	13	12
h	3.7	4	3	4	4
pound	6	8	8	10	10
load	26.7272	35.6366	35.63636	44.54545	44.54545
MOR	11.71389	15.10682	25.31545	16.70454	18.09659

sampel3	0%	5%	10%	15%	20%
l	52	52	52	52	52
b	13	11.5	12.2	13	12
h	3.7	4	3	4	4
pound	6	8	8	10	10
load	26.7272	35.6366	35.63636	44.54545	44.54545
MOR	11.71389	15.10682	25.31545	16.70454	18.09659

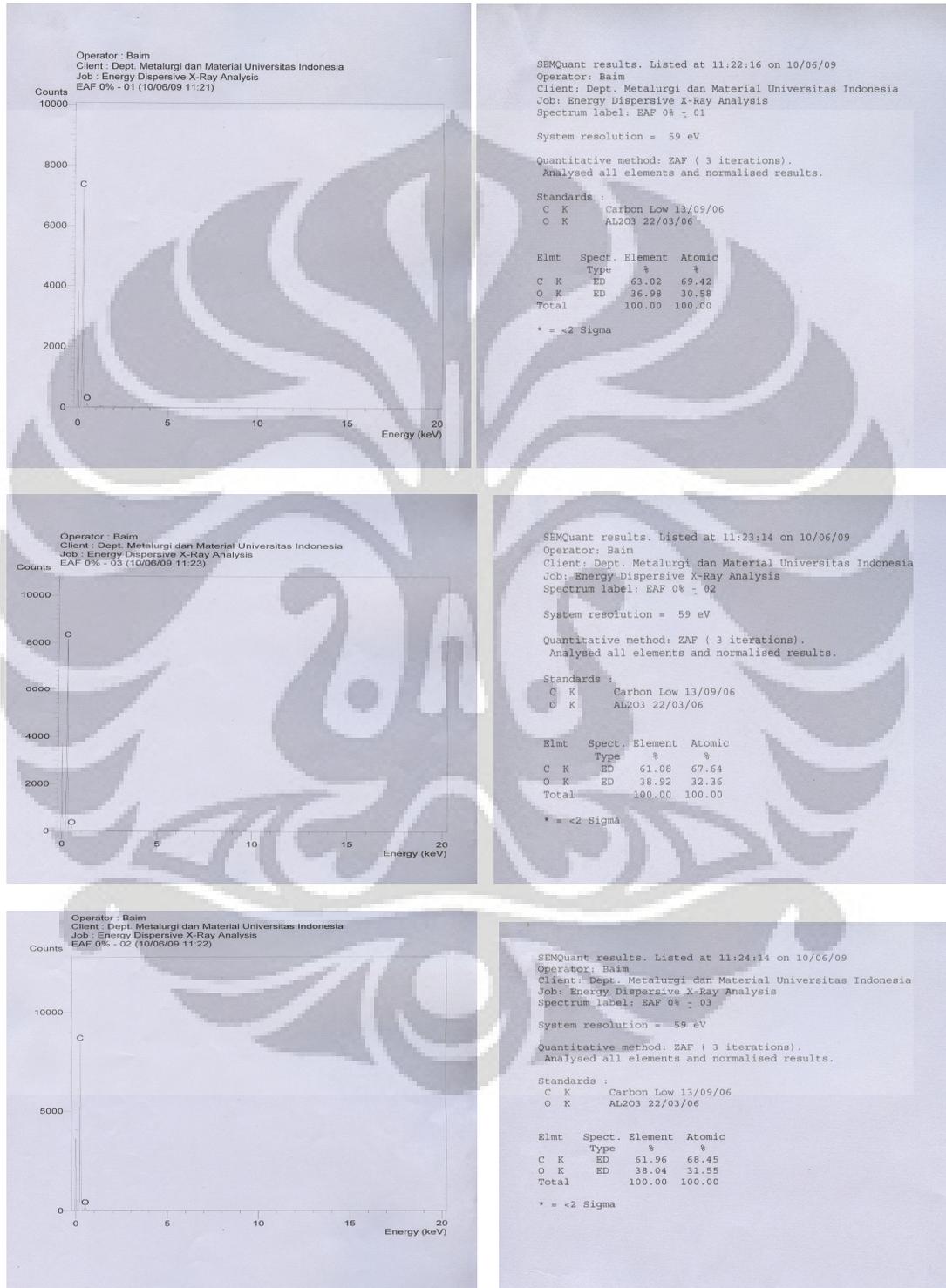
LAMPIRAN 4 Hasil Pengujian Konduktivitas Listrik

