



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENAMBAHAN *REINFORCEMENT* MnO_2 PADA
PEMBUATAN *CARBON COMPOSITE BIPOLAR PLATE*
DENGAN BAHAN DASAR GRAFIT *ELECTRIC ARC*
*FURNACE***

SKRIPSI

IHSAN HUSAENI

0405040341

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI METALURGI DAN MATERIAL

DEPOK

JUNI 2009



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENAMBAHAN *REINFORCEMENT* MnO_2 PADA
PEMBUATAN *CARBON COMPOSITE BIPOLAR PLATE*
DENGAN BAHAN DASAR GRAFIT *ELECTRIC ARC
FURNACE***

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

IHSAN HUSAENI

0405040341

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI 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 : Ihsan Husaeni

NPM : 0405040341

Tanda Tangan :

Tanggal : 6 Juli 2009

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Ihsan Husaeni
NPM : 0405040341
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Judul Skripsi : Penambahan *Reinforcement* MnO₂ Untuk Pembuatan *Composite Bipolar Plate* Dengan Bahan Dasar Limbah Grafit EAF (*Electric Arc Furnace*)

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

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 6 Juli 2009

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena atas berkat rahmat-Nya lah penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat mencapai gelar Sarjana Teknik Departemen Metalurgi dan Material pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Penulis sadar bahwa tanpa ada dukungan, bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak skripsi ini sulit diselesaikan. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ir. Yunita Sadeli, M.Sc selaku dosen pembimbing yang telah rela meluangkan waktu, pikiran, tenaga serta bantuan lain baik moril maupun materil;
2. Bpk. Dr. Ir. Bambang Prihandoko, MT sebagai pembimbing dari Pusat Penelitian Fisika Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) yang di tengah kesibukannya yang padat masih bisa meluangkan waktu membantu dan mengarahkan penelitian ini.
3. Prof. Dr. Ir. Anne Zulfia, M. Phil.Eng dan Ir. Akhmad Herman Yuwono, M.Phil.Eng, PhD selaku dosen yang juga banyak membantu mengarahkan dan selalu memberi masukan yang berharga dalam penelitian ini
4. Kedua orang tua penulis Bapak Banan Suhendi dan Ibu Sukiyastinah yang selalu mendoakan sehingga skripsi ini selesai disusun
5. Renanto P.P serta M.Zaki Azizi teman satu kelompok penelitian ini.
6. Mas Tomi, Pak Andi, Pak Subhan, Pak Joko dan seluruh tim dari Fisika LIPI serta pihak-pihak lain yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu.

Akhir kata semoga apa yang udah diberikan dan dihasilkan dari skripsi ini dapat bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan di Indonesia.

Depok, 6 Juli 2009

Penulis

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

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

Nama : Ihsan Husaeni
NPM : 0405040341
Program Studi : Metalurgi & Material
Departemen : Metalurgi & Material
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

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

Penambahan *Reinforcement* MnO₂ Untuk Pembuatan *Composite Bipolar Plate*
Dengan Bahan Dasar Limbah Grafit EAF (*Electric Arc Furnace*)

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 : 6 Juli 2009

Yang menyatakan

(Ihsan Husaeni)

ABSTRAK

Nama : Ihsan Husaeni
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Judul : Penambahan *Reinforcement* MnO₂ pada pembuatan Komposit Karbon *Bipolar Plate* dengan bahan utama Grafit *Electric Arc Furnace* (EAF)

Polymer Elektrolit Membrane Fuel Cell (PEMFC) merupakan salah satu *fuel cell* yang berkembang yang mampu menghasilkan energi yang efisien dan sangat potensial untuk digunakan pada alat transportasi, komponen portable seperti laptop serta stasiun penghasil panas dan energi. Bagian penting pada *fuel cell* jenis ini adalah bipolar plate yang merupakan komponen penyuplai berat dan volume mencapai 80% dari berat *fuel cell* secara keseluruhan. Sehingga perlu direkayasa dengan material *composite* ringan namun memiliki sifat mekanis dan konduktivitas yang baik. Penelitian-penelitian mengenai karbon *composite* mampu menghasilkan nilai konduktivitas tinggi. Penambahan *reinforcement* MnO₂ dengan komposisi 0% - 20% pada *carbon composite bipolar plate* dengan bahan utama limbah grafit *Electric Arc Furnace*, grafit sintetis, *carbon black* serta epoxy yang dicampur dan dilakukan *hot press* sebesar 300 kg/cm² pada T=70°C selama 4 jam menghasilkan kekuatan *flexure* optimal 33,4 MPa, konduktivitas 0,35 S/cm, densitas 2,07 gr/cm³, serta porositas 2,04%. Hasil tersebut membuktikan MnO₂ dapat meningkatkan kekuatan tekan hingga lebih 2 kali lipat, meski konduktivitasnya menurun drastis.

Kata Kunci: Fuel Cell, bipolar plate, PEMFC, Grafit EAF, MnO₂

ABSTRACT

Nama : Ihsan Husaeni
Study Program : Metallurgy and Material Engineering
Judul : Addition of *Reinforcement* MnO₂ on produce Composite Bipolar Plate with EAF Graphite

Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell (PEMFC) is famous Fuel Cell which can produce effective and potential energy for used on transportation vehicle, portable computer, and thermal and energy stationary. The important component of fuel cell system was bipolar plat. Nowadays bipolar plate is the highest volume and weigh supplied component on 80% from all weight fuel cell. So must be fabricated with the light composite material but have high mechanical properties and conductivity. The experiment about carbon composite have highest conductivity. Addition MnO₂ reinforcement with the composition 0% - 20% on carbon composite bipolar plate with Electric Arc Furnace Graphite as main material, synthetic graphite, carbon black and epoxy which is mixed and hot pressed on 300 kg/cm², 70°C in temperature, for 4 hour have optimal flexure strength 33,4 MPa, conductivity 0,35 S/cm, density 2,07 gr/cm³, and porosity 2,04%. That result show that MnO₂ would be increase mechanical properties up to 2 times, although drastic decreasing in conductivity.

Kata Kunci: Fuel Cell, bipolar plate, PEMFC, Graphite EAF, MnO₂

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	v
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Ruang Lingkup dan Batasan Masalah.....	4
BAB II DASAR TEORI.....	5
2.1 Fuel Cell.....	5
2.2 Polimer Electrolite Membrane Fuel Cell (PEMFC).....	8
2.3 Bipolar Plate.....	11
2.4 Material Komposit.....	14
2.5 Mangan Dioksida (MnO ₂).....	16

BAB III METODE PENELITIAN.....	21
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	21
3.2 Alat dan Bahan.....	22
3.2.1 Alat.....	22
3.2.2 Bahan.....	23
3.2.2.1 Epoxy Resin & Epoxy Hardener.....	23
3.2.2.2 Graphit Limbah EAF.....	24
3.2.2.3 Grafit Sintetis.....	25
3.2.2.4 Carbon Black.....	26
3.2.2.5 Mangan Dioksida (MnO ₂).....	26
3.2.2.6 Metanol 0,1 M.....	27
3.3 Prosedur Penelitian.....	27
3.3.1 Pembuatan Pelat.....	27
3.3.2 Preparasi Sampel Uji.....	29
3.3.3 Karakterisasi Material.....	30
3.3.3.1 Pengujian SEM dan EDAX.....	30
3.3.3.2 Pengujian Porositas.....	31
3.3.3.3 Pengujian Densitas.....	32
3.3.3.4 Pengujian Kekuatan Lentur.....	34
3.3.3.5 Pengujian Konduktivitas.....	36
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	38
4.1 Pelat Hasil Cetakan.....	38
4.2 Pembuatan Specimen Uji.....	39
4.3 Pengujian SEM dan EDAX.....	40
4.3 Pengujian Porositas.....	43

4.4 Pengujian Densitas.....	45
4.5 Pengujian Flexure.....	47
4.6 Pengujian Konduktivitas	49
4.7 Perbandingan Sifat Komposit.....	50
BAB V KESIMPULAN.....	52
DAFTAR PUSTAKA.....	53
Lampiran.....	58



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Reaksi Kimia pada <i>Fuel Cell</i>	6
Gambar 2.2	Skema Fuel Cell Dari Bahan Bakar Hingga Aplikasi.....	8
Gambar 2.3	Struktur <i>Single</i> PEMFC.....	10
Gambar 2.4	Diagram Struktur PEMFC berlapis.....	10
Gambar 2.5	Komposit Berdasarkan Bentuk dan Penguatnya.....	15
Gambar 2.6	<i>Wetability</i> Pada Komposit.....	16
Gambar 2.7	Macam-Macam Struktur Mangan Dioksida.....	18
Gambar 2.8	Senyawa MnO ₂	19
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian.....	21
Gambar 3.2	Grafir Limbah EAF.....	25
Gambar 3.3	(a) Proses <i>mixing</i> dalam beker glass; (b) hasil <i>mixing</i> serbuk komposit; (c) proses <i>hot press</i> dengan <i>hydraulic pressure machine</i>	29
Gambar 3.4	Scanning Electron Microscope dan Energy Dispersive X-ray	31
Gambar 3.5	Proses perendaman specimen dalam air saturated 100°C.....	32
Gambar 3.6	Proses penimbangan dalam udara dan dalam air.....	34
Gambar 3.7	Skema Pengujian Kekuatan Lentur.....	34
Gambar 3.8	(a) alat untuk pengujian kekuatan lentur; (b) peletakan specimen uji kekuatan lentur.....	35
Gambar 3.9	Skema Uji Konduktivitas.....	36
Gambar 3.10	Alat Uji Konduktivitas.....	37
Gambar 4.1	Hasil Pencetakan Pelat Bipolar.....	38
Gambar 4.2	Hasil dari preparasi specimen uji. (a) specimen uji densitas & porositas; (b) uji flexure; (c) uji konduktivitas.....	39
Gambar 4.3	Specimen Uji SEM dan EDAX.....	40
Gambar 4.4	Fotomikro pada specimen dengan penambahan MnO ₂ dengan kelima variabel (a) 0%, (b)5%,(c)10%,(d)15%, dan (e)20% dengan p. 1000x.....	40
Gambar 4.5	Grafik Hasil Uji EDAX.....	42

Gambar 4.6	Tampak udara dalam specimen keluar ketika dipanaskan pada uji porositas.....	43
Gambar 4.7	Grafik hasil pengujian porositas.....	44
Gambar 4.8	Grafik Hasil Pengujian Densitas.....	46
Gambar 4.9	Grafik hasil pengujian flexure.....	47
Gambar 4.10	Hasil pengujian konduktivitas.....	49

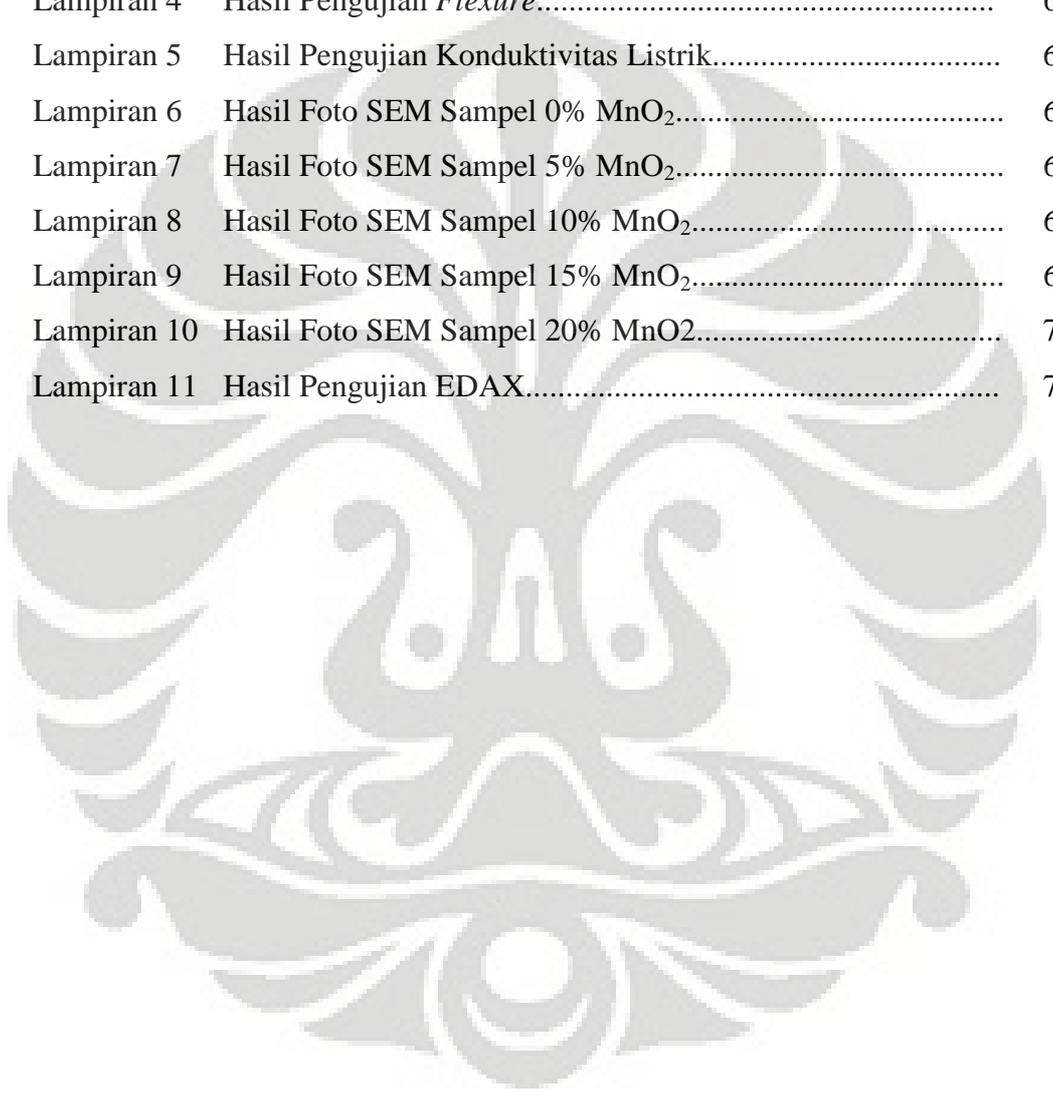


DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Beberapa Jenis <i>Fuel Cell</i>	7
Tabel 2.2	Komponen dalam PEMFC.....	9
Tabel 2.3	Kriteria Bipolar Plate.....	11
Tabel 2.4	Karakteristik dari MnO ₂	19
Tabel 3.1	Komposisi Komposit.....	23
Tabel 3.2	Komposisi Epoxy.....	24
Tabel 3.3	Komposisi Grafit Sintetis.....	25
Tabel 3.4	Komposisi MnO ₂	26
Tabel 3.5	Proporsi Total Bahan.....	28
Tabel 4.1	Hasil Pengujian EDAX.....	41
Tabel 4.2	Hasil Pengujian Porositas.....	44
Tabel 4.3	Hasil Pengujian Densitas.....	45
Tabel 4.4	Hasil Pengujian Kekuatan Flexure.....	47
Tabel 4.5	Hasil hasil pengujian konduktivitas.....	49
Tabel 4.6	Perbandingan Sifat Komposit.....	50

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Komposisi Pembuatan Bipolar Plate.....	57
Lampiran 2	Hasil Pengujian Densitas.....	58
Lampiran 3	Hasil Pengukuran Porositas.....	59
Lampiran 4	Hasil Pengujian <i>Flexure</i>	60
Lampiran 5	Hasil Pengujian Konduktivitas Listrik.....	61
Lampiran 6	Hasil Foto SEM Sampel 0% MnO ₂	62
Lampiran 7	Hasil Foto SEM Sampel 5% MnO ₂	64
Lampiran 8	Hasil Foto SEM Sampel 10% MnO ₂	66
Lampiran 9	Hasil Foto SEM Sampel 15% MnO ₂	68
Lampiran 10	Hasil Foto SEM Sampel 20% MnO ₂	70
Lampiran 11	Hasil Pengujian EDAX.....	72



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Saat ini berkembangnya taraf hidup manusia yang semakin pesat, berdampak pada peningkatan kebutuhan sumber energi untuk menunjang segala aspek kebutuhan manusia. Kecenderungan manusia mengkonsumsi sumber energi yang sangat tinggi masih bersumber dari alam berupa minyak bumi, batu bara, serta gas alam sehingga manusia berbondong-bondong untuk mengeksplorasi sumber alam tersebut, hingga keberadaannya kini sudah semakin menipis. Bahkan kita telah semakin mendekat dengan tahun 2015 dimana diprediksi akan terjadi krisis akan energi yang sangat hebat. Sudah menjadi suatu keharusan bagi para penerus peradaban untuk dapat mencari sumber energi baru yang lebih murah, efisien, mudah diolah, serta tidak mencemari lingkungan.[1,2]

Salah satu energi alternatif tersebut yang ramai menjadi perbincangan dunia adalah *fuel cell*. *Fuel Cell* merupakan salah satu teknologi penghasil energi listrik yang bersih dan sangat efisien. Karena tidak adanya pembakaran, maka tidak dihasilkan polusi yang umumnya dihasilkan oleh *boiler* dan *furnace*. Dalam sistem kerjanya *Fuel Cell* ini membutuhkan hidrogen secara langsung dan hanya menghasilkan energi listrik, air dan panas.[3]

Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell (PEMFC) atau *fuel cell* berbahan dasar polimer adalah salah satu jenis *fuel cell* yang marak dikembangkan. Pengembangan demi pengembangan yang dilakukan dikarenakan *fuel cell* jenis ini memiliki potensi yang sangat besar dan sangat menjanjikan terutama untuk aplikasi transportasi, perangkat portabel, serta stasiun penghasil energi. Hal ini didasari oleh PEMFC itu sendiri yang memiliki banyak keunggulan, antara lain efisiensinya yang tinggi, kerapatan arus yang tinggi, temperature aplikasi yang relatif rendah, suplai bahan bakar yang baik, dan waktu pakai yang panjang. Namun mahalnya biaya produksi menyebabkan PEMFC ini menjadi tidak ekonomis, sehingga perlu dikaji untuk mereduksi faktor biaya tersebut.

Salah satu faktor penyebab tingginya biaya produksi PEMFC adalah *bipolar plate* yang beratnya mencapai 80% [4] berat keseluruhan dan penyebab peningkatan harga produksi PEMFC itu sendiri hingga 60%. *Bipolar plate* merupakan elemen terpenting pada *fuel cell* jenis ini, sehingga perlu dimodifikasi sehingga dihasilkan *bipolar plate* yang lebih ringan. Pada penelitian ini yang akan dikembangkan *bipolar plate* yang lebih ringan dan murah yaitu polimer komposit dengan menggunakan grafit sebagai *reinforcement* (penguatnya). Komposit polimer-karbon ini memiliki keunggulan terutama masalah berat yang relatif lebih ringan.

Grafit/karbon berasal dari *Electric Arc Furnace* (EAF) atau elektroda dapur listrik limbah proses peleburan baja. Perkiraan bahwa limbah EAF tersebut memiliki nilai konduktivitas yang sangat tinggi. Apalagi di tengah maraknya isu tentang pencemaran lingkungan dan guna memanfaatkan limbah sisa hasil produksi maka penggunaan grafit ini sangatlah tepat. Grafit tersebut akan dikombinasikan dengan MnO_2 sebagai variabel, dan akan digunakan *carbon black* sebagai *filler* katalis.

Saat ini MnO_2 banyak sekali digunakan sebagai katoda pada elemen kering baterai [5]. Pada baterai tersebut MnO_2 berfungsi sebagai oksidator yang mampu mengoksidasi logam Zn sehingga Zn akan teroksidasi dan menghasilkan elektron. Elektron yang dihasilkan ini akan dikumpulkan oleh MnO_2 . Penggunaan MnO_2 pada baterai ini memungkinkan MnO_2 mampu diaplikasikan pada *bipolar plate*, selain mampu meningkatkan sifat mekanik karena merupakan *filler* yang mampu meningkatkan sifat mekanik dari *bipolar plate* yang akan dihasilkan.

Selain itu pemilihan material yang ekonomis namun memiliki kemampuan yang baik sangat diharapkan. Sehingga dari hasil penelitian ini dihasilkan komposisi campuran komposit polimer-karbon yang memiliki konduktivitas yang tinggi, ringan, biaya rendah serta memiliki optimalisasi performa yang sangat baik sehingga dapat mereduksi biaya produksi PEMFC secara keseluruhan.

1.2 Perumusan Masalah

Perumusan masalah dalam pembuatan formulasi campuran ini adalah mendapatkan pelat komposit yang memiliki konduktivitas yang tinggi serta memberikan kekuatan mekanis yang baik. Sifat mekanis yang dimaksud adalah sifat kekuatan lentur, sehingga tahan terhadap dorongan hidrogen pada aplikasi penggunaannya. Kekuatan lentur yang diinginkan didapatkan dari interaksi yang baik antara matrik polimer tersebut dengan penguatnya (*reinforcement*).

Untuk meningkatkan sifat tersebut maka ditambahkan MnO₂ dengan beberapa variabel. Hasil yang baik akan didapatkan dari interaksi antara matriks polimer, *reinforcement*, serta additif tersebut. Hasil tersebut didapat dengan metode yang tepat sehingga pendistribusian semua campuran terdistribusi secara merata dan homogen.

Pada penelitian ini digunakan epoxy resin dan epoxy *hardener* sebagai matriks polimernya, *reinforce* grafit sintetis dan grafit EAF, serta MnO₂ sebagai *filler* untuk meningkatkan sifat mekanik serta mengetahui pengaruh konduktivitas serta penambahan *carbon black* sebagai katalis.

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Melanjutkan penelitian sebelumnya mengenai pemanfaatan grafit EAF untuk pembuatan *bipolar plate*[6].
2. Untuk mengetahui kelayakan penambahan MnO₂ pada komposit bipolar plate dari kekuatan lentur dan nilai konduktivitas
3. Mendapatkan komposisi dengan sifat yang optimum dari material-material penyusun komposit *bipolar plate*.

1.4 Ruang Lingkup dan Batasan Masalah

Universitas Indonesia

Secara umum, pembuatan pelat komposit ini dilakukan melalui beberapa tahapan, yaitu:

1. Proses *mixing* epoxy resin-*hardener*, grafit sintetis, grafit EAF, MnO_2 , serta *carbon black*.
2. Pembuatan pelat dengan menggunakan cetakan dan proses *hot press*
3. Karakterisasi pelat hasil produksi yang telah dipotong menjadi beberapa sampel pengujian.

Bahan baku yang digunakan adalah epoxy resin dan *hardener*, grafit sintetis, grafit limbah EAF dari industri peleburan baja, *carbon black* sebagai zat katalis yang dapat meningkatkan konduktivitas dengan meningkatkan aktivasi dari *reinforcement*, serta *filler* MnO_2 untuk meningkatkan konduktivitas listrik pelat tersebut.

Pada penelitian ini akan divariasikan kombinasi formula yang tepat dari paduan semua bahan dengan menitikberatkan pada perubahan variabel *reinforcement* yang ditambahkan pada komposisi terbaik penambahan grafit limbah EAF pada penelitian sebelumnya. Variasi yang ditambahkan ini untuk mengetahui pengaruh penambahan *reinforcement* terhadap konduktivitas serta sifat mekanis, sehingga dihasilkan paduan *bipolar plate* yang terbaik.

BAB 2 DASAR TEORI

2.1 Fuel Cell

Fuel cell adalah komponen elektrokimia yang dapat mengubah energi kimia menjadi energy listrik secara efisien. Sistem kerjanya mirip dengan baterai dan memiliki komponen dan karakteristik yang hampir serupa namun tidak habis pakai dan sangat ramah lingkungan.[7]

Fuel cell pertama kali ditemukan oleh Sir William Grove pada 1843 dengan mereaksikan oksigen dan hidrogen pada elektroda platinum terpisah yang dicelupkan asam sulfat. Namun penemuan itu masih terlalu sederhana dan tidak efisien hingga akhirnya mulai ramai dibicarakan ketika Jerman berhasil membuat fuelcell pertama pada 1920.[1] dan kemudian pada selang waktu yang tidak begitu lama Francis Thomas Bacon berhasil mengembangkan *fuel cell* untuk kapal selam 'Royal Navy' pada perang dunia ke-2.[8]

Dengan menggunakan hidrogen dan oksigen sebagai bahan bakar, *fuel cell* dapat memproduksi elektron, proton, panas dan air. Oksigen didapat dari udara bebas, sedangkan hidrogen diperoleh dari reaksi reformer dari hydrocarbon.

Pengembangan fuelcell ini agak terkendala karena mahalnya biaya pengolahan hidrogen, namun upaya pembuatan hidrogen secara murah sedang diusahakan. Selain itu molekul yang sangat kecil membuat hidrogen ini sangat sulit untuk disimpan dalam bentuk cair.

Secara umum reaksi kimia pada *fuel cell* adalah sebagi berikut:[8]



Pada anoda hidrogen di oksidasi menjadi proton :

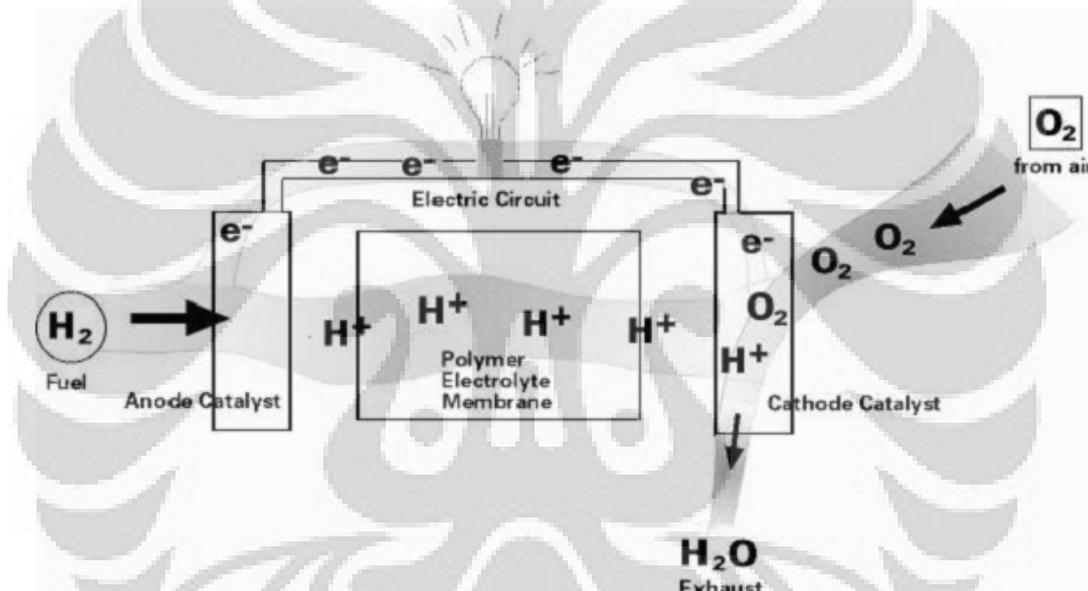


Setiap molekul H_2 terpecah menjadi dua atom H^+ (proton), sedang setiap atom hidrogen melepaskan elektronnya. Proton ini akan bergerak menuju katoda melewati membran. Yang menjadi sasaran dalam penelitian ini adalah *polymer*

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

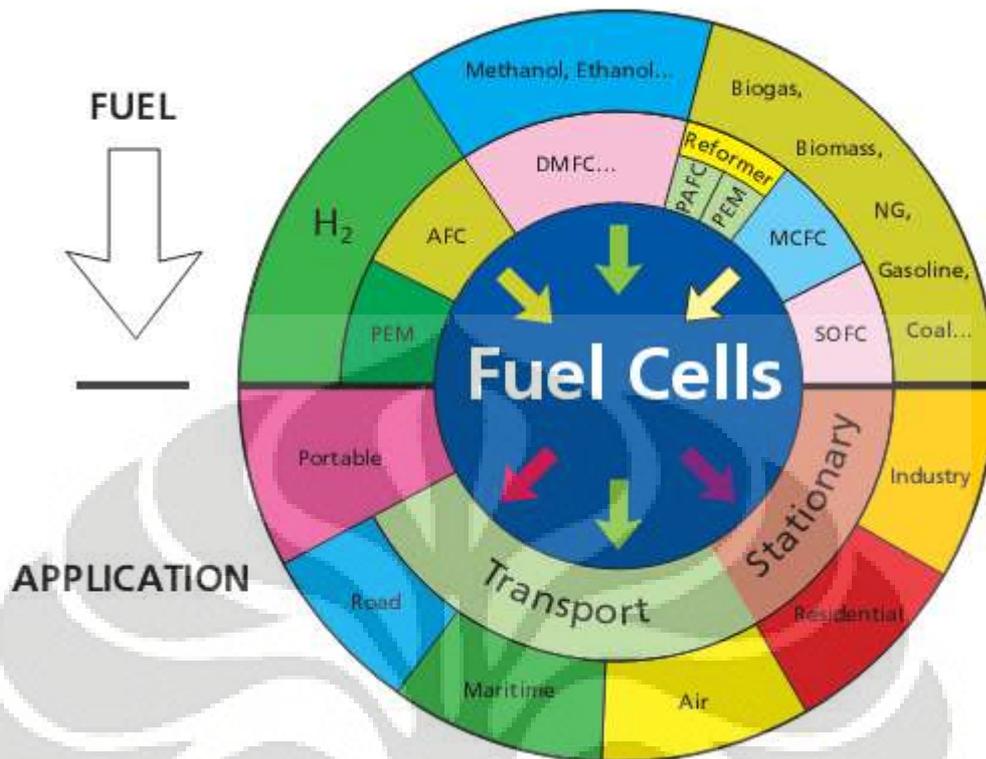


Gambar 2.1 Reaksi kimia pada fuel cell[8]

Fuel Cell dibagi menjadi 6 jenis seperti dijabarkan pada table 2.1[1]:

Tabel 2.1 Beberapa Jenis *Fuel Cell*

Jenis	Elektrolit	T (°C)	Karakteristik	Penggunaan
Alkaline Fuel cell (AFC)	KOH	50 – 90	Efisiensi energi tinggi, peka terhadap CO ₂	Pesawat Ruang Angkasa
Phosphoric Acid Fuel Cell (PAFC)	Phosphor Acid	175 – 220	<i>Low Power density</i> , dan rentan serangan korosi	Stasiun pembangkit panas
Molten Carbonate Fuel Cell (MCFC)	Molten Carbonat	600 – 650	Problem korosi, elektrolit tidak stabil, efisiensi tinggi	Pembangkit energy listrik dan stasiun pembangkit panas
Solid Oxide Fuel Cell (SOFC)	Lapisan Keramik	800 – 1000	Efisiensi tinggi dan temperature tinggi	Pembangkit panas dan listrik
Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cel (PEMFC)	Polymer Electrolyte	60 – 100	<i>Power density</i> tinggi, temperature rendah, mahal	Kendaraan bermotor, perangkat portabel
Direct Methanol Fuel Cell (DMFC)	Electrolite Polimer	50n - 120	Efisiensi rendah, <i>power density</i> tinggi, dan tidak perlu perbaikan	Kendaraan



Gambar 2.2 Skema *Fuel Cell* Dari Bahan Bakar Hingga Aplikasi [2]

2.2 Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell (PEMFC)

Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell (PEMFC) adalah jenis *fuel cell* yang memiliki sangat banyak kajian karena memiliki banyak keunggulan untuk energi transportasi dan berbagai perangkat portabel yang lain.[4] Beberapa keunggulan yang dimiliki oleh PEMFC ini antara lain:

