



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH TEMPERATUR SINTER TERHADAP
KARAKTERISTIK MATERIAL KOMPOSIT GRAFIT-COAL
*TAR PITCH***

SKRIPSI

**ADI GUNAWAN
0606074496**

**FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN METALURGI DAN MATERIAL
DEPOK
JULI 2010**



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH TEMPERATUR SINTER TERHADAP
KARAKTERISTIK MATERIAL KOMPOSIT GRAFIT-COAL
*TAR PITCH***

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Teknik (ST)**

**ADI GUNAWAN
0606074496**

**FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN METALURGI DAN MATERIAL
DEPOK
JULI 2010**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Adi Gunawan

NPM : 06060747496

Tanda Tangan :

Tanggal : 2 Juli 2010

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Adi Gunawan
NPM : 0606074496
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Judul Skripsi : Pengaruh Temperatur Sinter Terhadap Karakteristik
Material Komposit Grafit-*Coal Tar Pitch*

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing 1 : Prof.Dr.Ir. Anne Zulfia, M.Phil.Eng. (.....)
Penguji 1 : Dr. Ir. A. Herman Yuwono, M. Phil. Eng. (.....)
Penguji 2 : Mochamad Chalid SSi. MSc (.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 9 Juli 2010

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yesus Kristus atas berkat dan kasih-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul *“Pengaruh temperatur sinter terhadap karakteristik material grafit-coal tar pitch”*. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Metalurgi dan Material pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwaselama masa penelitian sampai pada penyusunan skripsi ini banyak pihak yang telah membantu. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof.Dr.Ir. Anne Zulfia, M.Phil.Eng. selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
2. Bpk. Agus Pramono yang telah memberikan proyek penelitian ini dan memberikan dukungan fasilitas selama penelitian;
3. Orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral
4. Teman kelompok studi saya, Adidjaya Chandra, yang telah banyak membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini;
5. Rekan saya Irlinda Desita yang telah membantu saya dalam mengerjakan salah satu uji karakteristik material
6. Seluruh pihak yang telah membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi.

Depok, 2 Juli 2010

Penulis

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

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

Nama : Adi Gunawan
NPM : 0606074496
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Departemen : Teknik Metalurgi dan Material
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

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

**Pengaruh Temperatur Sinter Terhadap Karakteristik Material Grafit-Coal
Tar Pitch**

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 mempublikasikan 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 : 9 Juli 2010

Yang menyatakan

(Adi Gunawan)

ABSTRAK

Nama : Adi Gunawan

Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material

Judul : Pengaruh Temperatur Sinter Terhadap Karakteristik Material Komposit Grafit-*Coal Tar Pitch*

Nilai ekonomis produk sampingan dari batu bara, *coal tar pitch*, ternyata dapat ditingkatkan. *Coal tar pitch* tersebut dijadikan sebagai bahan baku penguat pada material komposit. Suatu alternatif material komposit dapat dibuat melalui kombinasi dua material antara grafit dan *coal tar pitch*. Proses sintering dilakukan untuk menciptakan material komposit tersebut. Variasi temperatur sinter digunakan untuk mengetahui perubahan *properties* dari material komposit grafit-*coal tar pitch*. Temperatur sinter yang digunakan, yaitu: 275°C, 385°C, dan 550°C.

Kata kunci:

Batu bara, *coal tar pitch*, grafit, komposit, *properties*, sinter, temperatur

ABSTRACT

Name : Adi Gunawan

Study Program : Metallurgy and Materials Engineering

Judul : The Effect of Sintering Temperature to Properties of Material
Graphite-Coal Tar Pitch Composite

The economic value of by-product of coke, coal tar pitch, can be improved. The coal tar pitch can be used as reinforcement material in composite materials. An alternative composite materials can be made through a combination of two materials of graphite and coal tar pitch. Sintering process undertaken to create the composite material. The variation of sintering temperature used to determine changes in properties of composite materials graphite-coal tar pitch. The sintering temperatures used, namely: 275°C, 385°C, and 550°C.