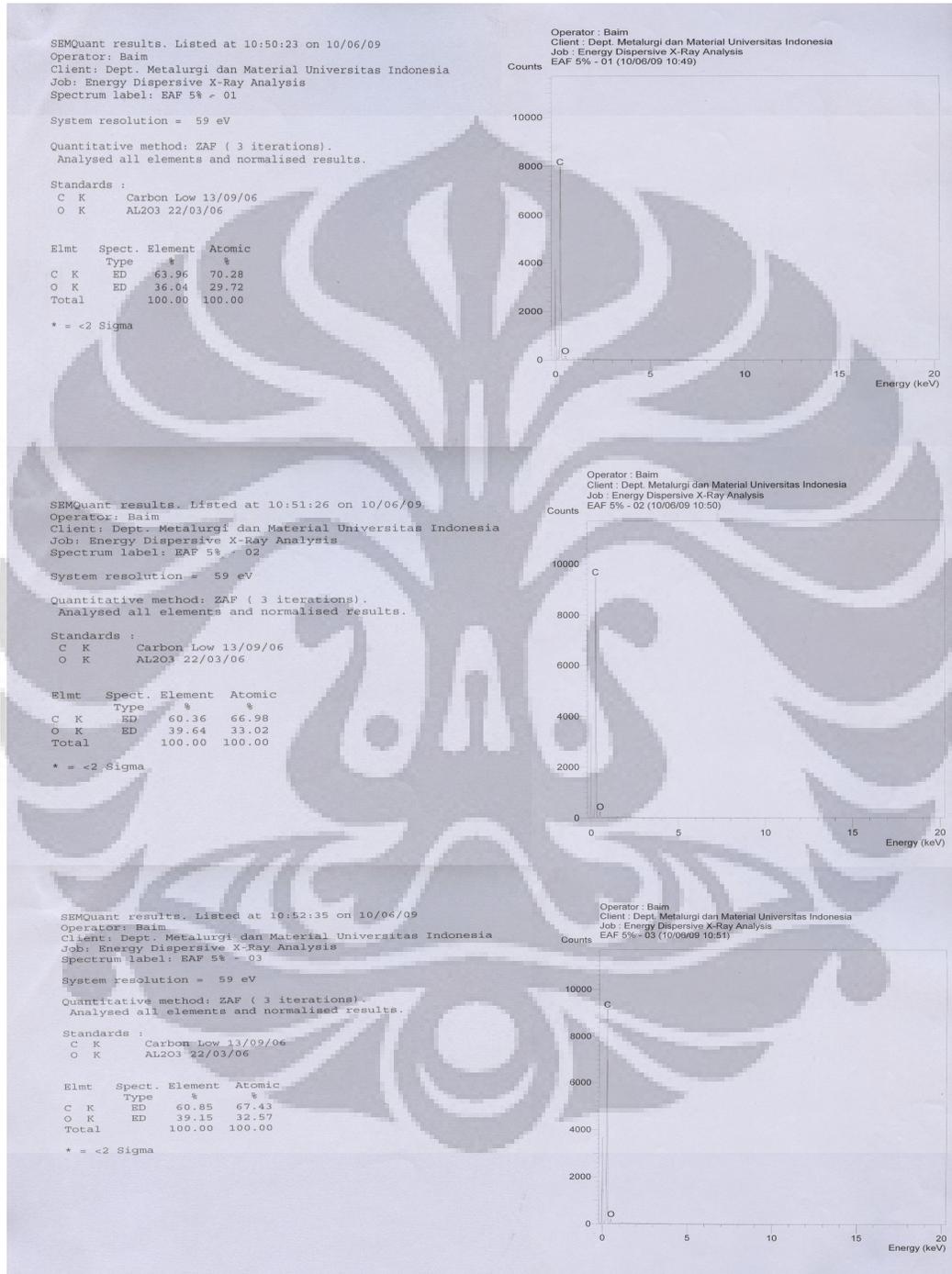
sampel	ρ_1	ρ_2	ρ_3	ρ_4	ρ_5	Σ	μ
0%	0.349	0.333	0.305	0.365	0.34	1.692	0.3384
5%	0.235	0.282	0.253	0.302	0.246	1.318	0.2636
10%	0.328	0.237	0.354	0.654	0.763	2.336	0.4672
15%	0.503	0.631	0.231	0.532	0.644	2.541	0.5082
20%	0.522	0.734	0.482	0.555	0.654	2.947	0.5894