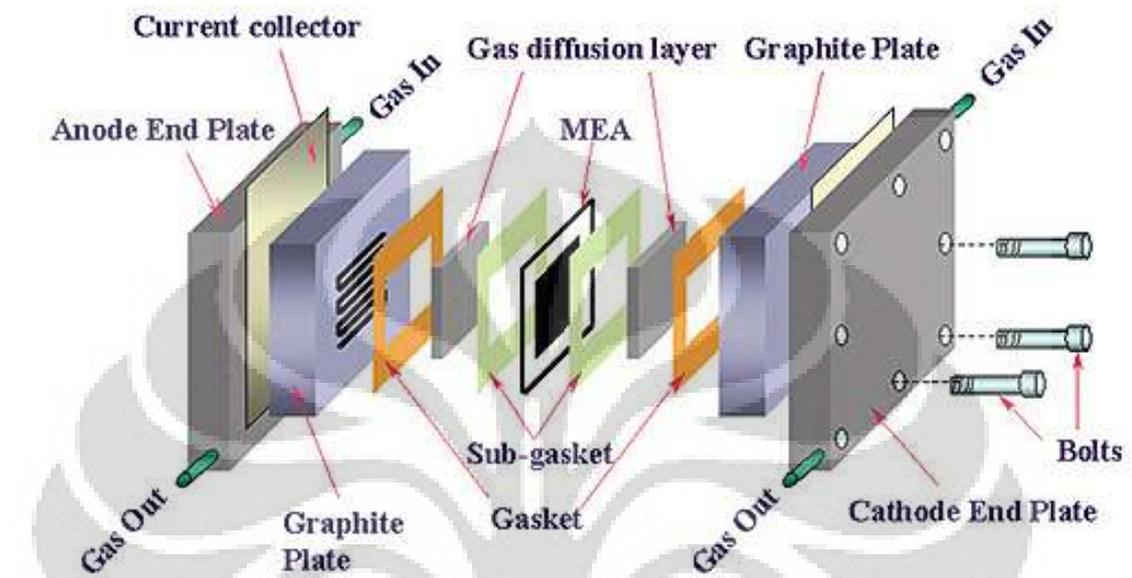
- *Temperature* operasi yang rendah
- *Power Density* yang tinggi
- *Fast start-up*
- Sistem yang baik, serta
- Emisi yang rendah

Pada PEMFC terdapat beberapa komponen yang sangat penting yaitu *Membran Elektroda Assembly* (MEA) yang terdiri dari elektroda (anoda & katoda) serta 1 elektrolit, *bipolar plate*, *gas flow chanel*, dan *end plate* pada bagian ujung,

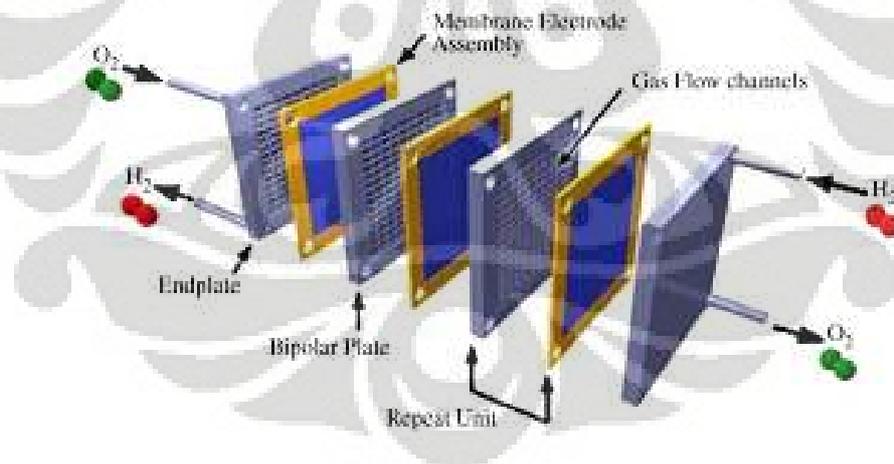
Tabel 2.2 Komponen dalam PEMFC

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) 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
<i>End Plate</i>	Material dengan kekuatan mekanik yang baik	Menyatukan rangkaian <i>fuel cell</i>
<i>Gas Flow Chanel</i>	Sesuai dengan pelat yang digunakan	Sebagai tempat aliran gas dalam sistem <i>fuel cell</i>

PEMFC pada aplikasinya dipasang secara berlapis. Hal ini dikarenakan PEMFC tunggal hanya menghasilkan energi yang kecil, sehingga untuk melipatgandakan energi yang akan dihasilkan maka PEMFC dipasang secara bersusun.[9]



Gambar 2.3 Struktur *Single* PEMFC[10]



Gambar 2.4 Diagram struktur PEMFC berlapis [4]

2.3 Bipolar Plate

Bipolar Plate merupakan komponen yang sangat penting dalam PEM *fuel cell* ini. Hal ini dikarenakan beberapa fungsi dari *bipolar plate* yang sangat penting. Dalam penyusunan PEMFC berlapis diperlukan pelat yang mampu mengalirkan elektron dari katoda ke anoda yang lain, untuk itulah diperlukan pelat dua polar yang kita kenal dengan *bipolar plate*. Fungsi dari pelat ini adalah sebagai berikut[11,12]:

1. Mendistribusikan hidrogen dan oksigen
2. Memfasilitasi aliran air
3. Memisahkan *single cell* dalam tumpukan bipolar plate
4. Mengalirkan arus
5. Mengatur pertukaran panas

Bipolar plate yang baik memiliki kriteria seperti yang dijelaskan pada table 2.3:

Tabel 2.3 Kriteria Bipolar Plate [12,13,14]

Kriteria	Nilai standar
Resistivitas	$<0,01 \Omega\text{cm}^2$
Konduktivitas panas	Setinggi mungkin
Interfaceial Contact Resistant (ICR)	$140 \text{ N/cm}^2 = 20\text{m}\Omega \text{ cm}^2$
Hidrogen atau permeabilitas gas	$<10^{-4} \text{ cm}^3/\text{s cm}^2$
Ketahanan korosi	$\text{CR} < 0,016 \text{ mA/cm}^2$
Kekuatan tekan	$>22 \text{ lb/in}^2$
Rapat massa	$<5 \text{ gr/cm}^3$
Material Cost	\$4/kW
Manufactured Cost	$< \$ 10 /\text{kW}$
Tidak larut dan menghasilkan ion logam	

Saat ini telah dikembangkan bipolar plate ke dalam 3 kelompok besar yaitu:

1. Non-Logam

Pada *bipolar plate* jenis ini umumnya digunakan grafit sebagai material utama baik yang alami maupun buatan karena keduanya memiliki stabilitas kimia yang baik, resistivitas yang kecil, dan menghasilkan energi yang besar. Namun permasalahannya adalah pada bipolar plate ini memiliki harga yang tinggi, *mechanical strength* yang kecil, dan perlu adanya *machining* untuk membuat *channel* aliran.

2. Logam

Logam memiliki nilai konduktivitas yang sangat tinggi, tahan terhadap beban kejutan dan getaran, beban dari permeabilitas, namun di satu sisi penggunaan *bipolar plate* pada temperature 80°C dan dengan pH 2-3 menyebabkan logam akan sangat mudah terkorosi, selain harga yang relatif mahal.

a) Non-coated

Hanya stainless steel yang termasuk material pada kategori ini karena memiliki kekuatan yang tinggi, stabilitas kimia yang tinggi, gas permeabilitas yang kecil, *applicable* untuk produksi dalam jumlah banyak, serta murah. Faktor utama yang menyebabkan stainless steel bisa digunakan adalah adanya lapisan film pada stainless steel sehingga tidak menyebabkan korosi pada permukaannya.

b) Coated

Pada *coated bipolar plate* logam terbagi menjadi 2 material, yaitu *base material* dan *coated material*. Pada *base material* digunakan logam seperti Aluminium, Stainless Steel, Titanium, serta Nikel. Sedangkan untuk *coated material* yang biasa digunakan adalah material-material yang memiliki nilai konduktivitas cukup baik serta tahan korosi. Beberapa

coated material yang biasa digunakan antara lain carbon, grafit, conductive polymer, diamond, dan *noble metal*.

3. Komposit

Saat ini perkembangan komposit bipolar plate sangat pesat. Penelitian-penelitian tentang komposit *bipolar plate* ini terus mengalir. Hal ini dikarenakan beratnya yang sangat ringan dan mudah untuk dibentuk sesuai yang diinginkan.

Ada dua jenis composite bipolar plate yang telah dikembangkan, yaitu *metal base composite* dan *carbon based composite*. Pada *metal base* biasa dipadu dengan penguat grafit, polycarbonate, serta stainless steel. Sedangkan pada *carbon base* biasa digunakan penguat berupa polimer baik itu *thermoplastic* seperti polypropylene, maupun polyethylene maupun *thermoset* seperti epoxy resin phenolic resin, maupun vinil ester. Selain itu pada *carbon composite bipolar plate* biasa ditambahkan *filler* maupun fiber guna meningkatkan sifat dari bipolar plate ini.

Komposit karbon ini yang akan menjadi fokus pada penelitian kali ini. Prospek yang sangat baik untuk perkembangan beberapa tahun ke depan menjadikan komposit jenis ini selalu menarik untuk diteliti. Kompetisi mendapatkan komposit karbon sebagai *bipolar plate* yang sangat baik dikarenakan beberapa faktor, diantaranya[14,15]:

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

2.4 Material Komposit

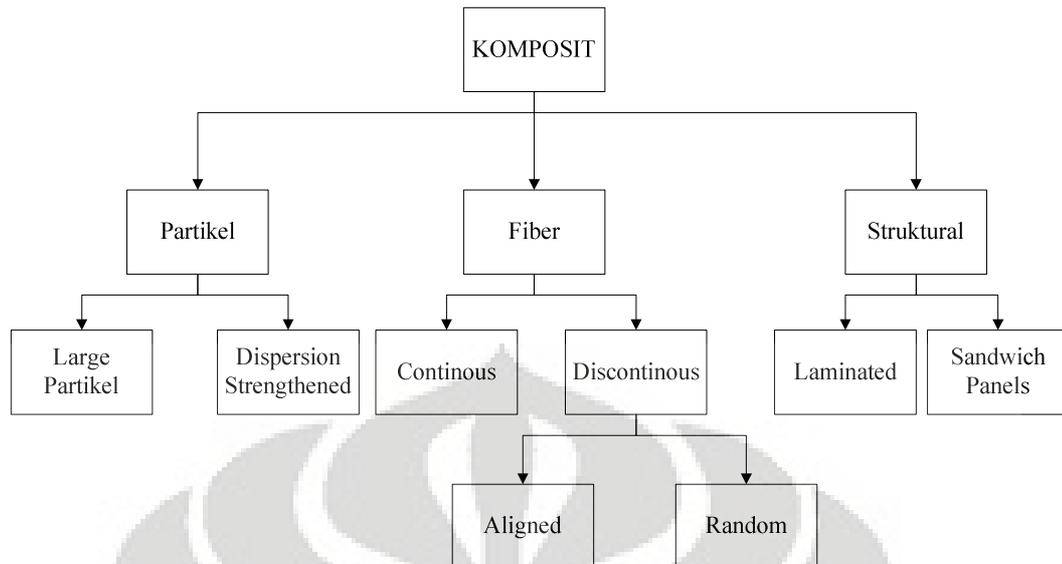
Komposit merupakan gabungan dari dua atau lebih material yang memiliki perbedaan fasa dan sifat yang berbeda, membentuk satu material baru dengan sifat material yang lebih baik dari material penyusunnya, namun masih dapat dibedakan secara makro[16].

Komposit terdiri dari matriks dan penguat (*reinforcement*). Matriks berfungsi sebagai pengikat dari penguat, mendistribusikan beban antara penguat, serta memproteksi penguat dari lingkungannya. Pada *composite bipolar plate* ini, matriks yang digunakan adalah polimer dengan *reinforcement* yang digunakan adalah grafit.

Material komposit memiliki banyak keunggulan dibanding dengan material lain, diantaranya[17]:

- A. Memiliki *strength*, *stiffness*, dan *toughness* yang baik
- B. Stabilitas dimensi yang baik
- C. Ringan
- D. Peningkatan ketahanan terhadap gas dan zat cair yang baik

Komposit berdasarkan bentuk dari *reinforcement*nya dibagi menjadi 3 yaitu partikel, fiber serta structural sebagai *reinforcement*nya.



Gambar 2.5 Komposit Berdasarkan Bentuk dan Penguatnya

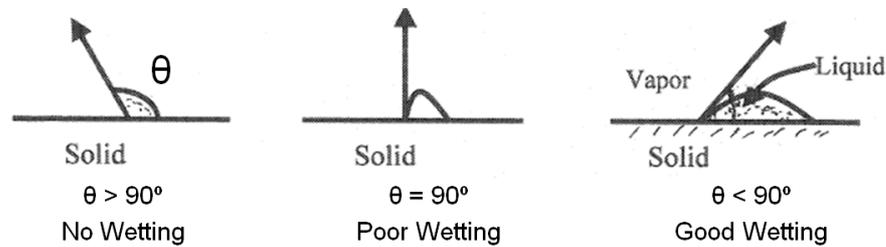
Berdasarkan matriks yang digunakan komposit dibagi menjadi 3 jenis, yaitu:

- A. Ceramic Matrix Composite (CMC)
- B. Metal Matrix Composite (MMC)
- C. Polimer Matrix Composite (PMC)

Pembuatan komposit dimaksudkan untuk mendapatkan material baru dengan sifat yang lebih unggul dari material yang lain. Ada banyak faktor yang menentukan sifat dan kekuatan komposit, antara lain:

- a) *Interface*, atau *interfacial bond* merupakan permukaan antara reinforcement dan matriks yang menentukan proses transfer tegangan dari matriks – reinforcement – matriks, akan akan berpengaruh terhadap *specific strength*, *specific stiffness*, *fracture toughness*, dan ketahanan creep.
- b) *Wetability*, adalah kemampuan matriks polimer untuk membasahi permukaan *reinforcementnya* sehingga terjadi kekuatan yang baik dan mereduksi porositas. *Contact angle* yang baik adalah $<90^\circ$, sehingga perlu

ditambah *wetting agent* ketika *contact angle* yang terbentuk $>90^\circ$.



Gambar 2.6 *Wetability* Pada Komposit[18]

- c) Komposisi volume fraksi dari *matrix* dan *reinforcement* mempengaruhi sifat dari komposit. Jumlah kuantitas dari material penyusun komposit akan berpengaruh terhadap sifat dari material komposit tersebut. Semakin banyak maka material tersebut yang akan sangat berpengaruh besar. Hubungan komposisi terhadap sifat komposit ini dikenal dengan hukum campuran (*rule of mixture*)[19].

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

Keterangan:

E = *Modulus Elastisitas* (komposit(cl), penguat(f), matriks(m))

V = *Fraksi volume* (komposit(cl), penguat(f), matriks(m))

$$\rho_c = \frac{m_c}{v_c} = \frac{m_f + m_m}{v_f + v_m + v_v} = \frac{\rho_f v_f + \rho_m v_m}{v_f + v_m + v_v} = \frac{\rho_f V_f + \rho_m V_m}{1} \quad \dots \dots \dots (2.2)$$

Keterangan:

ρ = *Densitas* (komposit(cl), penguat(f), matriks(m))

m = *massa*

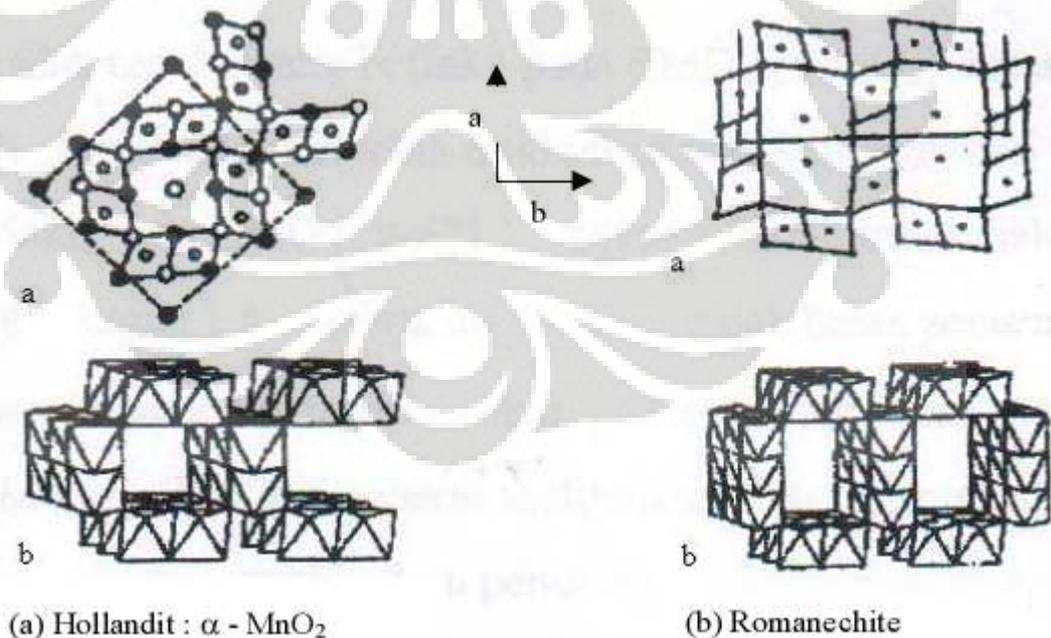
2.5 Mangan Dioksida (MnO₂)

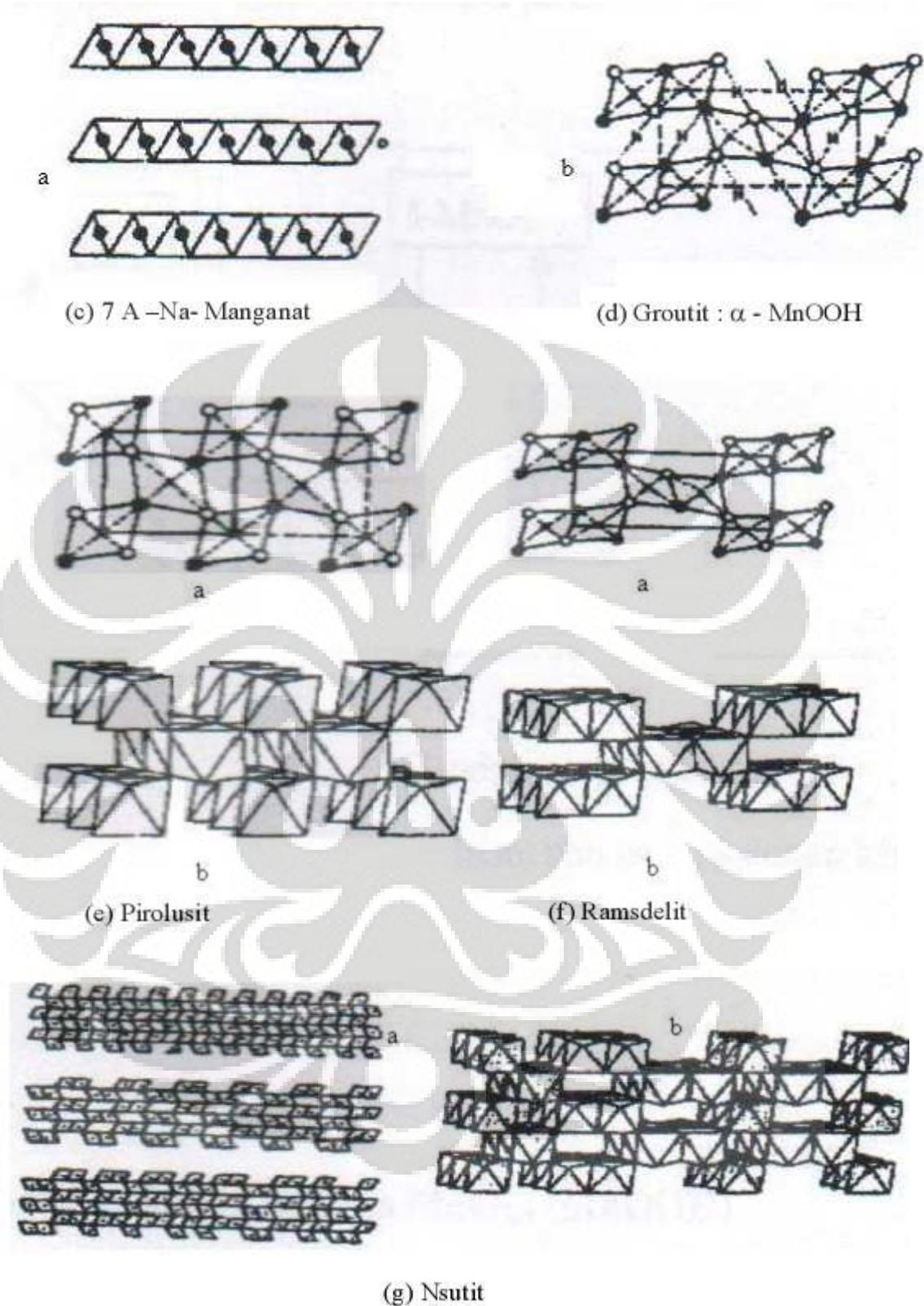
Mangan dioksida merupakan senyawa anorganik yang merupakan semikonduktor yang mempunyai nilai konduktivitas relatif kecil yaitu 10^{-6} hingga

10^{-3} S/cm.[20] Mangan dioksida jumlahnya relatif banyak dalam kulit bumi kira-kira sekitar 0,085% [21] sangat potensial untuk digunakan sebagai *filler* dalam bipolar plate. Bahkan pada dasar laut ditemukan senyawa ini dalam jumlah yang cukup besar yang mencapai 24% [22].

Selain diambil dari alam mangan dioksida juga dapat dibuat dengan memanaskan $\text{Mn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ di udara pada temperatur 530°C . Bentuk hidrat dari mangan (IV) dapat dihasilkan dari reduksi dari larutan KMnO_4 dalam basa. Mangan dioksida inert terhadap kebanyakan asam kecuali bila dipanaskan, tetapi MnO_2 dalam larutan tidak berbentuk ion Mn(IV) disamping MnO_2 itu sendiri yang dapat berfungsi sebagai zat pengoksidasi.[21]

Mangan dioksida merupakan salah satu keramik yang memiliki Struktur dalam fasa yang beragam, diantaranya $\epsilon\text{-MnO}_2$, $\gamma\text{-MnO}_2$ (Nsutit) digunakan dalam katoda baterai, $\beta\text{-MnO}_2$ (pirolusit) yang paling banyak dalam alam, $\delta\text{-MnO}_2$ (pilomanganat) dan MnO_2 (ramsdellit)[23].





Gambar 2.7 Macam-Macam Struktur Mangan Dioksida[20]

Mangan Dioksida terbagi dalam 3 kelompok utama yaitu NMD (*Natural Manganese Dioxide*), CMD (*Chemical Manganese Dioxide*) dan EMD (*electrolytic manganese dioxide*). EMD ini yang sangat banyak digunakan dalam industry baterai.

Pada aplikasinya MnO_2 banyak digunakan pada aplikasi baterai yang dipasang di katoda pada baterai sekunder. Selain itu MnO_2 juga biasa digunakan sebagai oksidator untuk mereduksi besi oksida menjadi logam besi.



Gambar 2.8 Senyawa MnO_2 [24]

Tabel 2.4 Karakteristik dari MnO_2 [24]:

Karakteristik	Keterangan
Nama Lain	Pyrolusite
Molekul senyawa	MnO_2
Mr	86,9368 g/mol
Densitas	5.026 g/cm ³
Konduktivitas	10 ⁻⁶ - 10 ⁻³ S/cm

Meskipun MnO_2 memiliki nilai konduktivitas yang relatif rendah namun aplikasi yang digunakan pada katoda baterai menunjukkan potensi yang baik sebagai *filler* yang ditambahkan pada pembuatan *bipolar plate* ini. Selain itu penambahan mangan dioksida ini diharapkan dapat meningkatkan *mechanical properties* dari *carbon composite bipolar plate* ini, terbukti bahwa penambahan

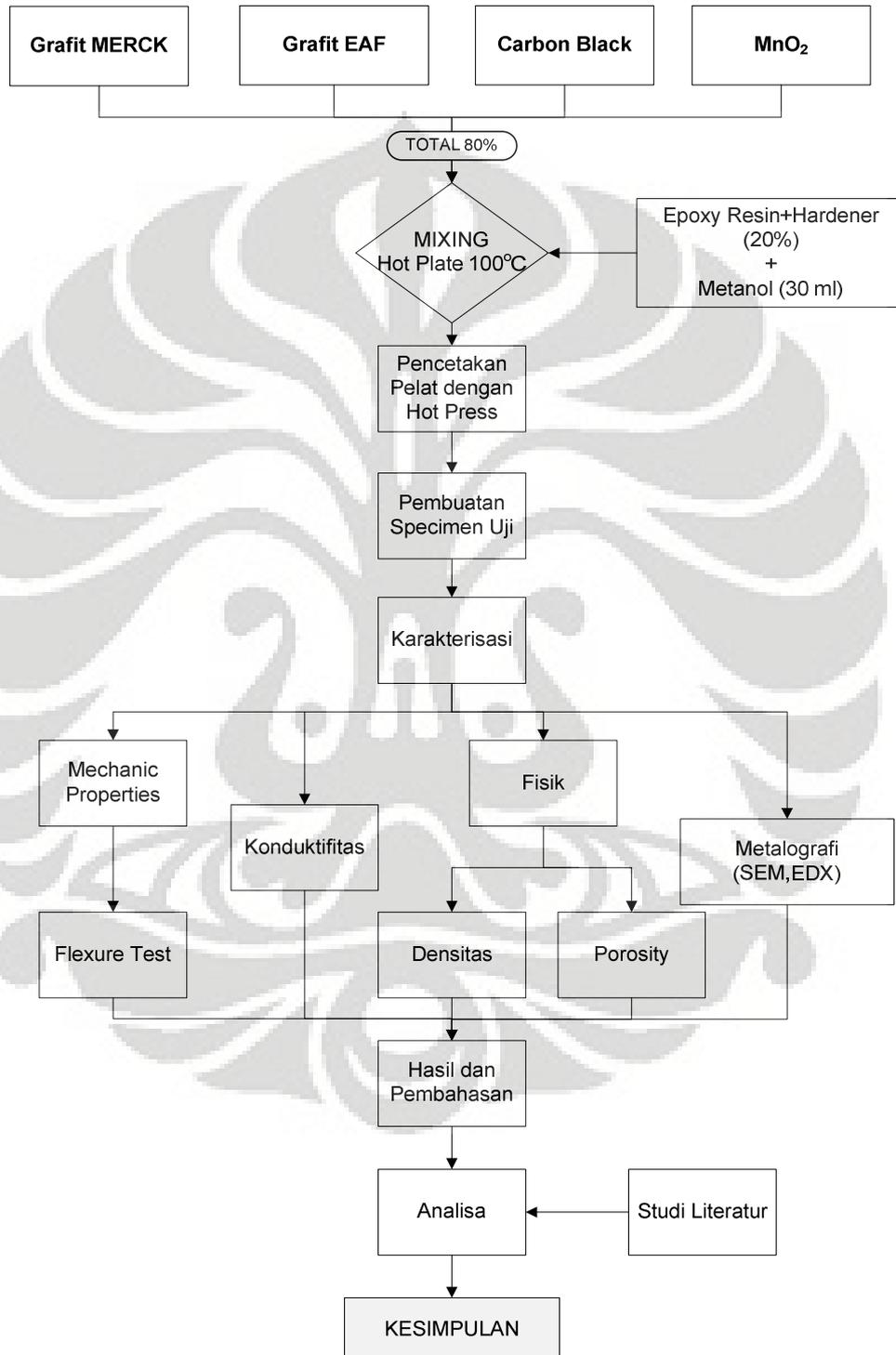
senyawa keramik akan dapat meningkatkan *mechanical properties* tanpa mereduksi nilai konduktivitasnya.[25]



BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1. Sarung Tangan
2. Gergaji dan Gerinda
3. Beaker Glass 1000 ml, 500 ml, dan 100 ml
4. Mixer
5. Spatula
6. Pipet Volume
7. Gelas Ukur
8. Thermometer
9. Hot Plate
10. Timbangan Digital
11. Cetakan Pelat ukuran 15 cm x 10 cm x 0,7 cm
12. Kertas Amplas 100#, 240#, 320#, dan 1200#
13. Jangka Sorong
14. Oven
15. Hydraulic Pressure Machine
16. Rotary Ball Milling
17. Mesin Uji Kekuatan lentur, UTM T22K JJ-Loyd Instrument
18. Mesin Uji Konduktivitas
19. Mesin Structure Electron Microscope (SEM)

20. Mesin Energy Dispersive X-ray Analysis (EDX)

21. Kamera Digital

22. Tisu

23. Kain Katun

3.2.2 Bahan

Pada penelitian ini, pembuatan komposit *bipolar plate* dengan bahan dasar karbon ini mengacu pada penelitian sebelumnya yang juga menggunakan bahan utama grafit MERCK dengan perbandingan terbaik antara polimer dengan grafit 2:8[26]. Pada penelitian ini bahan yang *mixing* sesuai dengan variabel masing-masing sehingga total massa paduan tersebut adalah 140 gram untuk setiap cetakan. Secara umum bahan yang digunakan dalam pembuatan komposit ini dapat dilihat pada table 3.1.

Tabel 3.1 Komposisi Komposit

Total Polimer (20%) (Epoxy Resin + Hardener) (28 gram)		Total Filler (80%) (Grafit EAF, MERCK, Carbon Black, & MnO ₂), (112 gram)		
Resin 50%	Hardener 50%	Grafit MERCK + MnO ₂ (90%)	Carbon Black (5%)	EAF (5%)
50% x 28 gr	50% x 28 gr	90% x 112gr	5% x 112 gr	5% x 112
14 gr	14 gr	100,8 gr	5,6 gr	5,6 gr

3.2.2.1 Epoxy Resin & Epoxy Hardener

Epoxy Resin dan hardener yang digunakan adalah jenis epoxy EPOSCHON buatan Jerman. Epoxy yang merupakan polimer jenis termoset ini digunakan untuk mengikat grafit serta logam additive tersebut. Jumlah epoxy resin dan hardener yang

digunakan pada paduan komposit ini selalu tetap untuk 5 variabel pengujian. Dari total jumlah 20% jumlah polimer yang dibutuhkan terdiri dari epoxy resin dan epoxy hardener dengan perbandingan 1:1. Komposisi epoxy resin dan epoxy hardener yang dibutuhkan dapat dilihat pada table 3.2.

Tabel 3.2 Komposisi Epoxy

Komposisi Additive	Perhitungan	Epoxy Resin	Epoxy Hardener
0%,5%,10%,15%,20%	$(50/100) \times 28 \text{ gr}$	14 gram	14 gram

3.2.2.2 Grafit limbah EAF

Grafit limbah EAF yang digunakan berasal dari limbah peleburan industri baja. Bonghahan grafit yang amat besar itu dilakukan *crushing* hingga menjadi dengan *compressing machine* hingga menjadi pellet berukuran diameter 1- 2 cm dan dilanjutkan *crushing* dengan *disk mill* selama 10 menit hingga dihasilkan partikel berukuran 70 mikron - 150 mikron. Pellet ini yang kemudian diumpankan ke dalam *planetary milling* untuk dilakukan proses *milling* selama 2 hari, sehingga dihasilkan partikel grafit berukuran <30 mikron.

Pada pengujian ini jumlah grafit limbah EAF yang digunakan pada paduan komposit *bipolar plate* ini adalah sebanyak 5% sesuai penelitian sebelumnya mengenai penggunaan grafit EAF untuk pembuatan *bipolar plate*[6]. Hasil tersebut diambil karena nilai konduktivitas MnO₂ yang terbaik.

Jumlah EAF tersebut merupakan 5% total jumlah *filler* yang ditambahkan atau sebanyak 4% dari total massa bahan yang digunakan.

\



Gambar 3.2 Grafit Limbah EAF

3.2.2.3 Grafit Sintetis

Grafit sintetis memiliki ukuran partikel <50 mikron, lebih besar dibanding grafit EAF dan *carbon black*. Grafit ini memiliki nilai konduktivitas listrik yang sangat baik dibanding karbon lain yang digunakan pada penelitian ini sehingga grafit sintetis ini merupakan jumlah yang paling dominan. Prosentase jumlah grafit ini diambil dari total jumlah karbon yang digunakan yaitu 80% dari total berat *bipolar plate* yang di *mixing*. Jumlah grafit sintetis yang ditambahkan akan semakin berkurang sejalan dengan bertambahnya jumlah MnO_2 yang digunakan. Jumlah karbon grafit sintetis yang dibutuhkan dapat dilihat pada table 3.3.