Keywords:

Coke, coal tar pitch, graphite, composite, properties, sintering, temperature

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
DAFTAR SINGKATAN	xii
DAFTAR SIMBOL	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Ruang Lingkup Penelitian.....	3
1.5 Sistematika Penulisan.....	4
BAB 2 DASAR TEORI	5
2.1 Proses Metalurgi Serbuk	5
2.2 Komposit..	8
2.3 Karbon-karbon Komposit.....	12
2.3.1 Pembentukan Matriks Karbon dengan Metode Gas.....	13
2.3.2 Pembentukan Matriks Karbon dengan Metode LI.....	15
2.4 Grafit.....	17
2.4.1 Grafitisasi batu bara	20
2.5 Coal tar pitch	22
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	24
3.1 Diagram Alir Penelitian	25
3.2 Alat dan Bahan	25
3.2.1 Peralatan	25
3.2.2 Bahan.....	26
3.2.2.1 Grafit sintetis	27
3.2.2.2 Coal tar pitch	27
3.3 Prosedur Penelitian	28
3.3.1 Preparasi Sampel	28
3.3.1.1 Pengayakan... ..	28
3.3.1.2 Penimbangan.....	29

3.3.1.3 Pencampuran.....	30
3.3.1.4 Pencetakan Sampel.....	31
3.3.1.5 Proses Sintering.....	32
3.3.2 Pengujian Karakteristik Material	33
3.3.2.1 Pengujian Kekerasan.....	33
3.3.2.2 Pengujian Kekuatan Tekan.....	35
3.3.2.3 Pengujian Densitas.....	36
3.3.2.4 Pengujian Porositas	37
3.3.2.5 Pengamatan SEM dan EDS.....	38
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	40
4.1 Hasil Preparasi Sampel	40
4.1.1 Pengayakan.....	40
4.1.2 Pencampuran.....	41
4.1.3 Pencetakan Sampel.....	41
4.1.4 Proses Sintering	43
4.1.5 Hasil Pembentukan Sampel.....	43
4.2 Pengujian Karakterisasi.....	44
4.2.1 Hasil Pengujian Kekerasan.....	44
4.2.2 Hasil Pengujian Kuat Tekan.....	46
4.2.3 Hasil Pengujian Densitas.....	47
4.2.4 Hasil Pengujian Porositas.....	49
4.2.5 Hasil Pengamatan SEM/EDS.....	50
4.2.5.1 Hasil Pengamatan SEM (hasil ayakan).....	50
4.2.5.2 Hasil Pengamatan SEM (hasil sintering)....	52
4.2.5.3 Hasil Pengamatan EDS.....	56
KESIMPULAN	60
DAFTAR REFERENSI	61
LAMPIRAN	63