sampel	S (S/cm)
0%	2.955083
5%	3.793627
10%	2.140411
15%	1.967729
20%	1.696641

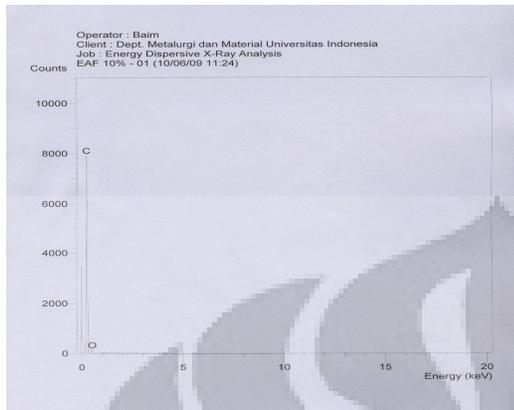
LAMPIRAN 5 Hasil Pengujian EDX Pelat Bipolar

(a) 0% wt EAF



(b) 5% wt EAF

(c) 10% wt EAF



SEMQuant results. Listed at 11:26:30 on 10/06/09
Operator: Baim
Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis
Spectrum label: EAF 10% - 02

System resolution = 59 eV

Quantitative method: ZAF (3 iterations).
Analysed all elements and normalised results.

Standards :
C K Carbon Low 13/09/06
O K AL2O3 22/03/06

Elmt	Spect.	Element	Atomic
	Type	%	%
C K	ED	59.12	65.83
O K	ED	40.88	34.17
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma



SEMQuant results. Listed at 11:25:33 on 10/06/09
Operator: Baim
Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis
Spectrum label: EAF 10% - 01

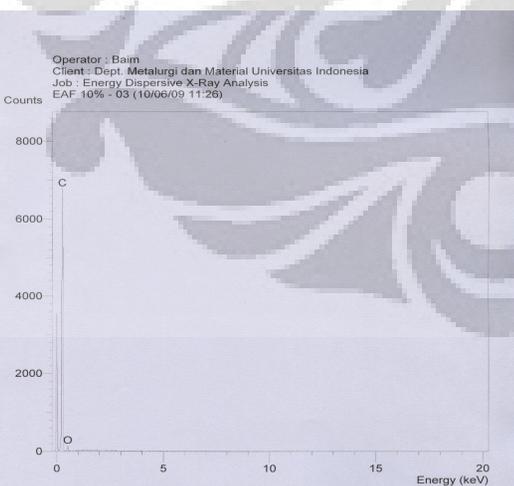
System resolution = 59 eV

Quantitative method: ZAF (3 iterations).
Analysed all elements and normalised results.

Standards :
C K Carbon Low 13/09/06
O K AL2O3 22/03/06

Elmt	Spect.	Element	Atomic
	Type	%	%
C K	ED	61.63	68.14
O K	ED	38.37	31.86
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma



SEMQuant results. Listed at 11:27:25 on 10/06/09
Operator: Baim
Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis
Spectrum label: EAF 10% - 03