Tabel 3.3 Komposisi Grafit Sintetis

Sampel	Kadar MnO_2	% Grafit Sintetis	Total Berat Grafit Sintetis
Sampel(1)	0%	90%	90% x 112 gr = 100,8 gr
Sampel(2)	5%	85%	85% x 112 gr = 95,2 gr
Sampel(3)	10%	80%	80% x 168 gr = 134,4
Sampel(4)	15%	75%	75% x 112 gr = 84 gr
Sampel(5)	20%	70%	70% x 168 gr = 117,6 gr

3.2.2.4 Carbon Black

Carbon black merupakan karbon yang amorf, konduktivitas rendah namun dapat berfungsi sebagai katalis. *Carbon black* ini akan menyerap arus listrik yang melewatinya yang kemudian akan dihantarkan melewati permukaan yang lain. Penggunaan *carbon black* ini akan meninggalkan porous yang cukup banyak dalam pelat yang dibuat, sehingga pada aplikasinya penggunaan *carbon black* tidak terlalu banyak, hanya 5% dari total *filler* yang digunakan atau sebesar 4% dari total bahan yang digunakan. Sama halnya dengan grafit EAF yang digunakan, komposisi *carbon black* selalu tetap untuk kelima variabel yang digunakan.

3.2.2.5 Mangan Dioksida (MnO₂)

Mangan dioksida (MnO₂) merupakan *filler* yang ditambahkan sebagai variabel dalam penelitian ini. Variabel yang digunakan adalah mulai dari 0%, 5%, 10%, 15%, serta 20% dari total berat *reinforcement* keseluruhan. Penambahan *reinforcement* ini kontan mengurangi persentase grafit sintesis yang digunakan dengan persentase yang sama. Jumlah berat mangan dioksida yang ditambahkan secara lengkap dapat dilihat pada table 3.4.

Tabel 3.4 Komposisi MnO₂

Sampel	Kadar MnO ₂	Total Berat MnO ₂
Sampel(1)	0%	-
Sampel(2)	5%	5% x 112 gr = 5,6 gr
Sampel(3)	10%	10% x 112 gr = 11,2 gr
Sampel(4)	15%	15% x 112 gr = 16,8 gr
Sampel(5)	20%	20% x 112 gr = 22,4 gr

3.2.2.6 Metanol 0,1 M

Metanol digunakan untuk melarutkan epoxy resin dan *hardener* sebelum dicampur dengan grafit. Metanol dipilih karena metanol akan mudah menguap sehingga tidak meninggalkan senyawa di paduan ini. Pada prosesnya nanti metanol akan dikeluarkan dengan pemanasan campuran pada saat di mixing sebelum dicetak dengan metode *hot press*. Penambahan metanol ini sangat menentukan produk yang akan dicetak di cetakan. Semakin banyak metanol yang dilarutkan maka tingkat keencerannya akan semakin tinggi, hal ini akan menyebabkan hasil cetakan berpotensi menjadi lembek dan memiliki sifat mekanik yang buruk. Begitupun sebaliknya semakin sedikit metanol yang digunakan maka distribusi epoxy akan semakin tidak homogen. Selain itu pada saat pencetakan kurangnya tingkat keenceran (kering) menyebabkan hasil produk yang dihasilkan pecah-pecah. Namun permasalahan kesesuaian metanol yang diperlukan akan dapat diatasi dengan metode *mixing* yang tepat dengan *hot plate* untuk mengatur keenceran tersebut.

Penambahan metanol yang diperlukan untuk paduan komposit karbon itu adalah 30 ml untuk masing-masing melarutkan epoxy resin dan epoxy hardener

3.3 Prosedur Penelitian

3.3.1 Pembuatan Pelat

Sebelum proses pembuatan pelat dimulai pastikan peralatan dan bahan yang digunakan tersedia dan siap untuk digunakan. Pada mulanya bahan ditakar dengan timbangan digital sesuai dengan proporsi dan kebutuhan paduan tersebut. Komposisi bahan yang akan digunakan seperti dijabarkan pada table 3.5.

Tabel 3.5 Proporsi Total Bahan

Sampel	Epoxy (20%)		Matrix carbon (80%)			
	Resin	Hardener	Grafit Sintetis	EAF	Cabon Black	Additive (MnO ₂)
Sampel(1)	10%	10%	72%	4%	4%	0%
Sampel(2)	10%	10%	68%	4%	4%	4%
Sampel(3)	10%	10%	64%	4%	4%	8%
Sampel(4)	10%	10%	60%	4%	4%	12%
Sampel(5)	10%	10%	56%	4%	4%	16%

Proses pencampuran dilakukan dengan proses *dry mixing* menggunakan mixer dan beaker glass serta *hot plate* untuk memanaskan saat pengadukan. Prosedur pencampuran tersebut adalah:

1. Siapkan alat dan bahan yang dibutuhkan.
2. Larutkan epoxy resin dan hardener masing-masing dengan metanol dalam beaker glass 100 ml terpisah.
3. Campurkan grafit EAF, grafit sintetis, *carbon black*, MnO₂ dalam beaker glass 1000 ml dan kemudian aduk hingga rata.
4. Masukkan epoxy resin yang telah diencerkan dengan metanol 30 ml ke dalam adonan dan *mixing* selama 5 menit.
5. Masukkan epoxy hardener yang telah dilarutkan dengan metanol 30 ml ke dalam adonan dan *mixing* selama 5 menit.
6. Lanjutkan *mixing* adonan di atas *hot plate* (100°C) selama 10 menit untuk mengeluarkan metanol yang ada di adonan
7. *Mixing* kembali adonan di luar *hot plate* selama 3 menit untuk meratakan distribusi penyebaran keenceran
8. Hasil adonan tersebut kemudian dimasukkan ke dalam cetakan, dan kemudian taruh di atas *hydraulic pressure machine* untuk dilakukan *hot press*

($T = 70^{\circ}\text{C}$) selama 4 jam dengan tekanan 300 kg/cm^2 atau setara 30 MPa. Tekanan yang digunakan 30 MPa[27] akan meningkatkan konduktivitas paling tinggi.

Hasil dari cetakan tersebut adalah *bipolar plate* sebelum dibuat *flow channel*.



Gambar 3.3 (a) Proses *mixing* dalam beker glass; (b) hasil *mixing* serbuk komposit; (c) proses *hot press* dengan *hydraulic pressure machine*

3.3.2 Pembuatan Specimen Uji

Pelat yang udah dihasilkan kemudian dibagi menjadi beberapa 3 bagian, yaitu:

- a. Untuk pengujian densitas, dan porositas dibuat sampel kecil dengan ukuran $2 \times 2 \text{ cm}$ sebanyak 5 buah. Dalam standar ASTM diatur bahwa volume minimal untuk specimen uji adalah 1 cm^3 . Cuplikan tersebut kemudian di amplas hingga permukaannya rata.

- b. Untuk pengujian kekuatan lentur dibuat cuplikan berukuran 12 x 1,3 x 0,3 cm sebanyak 5 buah. Sampel ini diampas hingga permukaannya rata sehingga tidak ada awal mula terjadi crack ketika akan diuji kekuatan lentur.
- c. Untuk konduktivitas dibuat 5 buah cuplikan berukuran 1,5 x 2 cm sebanyak 5 buah. Cuplikan tersebut juga diampas karena permukaan yang rata dibutuhkan agar arus yang ditembakkan dapat diterima oleh penangkap arus setelah ditembakkan dari alat penguji konduktivitas.
- d. Sedangkan untuk pengujian SEM dan EDX diambil dari hasil patahan pengujian kekuatan lentur

3.3.3 Karakterisasi Material

3.3.3.1 Pengujian SEM dan EDX

Pengujian dengan *Scanning Electron Microscope* (SEM) ditujukan untuk melihat topografi dari permukaan specimen pengujian. Specimen yang akan dilihat adalah dari hasil pengujian kekuatan lentur. Dari permukaan yang tampak ini akan dilihat ikatan dari komposit yang terbentuk serta porositas yang terjadi pada specimen uji tersebut. Porositas tersebut adalah morfologi dari specimen yang dapat mempengaruhi sifat mekanis dan konduktivitas dari material komposit.

Prinsip kerja dari SEM tersebut adalah dengan menggunakan elektron yang ditembakkan pada sampel. Hamburan elektron dari hasil tumbukan dengan sampel akan ditangkap oleh detector-detektor pada SEM yang kemudian dapat menghasilkan gambar pada layar. Hasil perbesaran yang akan dilihat adalah dengan perbesaran 100x, 500x, 1000x, dan 2000x.

Pada pengujian Energy Dispersive X-ray (EDX) ini ditujukan untuk mengetahui komposisi unsur yang ada dalam cuplikan specimen. Hasil EDX *analysis* adalah berupa spektrum yang memplot berapa besar frekuensi yang diterima pada setiap level energi. Dengan diketahuinya unsur-unsur tersebut maka dapat dianalisa persebaran serta kesesuaian jumlah campuran komposit tersebut.



Gambar 3.4 *Scanning Electron Microscope* dan *Energy Dispersive X-ray*

3.3.3.2 Pengujian Porositas

Pengujian porositas yang dilakukan mengacu pada standar pengujian ASTM C20[28]. Pengujian ini dilakukan dengan mengeluarkan uap air dalam specimen dengan cara dipanaskan lalu kemudian kita menghitung volume air yang masuk ke dalam pori-pori specimen tersebut. Proses pengujian porositas adalah dengan;

- a. Keringkan specimen uji dalam oven dengan temperature 110°C selama 1 jam agar uap air, minyak, maupun cairan yang ada dalam specimen keluar menguap.
- b. Timbang specimen yang telah dikeringkan dalam keadaan dingin (T atmosfer) sebagai *dry weight* (W).
- c. Rendam specimen dalam air *saturated* yang dipanaskan dalam suhu 100°C di atas *hot plate* selama 2 jam. Hal ini dimaksudkan agar air masuk melalui pori pada specimen dan mengisi ruang kosong dalam specimen uji tersebut. Pada saat perendaman specimen harus melayang dan tidak boleh terjadi kontak dengan permukaan beaker glass. Hal ini dimaksudkan agar seluruh permukaan specimen terjadi kontak dengan air sehingga air dapat masuk melewati seluruh permukaan sampel.
- d. Celupkan specimen tadi dalam air dingin minimum selama 12 jam.
- e. Timbang specimen yang telah mengalami perendaman tadi melayang dalam air dan catat nilainya sebagai *suspended weight* (S) yaitu massa specimen dalam air.

- f. Setelah menghitung nilai massa dalam air, lakukan pengelapan dengan kain katun atau linen untuk menghilangkan air pada permukaan specimen yang terdapat kumpulan air (*drop water*). Lalu lakukan penimbangan dalam udara atmosfer sebagai saturated weight (W)
- g. Hitung nilai porositasnya.

Perhitungan nilai porositas dapat dihitung dengan persamaan:

$$P (\%) = \frac{W-D}{W-S} \times 100 \dots\dots\dots(3.1)$$

Keterangan : P (%) = Porositas (%)

W = Saturated Weight (gram)

D = Dry Weight (gram)

S = Suspended Weight (gram)



Gambar 3.5 Proses perendaman specimen dalam air saturated 100°C

3.3.3.3 Pengujian Densitas

Pelat yang akan dicari adalah yang memiliki massa rendah oleh sebab itu pengujian densitas ini sangat perlu untuk dilakukan. Pengujian densitas ini dengan menggunakan standar prosedur pengujian ASTM D792[29]. Prosedur pengujian densitas adalah:

- a. Keringkan specimen uji dengan oven dalam temperature 100°C selama 1 jam agar zat cair yang ada di dalam specimen keluar semua.
- b. Timbang specimen yang telah dikeringkan tadi dalam keadaan dingin (23±2°C). Catat massa sampel ini sebagai A.
- c. Siapkan air dalam beaker glass 100 ml dan kawat penggantung specimen dalam air ditaruh di atas timbangan digital dan diukur nilai massanya sebagai b.
- d. Masukkan specimen ke dalam kawat yang digantung di dalam air, kemudian catat massanya (w).
- e. Hitung nilai densitas specimen.

Dari hasil penimbangan tersebut kita dapat menghitung nilai densitas specimen benda tersebut dengan terlebih dulu menghitung massa benda dalam air sesuai dengan persamaan yang diturunkan dari persamaan Archimedes:

$$B = w - b \dots\dots\dots(3.2)$$

$$D = \frac{A}{A-B} \dots\dots\dots(3.3)$$

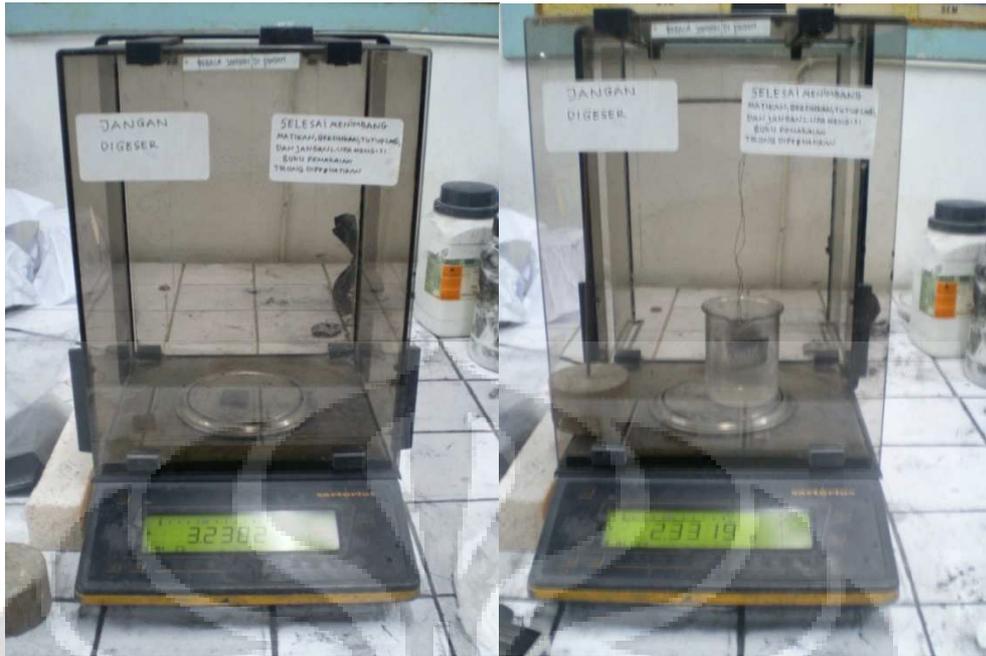
Keterangan : D = densitas (gr/cm³)

A = massa benda dalam udara

B = massa benda dalam air

w = massa benda dalam air bersama beaker glass serta kawat penggantung

b = massa air, beaker glass, serta kawat penggantung

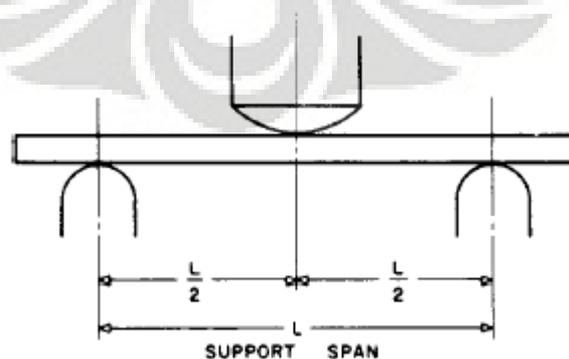


Gambar 3.6 Proses penimbangan dalam udara dan dalam air

3.3.3.4 Pengujian Kekuatan Lentur

Tujuan dari pengujian kekuatan lentur/kelenturan ini adalah untuk mengetahui kekuatan *bipolar plate* ini dari beban tekan yang datang. Pada aplikasinya *bipolar plate* yang dihasilkan akan mengalami dorongan dari hidrogen yang akan dimasukkan sebagai bahan utama dari *fuel cell*. Hidrogen yang dimasukkan ini akan menghasilkan beban tekan pada pelat.

Pengujian kelenturan ini dilakukan dengan metode *three point bending*, seperti ditunjukkan pada gambar 3.7.



Gambar 3.7 Skema Pengujian Kekuatan Lentur

Pada skema gambar pengujian di atas terdapat tiga titik utama dengan 2 titik sebagai tumpuan dan satu titik pembebanan pada bagian tengahnya. Beban lentur diberikan dengan kecepatan konstan hingga specimen mengalami patah.

Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan mesin Universal Testing Machine (UTM) T22K. Standar pengujian kekuatan lentur ini menggunakan ASTM D790[30] dengan panjang support span 65 mm, diameter *punch* 3 mm dan kecepatan pembebanan 2,2 mm/menit.



Gambar 3.8 (a) alat untuk pengujian kekuatan lentur; (b) peletakan specimen uji kekuatan lentur

Data yang didapat dari pengujian ini adalah beban maksimal (P) yang diberikan hingga mengalami patah. Beban yang dihasilkan ini kemudian dikonversikan untuk menghitung *stress* (tegangan) maksimal dari sampel tersebut. Hasil perhitungan kekuatan kekuatan lentur adalah:

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

Keterangan : σ_f = tegangan / kekuatan lentur (MPa)

P = beban maksimal (N)

L = panjang specimen (mm)

b = lebar specimen (mm)

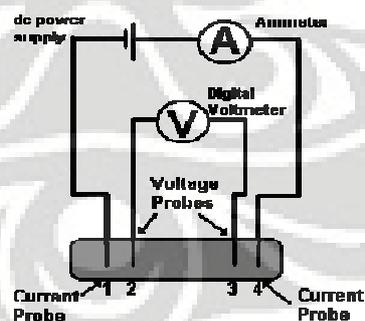
d = tebal specimen (mm)

Mesin yang digunakan tidak dapat menghasilkan data secara tertulis, hal ini dikarenakan *decoder* pada mesin UTM ini tidak dapat berfungsi, sehingga pada pelaksanaannya perlu dilakukan perekaman dengan kamera digital untuk melihat secara seksama dan tepat beban (load) yang diberikan saat indentasi dilakukan.

3.3.3.5 Pengujian Konduktivitas

Pengujian konduktivitas ini dimaksudkan untuk mengetahui kemampuhantaran listrik dari *bipolar plate* yang dibuat. Kemampuhantaran listrik ini sangat penting mengingat pada aplikasinya *bipolar plate* ini berfungsi sebagai membran pengumpul arus.

Alat pengujian konduktivitas listrik ini menggunakan alat digital *four point probe test*. Dengan menggunakan 4 titik yang terdiri dari titik 1 dan 4 sebagai titik pengukur arus yang dibaca di amperemeter, sedangkan titik 2 dan 3 sebagai pengukur tegangan yang akan dibaca di voltmeter. Hasil dari pengujian ini adalah resistivitas listrik dari specimen uji.



Gambar 3.9 Skema Uji Konduktivitas

Proses pengujian konduktivitas ini adalah dengan menaruh specimen uji di dalam mesin uji yang kemudian dijepit dengan cakram agar specimen berfokus pada arus yang akan ditembakkan. Dari hasil pengujian ini akan dihasilkan resistivitas

listrik (ρ). Dengan nilai ini kita akan dapat menghitung nilai konduktivitas listrik dengan persamaan:

$$C = \frac{1}{\rho} \dots\dots\dots(3.5)$$

Keterangan : C = konduktivitas (S/cm)

ρ = resistivitas (Ω cm)



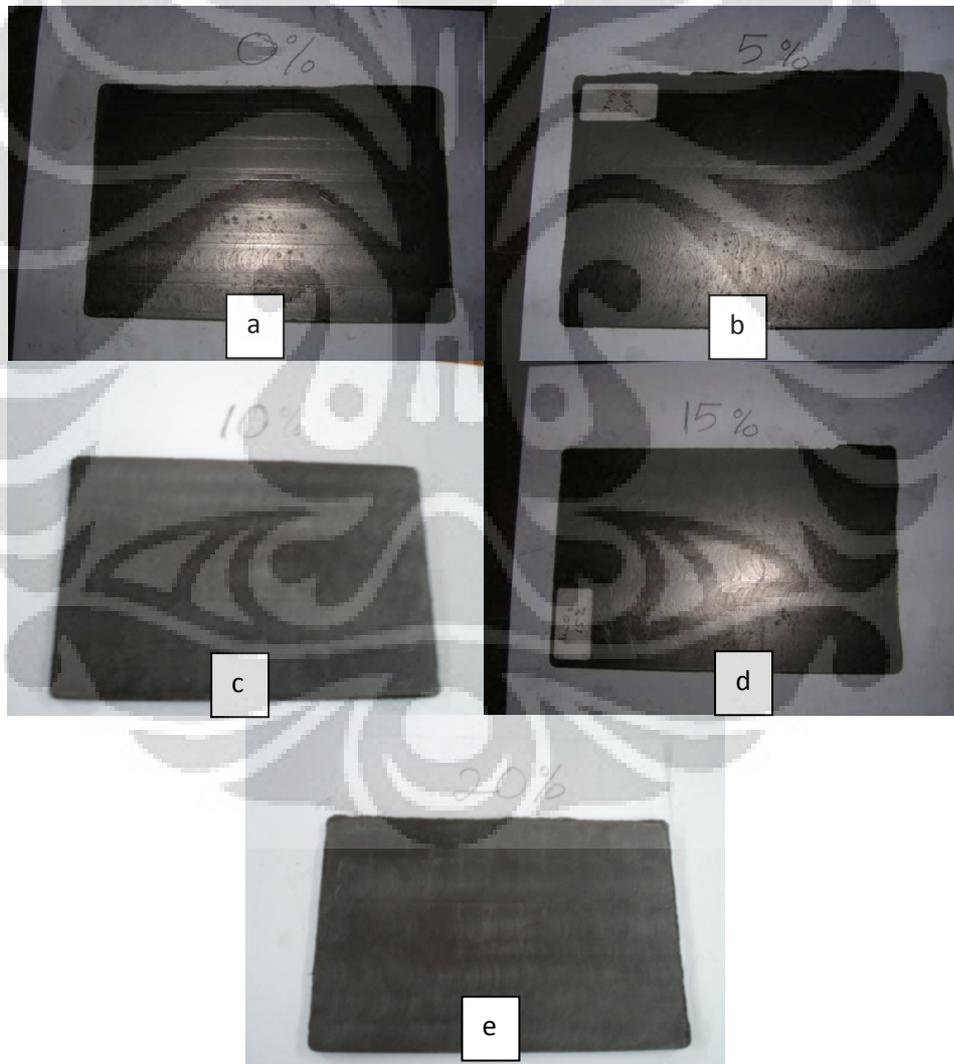
Gambar 3.10 Alat Uji Konduktivitas

BAB 4

HASIL DAN PENBAHASAN

4.1 Plate Hasil Cetakan

Dengan metode dan cetakan yang sama, dihasilkan pelat bipolar yang baik dengan pengamatan visual. Lima sampel yang dibuat berhasil baik dengan tingkat kegagalan 0 persen. Ketebalan yang dihasilkan tergantung dengan jumlah volume dari campuran dan tergantung tekanan yang diberikan oleh mesin hot plate. Pada pelat sampel hasil cetakan dihasilkan pelat dengan ketebalan 5-7 mm dengan tekanan 300 kg/cm^2 selama 4 jam.



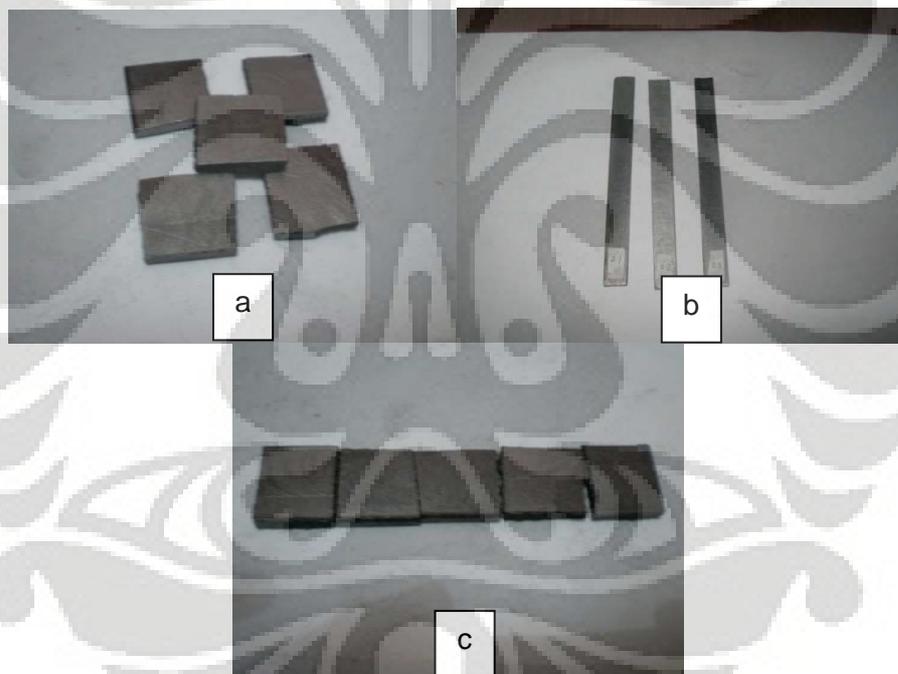
Gambar 4.1 Hasil Pencetakan Pelat Bipolar

Jika diamati secara cermat hasil dari pencetakan bipolar plate ini terdapat *texture-texture* dengan alur yang simetris pada permukaan yang luas. Hal ini dikarenakan dies yang digunakan untuk mencetak tidak rata dan terdapat guratan hasil proses *machining*. Hasil guratan ini kemudian dihilangkan dengan mengamplas permukaan hingga rata dengan kertas amplas ukuran 100#, 240#, 320#, dan diakhiri dengan ukuran 1200#.

Secara umum bentuk visual hasil cetakan untuk kelima variabel tersebut relatif sama, karena menggunakan metode pencetakan yang sejenis.

4.2 Pembuatan Specimen Uji

Hasil pelat yang dicetak tersebut, kemudian dibagi menjadi 3 bagian specimen uji, antara lain:

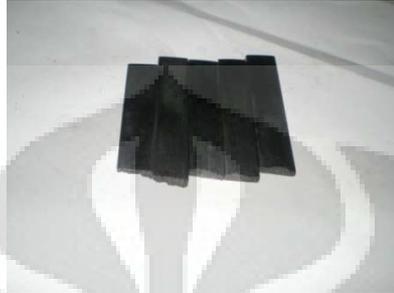


Gambar 4.2 Hasil dari preparasi specimen uji. (a) specimen uji densitas & porositas; (b) uji *flexure*; (c) uji konduktivitas

Adapun specimen hasil pengujian lentur tersebut yang kemudian dilakukan foto mikro dengan SEM dan pengujian EDAX pada bagian melintang yang patah.

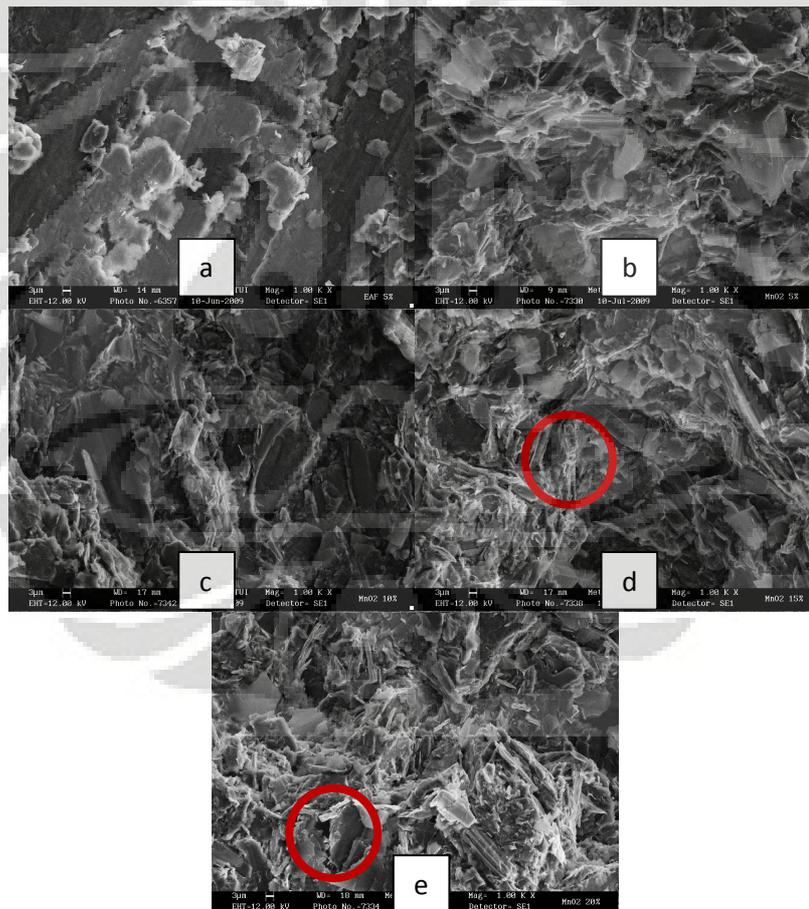
4.3 Pengujian SEM & EDAX

Pada pengujian SEM dan EDAX ini sampel yang digunakan adalah hasil pengujian *flexure* pada bagian melintang patahan. Salah satu dari hasil 5 specimen hasil pengujian *flexure* ini diambil secara acak untuk setiap variabel.



Gambar 4.3 Specimen Uji SEM dan EDAX

Hasil foto mikro beberapa specimen dapat dilihat di bawah ini:



Gambar 4.4 Fotomikro pada specimen dengan penambahan MnO_2 dengan kelima variabel (a) 0%, (b)5%,(c)10%,(d)15%, dan (e)20% dengan p. 1000x

Dari hasil foto mikro tersebut tampak bahwa dengan penambahan MnO₂ yang semakin banyak maka persebaran epoxy pada komposit ini semakin kecil. Pada penambahan MnO₂ sebesar 0% dan 5% terlihat kumpulan epoxy yang sangat luas, hal ini disebabkan partikel-partikel yang lebih kecil sehingga pembasahan yang terjadi semakin luas.

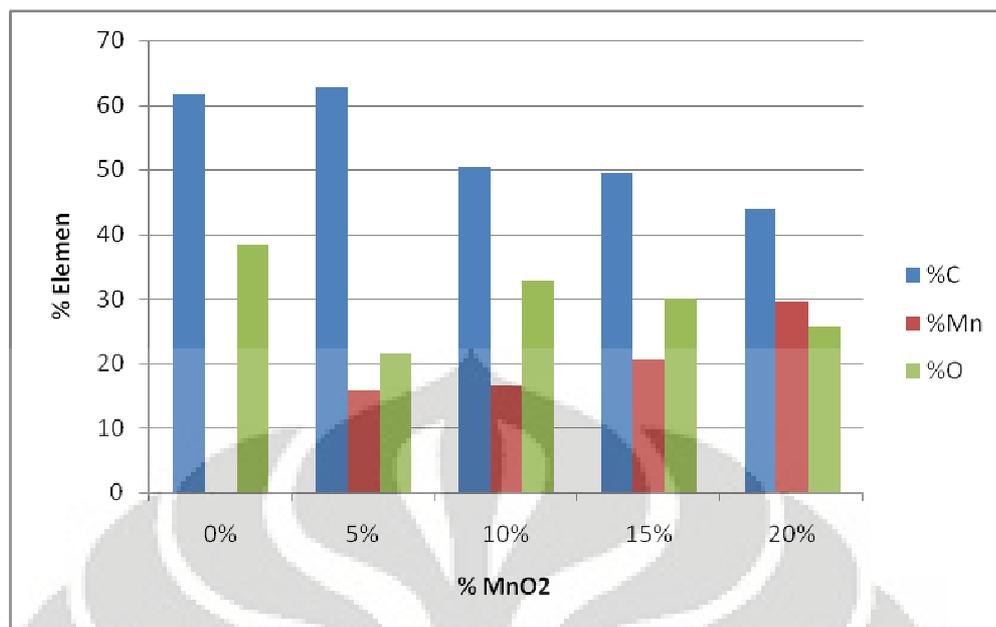
Sedangkan pada penambahan MnO₂ 10% hingga 20% matriks yang terbentuk tampak semakin mengecil, hal ini dikarenakan MnO₂ yang memiliki ukuran partikel lebih besar memberikan pengaruh pembasahan yang tidak merata, sehingga terbentuk koloni-koloni yang dihasilkan oleh campuran MnO₂ dan polimer tersebut.