DAFTAR GAMBAR

Halaman

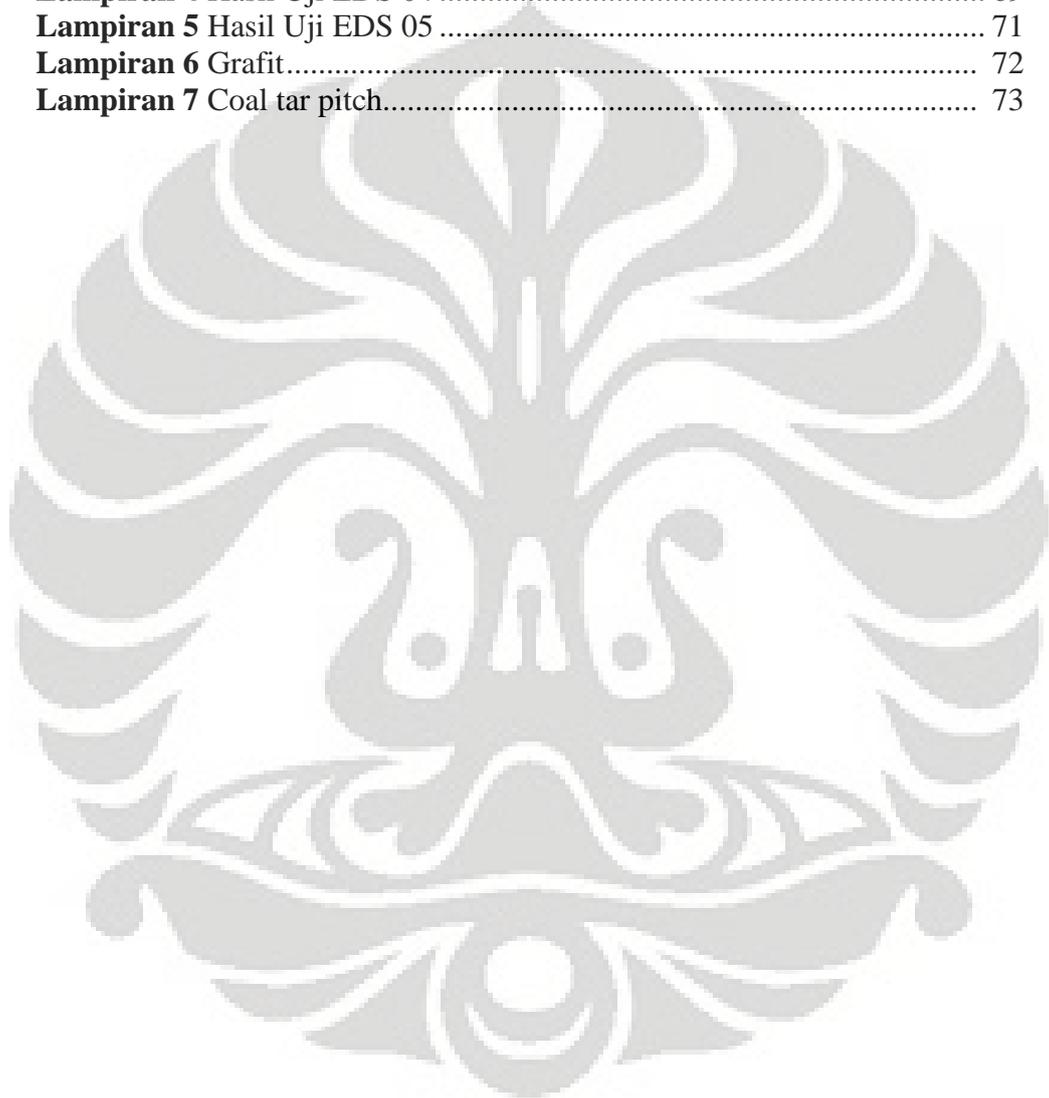
Gambar 2.1 Tahapan proses metalurgi serbuk	6
Gambar 2.2 Perilaku saat serbuk dikompaksi	7
Gambar 2.3 Parameter dari bahan pengisi pada komposit	10
Gambar 2.4 Interface dan interphase pada material komposit	11
Gambar 2.5 Sudut kontak pada pembasahan.....	12
Gambar 2.6 Perbandingan Temperatur terhadap kekuatan komposit	13
Gambar 2.7 Perbandingan Temperature terhadap nilai modulus	13
Gambar 2.8 Skema mikrostruktur matrik karbon	16
Gambar 2.9 Tahapan CVI proses	16
Gambar 2.10 Klasifikasi alotropi karbon	18
Gambar 2.11 Perubahan struktur turbistatik menjadi struktur terakhir.....	21
Gambar 2.12 Proses Produksi Coal tar pitch	23
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian	24
Gambar 3.2 Diagram alir penelitian	25
Gambar 3.3 Mesin Pengguncang pada proses pengayakan	29
Gambar 3.4 Timbangan Digital	29
Gambar 3.5 Peralatan dalam Pencampuran	31
Gambar 3.6 Cetakan material komposit	32
Gambar 3.7 Mesin Kompaksi	32
Gambar 3.8 Dapur untuk proses sinter	33
Gambar 3.9 Skema Indentasi Mikro dengan metode microvickers	34
Gambar 3.10 Mesin Microvickers pada uji keras.....	35
Gambar 3.11 Mesin Uji Kuat Tekan	36
Gambar 4.1 Serbuk saat melewati saringan	40
Gambar 4.2 Mateial Komposit grafit-coal tar pitch hasil sinter	44
Gambar 4.3 Pengaruh Temperatur Sinter Terhadap Nilai Kekerasan	45
Gambar 4.4 Pengaruh Temperatur Sinter Terhadap Nilai Kuat Tekan.....	47
Gambar 4.5 Pengaruh Temperatur Sinter Terhadap Nilai Densitas	49
Gambar 4.6 Pengaruh Temperatur Sinter Terhadap Nilai Porositas	50
Gambar 4.7 a Distribusi dan ukuran partikel rentang 30-43 μm	51
Gambar 4.7 b Distribusi dan ukuran partikel rentang 30-43 μm	52
Gambar 4.8 Pengamatan SEM pada sampel hasil sinter dengan temperatur 275°C	53
Gambar 4.9 Pengamatan SEM pada sampel hasil sinter dengan temperatur 385°C	54
Gambar 4.10 Pengamatan SEM pada sampel hasil sinter dengan temperatur 550°C.....	55