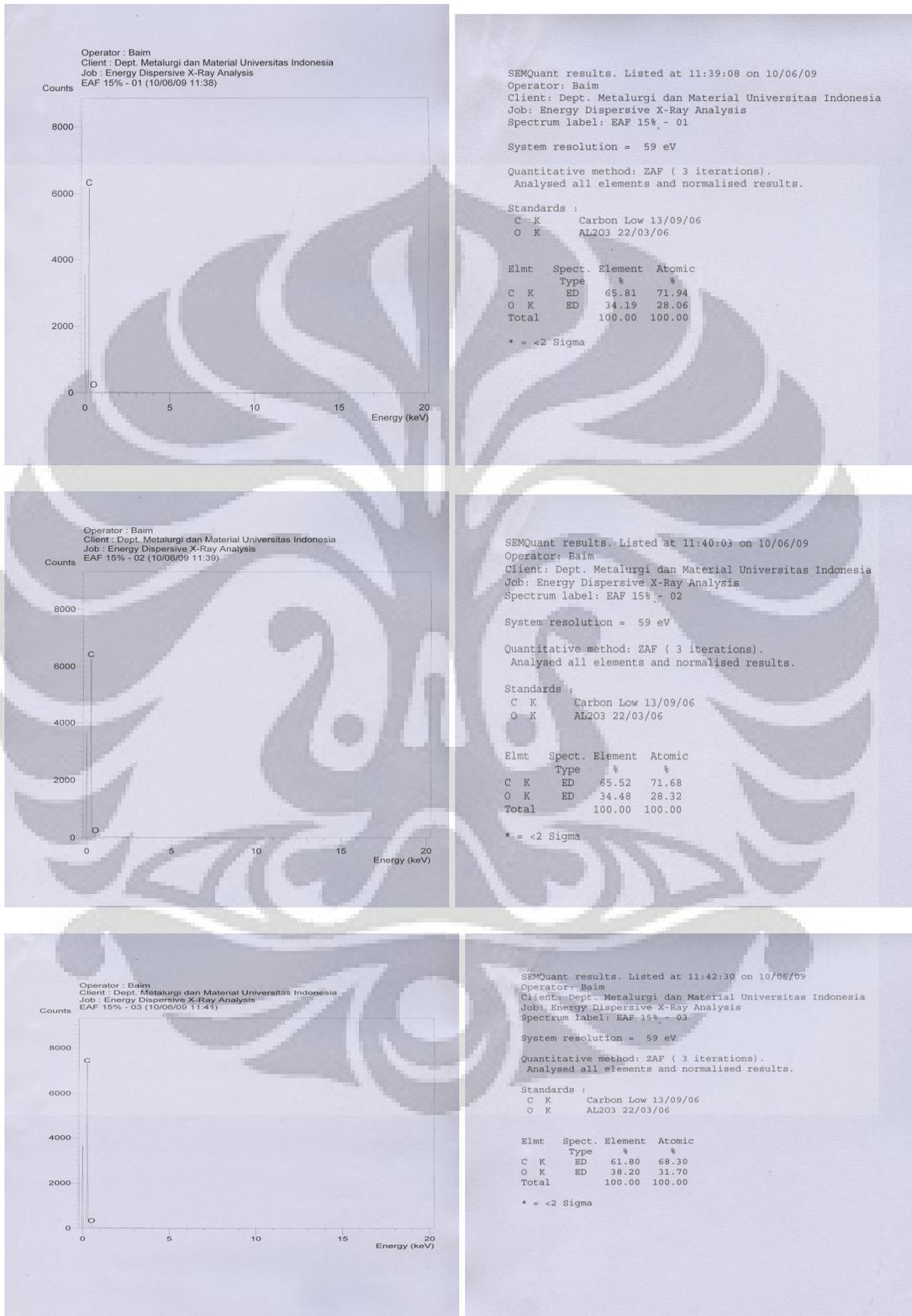
System resolution = 59 eV

Quantitative method: ZAF (3 iterations).
Analysed all elements and normalised results.