Dari pengamatan mikro juga kita bisa melihat porositas yang terbentuk. Pada penambahan MnO₂ dengan proporsi yang lebih berat akan menimbulkan poros yang lebih banyak dibanding penambahan MnO₂ dengan kadar lebih kecil.

Bentuk MnO₂ yang merupakan *reinforcement* baru dari grafit-polimer komposit membentuk penyebaran secara acak. Hal ini tampak dari fotomikro yang tidak menampakkan perbedaan secara signifikan dari bentuk butir. Hal ini semakin dikuat dengan hasil EDAX yang tidak terlalu berbeda antara kelima variabel tersebut. Selain itu warna dari MnO₂ yang hampir mirip dengan grafit tidak menyebabkan perbedaan yang tampak dari hasil foto bahkan hingga 2000x (lihat lampiran).

Tabel 4.1 Hasil Pengujian EDAX

Sampel	%C	%Mn	%O
0% MnO ₂	61,72333	0	38,2767
5% MnO ₂	62,59667	15,91	21,5
10% MnO ₂	50,39333	16,69	32,9167
15% MnO ₂	49,38333	20,52667	30,0867
20% MnO ₂	43,95667	29,36667	25,6767



Gambar 4.5 Grafik Hasil Uji EDAX

Pada campuran komposit ini penambahan MnO₂ akan menurunkan jumlah grafit tersebut. Hal ini mengakibatkan berkurangnya unsur karbon di lain sisi justru akan meningkatkan unsur mangan dalam campuran. Peningkatan unsur mangan tersebut tampak dari hasil pengujian EDAX di atas.

Pada sampel tersebut C dihasilkan dari grafit serta *carbon black*, serta Mn dihasilkan dari MnO₂. Adapun unsur O diperoleh dari epoxy yang digunakan. Sedangkan Oksigen pada MnO₂ tidak mengalami oksidasi karena ikatan yang kuat dari senyawa tersebut. Hal ini tampak terlihat bahwa penambahan MnO₂ tidak menambah jumlah %O dari hasil pengujian EDAX.

Kecendrungan penurunan unsur O seiring penambahan MnO₂ dikarenakan pembasahan dari epoxy terhadap penguatnya. Pembasahan yang tidak baik dan partikel *filler* yang cukup besar menyebabkan persebaran jumlah epoxy pada permukaan hasil patahan tidak cukup banyak. Pendistribusian yang kurang baik ditambah dominasi partikel *filler* yang cukup besar ini yang menyebabkan unsur O yang dihasilkan menurun.

4.3 Pengujian Porositas

Proses *hot press* pada pencetakan *bipolar plate* ini akan mengeluarkan metanol yang digunakan untuk melarutkan epoxy. Tak bisa dipungkiri keluarnya metanol ke luar udara akan meninggalkan banyak poros pada permukaan maupun bagian dalam.

Saat dilakukan perendaman dalam air panas (100°C) udara yang mengisi bagian dalam specimen tampak keluar berupa gelembung-gelembung udara. Lambat laun gelembung-gelembung tersebut semakin hilang. Hal ini dikarenakan rongga-rongga yang ada pada bagian dalam specimen uji ini yang sebelumnya diisi oleh udara telah berganti menjadi air.



Gambar 4.6 Tampak udara dalam specimen keluar ketika dipanaskan pada uji porositas.

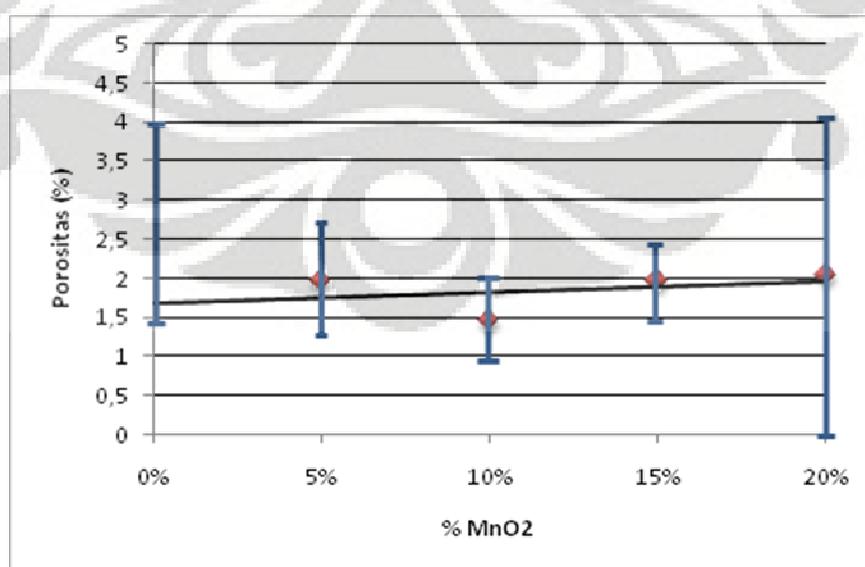
Pada data hasil pengujian dari 5 specimen yang diuji untuk masing masing variabel (lampiran uji konduktivitas) terdapat 1 sampai 2 data yang mengalami penyimpangan nilai sangat jauh. Sehingga untuk pengambilan nilai rata-rata dari setiap variabel untuk menghitung nilai rata-rata porositas tersebut hanya diambil nilai yang memiliki nilai relatif dekat dan logis untuk diambil. Data-data yang mengalami penyimpangan tersebut tidak dimasukkan dalam perhitungan karena tidak representatif untuk mewakili nilai porositas pada pengujian ini.

Penyimpangan-penyimpangan nilai yang terjadi dimungkinkan karena pada saat pengujian sampel yang akan direndam dalam air panas mengalami pengikisan pada saat pemindahan dengan pinset sehingga menyebabkan nilai W menjadi rendah. Rendahnya nilai W dari seharusnya ini menyebabkan nilai porositasnya menjadi negatif.

Sedangkan penyimpangan yang memberikan nilai positif terlalu besar kemungkinan karena pada saat pengelapan masih terdapat gelembung air yang tertinggal pada bagian pojok specimen. Adanya gelembung air sisa ini menyebabkan nilai W menjadi tinggi dan berakibat terlalu besarnya nilai porositas.

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Porositas

Sampel	P
0% MnO ₂	2,731973
5% MnO ₂	1,781961
10% MnO ₂	1,453576
15% MnO ₂	1,956434
20% MnO ₂	2,040228



Gambar 4.7 Grafik hasil pengujian porositas

Dari hasil pengujian porositas tampak bahwa penambahan *filler* MnO₂ akan meningkatkan porositas. Peningkatan nilai porositas ini disebabkan perbedaan partikel-partikel yang terkandung di karbon komposit ini. Mangan dioksida yang memiliki partikel lebih besar akan meninggalkan banyak porous.

Pada pengujian porositas itu banyak factor yang mempengaruhi tentang keakuratan data tersebut. Beberapa variabel tersebut adalah temperature pemanasan, metode pengelapan, metode penimbangan, serta kain yang digunakan saat pengelapan.

Namun jika kita amati lebih cermat, dengan variasi data yang dihasilkan pada kelima pengujian yang dilakukan dapat ditarik garis linear yang meningkat seiring dengan penambahan MnO₂. Garis linear tersebut dapat kita lihat pada grafik di atas.

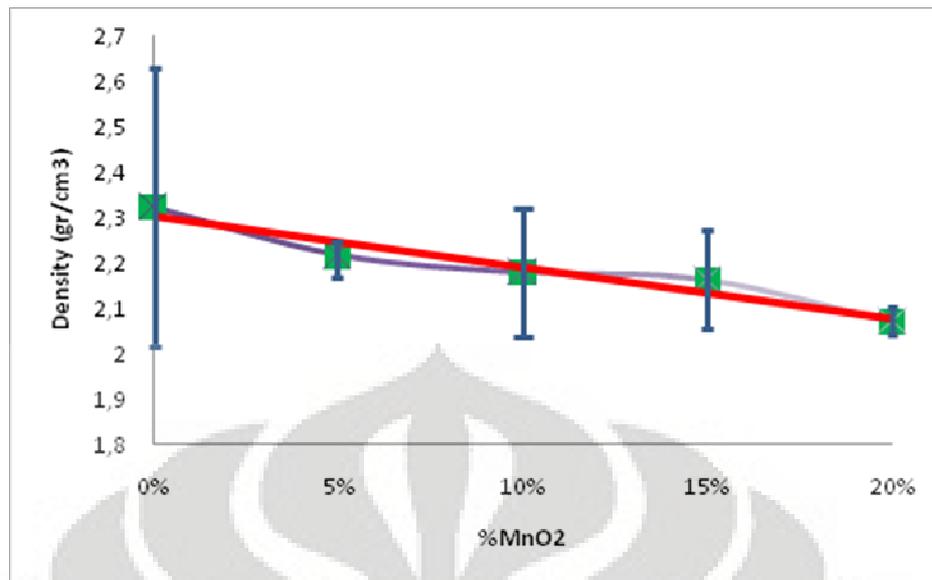
Secara keseluruhan nilai porositas yang dihasilkan tidak terlalu besar seiring dengan penambahan *reinforcement* MnO₂ hanya berada di kisaran 1,7 – 2,1 %. Poros-poros tersebut dapat dilihat pada foto mikro di pembahasan terdahulu.

4.4 Pengujian Densitas

Pada pengujian ini bertujuan untuk mengetahui massa jenis pelat, karena pelat yang massa jenisnya ringan amat sangat dibutuhkan untuk meningkatkan effisiensinya. Selain itu pelat yang sangat ringan sangat bermanfaat terutama untuk aplikasi perlengkapan portable. Berikut data hasil pengujian densitas.

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Densitas

Sampel	Kadar	P
Sampel 1	0% MnO ₂	2,323284
Sampel 2	5% MnO ₂	2,215975
Sampel 3	10% MnO ₂	2,179031
Sampel 4	15% MnO ₂	2,162555
Sampel 5	20% MnO ₂	2,06937



Grafik 4.8 Grafik Hasil Pengujian Densitas

Pada grafik tersebut di atas tampak bahwa seiring dengan penambahan MnO₂ nilai densitasnya akan semakin turun hal ini sejalan dengan kenaikan nilai porositas maka densitasnya akan semakin turun.

Dengan perhitungan hukum campuran, nilai densitas komposit yang dihasilkan semakin meningkat, apalagi nilai densitas Mangan Dioksida (MnO₂) memang 2 kali lebih besar daripada densitas grafit, namun MnO₂ dengan besar partikel yang lebih tinggi akan meninggalkan celah pada bagian dalam cetakan. Celah yang terbentuk ini justru akan membentuk volume yang lebih besar juga. Seiring dengan peningkatan volume pada specimen maka akan menurunkan densitasnya.

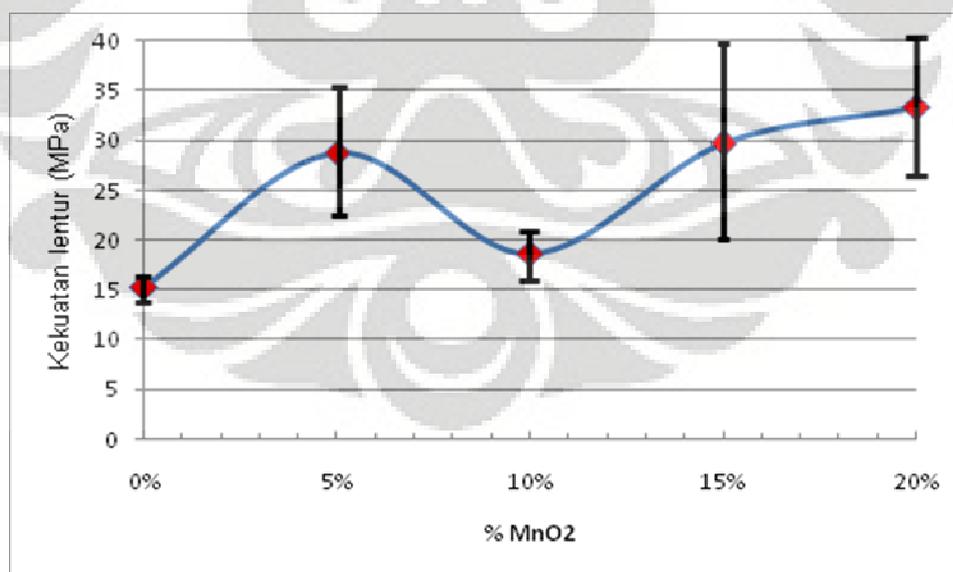
Namun secara keseluruhan peningkatan penambahan MnO₂ akan menurunkan densitas dari *composite bipolar plate*. Dari hasil penelitian penurunan yang dihasilkan tidak turun secara signifikan (maksimal 11%). Namun hasil densitas ini (2,07 – 2,32 g/cm³) sangat ringan jauh di bawah standar *bipolar plate* yang layak diproduksi di bawah 5 g/cm³.

4.5 Pengujian Flexure

Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui kekuatan bipolar plate dari beban lentur (flexure) hingga mengalami perpatahan. Pengujian *flexure* ini merupakan pengujian yang paling penting dalam karakterisasi sifat *bipolar plate* mengingat tujuan penambahan *reinforcement* MnO₂ adalah untuk meningkatkan kekuatannya. Hasil pengujian *flexure* ini dapat dilihat pada tabel dan kurva di bawah ini.

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Kekuatan Flexure

No.	Kadar	σ_f
Sampel 1	0% MnO ₂	15,17917
Sampel 2	5% MnO ₂	28,72592
Sampel 3	10% MnO ₂	18,65507
Sampel 4	15% MnO ₂	29,70592
Sampel 5	20% MnO ₂	33,37935



Gambar 4.9 Grafik hasil pengujian flexure

Dari grafik pengujian *flexure* ini tampak penambahan *reinforcement* MnO₂ akan meningkatkan kekuatan lentur dari *bipolar plate* itu sendiri. Secara visual kekerasan dari specimen yang memiliki kadar MnO₂ lebih banyak memiliki kekerasan lebih tinggi, serta patahan dari pengujiannya adalah bersifat getas. Hal ini dikarenakan sifat MnO₂ yang sangat keras sehingga ketika dipadu dengan *carbon-composite* didapatkan nilai *flexure* yang tinggi. Selain itu Mn merupakan logam paduan yang dapat meningkatkan kekuatan dan kekerasan pada material.

Ukuran partikel MnO₂ yang lebih besar itu pun mempengaruhi nilai kekuatan tekannya. Luas permukaan partikel yang lebih kecil membuat area pembasahan antara epoxy dengan MnO₂ lebih kuat dibandingkan Epoxy dengan Grafit. Fenomena ini membuat kekuatan yang dihasilkan lebih baik seiring penambahan MnO₂.

Selain itu MnO₂ yang merupakan *reinforcement* sendiri yang berbeda dengan grafit. Sehingga dengan fraksi volume MnO₂ yang lebih tinggi secara perhitungan dengan hukum campuran maka akan meningkatkan nilai kekuatan *flexuralnya*.

Pada penambahan MnO₂ sebesar 5% terjadi peningkatan nilai kekuatan tekan. Peningkatan yang terjadi meningkat hampir 2 kali lipat daripada tidak adanya penambahan MnO₂. Hasil ini adalah merupakan kekuatan optimum pada penambahan *reinforcement* MnO₂, artinya dengan penambahan 5% MnO₂ saja dapat meningkatkan kekuatan tekannya hingga 2 kali lipat.

Hasil terbaik kekuatan tekannya ada pada penambahan MnO₂ dengan komposisi 20% yaitu sebesar 33,38 MPa jauh melebihi kekuatan tekan yang distandarkan untuk *bipolar plate* yaitu 0,15 MPa (22 Psi). Sedangkan pada penambahan 10% MnO₂ memberikan nilai yang paling rendah.

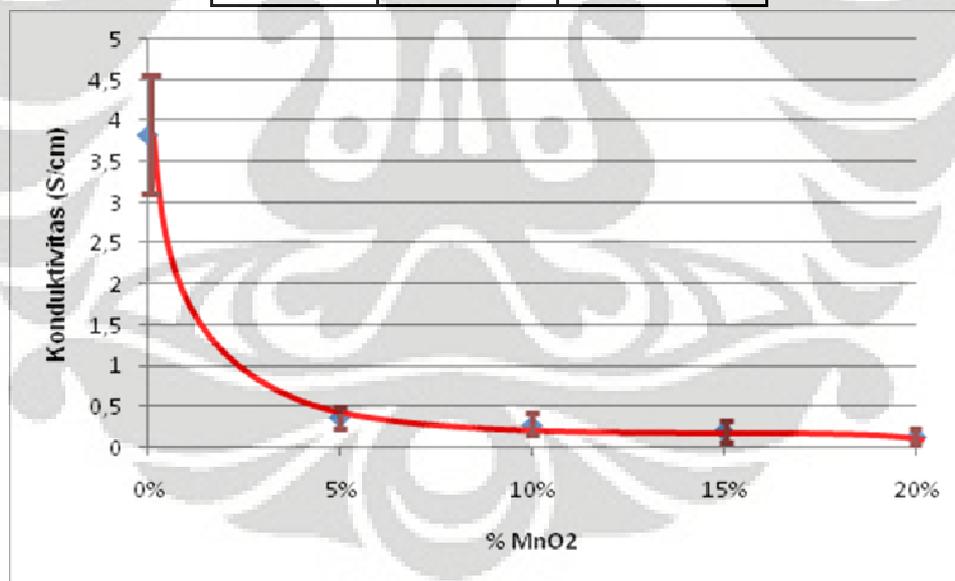
4.6 Pengujian Konduktivitas

Pada pengujian ini didapatkan resistivitas dari pelat sampel. Sebagai pengujian dilakukan dengan 5 sampel pengujian untuk setiap variabel, namun hanya 3-4 sampel yang dapat dibaca nilai resistivitasnya.

Berikut hasil data pengujian resistivitas (ρ) dan nilai konduktivitas masing-masing variabel penambahan *reinforcement* MnO_2 :

Tabel 4.5 Hasil hasil pengujian konduktivitas

Sampel	Kadar	Kond (S/cm)
Sampel 1	0% MnO_2	3,8261
Sampel 2	5% MnO_2	0,349
Sampel 3	10% MnO_2	0,2749
Sampel 4	15% MnO_2	0,1893
Sampel 5	20% MnO_2	0,1309



Gambar 4.10 Hasil pengujian konduktivitas

Dari hasil penelitian tersebut tampak bahwa penambahan *reinforcement* akan menurunkan nilai konduktivitas komposit. Hal ini dikarenakan mangan dioksida adalah merupakan sebuah senyawa oksida yang termasuk dalam kelompok keramik. MnO_2 memang sangat baik untuk digunakan sebagai

refraktori karena sifatnya yang sangat tahan dengan panas. Namun di satu sisi MnO_2 ini tidak bersifat konduktif listrik. Dengan nilai konduktivitas yang sangat kecil dibandingkan nilai konduktivitas grafit sintetis, maka dengan penambahan MnO_2 akan semakin menurunkan nilai konduktivitasnya.

Selain itu menurunnya nilai densitas serta meningkatnya porositas pada penambahan MnO_2 menyebabkan turunnya nilai konduktivitas listrik. Adanya poros yang terbentuk tersebut membuat *bipolar plate* tidak mampu mengalirkan arus dengan baik, sehingga nilai konduktivitas elektriknya menjadi berkurang.

Faktor lain yang juga dapat menyebabkan penurunan nilai konduktivitas itu juga dikarenakan ukuran partikel dari MnO_2 . Mangan dioksida (MnO_2) yang digunakan memiliki ukuran partikel 3/2 kali lebih besar dari grafit sintetis. Sehingga semakin banyak komposisi MnO_2 dalam campuran maka akan semakin banyak partikel yang lebih besar, hal ini yang menyebabkan nilai konduktivitas semakin menurun[31].

Penurunan nilai konduktivitas listrik yang sangat drastis dengan penambahan MnO_2 dari campuran menunjukkan bahwa MnO_2 tidak baik untuk ditambahkan ke dalam *composite bipolar plate* meskipun nilai kekuatan tekan yang dihasilkan sangat tinggi.

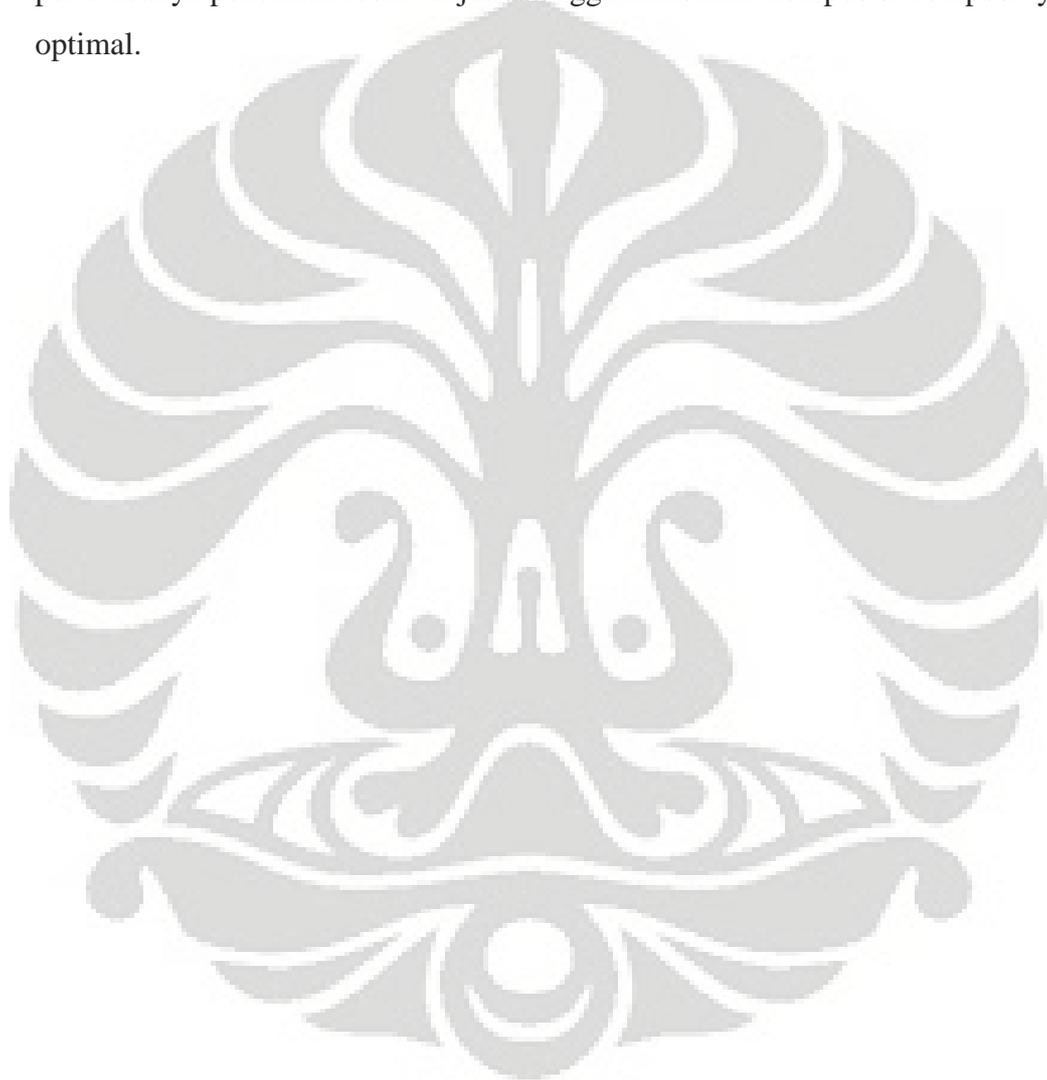
4.7 Perbandingan Sifat komposit

Dari hasil penelitian tersebut di atas dapat dibandingkan sifat-sifat komposit setiap sampel yang dapat dilihat pada Tabel 4.6 di bawah ini.

Tabel 4.6 Perbandingan Sifat Komposit

Sampel	1	2	3	4	5
Konduktivitas (S/cm)	3,8261	0,349	0,2749	0,1893	0,1309
Kekuatan <i>Flexure</i> (MPa)	15,1792	28,7259	18,6551	29,7059	33,3793
Porositas(%)	2,73197	1,96282	1,45358	1,95643	2,04023
Densitas (gr/cm^3)	2,32328	2,21598	2,17903	2,16255	2,06937

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa sampel 2 dengan penambahan MnO_2 5% menghasilkan peningkatan nilai kekuatan *flexure*/lentur yang tinggi, tetapi juga terjadi penurunan nilai konduktivitas yang sangat drastis. Nilai kekuatan lentur tertinggi ada pada sampel 5 dengan penambahan MnO_2 20% namun memiliki nilai konduktivitas yang sangat rendah. Kelima sampel belum bisa diharapkan karena nilai konduktivitas yang dihasilkan sangat rendah sekali, dan perlu adanya penelitian lebih lanjut sehingga dihasilkan komposisi komposit yang optimal.



BAB 5

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan, yaitu:

1. Proses pembuatan bipolar plate dengan proses mixing dan hot press dapat menghasilkan bipolar plate yang baik secara fisik dengan *pressure* 300 kg/cm², temperature 70°C serta waktu penekanan selama 4 jam.
2. Penambahan MnO₂ dapat meningkatkan kekuatan mekanis (kekuatan lentur) sangat tinggi
3. Nilai konduktivitas yang diperoleh semakin menurun seiring dengan penambahan MnO₂. Penurunan yang terjadi sangat drastis jauh dari yang diharapkan menjadi 0,349 S/cm pada sampel 2 dengan penambahan 5% MnO₂ dari 3,83 S/cm pada kondisi sebelum penambahan *filler* MnO₂ tersebut.
4. Komposisi yang paling optimal dari penambahan MnO₂ adalah pada sampel 2 dengan penambahan MnO₂ 5% karena mempunyai nilai konduktivitas cukup tinggi dan peningkatan kekuatan *flexure* yang sangat baik.
5. MnO₂ dapat digunakan sebagai *reinforcement* untuk meningkatkan sifat mekanik *bipolar plate* karena dapat meningkatkan kekuatan *flexure* hingga lebih dari 2 kali lipatnya, namun konduktivitasnya sangat menurun drastis sehingga perlu ada penambahan material lain yang dapat meningkatkan konduktivitas menjadi yang diinginkan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kamaruzzaman, Sopian(a) , Wan Ramli Wan Daud(b) . (2005). *Challenges and future developments in proton exchange membrane fuel cells*. a Department of Mechanical and Material Engineering Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM Bangi, Selangor Darul Ehsan, Malaysia b Department of Chemical and Process Engineering, Faculty of Engineering, Universiti Kebangsaan Malaysia,
- [2] *Hydrogen Energy and Fuel Cells - A vision of our future handbook hydrogen energy*. (2003). Directorate-General for Research and Directorate-General for Energy and Transport, European Commission-Community Research. Brussels
- [3] *Fuel Cell Handbook, 7th ed. EG&G services, Parson Inc. US Departement of Energy*, (2004). Office of Fossil Energy, National Energy Technology Laboratory, West Virginia,.
- [4] Li, Xianguo and Imran Sabir. (2004). *Review of Bipolar Plate in PEM Fuel Cell: Flow-field designs*. Department of Mechanical Engineering, University of Waaterloo, 200 University Avenue West, Waterloo, Ontario, Canada, N2L, 3G1.
- [5] http://en.wikipedia.org/wiki/Alkaline_battery
- [6] Zaki, Muhammad Azizi. (2009). Skripsi: **Evaluasi Pelat Bipolar Grafit Komposit berbasis limbah EAF (Electric Arc Furnace) Polimer Elektrolit Membran Fuel Cell (PEMFC): Sifat Electrical, Mechanical, Porositas**
- [7] Kumar, Atul and Rumana G. Reddy. (2002). *Effect of channel dimension and shape in the flow-field distributor on the performance of polymer electrolyte membrane fuel cells*. Department of Metallurgical and Material Engineering. The University of Alabama.

- [8] Rayment, Chris and Scott Sherwin. *Introduction to Fuel Cell Technology*. Department of Aerospace and Mechanical Engineering University of Notre Dame. May 2,2003
- [9] <http://www.azom.com/news.asp>. *Composite Material, Compression Process to Reduce Time, Cost of Manufacturing Bipolar Plates*
- [10] http://www.scientific-computing.com/features/feature.php?feature_id=126
- [11] Cooper, Joyce S. (2003). *Design Analysis of PEMFC bipolar plates considering stack manufacturing and environment impact*. Department of Mechanical Engineering, University of Washington, Seattle, WA 98195, USA.
- [12] Hermann, Allen (a), Tapas Chaudhuri (a,b), and Priscila Spagnol(b). (2005). **Bipolar plates for PEM fuel cells: A review**. a Department of Physics, University of Colorado, Boulder, CO 80309-0390, USA. b National Renewable Energy Laboratory, Golden, CO 80401, USA.
- [13] Onischak, M. Leonard G. Marianowski, Qinbai Fan, Jeremy Chervinko. (1999) *Development of a \$.kW Bipolar Plate Separator Plate – Paper for 1999 Joint DOE/EPRI/GRI Fuel Cell Technology Review Conference*. Institute of Gas Technology.
- [14] Tawfik, H (a), Y. Hung (a,c), and D. Mahajan (b.c). (2006). *Metal Bipolar Plates for PEM Fuel Cell – A Review*. a Institute for Research and Tech, Transfer, Farmingdale State University of New York, Farmingdale, NY, USA, (b) Energy Sciences 7 Technology Department, Brookhaven National Laboratory, NY 11973-5000, USA, (c) Chemical and Molecular Engineering Program, Stony Brook University, Stony Brook, NY 11794, USA.
- [15] Besmann, Ted, James Klett, John Henry, Jr., and Edgar Lara-curzio. *Carbon Composite Bipolar Plate for PEM Fuel Cells*.
- [16] Anne Zulfia, *Diktat Kuliah Teknologi Komposit MMF420803*, Departemen Metalurgi dan Material, Fakultas Teknik Universitas Indonesia, 2009.

- [17] Rashid, Azura. A. Polymer Composite. School of Mineral Engineering, Universiti Sains Malaysia
- [18] Mathews and Rawlings (2005). Composite Material: Engineering and Science. New York
- [19] <http://www.tech.plym.ac.uk/sme/mats333/rules%20of%20mixture.pdf>
- [20] Azita, Raizul BT. AB. Rashid. (2005) Thesis "*Pendopan Tanpa Electrode Mangan Dioksida Elektrolitik dengan Nikel dan Pencirian*". University Teknologi Malaysia.
- [21] http://inherent.brawijaya.ac.id/vlm/file.php/32/materi/trans/per_1/mang.html
- [22] http://www.chem-is-try.org/tabel_periodik/mangan/
- [23] Shen Yuwei. (1997). Dissertation "*Study and Improvement of Rechargeable Alkaline Manganese-Zinc System*". Technical University Graz, Australia.
- [24] http://en.wikipedia.org/wiki/Manganese_dioxide
- [25] Bhlapibul, Saowaluck and Kejvalee Pruksathorn.(2008) *Preparation of Graphite composite bipolar plate for PEMFC*. Fuel Research Center, Department of Chemical Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok Thailand.
- [26] Suhandi, A, N. Indayaningsih, B. Prihandoko, A. Subhan,(2009) "*Research on PEMFC Graphite Composite Bipolar Plate Influenced by Composition of Filler and Binder*", Research Centre of Physics – Indonesia Institute of Sciences.
- [27] Blunk, Richard, Mahmmoud Hassan Abd Elhamid, Daniel Lisi, Youssef Mikhail.(2005) "*Polymeric Composite Bipolar Plates for Vehicle Application*". General Motor Global R&D Center, Fuel Cell Activities, 30500 Mound road. USA.