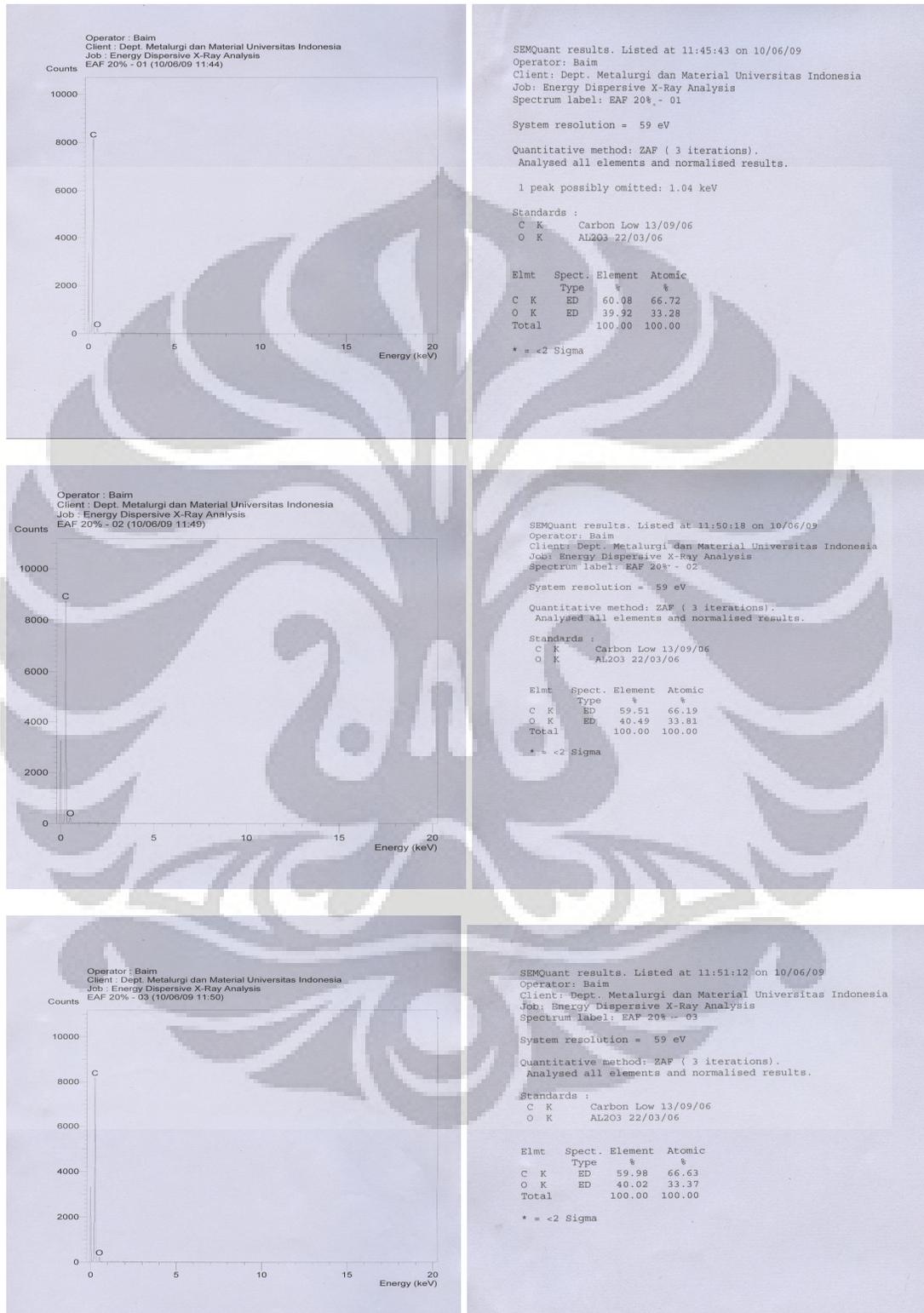
Standards :
C K Carbon Low 13/09/06
O K AL2O3 22/03/06

Elmt	Spect.	Element	Atomic
	Type	%	%
C K	ED	63.79	70.12
O K	ED	36.21	29.88
Total		100.00	100.00

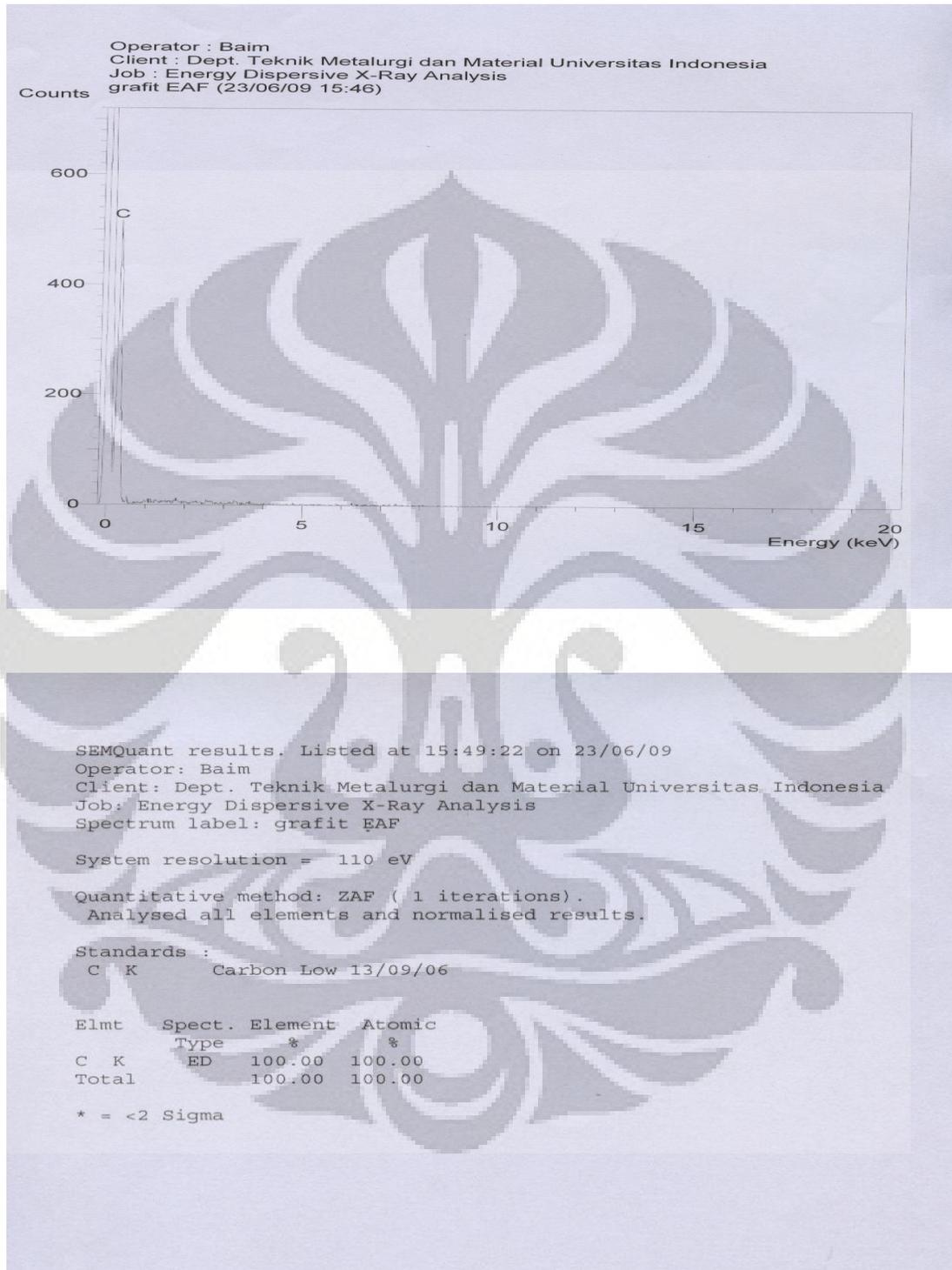
* = <2 Sigma

(d) 15 % wt EAF

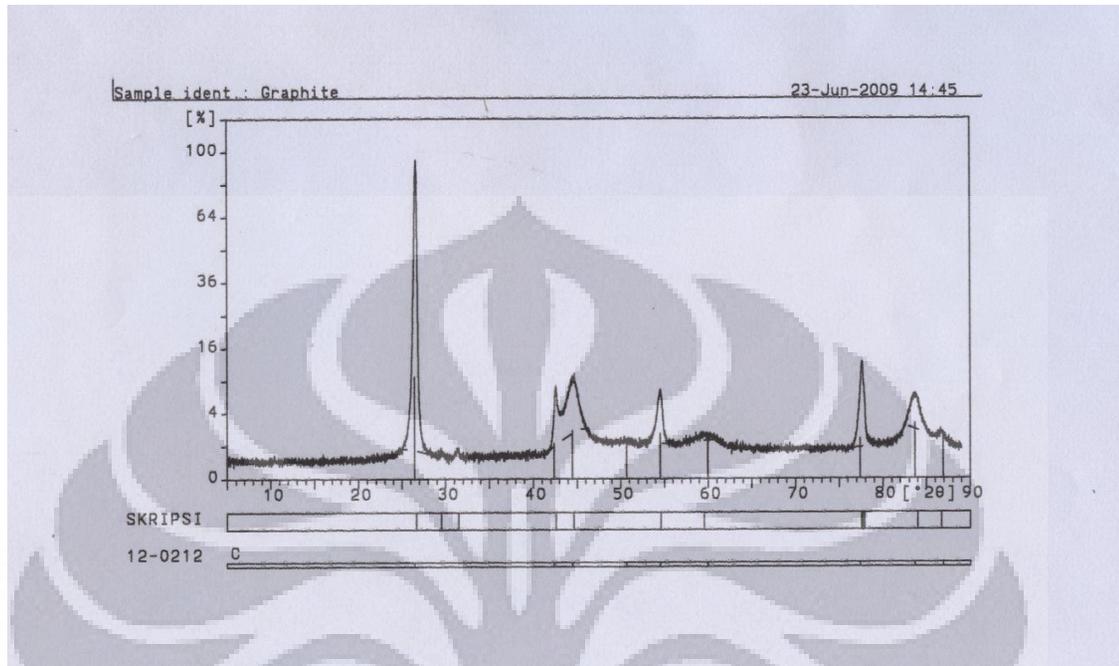
(e) 20 % wt EAF



LAMPIRAN 6 Hasil Pengujian EDX Grafit EAF Murni



LAMPIRAN 7 Hasil Pengujian XRD Grafit EAF



: Skripsi.DI 23-Jun-2009 14:43
 Philips Analytical X-Ray B.V. Department of Metallurgy UI

Sample identification: Graphite
 Data measured at: 23-Jun-2009 14:15:00

Diffractometer type: PW1710 BASED
 Tube anode: Cu
 Generator tension [kV]: 40
 Generator current [mA]: 30
 Wavelength Alpha1 [Å]: 1.54056
 Wavelength Alpha2 [Å]: 1.54439
 Intensity ratio (alpha2/alpha1): 0.500
 Divergence slit: AUTOMATIC
 Irradiated length [mm]: 12
 Receiving slit: 0.2
 Monochromator used: YES

Start angle [°2θ]: 5.000
 End angle [°2θ]: 89.000
 Step size [°2θ]: 0.020
 Maximum intensity: 7761.610
 Time per step [s]: 0.400