- [28] American Standards for Testing Material international. ASTM C20 – 00 – Standard Test Methods for Apparent Porosity, Water Absorption, Apparent Specific Gravity, and Bulk Density of Burned Refractory Brick and Shapes by Boiling Water
- [29] American Standards for Testing Material international. ASTM D792 00– Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement
- [30] American Standards for Testing Material international. ASTM D790 00– Standard Test Methods for Flexural Properties of Plastics.
- [31] Kuan, Hsu-Chiang (a), Chen-Chi M.Ma (a), Ke Hong Chen (a), Shih-Ming Chen (b). (2004). *Preparation, electrical, mechanical and thermal properties of composite bipolar plate for a fuel cell.* (a)Department of Chemical Engineering, National Tsing-Hua University, Hsin-Chi 30043, Taiwan ROC, Materials Research Laboratories, Industrial Technology research.

Lampiran 1 Komposisi Pembuatan Bipolar Plate

Sampel	Epoxy (20%wt)		Carbon+MnO ₂ (80%wt)				Total Berat
	Resin	Hardener	Grafit Sintetis	EAF	Cabon Black	MnO ₂	
Sampel 1	10%	10%	72%	4%	4%	0%	100%
(0% MnO₂)	12,0154 gr	12,0028 gr	86,4013 gr	4,8009 gr	4,8021 gr	0	120,0225 gr
Sampel 2	10%	10%	68%	4%	4%	4%	100%
(5% MnO₂)	14,0183 gr	14,0217 gr	95,2028 gr	5,6046 gr	5,6017 gr	5,6103 gr	140,0594 gr
Sampel 3	10%	10%	64%	4%	4%	8%	100%
(10% MnO₂)	14,0192 gr	14,062 gr	89,6031 gr	5,6008 gr	5,6012 gr	11,2082 gr	140,0945 gr
Sampel 4	10%	10%	60%	4%	4%	12%	100%
(15% MnO₂)	15,0471 gr	15,0179 gr	90,0101 gr	6,0072 gr	6,0018 gr	18,0091 gr	150,0932 gr
Sampel 5	10%	10%	56%	4%	4%	16%	100%
(20% MnO₂)	15,0094 gr	15,0275 gr	84,0083 gr	6,0031 gr	6,0085 gr	24,0048 gr	150,0616 gr

Lampiran 2 Hasil Pengujian Densitas

0%	a	w-b	ρ	ρ rata-rata
I	1,964	1,0995	2,271833	2,323284
II	2	1,113	2,254791	
III	1,7724	1,0775	2,550583	
IV	1,897	1,0607	2,268325	
V	1,965	1,0997	2,270889	

5%	a	w	b	ρ	ρ rata-rata
I	3,5007	152,716	150,814	2,189717	2,2159747
II	3,5053	152,577	150,6625	2,203483	
III	3,48	152,536	150,634	2,205323	
IV	3,4183	152,441	150,56	2,223574	
V	3,1934	152,242	150,463	2,257777	

10%	a	w-b	ρ	ρ rata-rata
I	3,0744	1,6593	2,172567	2,179031
II	3,1154	1,7003	2,201541	
III	3,0582	1,7064	2,262317	
IV	2,8173	1,4907	2,1237	
V	3,2587	1,7324	2,135032	

15%	a	w	b	ρ	ρ rata-rata
I	3,2359	153,761	152,027	2,154538	2,1625547
II	3,4219	153,804	151,9695	2,155663	
III	3,0523	153,556	151,911	2,168905	
IV	3,8	153,813	151,719	2,227433	
V	3,2396	153,369	151,6675	2,106235	

20%	a	w-b	ρ	ρ rata-rata
I	2,7607	1,4274	2,070577	2,06937
II	2,7413	1,4232	2,079736	
III	2,5704	1,3292	2,070899	
IV	2,7824	1,4374	2,068699	
V	2,76	1,4182	2,056938	

Lampiran 3 Hasil Pengukuran Porositas

0%	D	S	W	P	P rata-rata
I	1,964	1,0995	2,0155	5,622271	2,731973
II	2	1,113	2,086	8,838643	
III	1,7724	1,0775	1,786	1,919548	
IV	1,897	1,0607	1,925	3,239616	
V	1,965	1,0997	1,9921	3,036755	

5%	D	S	W	P	P rata-rata
I	3,0428	1,698	3,0667	1,746183	1,9628175
II	2,8994	1,6354	2,922	1,756568	
III	2,8753	1,6451	2,8984	1,843134	
IV	2,7446	1,5227	2,776	2,505386	
V	2,5421	1,6618	3,0161	34,99963	

10%	D	S	W	P	P rata-rata
I	3,0126	1,6567	3,059	3,30885	1,4535763
II	3,0204	1,6278	3,045	1,735817	
III	3,0686	1,9828	3,0879	1,746448	
IV	3,2095	1,7208	3,2272	1,174987	
V	2,735	1,5732	2,7486	1,157053	

15%	D	S	W	P	P rata-rata
I	2,6101	1,4626	2,631	1,788771	1,9564343
II	3,0102	1,6137	3,0415	2,192184	
III	3,1991	1,7285	3,2319	2,181721	
IV	3,1764	1,7218	3,201	1,663061	
V	2,976	1,416	2,5608	-36,2683	

20%	D	S	W	P	P rata-rata
I	2,7333	1,434	2,7537	1,545806	2,0402284
II	2,7718	1,4688	2,8085	2,739419	
III	2,5034	1,3047	2,5178	1,187041	
IV	2,7248	1,4445	2,7678	3,249452	
V	2,7508	1,4389	2,7705	1,479423	

Lampiran 4 Hasil Pengujian *Flexure*

0% MnO ₂	P	L	b	d	σ_f	$\sigma_{f rata2}$
I	35,636	52	12	3,8	16,04114	15,17917
II	37,8636	52	12,7	4	14,53426	
III	35,6366	52	11,5	4	15,10682	
IV	35,6366	52	11,5	4	15,10682	
V	35,6366	52	11,5	4	15,10682	

5% MnO ₂	P	L	b	d	σ_f	$\sigma_{f rata2}$
I	86,4	65	13	4,5	32	28,72592
II	75,2	65	12,8	4,3	30,97958	
III	99,2	65	14,2	4,9	28,36846	
IV	80	65	14,5	4,6	25,42207	
V	72	65	13,5	4,4	26,8595	

10%MnO ₂	P	L	b	d	σ_f	$\sigma_{f rata2}$
I	67,2	65	16,4	4,6	18,88054	18,65507
II	64	65	13,8	4,7	20,46962	
III	64	65	14,4	5	17,33333	
IV	60,8	65	15,3	4,7	17,53966	
V	62,4	65	13,3	4,9	19,05221	

15% MnO ₂	P	L	b	d	σ_f	$\sigma_{f rata2}$
I	88,8	65	13,2	4,2	37,18306	29,70592
II	76,8	65	13,5	4,5	27,39095	
III	80	65	13	4,5	29,62963	
IV	80	65	13,8	4,6	26,7116	
V	78	65	13,6	4,5	27,61438	

20% MnO ₂	P	L	b	d	σ_f	$\sigma_{f rata2}$
I	137,6	65	16,6	4,9	33,66067	33,37935
II	102,4	65	15	4,45	33,61192	
III	112	65	13,6	4,65	37,13452	
IV	108,8	65	13,7	4,8	33,60706	
V	97,6	65	14,3	4,8	28,88258	

Lampiran 5 Hasil Pengujian Konduktivitas Listrik

Nilai	0%				
	I	II	III	IV	V
ρ (Ωcm^2)	0,235	0,282	0,253	0,302	0,246
Konduktivitas (S/cm)	4,25532	3,5461	3,9526	3,3113	4,065
Konduktivitas Rata-rata	3,826057308				

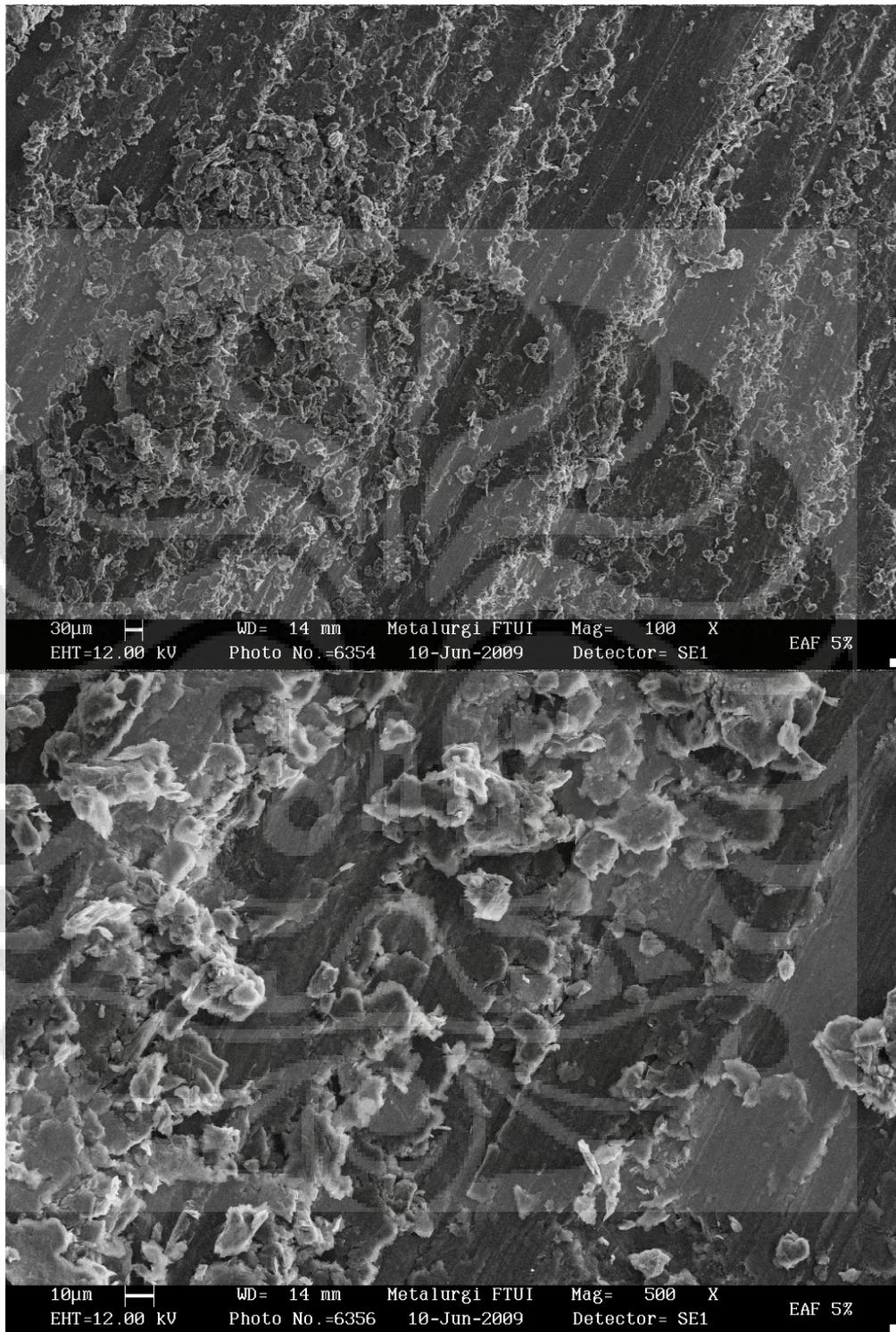
Nilai	5% MnO ₂		
	I	II	III
ρ (Ωcm^2)	3,95	2,47	2,57
Konduktivitas (S/cm)	0,25316	0,4049	0,3891
Konduktivitas Rata-rata	0,349042638		

Nilai	10% MnO ₂			
	I	II	III	IV
ρ (Ωcm^2)	3,63	3,09	3,48	4,69
Konduktivitas (S/cm)	0,27548	0,3236	0,2874	0,2132
Konduktivitas Rata-rata	0,274920657			

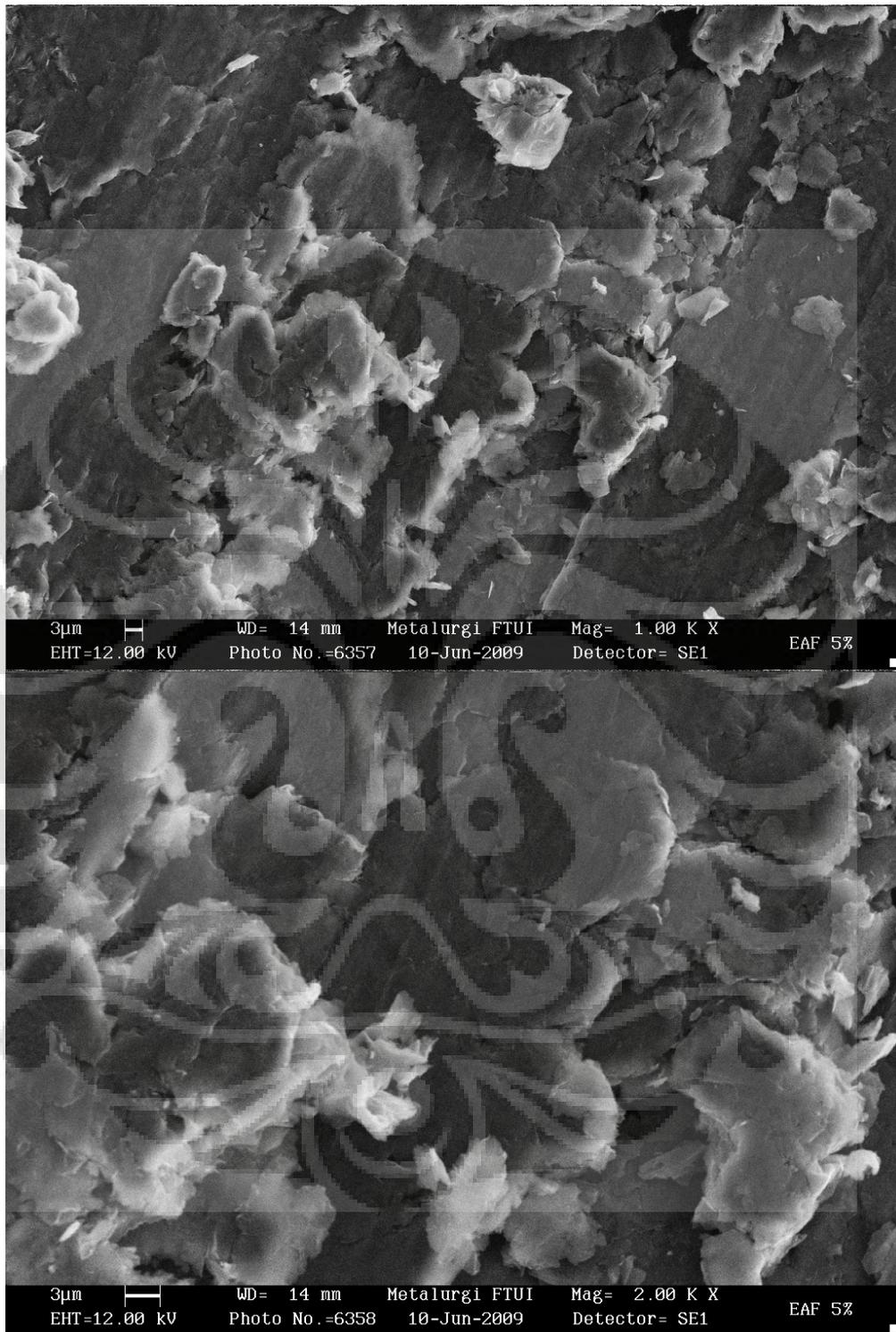
Nilai	15% MnO ₂		
	I	II	III
ρ (Ωcm^2)	6,59	5,46	4,29
Konduktivitas (S/cm)	0,15175	0,1832	0,2331
Konduktivitas Rata-rata	0,189331828		

Nilai	20% MnO ₂			
	I	II	III	IV
ρ (Ωcm^2)	8,03	6,88	7,78	7,99
Konduktivitas (S/cm)	0,12453	0,1453	0,1285	0,1252
Konduktivitas Rata-rata	0,130893247			

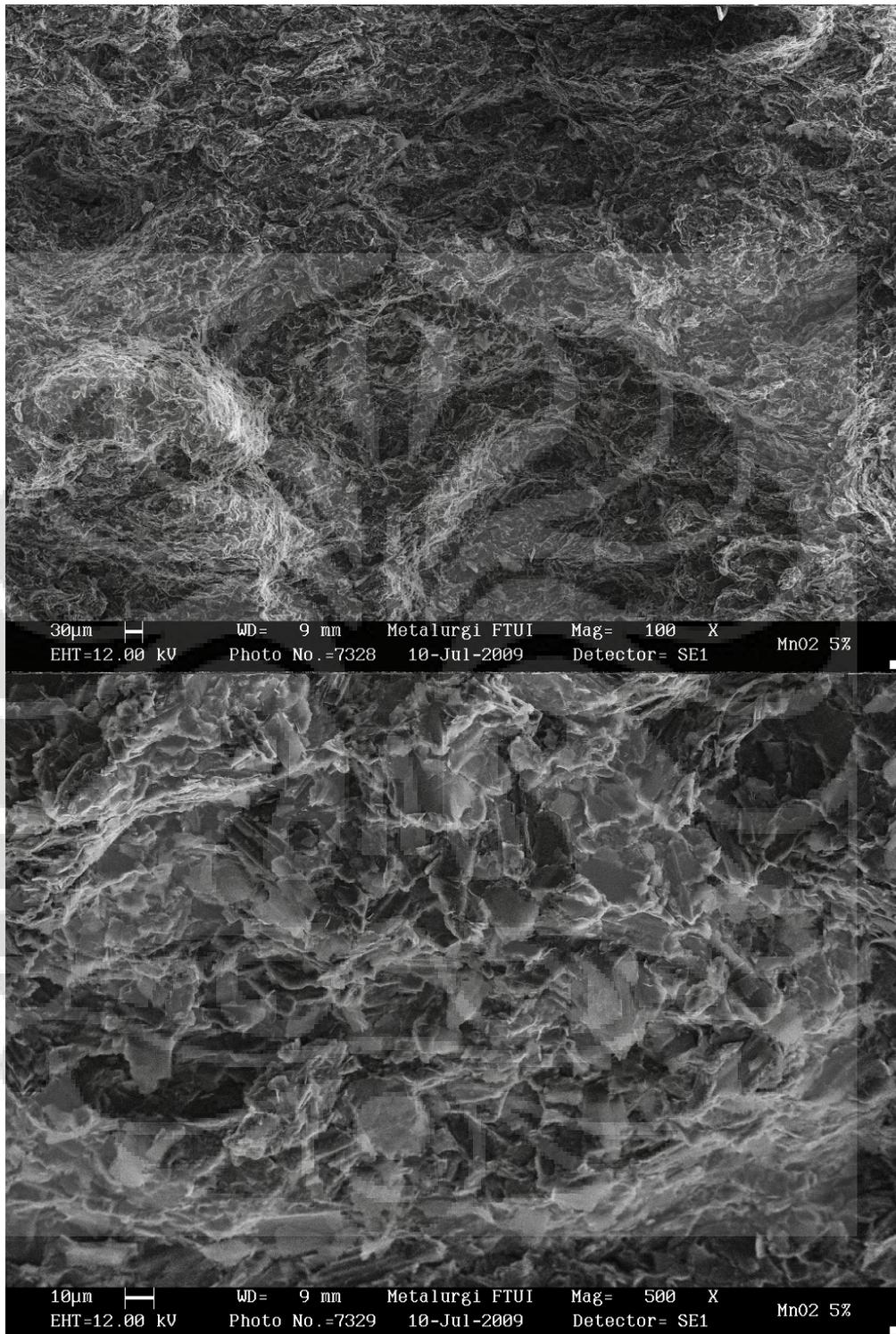
Lampiran 6 Hasil Foto SEM Sampel 0% MnO₂



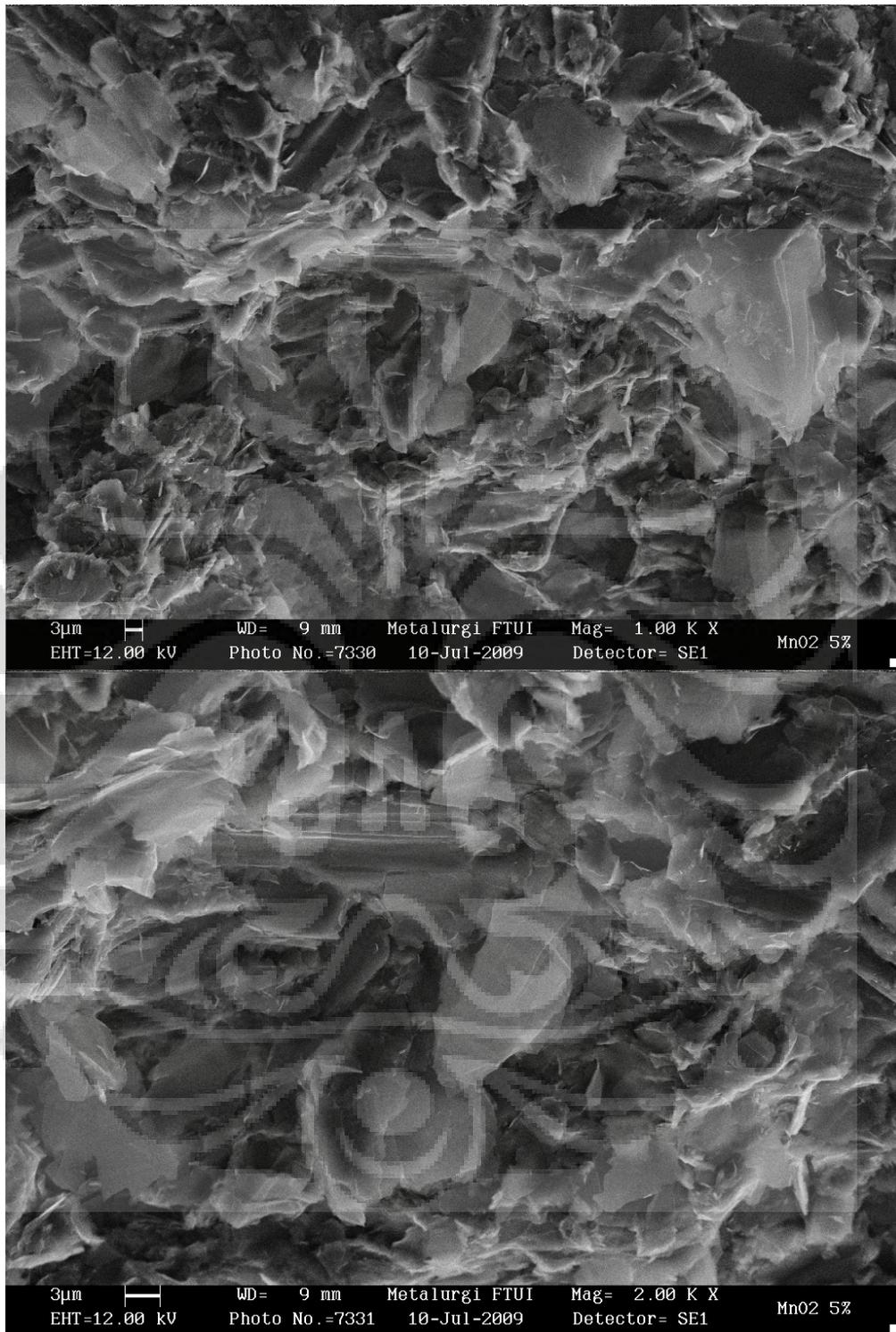
Lampiran 6 Hasil Foto SEM Sampel 0% MnO₂ (Lanjutan)



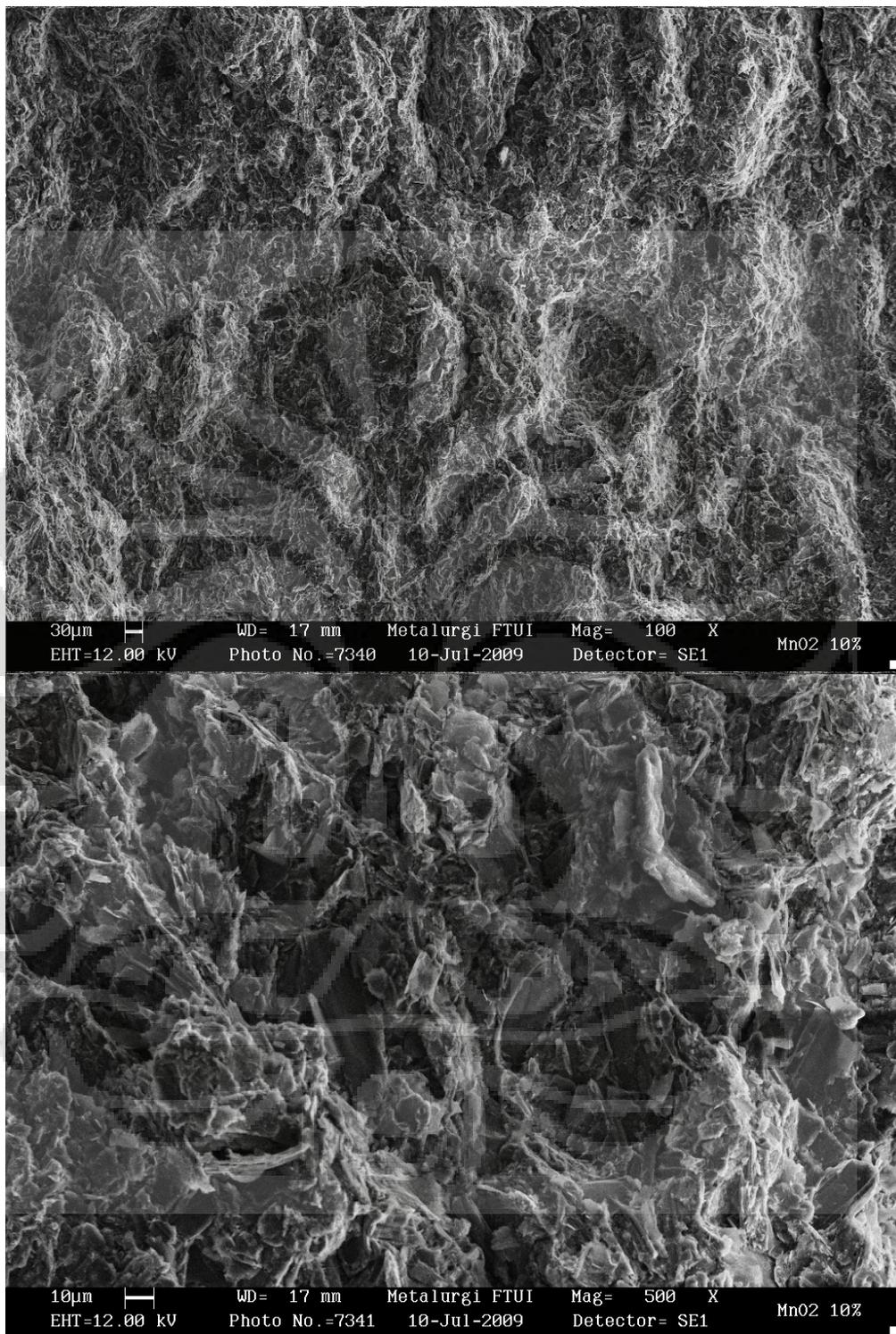
Lampiran 7 Hasil Foto SEM Sampel 5% MnO₂



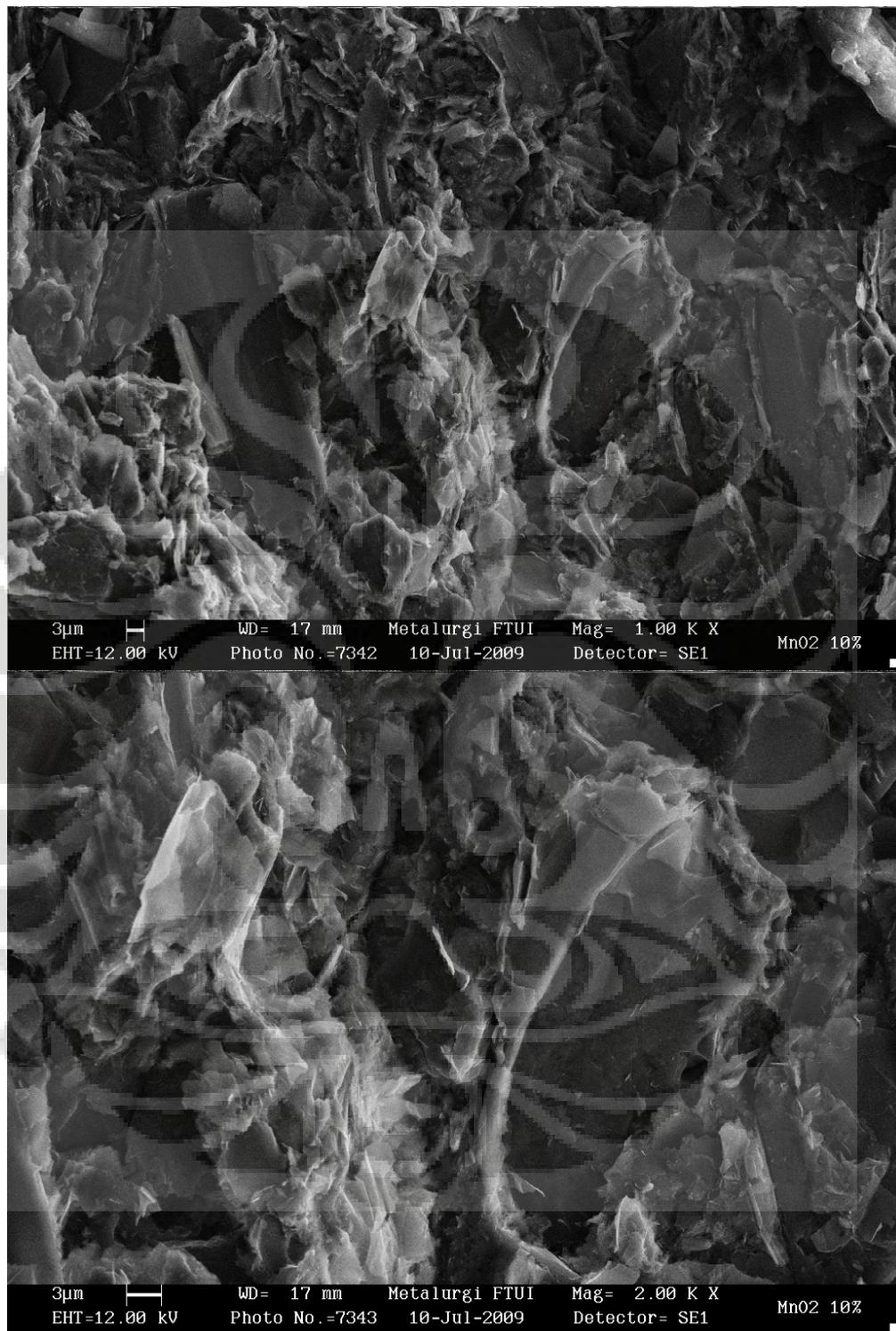
Lampiran 7 Hasil Foto SEM Sampel 5% MnO₂ (Lanjutan)