 Type of scan: CONTINUOUS
 Intensities converted to: FIXED

Minimum peak tip width: 0.00
 Maximum peak tip width: 1.00
 Peak base width: 2.00
 Minimum significance: 0.75
 Number of peaks: 12

Angle [°2θ]	d-value a1 [Å]	d-value a2 [Å]	Peak width [°2θ]	Peak int [counts]	Back. int [counts]	Rel. int [%]	Signif.
26.615	3.3465	3.3548	0.260	7762	59	100.0	54.38
29.520	3.0234	3.0309	0.320	14	38	0.2	0.88
31.465	2.8408	2.8479	0.240	26	31	0.3	1.65
42.575	2.1217	2.1270	0.140	361	56	4.7	2.58
44.635	2.0284	2.0335	0.880	380	100	4.9	21.78
54.615	1.6790	1.6832	0.520	240	49	3.1	24.73
59.590	1.5502	1.5540	0.960	16	53	0.2	1.48
77.555	1.2299	1.2330	0.100	339	28	4.4	1.25
77.680	1.2282	1.2313	0.100	331	29	4.3	1.48
77.880	1.2256	1.2286	0.080	172	29	2.2	0.98
83.965	1.1516	1.1544	0.960	108	64	1.4	20.24
86.690	1.1222	1.1250	0.400	17	40	0.2	1.40