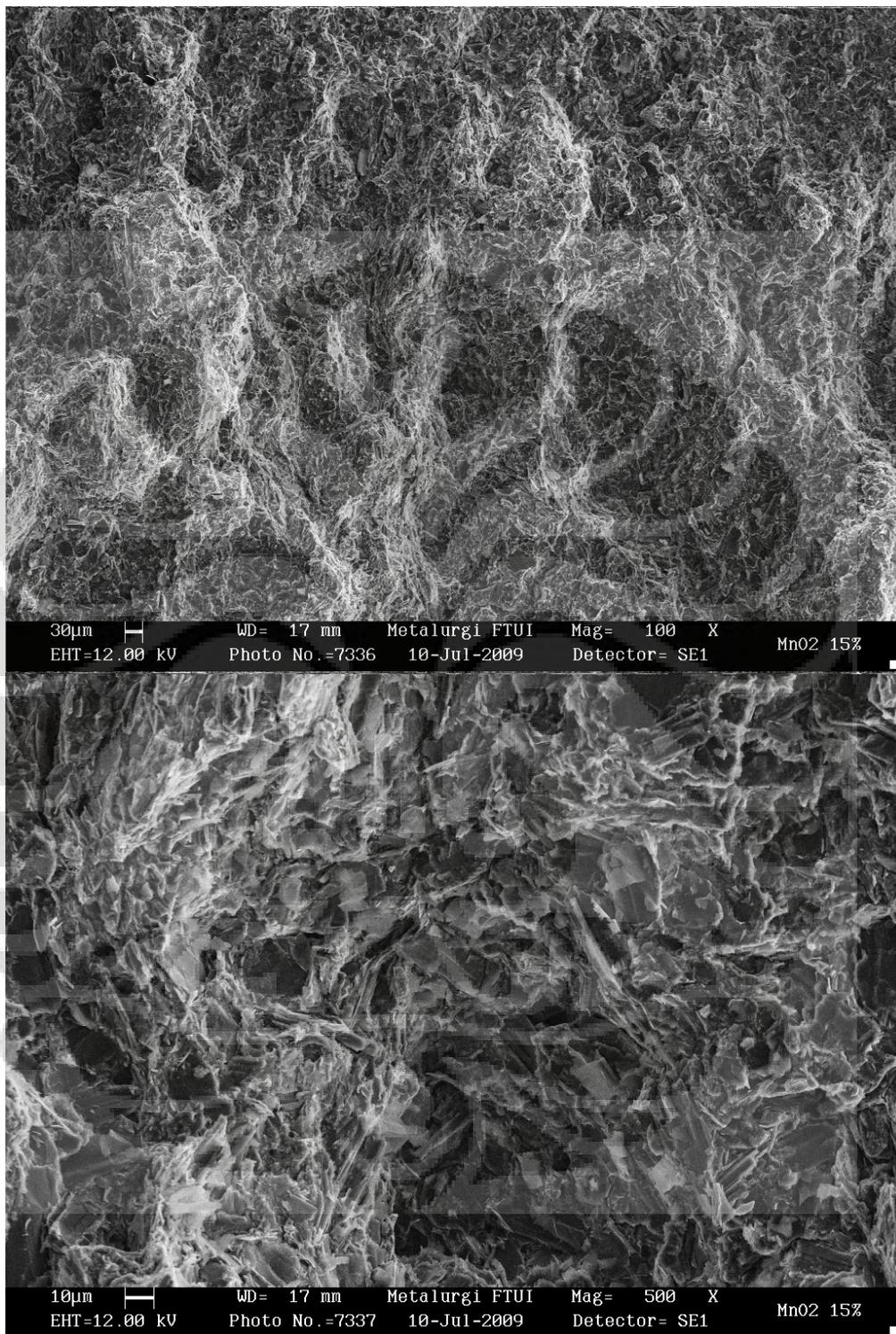
Lampiran 8 Hasil Foto SEM Sampel 10% MnO₂



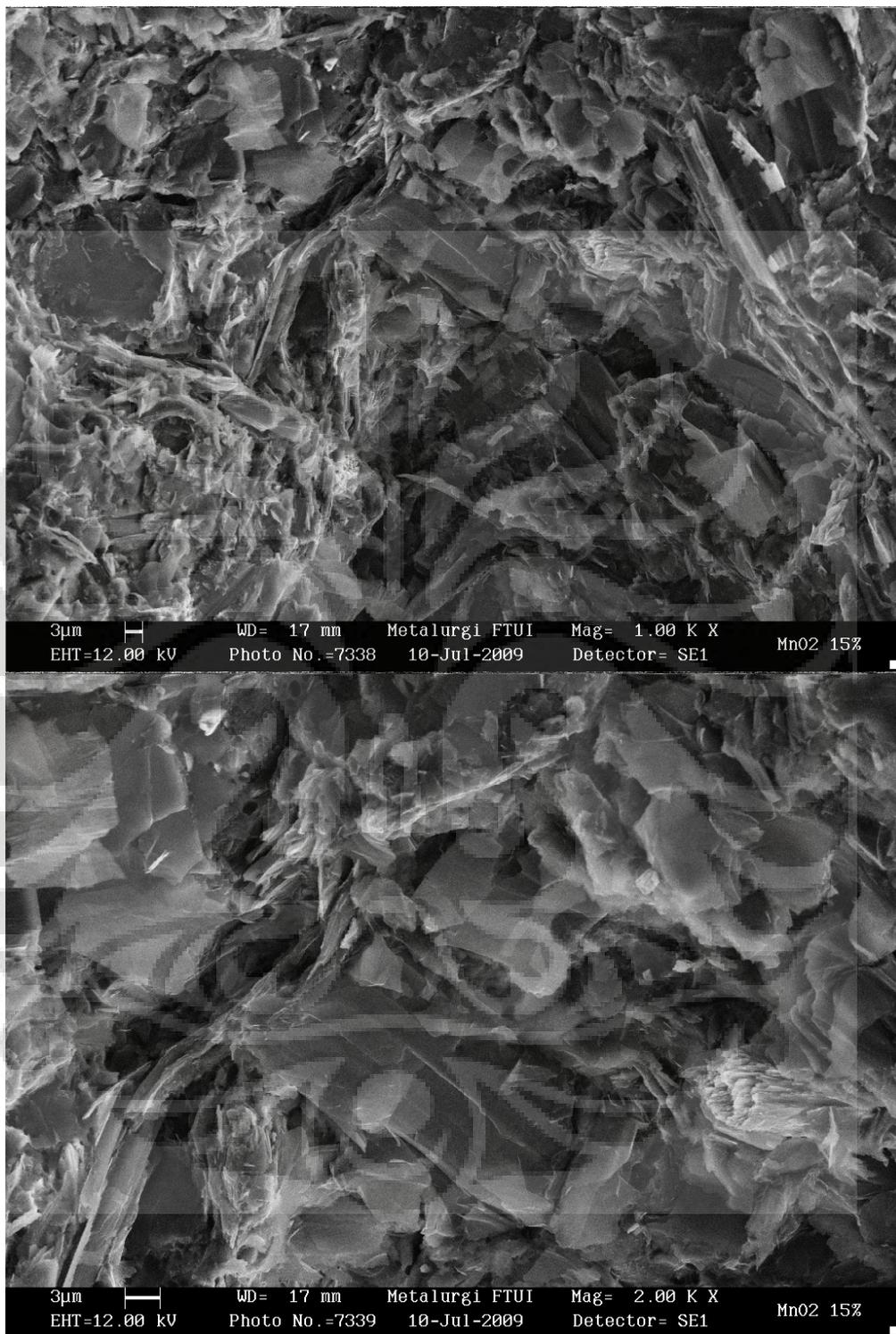
Lampiran 8 Hasil Foto SEM Sampel 10% MnO₂ (Lanjutan)



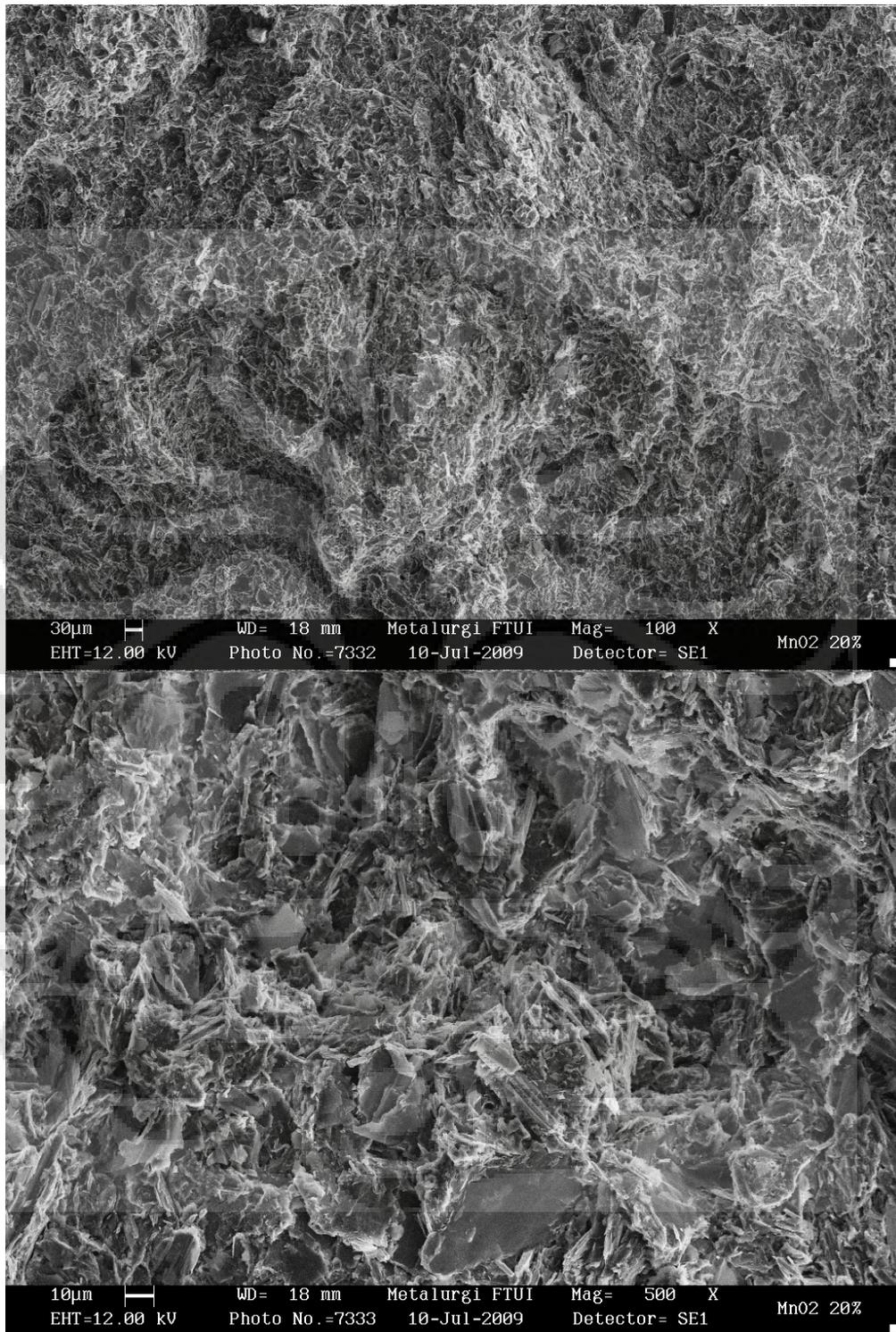
Lampiran 9 Hasil Foto SEM Sampel 15% MnO₂



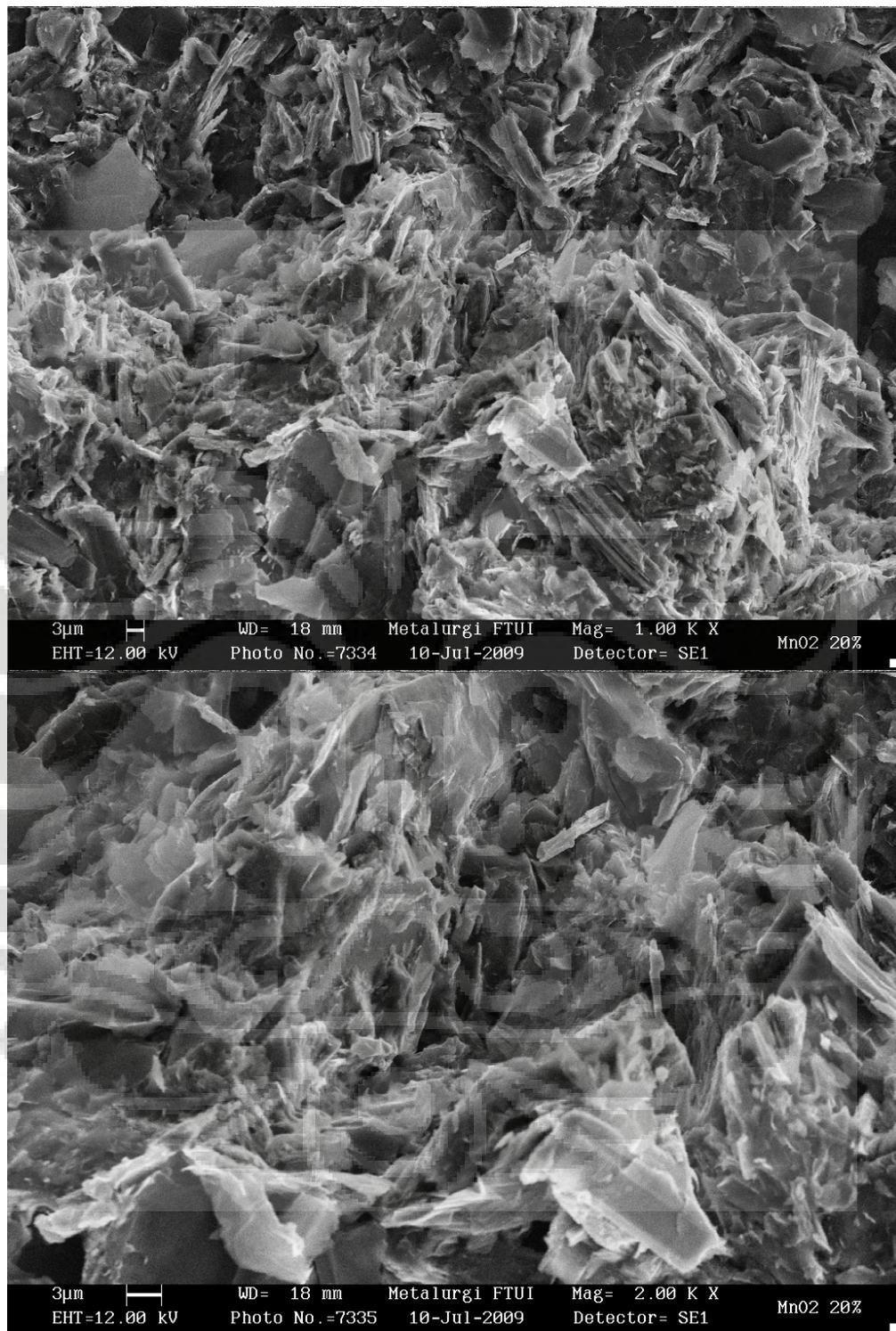
Lampiran 9 Hasil Foto SEM Sampel 15% MnO₂ (Lanjutan)



Lampiran 10 Hasil Foto SEM Sampel 20% MnO₂



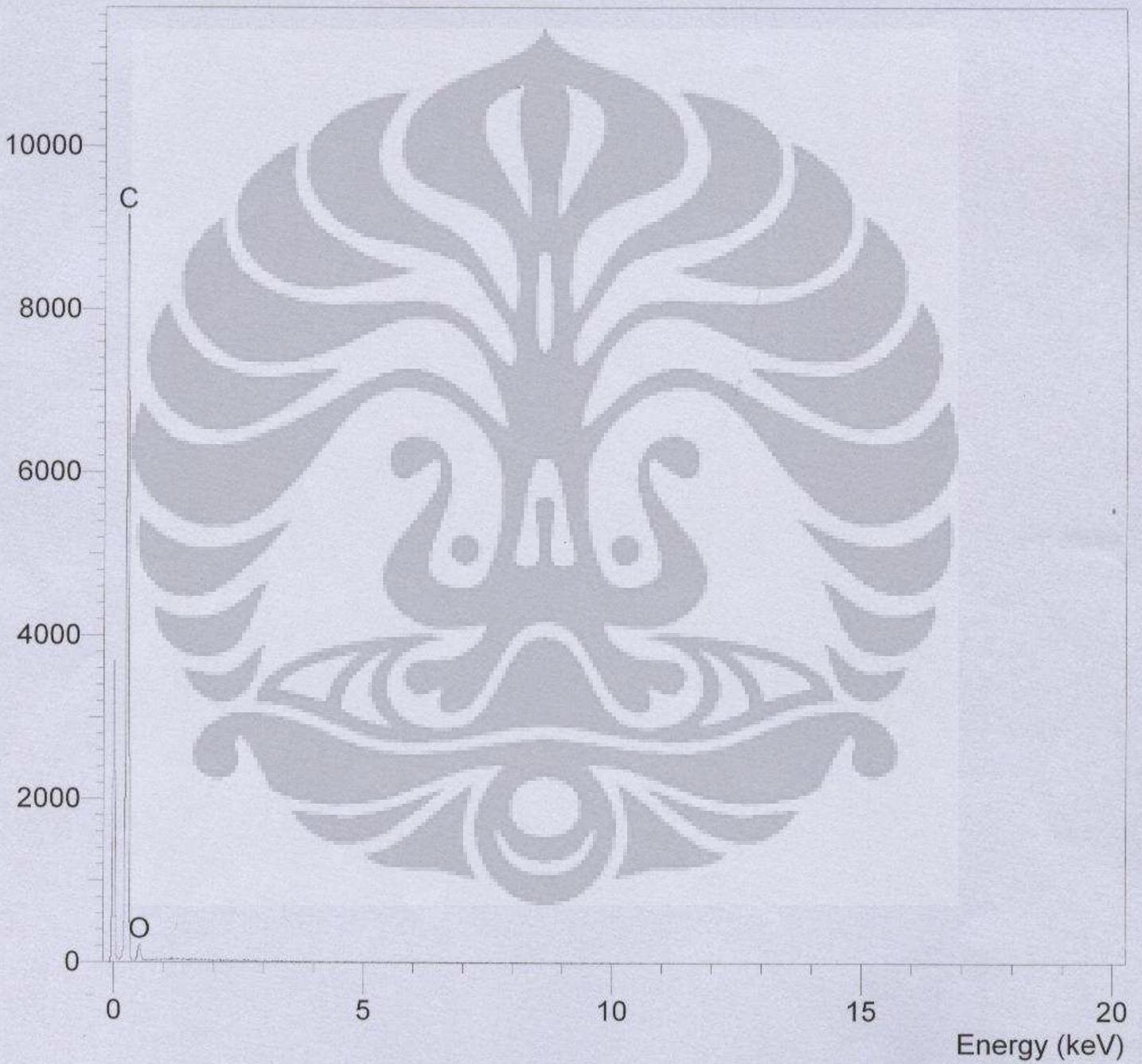
Lampiran 10 Hasil Foto SEM Sampel 20% MnO₂ (Lanjutan)





Operator : Baim
Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis
EAF 5% - 03 (10/06/09 10:51)

Counts



SEMQuant results. Listed at 10:52:35 on 10/06/09
Operator: Baim
Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis
Spectrum label: EAF 5% - 03

System resolution = 59 eV

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

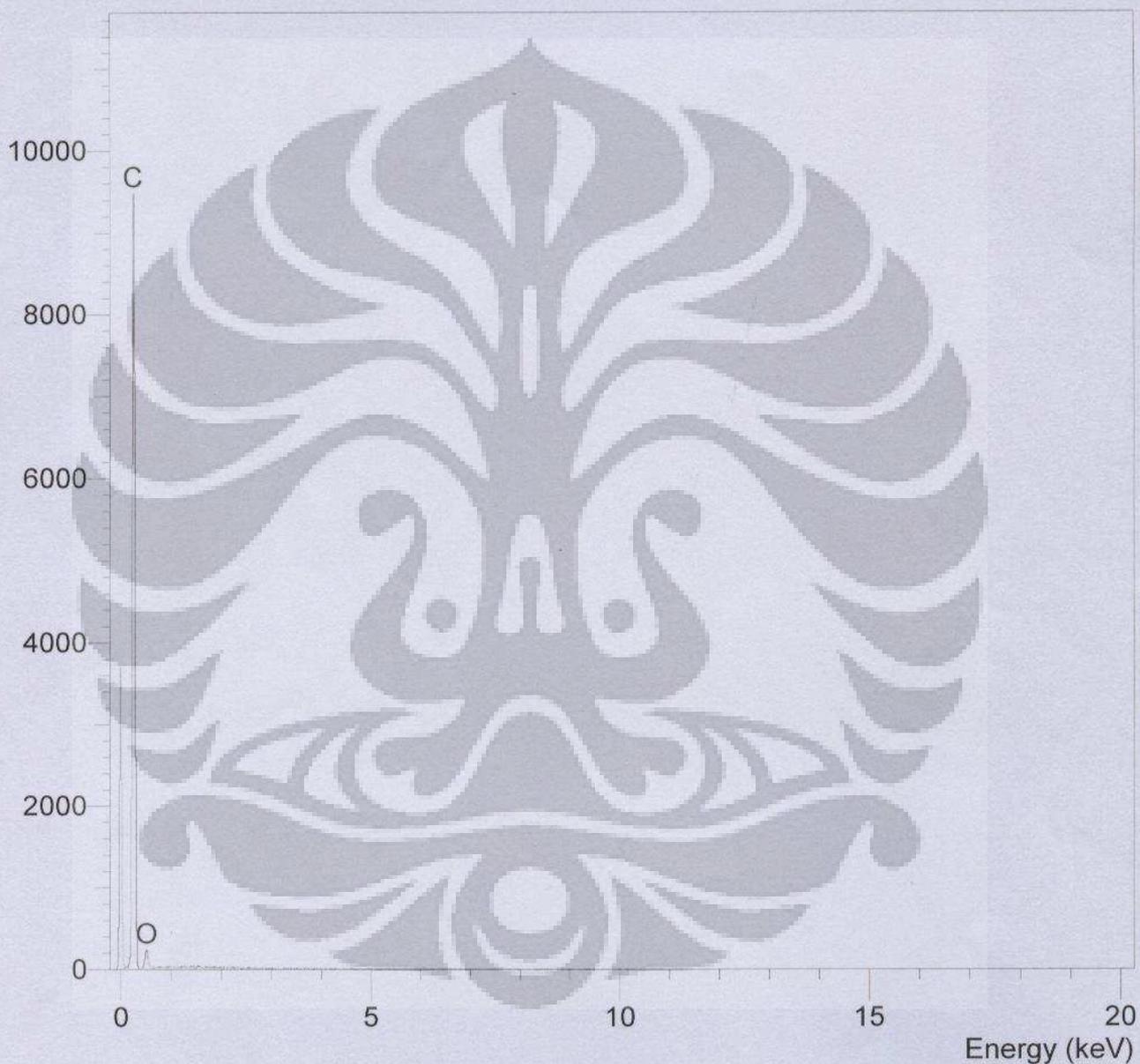
Standards :
C K Carbon Low 13/09/06
O K AL2O3 22/03/06

Elmt	Spect.	Element	Atomic
	Type	%	%
C K	ED	60.85	67.43
O K	ED	39.15	32.57
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma

Operator : Baim
Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis
EAF 5% - 02 (10/06/09 10:50)

Counts



SEMQuant results. Listed at 10:51:26 on 10/06/09
Operator: Baim
Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis
Spectrum label: EAF 5% - 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	60.36	66.98
O K	ED	39.64	33.02
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma

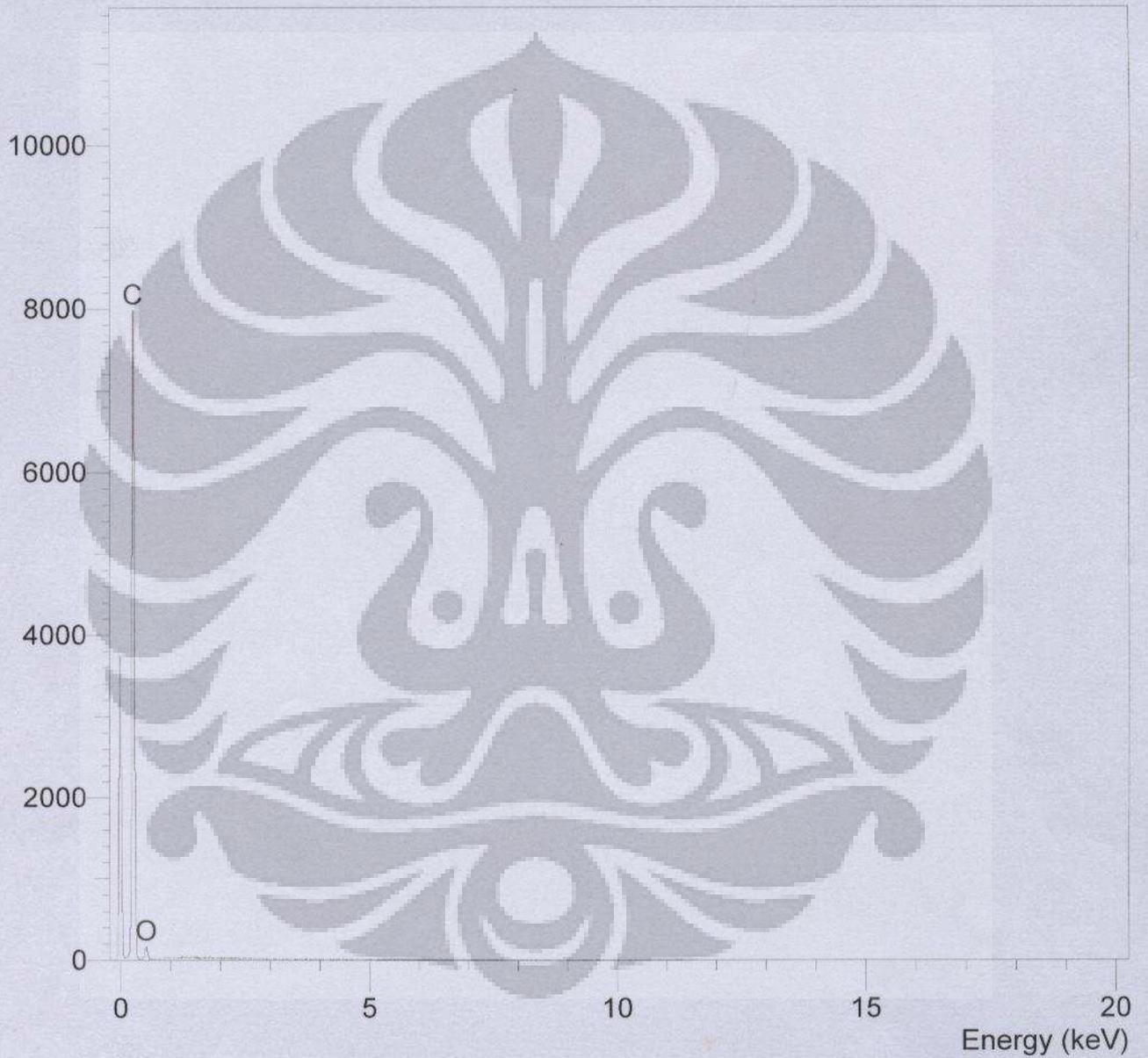
Operator : Baim

Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia

Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis

EAF 5% - 01 (10/06/09 10:49)

Counts



SEMQuant results. Listed at 10:50:23 on 10/06/09
Operator: Baim
Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis
Spectrum label: EAF 5% - 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	63.96	70.28
O K	ED	36.04	29.72
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma

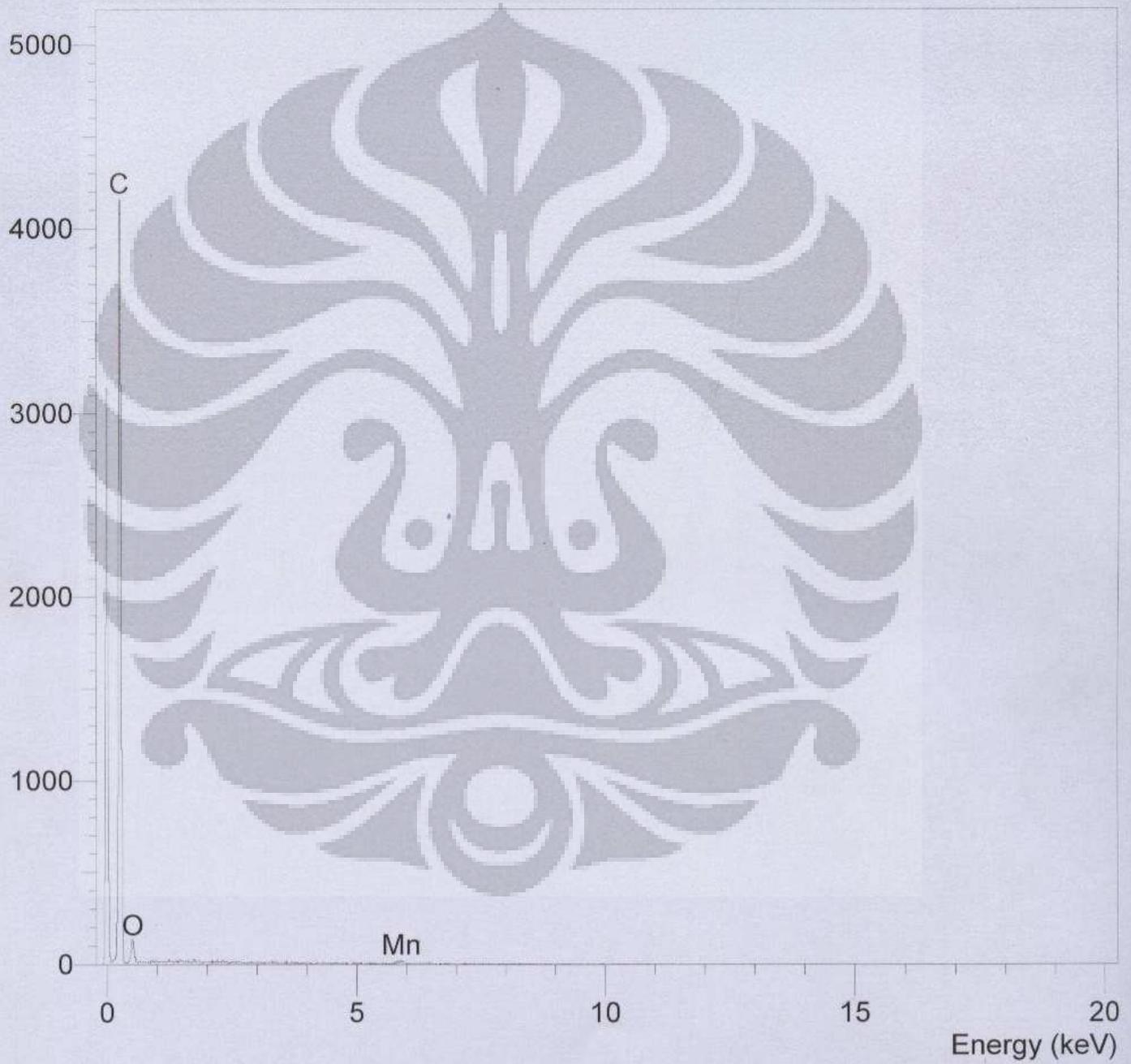
Operator : Baim

Client : Dept. Teknik Metalurgi dan Material Universitas Indonesia

Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis

MnO2 5% - 01 (10/07/09 11:03)

Counts



SEMQuant results. Listed at 11:04:37 on 10/07/09

Operator: Baim

Client: Dept. Teknik Metalurgi dan Material Universitas Indonesia

Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis

Spectrum label: MnO2 5%,- 01

System resolution = 62 eV

Quantitative method: ZAF (3 iterations).

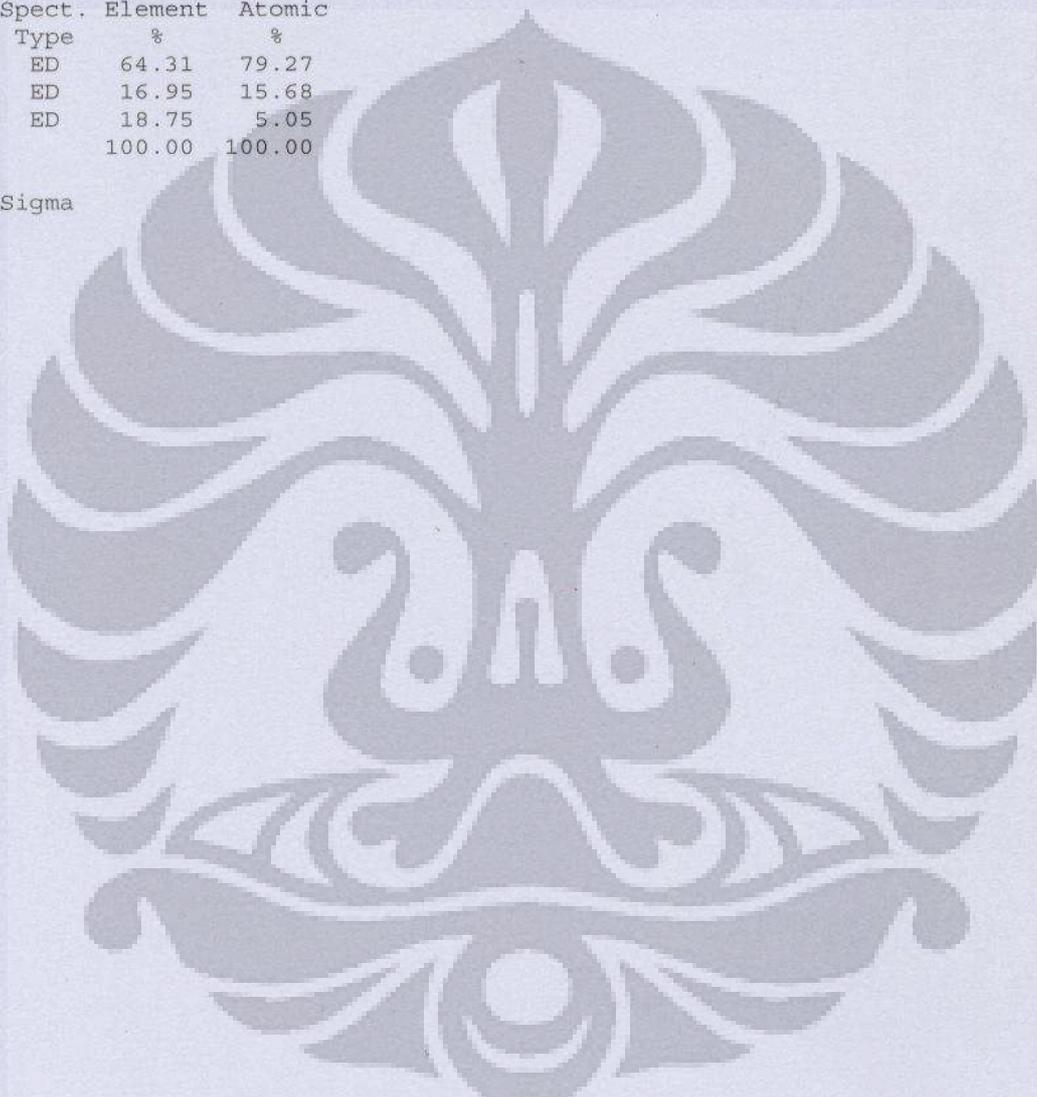
Analysed all elements and normalised results.

Standards :

C K Carbon Low 13/09/06
O K AL2O3 22/03/06
Mn K Mangan 02 13/09/06

Elmt	Spect.	Element	Atomic
	Type	%	%
C K	ED	64.31	79.27
O K	ED	16.95	15.68
Mn K	ED	18.75	5.05
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma



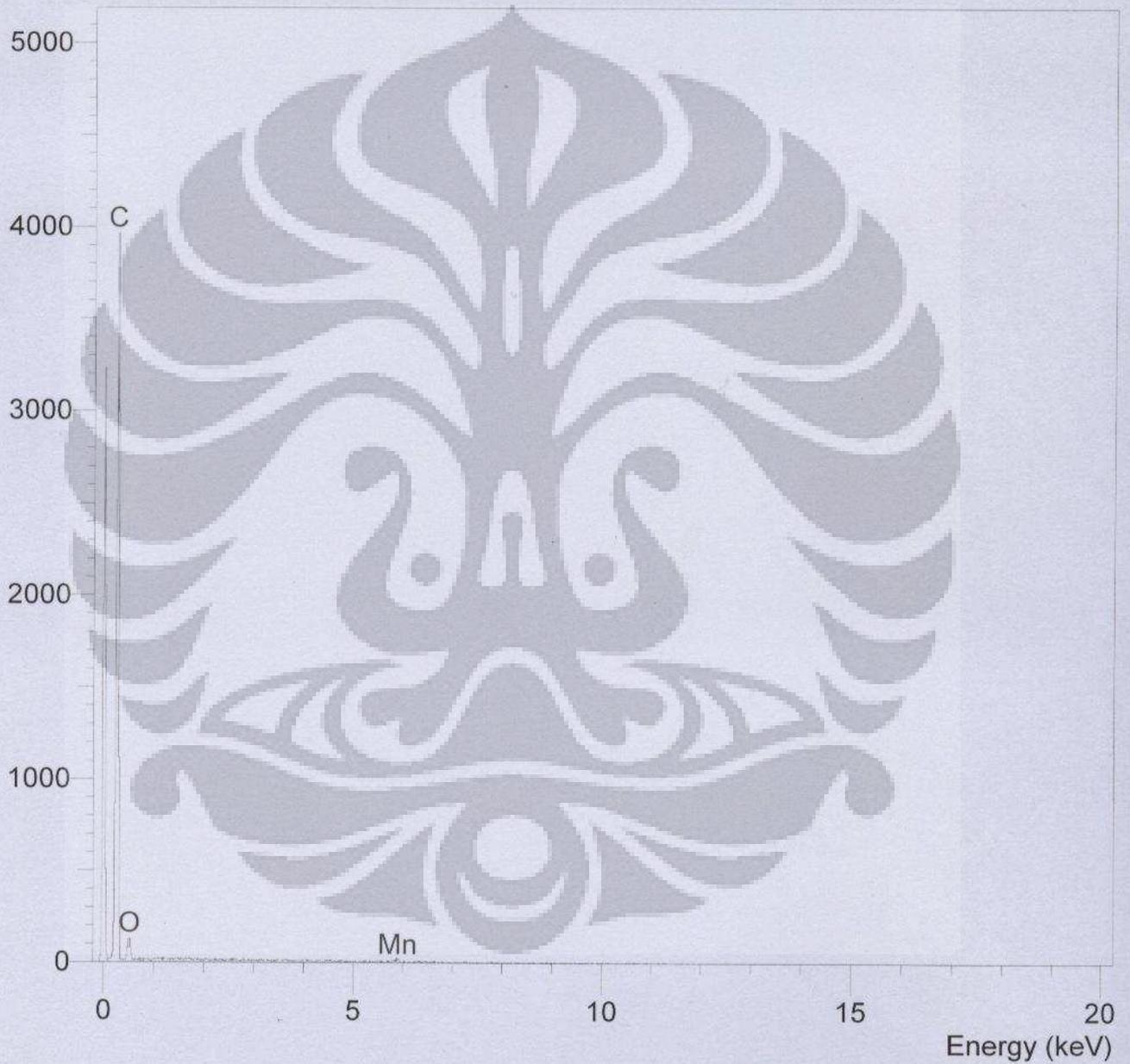
Operator : Baim

Client : Dept. Teknik Metalurgi dan Material Universitas Indonesia

Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis

MnO2 5% - 02 (10/07/09 11:04)

Counts



SEMQuant results. Listed at 11:06:13 on 10/07/09
Operator: Baim
Client: Dept. Teknik Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis
Spectrum label: MnO2 5% - 02

System resolution = 62 eV

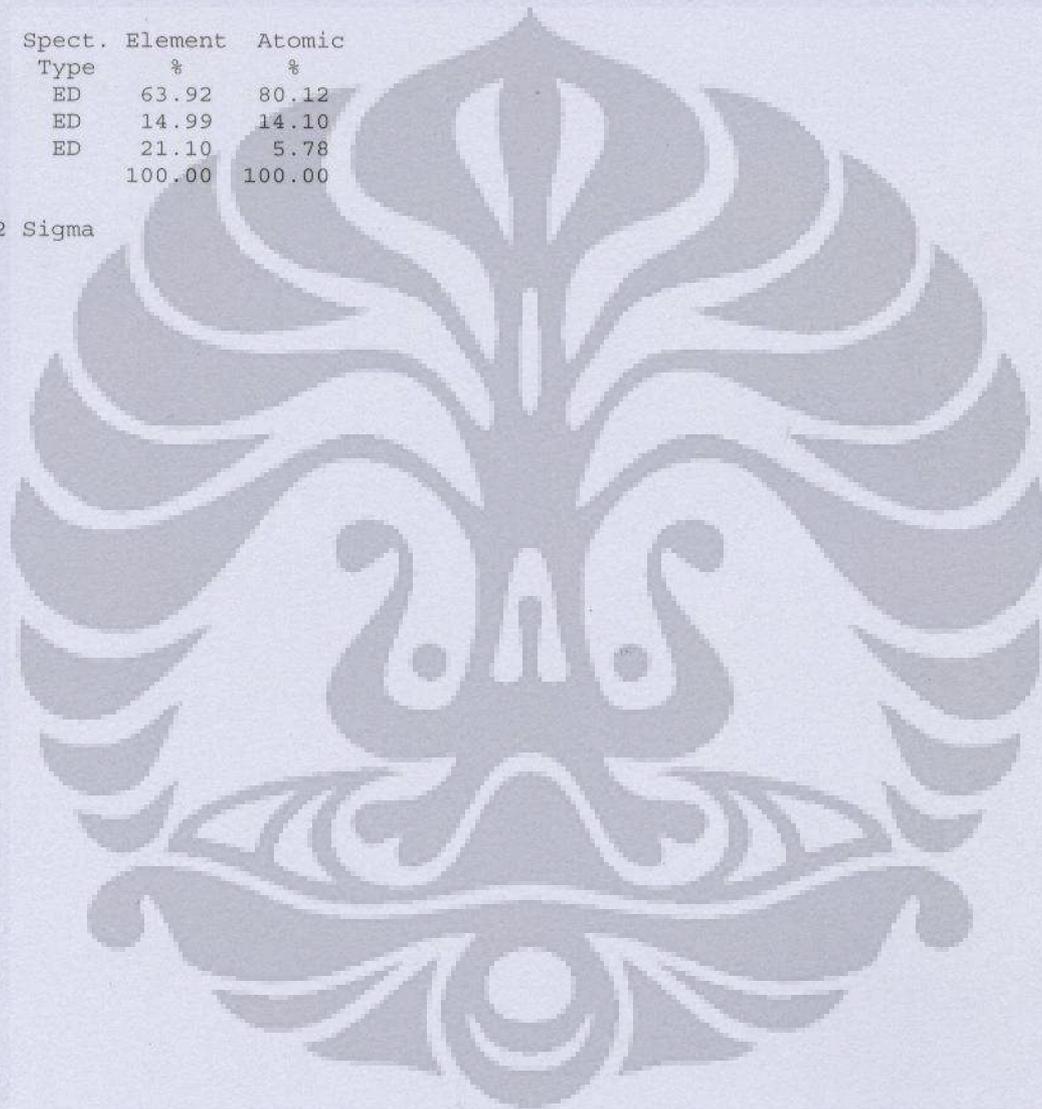
Quantitative method: ZAF (3 iterations).
Analysed all elements and normalised results.

Standards :

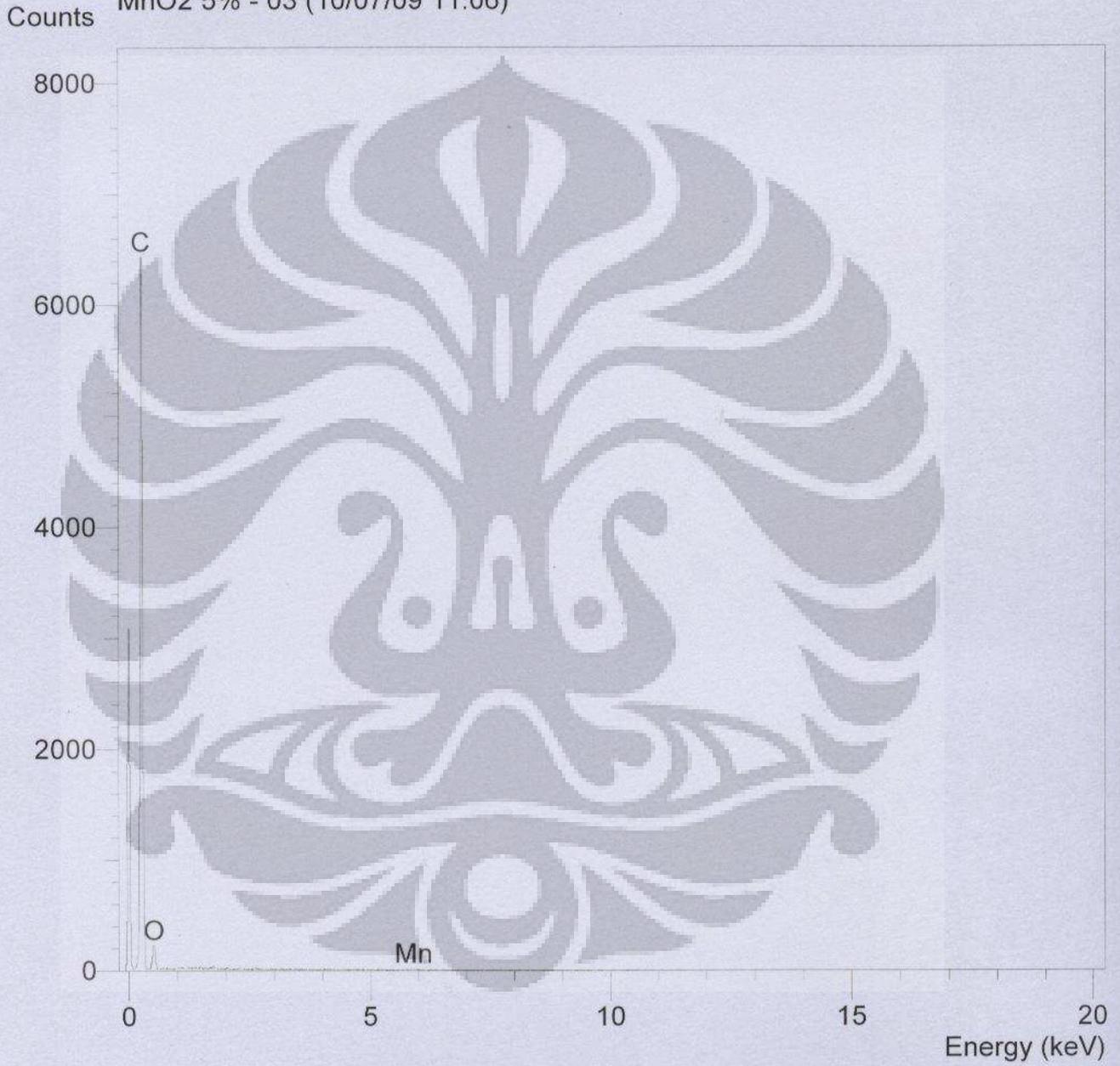
C K Carbon Low 13/09/06
O K AL2O3 22/03/06
Mn K Mangan 02 13/09/06

Elmt	Spect.	Element	Atomic
	Type	%	%
C K	ED	63.92	80.12
O K	ED	14.99	14.10
Mn K	ED	21.10	5.78
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma



Operator : Baim
Client : Dept. Teknik Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis
MnO2 5% - 03 (10/07/09 11:06)



SEMQuant results. Listed at 11:07:52 on 10/07/09
Operator: Baim
Client: Dept. Teknik Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis
Spectrum label: MnO2 5%,- 03

System resolution = 62 eV

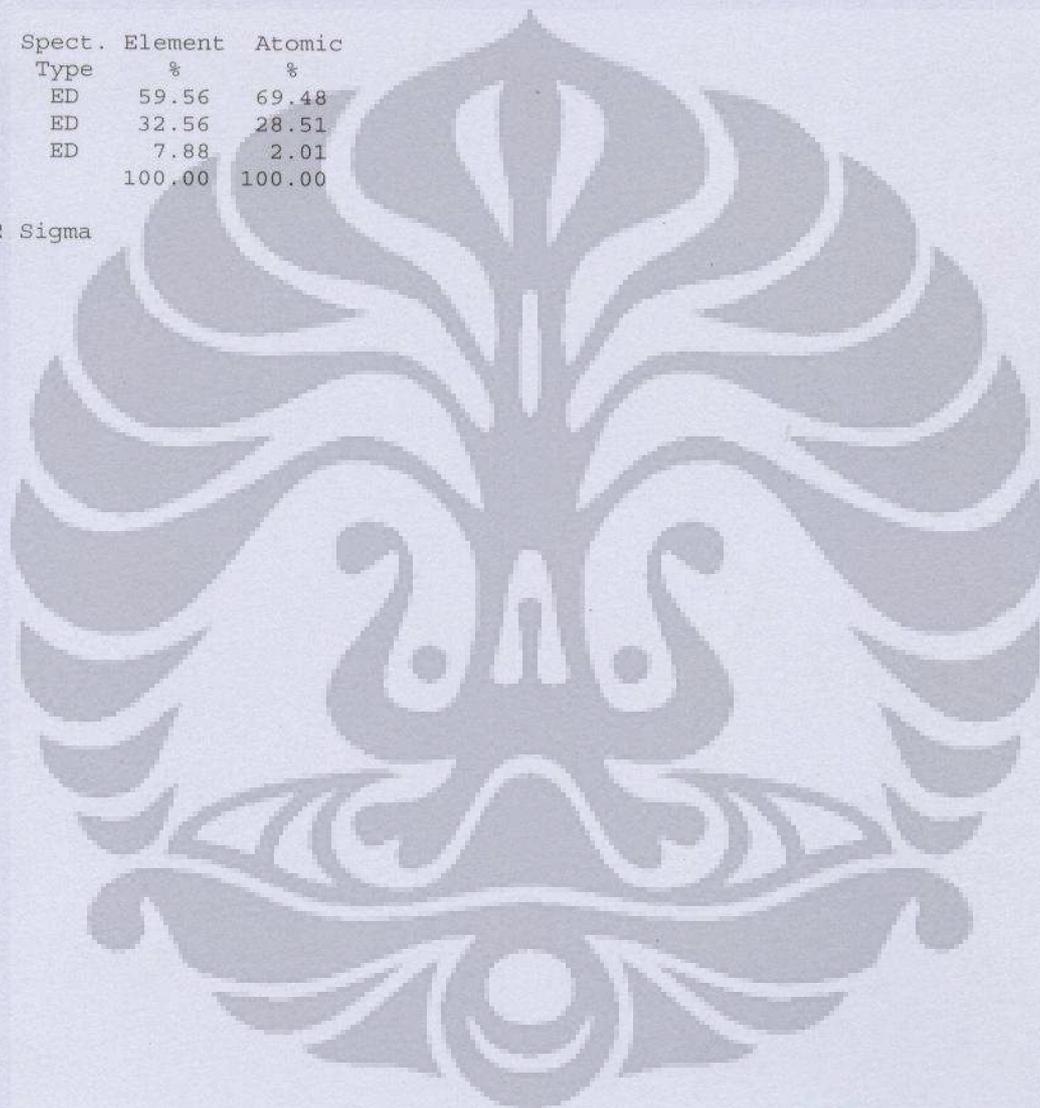
Quantitative method: ZAF (3 iterations).
Analysed all elements and normalised results.

Standards :

C K Carbon Low 13/09/06
O K AL2O3 22/03/06
Mn K Mangan 02 13/09/06

Elmt	Spect.	Element	Atomic
	Type	%	%
C K	ED	59.56	69.48
O K	ED	32.56	28.51
Mn K	ED	7.88	2.01
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma



Operator : Baim

Client : Dept. Teknik Metalurgi dan Material Universitas Indonesia

Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis

MnO2 10% - 01 (10/07/09 11:29)

Counts



SEMQuant results. Listed at 11:30:43 on 10/07/09
Operator: Baim
Client: Dept. Teknik Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis
Spectrum label: MnO2 10% - 01

System resolution = 62 eV

Quantitative method: ZAF (4 iterations).
Analysed all elements and normalised results.

1 peak possibly omitted: 2.62 keV

Standards :

C K Carbon Low 13/09/06
O K AL2O3 22/03/06
Mn K Mangan 02 13/09/06

Elmt	Spect.	Element	Atomic
	Type	%	%
C K	ED	48.39	61.48
O K	ED	35.78	34.12
Mn K	ED	15.83	4.40
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma



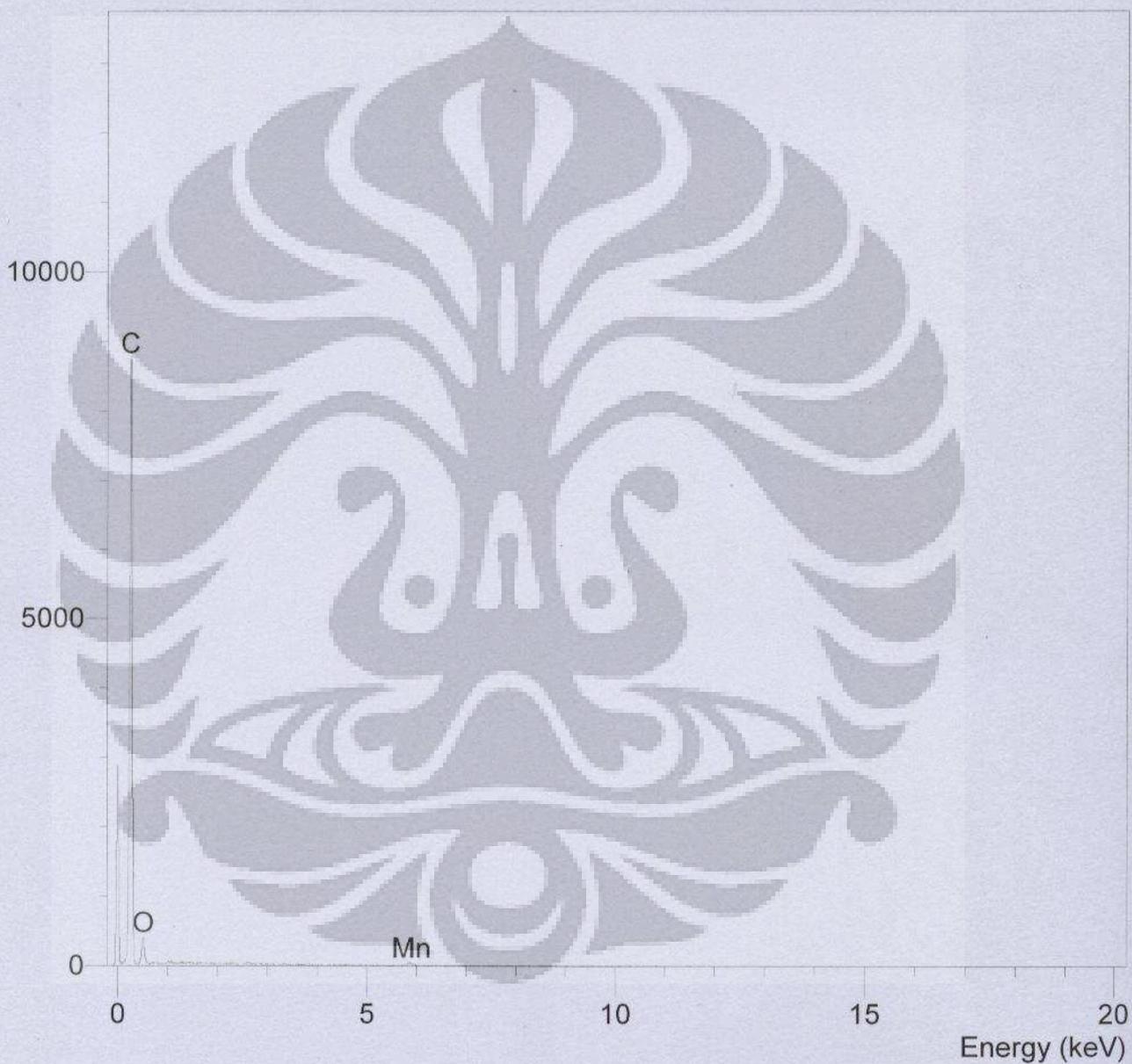
Operator : Baim

Client : Dept. Teknik Metalurgi dan Material Universitas Indonesia

Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis

MnO₂ 10% - 02 (10/07/09 11:30)

Counts



SEMQuant results. Listed at 11:32:03 on 10/07/09
Operator: Baim
Client: Dept. Teknik Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis
Spectrum label: MnO2 10% - 02

System resolution = 62 eV

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

2 peaks possibly omitted: 1.04, 2.62 keV

Standards :

C K Carbon Low 13/09/06
O K AL2O3 22/03/06
Mn K Mangan 02 13/09/06

Elmt	Spect.	Element	Atomic
	Type	%	%
C K	ED	50.86	65.30
O K	ED	30.61	29.50
Mn K	ED	18.53	5.20
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma



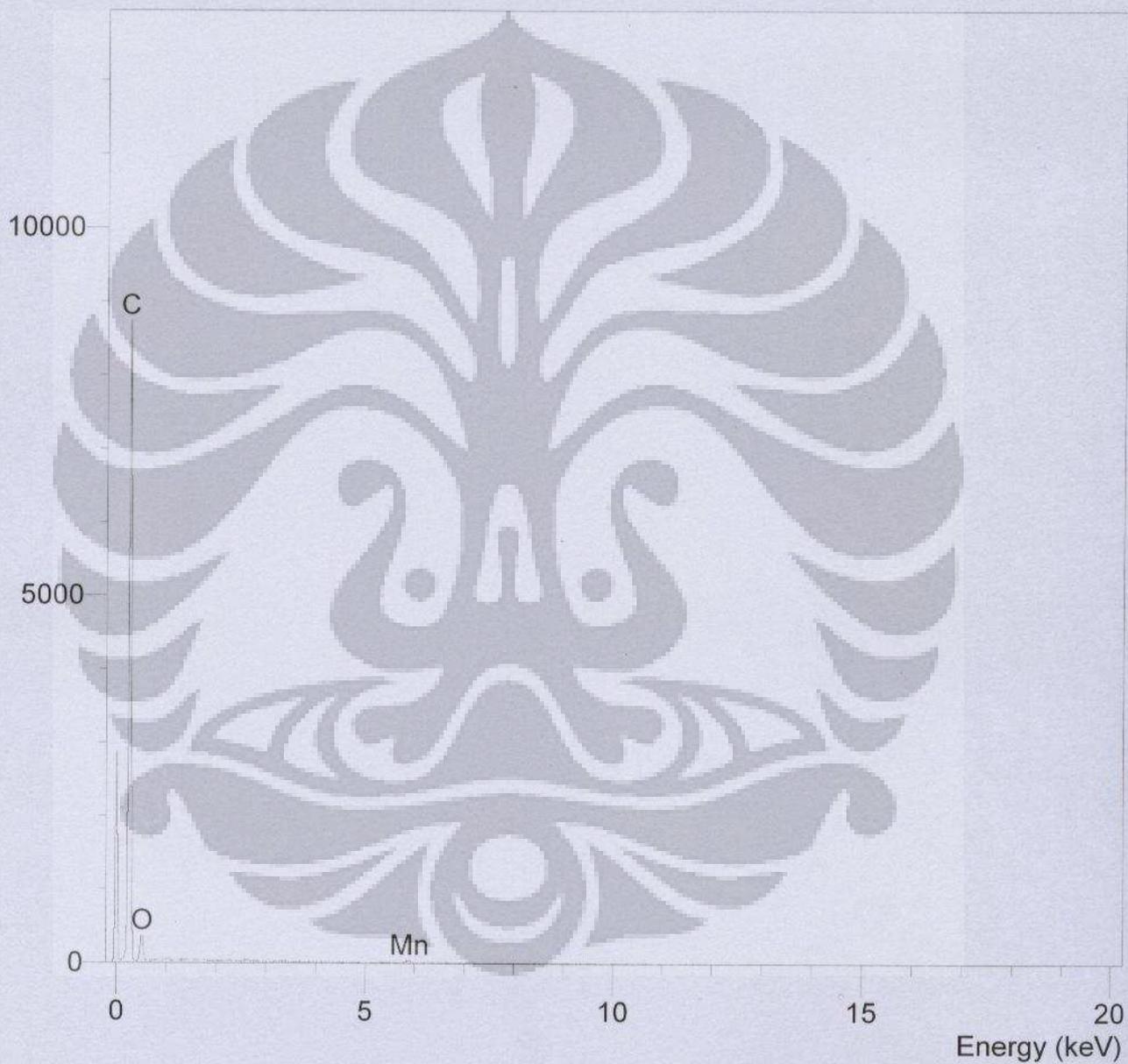
Operator : Baim

Client : Dept. Teknik Metalurgi dan Material Universitas Indonesia

Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis

MnO2 10% - 03 (10/07/09 11:32)

Counts



SEMQuant results. Listed at 11:33:17 on 10/07/09

Operator: Baim

Client: Dept. Teknik Metalurgi dan Material Universitas Indonesia

Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis

Spectrum label: MnO2 10% - 03

System resolution = 62 eV

Quantitative method: ZAF (3 iterations).

Analysed all elements and normalised results.

1 peak possibly omitted: 2.62 keV

Standards :

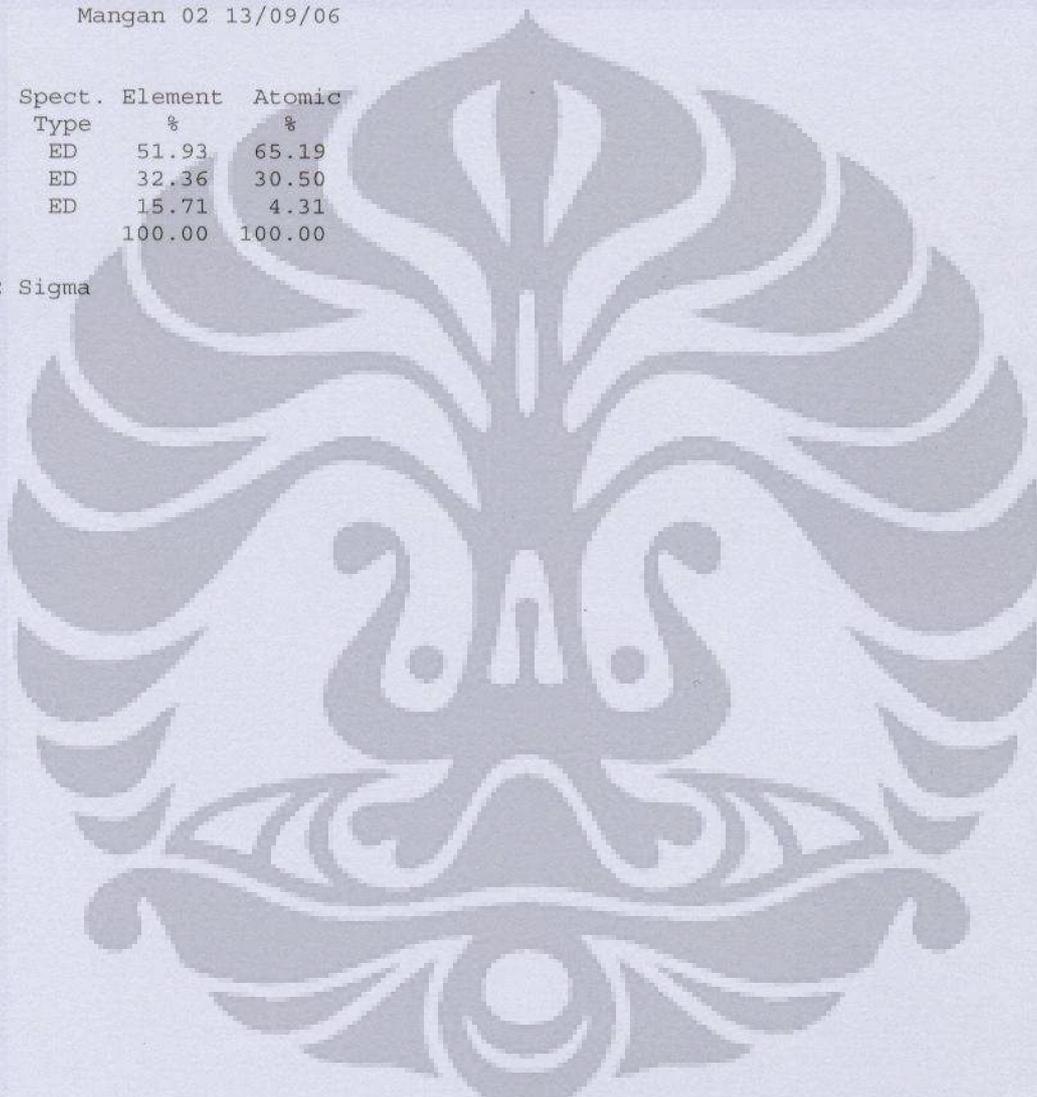
C K Carbon Low 13/09/06

O K AL2O3 22/03/06

Mn K Mangan 02 13/09/06

Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %
C K	ED	51.93	65.19
O K	ED	32.36	30.50
Mn K	ED	15.71	4.31
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma



Operator : Baim

Client : Dept. Teknik Metalurgi dan Material Universitas Indonesia

Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis

MnO2 15% - 01 (10/07/09 11:33)

Counts



SEMQuant results. Listed at 11:34:46 on 10/07/09

Operator: Baim

Client: Dept. Teknik Metalurgi dan Material Universitas Indonesia

Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis

Spectrum label: MnO2 15% - 01

System resolution = 62 eV

Quantitative method: ZAF (3 iterations).

Analysed all elements and normalised results.

Standards :

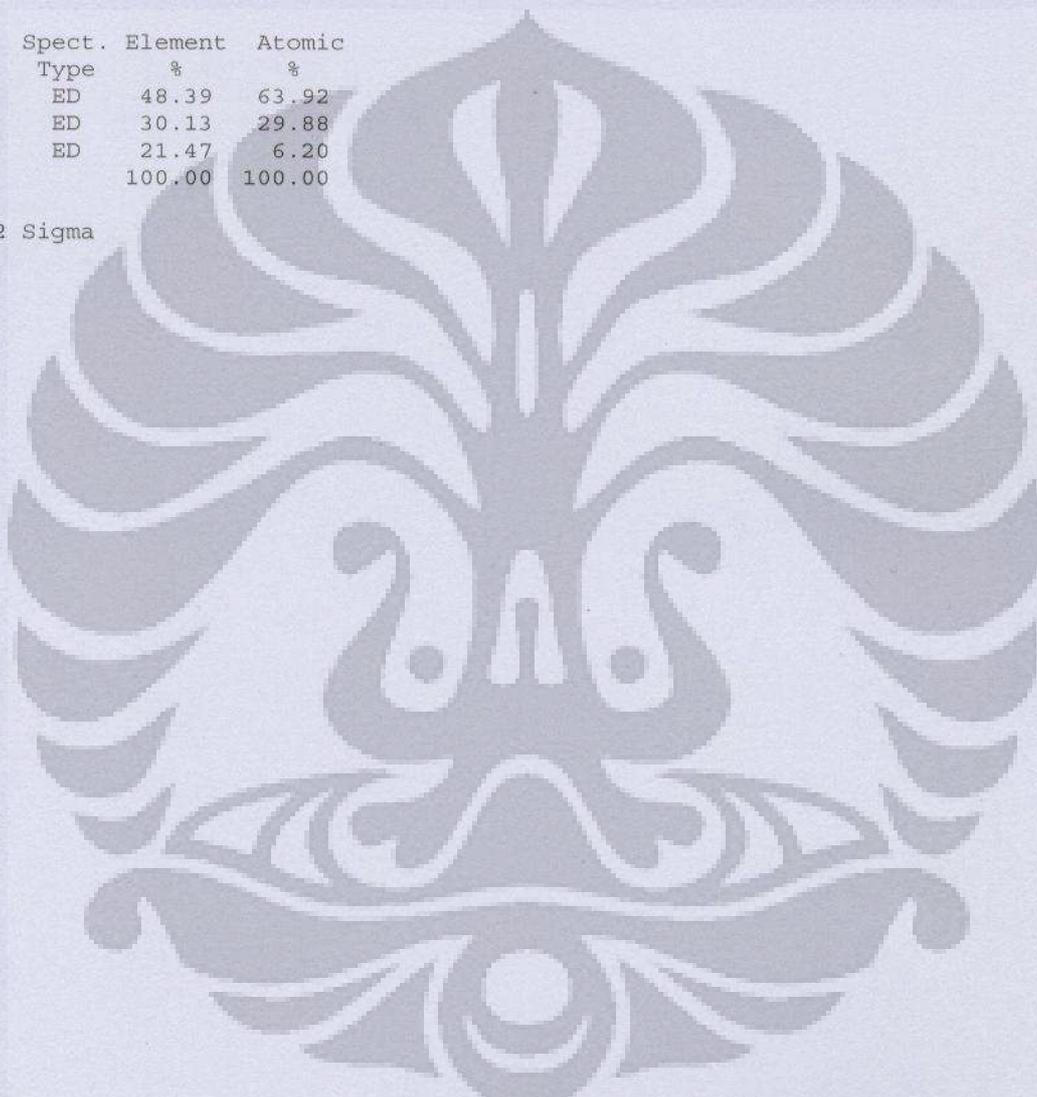
C K Carbon Low 13/09/06

O K AL2O3 22/03/06

Mn K Mangan. 02 13/09/06

Elmt	Spect.	Element	Atomic
	Type	%	%
C K	ED	48.39	63.92
O K	ED	30.13	29.88
Mn K	ED	21.47	6.20
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma



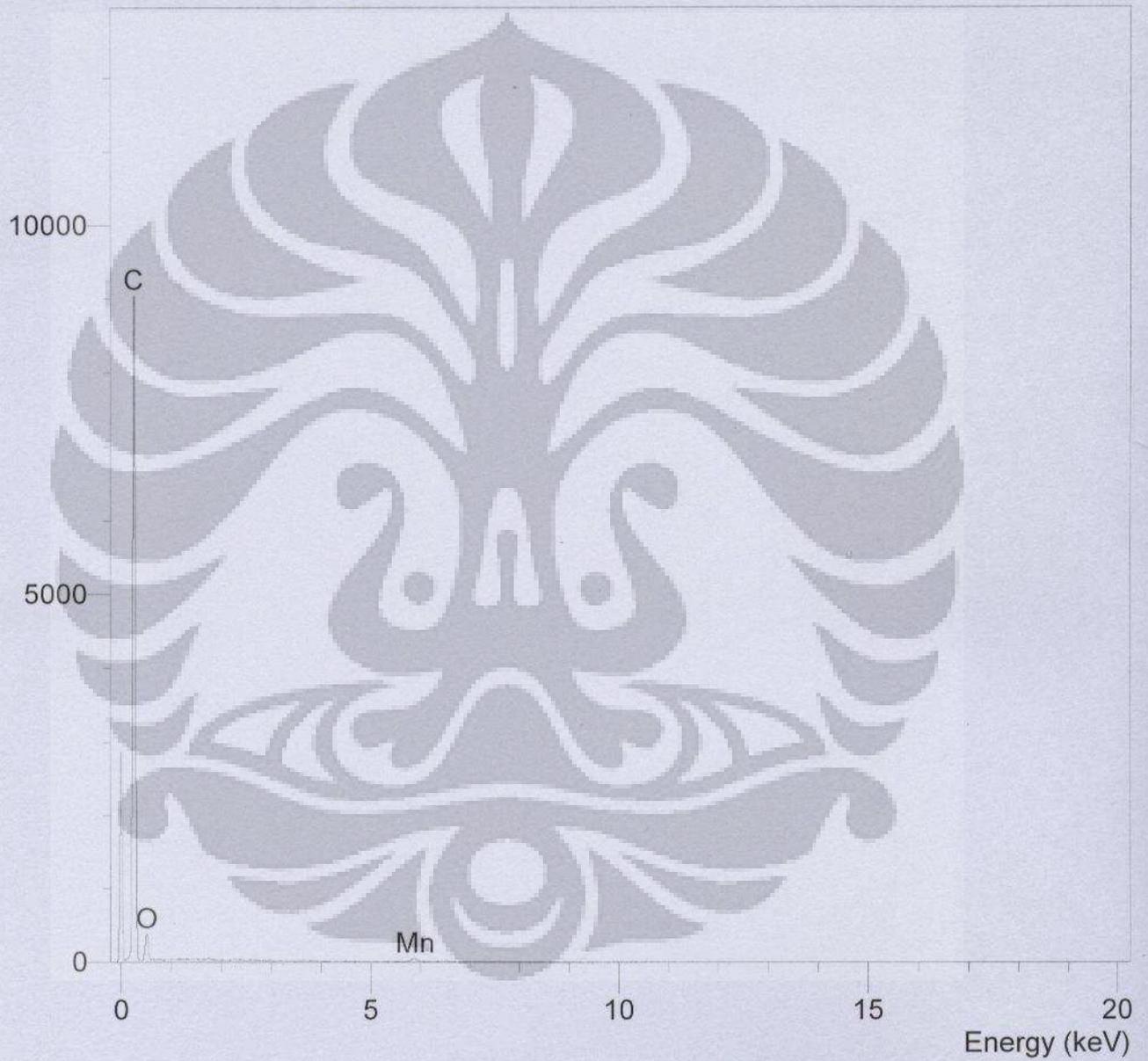
Operator : Baim

Client : Dept. Teknik Metalurgi dan Material Universitas Indonesia

Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis

MnO2 15% - 02 (10/07/09 11:35)

Counts



SEMQuant results. Listed at 11:36:21 on 10/07/09

Operator: Baim

Client: Dept. Teknik Metalurgi dan Material Universitas Indonesia

Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis

Spectrum label: MnO2 15% - 02

System resolution = 62 eV

Quantitative method: ZAF (3 iterations).

Analysed all elements and normalised results.

1 peak possibly omitted: 1.74 keV

Standards :

C K Carbon Low 13/09/06

O K AL2O3 22/03/06

Mn K Mangan 02 13/09/06

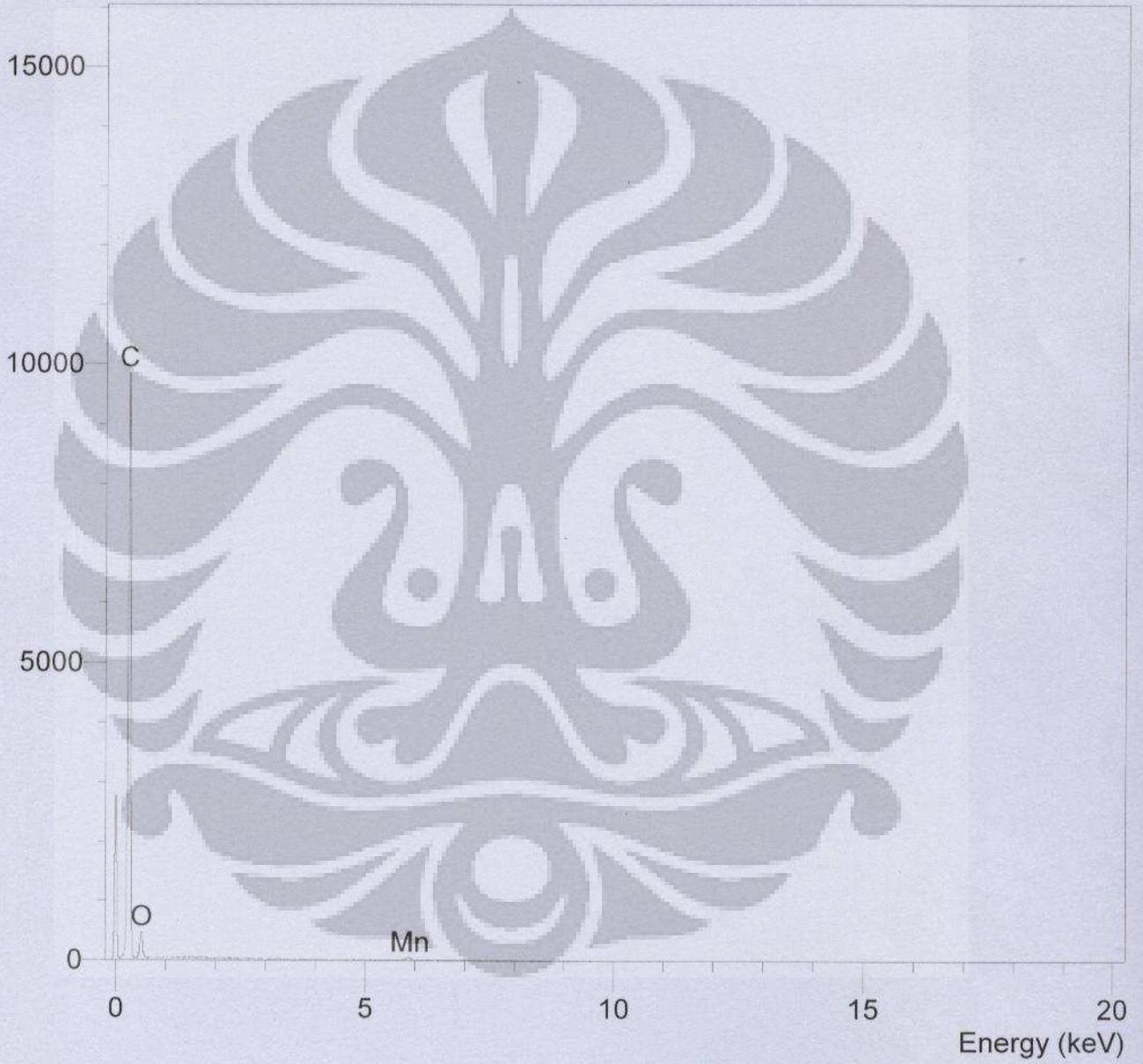
Elmt	Spect.	Element	Atomic
	Type	%	%
C K	ED	50.17	66.02
O K	ED	28.07	27.72
Mn K	ED	21.76	6.26
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma



Operator : Baim
Client : Dept. Teknik Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis
MnO2 15% - 03 (10/07/09 11:36)

Counts



SEMQuant results. Listed at 11:37:34 on 10/07/09
Operator: Baim
Client: Dept. Teknik Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis
Spectrum label: MnO2 15% - 03

System resolution = 62 eV

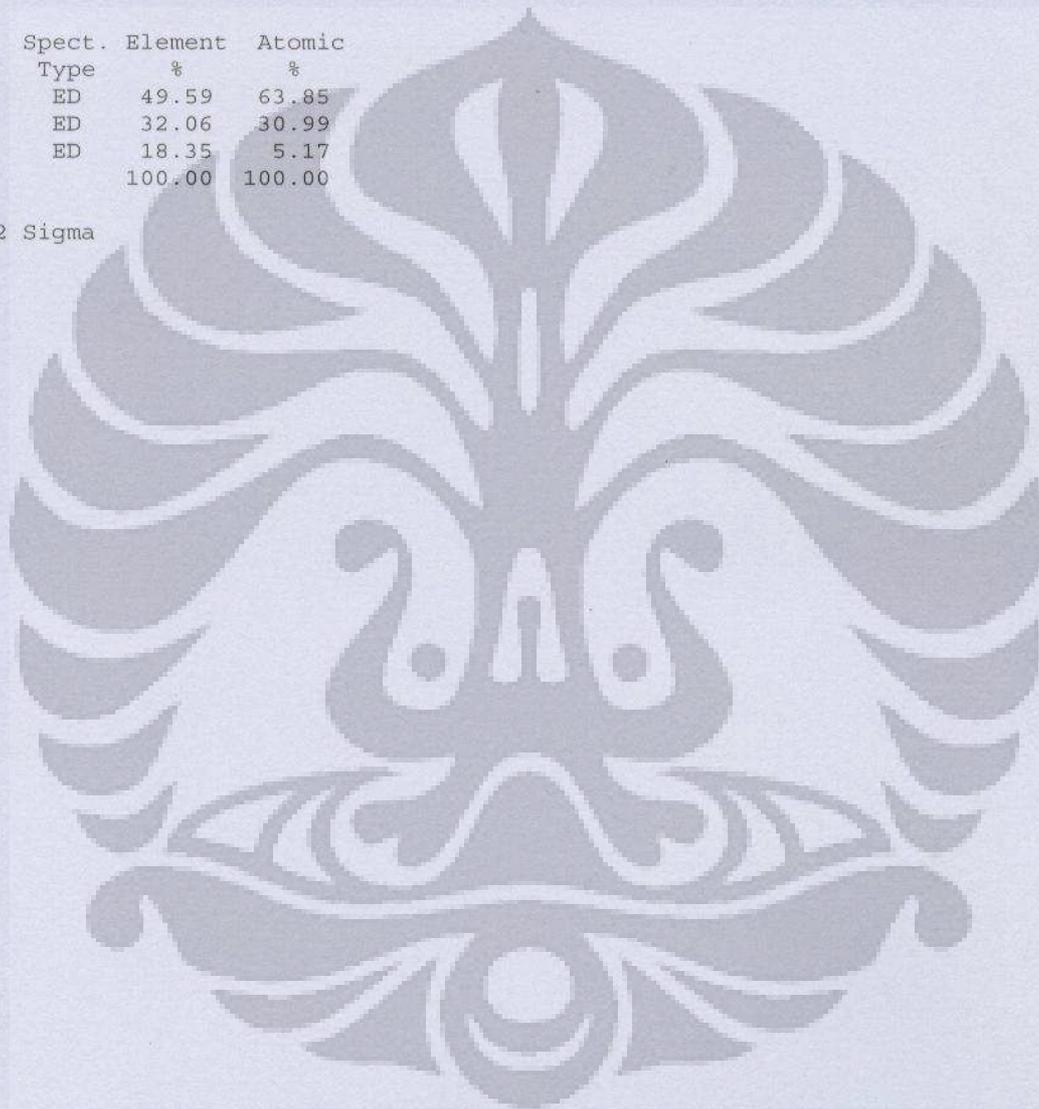
Quantitative method: ZAF (4 iterations).
Analysed all elements and normalised results.

Standards :

C K Carbon Low 13/09/06
O K AL2O3 22/03/06
Mn K Mangan 02 13/09/06

Elmt	Spect.	Element	Atomic
	Type	%	%
C K	ED	49.59	63.85
O K	ED	32.06	30.99
Mn K	ED	18.35	5.17
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma



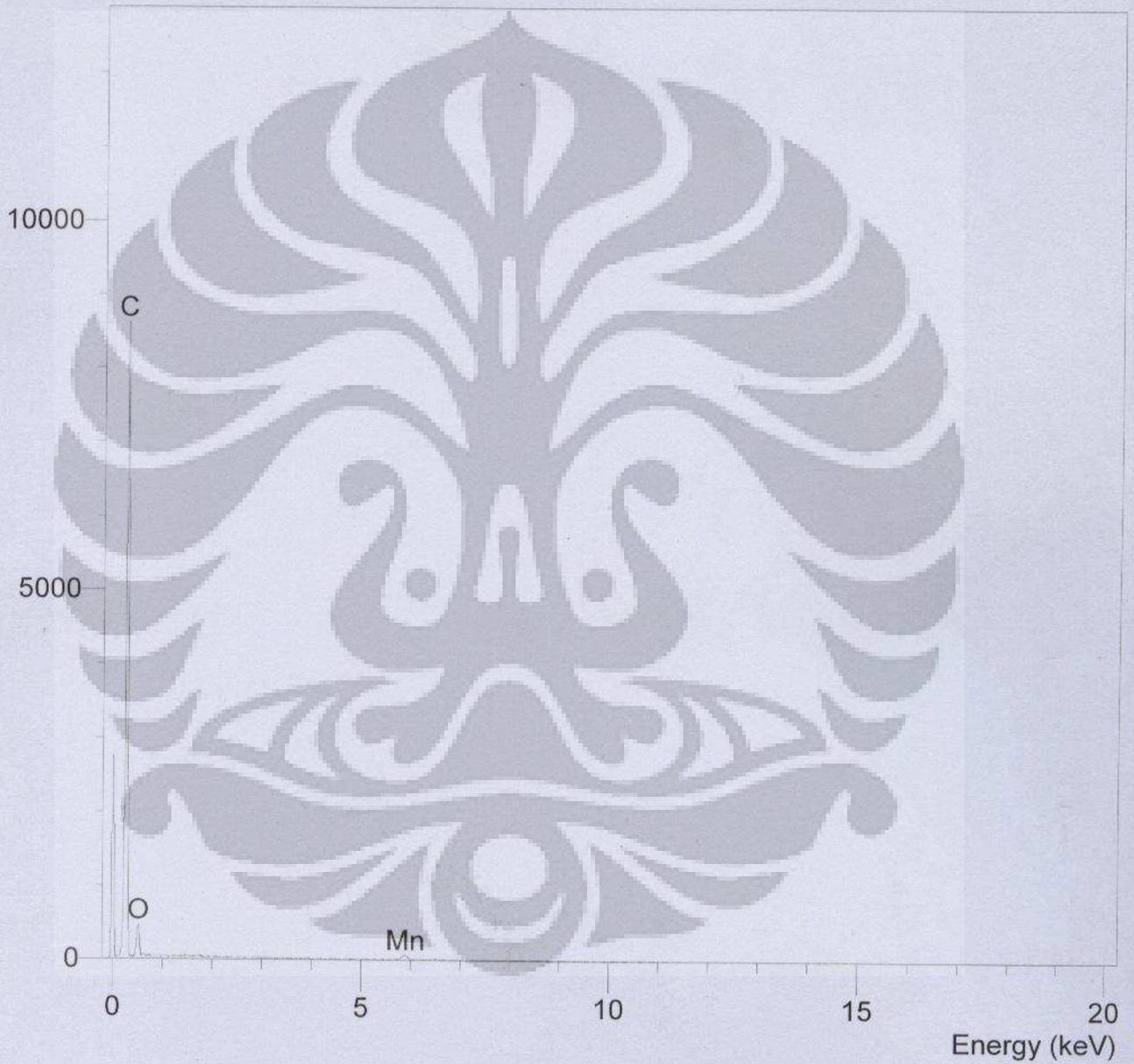
Operator : Baim

Client : Dept. Teknik Metalurgi dan Material Universitas Indonesia

Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis

MnO2 20% - 01 (10/07/09 11:38)

Counts



SEMQuant results. Listed at 11:39:08 on 10/07/09
Operator: Baim
Client: Dept. Teknik Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis
Spectrum label: MnO2 20% - 01

System resolution = 62 eV

Quantitative method: ZAF (4 iterations).
Analysed all elements and normalised results.

1 peak possibly omitted: 1.74 keV

Standards :

C K Carbon Low 13/09/06
O K AL2O3 22/03/06
Mn K Mangan 02 13/09/06

Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %
C K	ED	44.80	62.36
O K	ED	28.12	29.39
Mn K	ED	27.08	8.24
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma



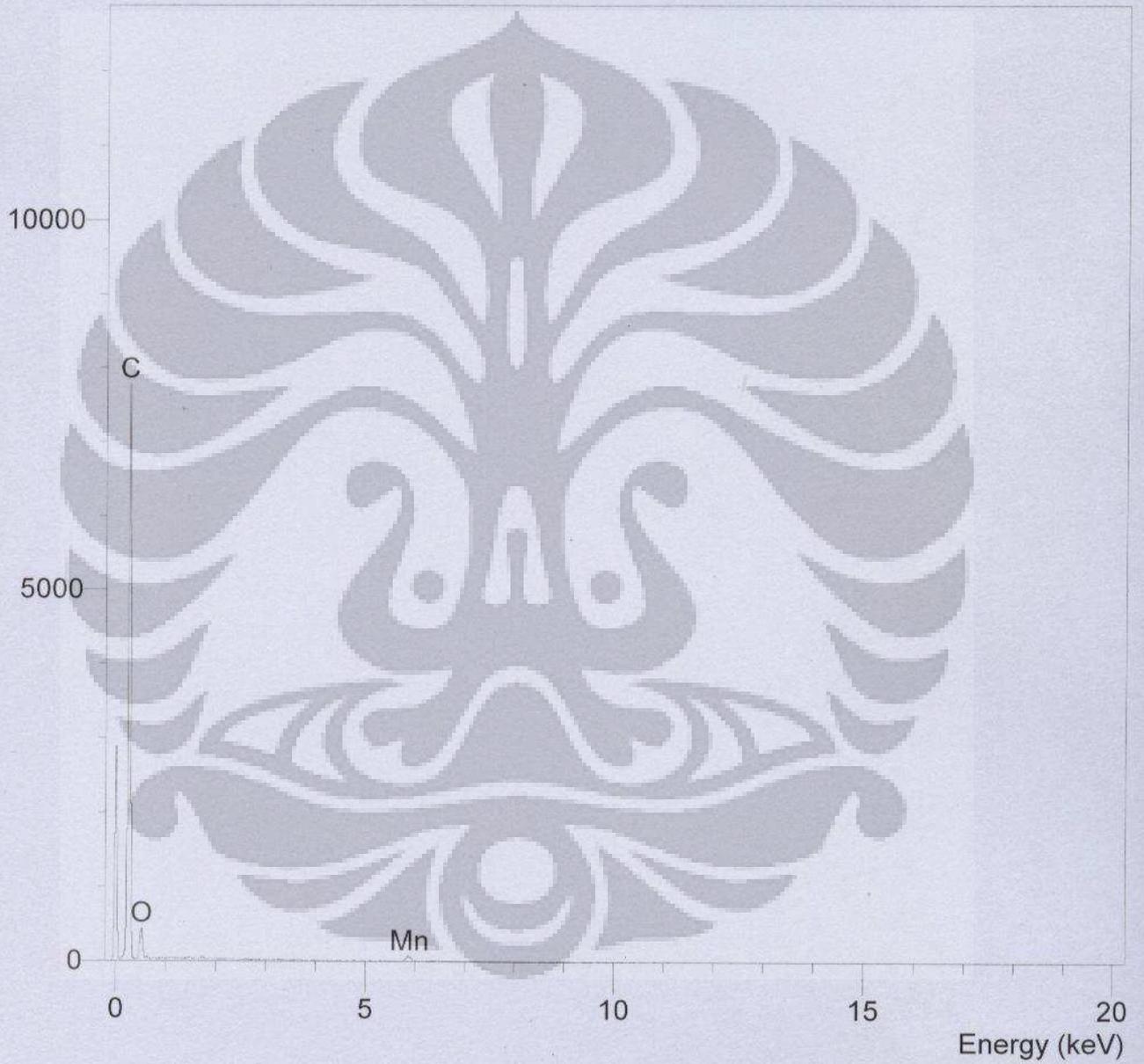
Operator : Baim

Client : Dept. Teknik Metalurgi dan Material Universitas Indonesia

Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis

MnO2 20% - 02 (10/07/09 11:39)

Counts



SEMQuant results. Listed at 11:40:17 on 10/07/09
Operator: Baim
Client: Dept. Teknik Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis
Spectrum label: MnO2 20% - 02

System resolution = 62 eV

Quantitative method: ZAF (4 iterations).
Analysed all elements and normalised results.

1 peak possibly omitted: 1.74 keV

Standards :

C K Carbon Low 13/09/06
O K AL2O3 22/03/06
Mn K Mangan 02 13/09/06

Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %
C K	ED	43.97	61.89
O K	ED	27.86	29.44
Mn K	ED	28.17	8.67
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma

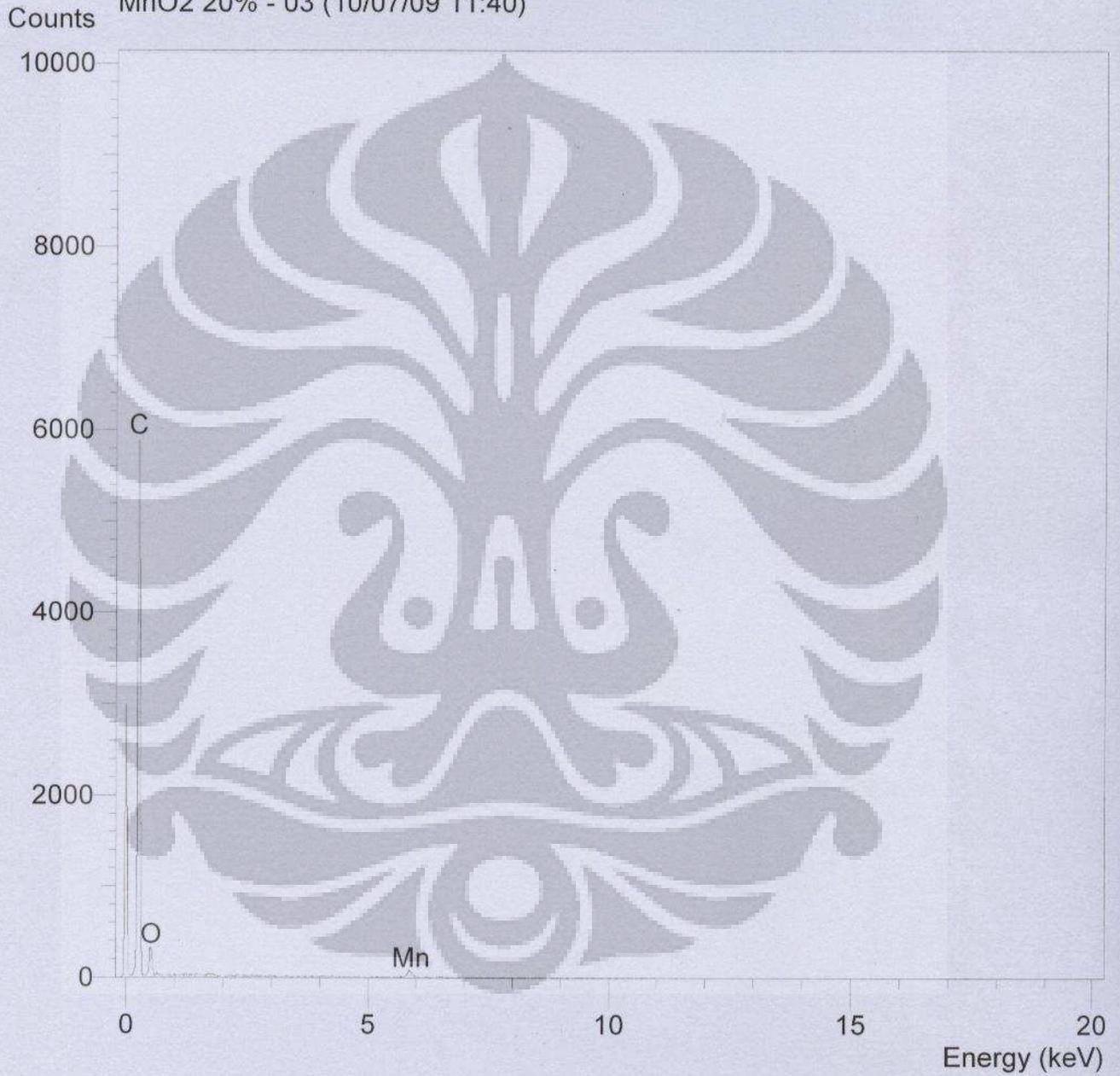


Operator : Baim

Client : Dept. Teknik Metalurgi dan Material Universitas Indonesia

Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis

MnO₂ 20% - 03 (10/07/09 11:40)



SEMQuant results. Listed at 11:41:28 on 10/07/09
Operator: Baim
Client: Dept. Teknik Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis
Spectrum label: MnO2 20% - 03

System resolution = 62 eV

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

1 peak possibly omitted: 1.76 keV

Standards :

C K Carbon Low 13/09/06
O K AL2O3 22/03/06
Mn K Mangan 02 13/09/06

Elmt	Spect.	Element	Atomic
	Type	%	%
C K	ED	43.10	64.58
O K	ED	21.05	23.68
Mn K	ED	35.85	11.74
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma