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Jenis-jenis gas yang digunakan pada CVD proses	14
Tabel 2.2 Jenis cairan impragnasi yang biasa digunakan.....	15
Tabel 2.3 Sifat umum grafit	17
Tabel 2.4 Komposisi dari grafit yang digunakan	19
Tabel 2.5 Carbon yield (%) pada masing-masing prekursor.....	20
Tabel 2.6 Sifat dari beberapa jenis material polimer dan grafit	22
Tabel 2.7 Sifat Coal tar pitch dan petroleum pitch	22
Table 3.1 Komposisi dan pengkodean sampel	26
Tabel 3.2 Kandungan unsur pada material coal tar pitch	28
Tabel 4.1 Data kekerasan material komposit grafit- <i>caol tar pitch</i>	44
Tabel 4.2 Data kekuatan tekan material komposit grafit- <i>coal tar pitch</i>	47
Table 4.3 Data Nilai densitas material komposit grafit- <i>coal tar pitch</i>	48
Tabel 4.4 Data porositas (%) material komposit grafit- <i>coal tar pitch</i>	50
Tabel 4.5 Unsur-unsur yang terdeteksi oleh EDS	57

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1 Hasil Uji EDS 01	63
Lampiran 2 Hasil Uji EDS 02	65
Lampiran 3 Hasil Uji EDS 03	67
Lampiran 4 Hasil Uji EDS 04	69
Lampiran 5 Hasil Uji EDS 05	71
Lampiran 6 Grafit.....	72
Lampiran 7 Coal tar pitch.....	73



DAFTAR SINGKATAN

C	<i>Carbon</i>
CVD	<i>Chemical vapor deposition</i>
CVI	<i>Chemical vapor infiltration</i>
SEM	<i>Scanning electron microscopy</i>
EDS	<i>Energy Dispersive X-ray Spectroscopy</i>



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Setiap pabrik pada umumnya menghasilkan produk sampingan hasil dari produk utamanya. Produk sampingan ini biasanya tidak dapat digunakan lagi dalam proses selanjutnya. Tak heran jika beberapa produk sampingan ini sulit sekali dilakukan proses penambahan nilai. Pada proses pembuatan batu bara, misalnya, terdapat berbagai produk sampingan yang dihasilkan. Aspal merupakan contoh produk sampingan yang banyak dihasilkan pada proses pembuatan batu bara. Aspal sebagai produk sampingan dari proses pembuatan batu bara memiliki salah satu produk turunan yang disebut sebagai coal-tar-pitch. Coal-tar-pitch yang umumnya secara fisik berupa cairan semi-padat memiliki kadar karbon sekitar 92.5 sampai 95.6%, sulfur 0.30%, dan zat-zat yang mudah menguap sebesar 3 sampai 6% [1].

Besarnya kadar karbon yang terdapat pada coal-tar-pitch memicu dilakukannya penelitian untuk menjadikannya sebagai material penguat pada material karbon-karbon komposit (C-C). Material ini dikombinasikan dengan material grafit sebagai matriksnya. Dengan kombinasi ini diharapkan akan diperoleh material komposit dengan karakteristik yang cocok untuk dijadikan sebagai material pada pembuatan baju tahan peluru. Kekerasan tinggi, kekuatan tekan tinggi dan ringan merupakan sifat yang harus dimiliki oleh material yang akan dijadikan sebagai bahan baku baju tahan peluru. Penggunaan material grafit pada penelitian ini dikarenakan berat dari material grafit cenderung relatif ringan, sehingga diharapkan bisa memenuhi persyaratan untuk dijadikan sebagai material baju tahan peluru.

Metode yang digunakan dalam pembuatan material komposit matriks grafit coal-tar-pitch ini ialah dengan proses metalurgi serbuk. Prinsip dari metode ini ialah pemadatan serbuk menjadi bentuk yang diinginkan sehingga partikel-partikel serbuk menyatu melalui mekanisme ikatan fasa padat. Sebelum proses pemadatan, serbuk grafit dan coal-tar-pitch dicampur bersamaan pada temperatur

tertentu. Kemudian dihasilkan serbuk yang merupakan campuran antara grafit dan coal-tar-pitch. Proses pemadatan digunakan untuk menghasilkan produk dengan dimensi akurat, near net shape, dan menghasilkan produk yang mempunyai sejumlah porositas dengan ukuran dan distribusi tertentu. Pori yang terdapat pada material bearing dapat dimanfaatkan untuk pemberian pelumas dengan metode impregnasi. Dengan demikian material bearing akan memiliki ketahanan aus yang tinggi dan umur pakai yang lebih lama.

1.2 Perumusan Masalah

Mahalnya biaya produksi pembuatan rompi anti peluru menjadi penghambat terhadap penggunaannya, khususnya pada bidang militer di negara-negara berkembang. Upaya yang dilakukan untuk mengatasi permasalahan tingginya biaya produksi adalah pemilihan material untuk pembuatan rompi anti peluru yang lebih ekonomis. Pada penelitian ini digunakan kombinasi material grafit dan *coal tar pitch* sebagai alternatif bahan dari rompi anti peluru. *Coal tar pitch* merupakan produk turunan dari batu bara. Material tersebut selain relatif murah juga mudah didapatkan, sehingga efisiensi pembuatan material alternatif sangat tinggi. Pada penelitian ini digunakan perbandingan fraksi berat dari masing-masing material.

Dengan penggunaan material grafit dan *coal tar pitch*, bisa mendapatkan kelebihan dari beberapa material yang berbeda. Salah satunya adalah proses pembuatan yang mudah dan murah. Proses yang digunakan adalah *chemical vapor deposition*. Dasar dari proses ini adalah impregnasi cairan organik ke dalam matriks. *Coal tar pitch* sebagai bahan baku dari cairan organik akan mendeposisikan karbon ke dalam matriks grafit. Kemampuan *coal tar pitch* mendeposisikan karbon ke dalam matriks, akan mempengaruhi sifat-sifat dari komposit grafit-*coal tar pitch* nantinya.

Baik tidaknya *coal tar pitch* terdepositasi ke dalam matriks tergantung dari temperatur sinter yang diaplikasikan pada material komposit grafit-*coal tar pitch*. Selain itu, besarnya kadar karbon pada matriks juga mempengaruhi. Semakin baik *coal tar pitch* mendeposisikan karbon pada matriks, semakin rendah tingkat porositasnya.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Membuat material komposit grafit/*coal-tar-pitch* (C-C) dengan menggunakan metode metalurgi serbuk.
2. Menganalisis pengaruh temperatur sinter terhadap sifat mekanis (kekerasan dan kuat tekan), densitas, porositas serta struktur mikro dari material komposit grafit/*coal-tar-pitch* (C-C).
3. Membandingkan sifat mekanis (kekerasan dan kuat tekan), densitas serta porositas pada beberapa perlakuan sampel, yaitu antara material grafit dengan penguat hasil perlakuan sinter (*reinforced sinter*) pada suhu sinter 275°C, 385°C, dan 550°C

1.4 Ruang Lingkup dan Batasan Masalah

Pada penelitian ini akan diformulasikan komposisi dari material grafit sebagai matriks yang diperkuat oleh material *coal tar pitch*. Semua material yang digunakan untuk membentuk material komposit grafit-*coal tar pitch* tersebut memiliki perbandingan tertentu. Perbandingan yang dipakai adalah 70% berupa grafit, dan 30% berupa *coal tar pitch* dari total berat keseluruhan dari material grafit-*coal tar pitch* (25 gram). Pembuatan material komposit grafit-*coal tar pitch* ini dimulai dari proses pengayakan terhadap serbuk grafit yang akan digunakan. Serbuk grafit tersebut diayak hingga mencapai ukuran butir sekitar 44 µm. Proses pengayakan hanya dilakukan pada material grafit, karena *coal tar pitch* berbentuk semi padat.

Material grafit yang telah diayak tadi kemudian dicampur (*mixing*) dengan *coal tar pitch* cair yang telah dipanaskan sebelumnya. Campuran itu kemudian dibentuk menjadi silinder menggunakan mesin *press* dengan kekuatan tekan sebesar 10 US ton. Sampel material komposit grafit-*coal tar pitch* yang akan dibuat sebanyak dua belas buah sesuai dengan variabel temperatur sinter yang digunakan nantinya. Akan dilakukan beberapa pengujian pada masing-masing sampel, yaitu uji kekerasan, uji kuat tekan, uji densitas, uji porositas. Untuk Pengamatan terhadap interaksi yang terjadi pada setiap komponen dilakukan

dengan menggunakan *SEM (Scanning Electron Microscope)*. Sedangkan untuk mengetahui kadar unsur-unsur yang ada pada material komposit grafit-coal tar pitch, maka dilakukan uji EDS (*Energy Dispersive X-ray Spectroscopy*).

1.5 Sistematika Penulisan

Dalam penelitian ini, sistematika penulisan disusun agar konsep dalam penulisan skripsi menjadi berurutan sehingga akan didapat kerangka alur pemikiran yang mudah dan praktis. Sistematika tersebut dapat diuraikan dalam bentuk bab-bab yang saling berkaitan satu sama lain, diantaranya ialah:

Bab 1 : Pendahuluan

Membahas mengenai latar belakang penelitian, tujuan penelitian, ruang lingkup penelitian, dan sistematika penulisan.

Bab 2 : Tinjauan Pustaka

Membahas mengenai dasar teori komposit matriks grafit/carbon (*coal-tar-pitch*), proses pembuatannya secara metalurgi serbuk, dan aplikasinya sebagai rompi tahan peluru pada industri militer.

Bab 3 : Metodologi Penelitian

Membahas mengenai diagram alir penelitian, alat, bahan, prosedur penelitian, dan pengujian sampel.

Bab 4 : Hasil dan Pembahasan

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

Bab 5 : Penutup

Bab ini berisikan kesimpulan akhir berdasarkan hasil dan pembahasan penelitian ini masalah, dan sistematika penulisan penelitian.

BAB 2 DASAR TEORI

2.1 Proses Metalurgi Serbuk

Metalurgi serbuk merupakan suatu bidang ilmu yang mempelajari mengenai proses yang berkaitan dengan serbuk logam meliputi pembuatan (fabrikasi) dari serbuk logam itu sendiri, karakteristik serbuk, hingga konversi serbuk logam menjadi suatu komponen produk. Proses metalurgi serbuk ini melibatkan proses hukum dasar panas (sinter serbuk), pengerjaan bentuk serbuk, sifat dan struktur serbuk menjadi serbuk akhir [2].

Serbuk material dicampur (*mixed*) dan dikompaksi di dalam cetakan dibawah tekanan hingga mencapai ~80% densitas teori dan kemudian dilakukan proses sinter pada temperatur tinggi di bawah titik leburnya (~0,8 titik lebur). Proses sinter akan menyebabkan penggabungan antar partikel-partikel serbuk melalui difusi transport atom dan meningkatkan densitas (hampir mendekati nilai dari densitas teori)[3]

Teknik pemrosesan dengan metalurgi serbuk memiliki keuntungan pada produk yang ingin dihasilkan, diantaranya sebagai berikut:

1. Material dengan struktur butir yang halus
2. Penggunaan bahan baku yang efisien
3. Mengurangi biaya permesinan
4. Dapat mengontrol besarnya densitas dan porositas sesuai dengan
5. yang diinginkan
6. Dapat meminimalkan terjadinya reaksi-reaksi antarmuka yang tidak diinginkan karena preparasi sampel dilakukan pada kondisi kurang maksimal

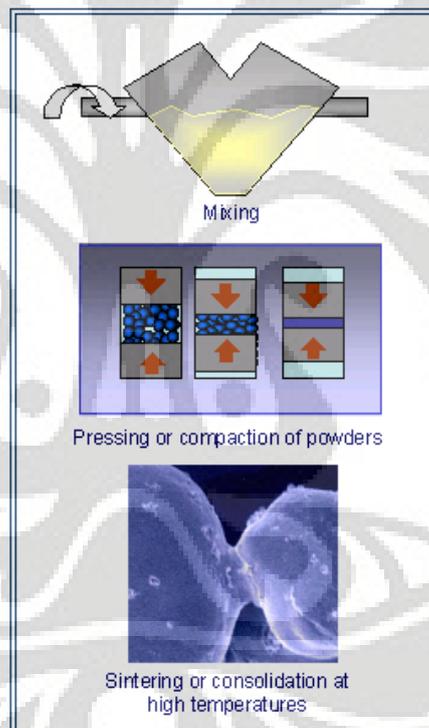
Namun selain memiliki kelebihan, proses metalurgi serbuk juga memiliki beberapa kekurangan diantaranya ialah:

1. Sulit untuk menghasilkan produk secara massal
2. Sulit untuk mendapatkan distribusi partikel yang merata pada produk
3. Membutuhkan kebersihan proses dengan tingkat sangat tinggi

4. Terbentuknya inklusi di dalam produk yang dapat memberikan efek beracun
5. Desain komponen harus dibuat sedemikian serupa sehingga dapat dengan mudah dikeluarkan dari cetaknya

Beberapa tahapan dalam proses metalurgi serbuk seperti yang ditunjukkan oleh gambar 2.1, yakni:

1. Karakteristik serbuk meliputi ukuran dan distribusi ukuran serbuk, bentuk serbuk, serta komposisi kimia serbuk.
2. Mixing atau blending (pencampuran serbuk)
3. Kompaksi (penekanan)
4. Sintering (pemanasan)



Gambar 2.1Tahapan proses metalurgi serbuk[4]

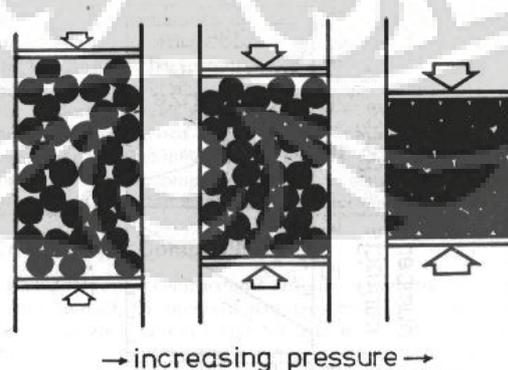
Beberapa pengaruh ukuran partikel serbuk terhadap karakteristik serbuk, antara lain[5]

1. Ukuran partikel yang halus sangat diperlukan untuk kompaksi serbuk yang keras atau getas seperti grafit karena dengan semakin tingginya gesekan antarpartikel akan membantu meningkatkan kekuatan adhesi bakalan untuk memudahkan dalam proses penanganan selanjutnya.

2. Serbuk-serbuk yang halus mempunyai luas permukaan kontak antarpartikel lebih banyak sehingga akan meningkatkan mekanisme ikatan antarpartikel secara difusi saat proses sinter, tetapi sangat sulit memperoleh densitas kompaksi yang seragam dengan luas bagian yang besar.
3. Serbuk-serbuk yang kasar memiliki kepadatan yang seragam saat dilakukan kompaksi, tetapi luas permukaan kontak antarpartikel menjadi kecil yang mengakibatkan proses difusi pada saat dilakukan *sintering* kurang baik sehingga menyebabkan terjadinya banyak pori dan menurunkan sifat mekanik produk metalurgi serbuk.

Pencampuran dan pengadukan partikel serbuk didefinisikan sebagai proses bercampurnya serbuk secara sempurna dengan masing-masing besaran komposisi guna menghasilkan serbuk yang homogen [6].

Kompaksi berkaitan erat dengan tekanan yang diberikan dari luar untuk mendeformasi serbuk menjadi massa yang memiliki densitas tinggi, selain memberikan bentuk dan mengontrol ukuran serbuk (ditunjukkan oleh gambar 2.2). Artinya tekanan yang diberikan pada serbuk, perilaku mekanik, dan laju penekanan merupakan parameter proses utama yang menentukan hasil kepadatan serbuk. Peningkatan penekanan akan memberikan hasil packing yang lebih baik dan penurunan porositas. Ketika tekanan kompaksi dinaikkan, jumlah partikel yang mengalami deformasi plastis akan meningkat[7]



Gambar 2.2 Perilaku serbuk saat dikompaksi[2]

Proses sinter merupakan metode untuk membuat produk dari bahan serbuk, dengan memanaskan material (di bawah titik leburnya) sehingga partikel-partikel tersebut berikatan satu sama lain. Proses sinter dalam metalurgi serbuk

memegang peranan yang cukup penting dalam menentukan sifat akhir dari produk yang akan dihasilkan. Proses sinter sendiri diartikan sebagai perlakuan panas untuk mengikat partikel-partikel menjadi koheren, menghasilkan struktur padat melalui transport massa yang biasa terjadi dalam skala atom. Ikatan yang terbentuk akan meningkatkan kekuatan dan menurunkan energi dari system[8]

2.2 Komposit

Material komposit adalah gabungan dua atau lebih material yang memiliki perbedaan fasa dan sifat yang berbeda, membentuk satu material yang baru dan memiliki sifat yang lebih baik daripada material penyusunnya. Namun, material penyusun masih dapat dibedakan secara makro. Suatu komposit terdiri dari dua konstituen, yaitu matriks dan penguat (reinforcement). Matriks berfungsi sebagai pengikat dari penguat, mendistribusikan beban antara penguat, memproteksi penguat dari lingkungan, dan melindungi permukaan abrasi mekanis. Pemilihan matriks dalam suatu komposit menjadi penting karena dalam suatu komposit dibutuhkan sifat mekanis yang baik, sifat mampu proses yang baik, dan juga memiliki resistansi yang baik terhadap bahan kimia dan panas. Di sisi lain, penguat digunakan dalam suatu komposit untuk meningkatkan sifat dari material komposit yang dihasilkan dan memiliki kemampuan untuk ditempatkan pada arah pembebanan untuk meningkatkan sifat mekanisnya. Beberapa bentuk penguat (reinforced) dari material komposit antara lain adalah :

1. Serat (fiber)
2. Partikel
3. Laminate (lapisan)
4. Serpihan (flakes)
5. Rambut (whiskers)

Material komposit dapat terbentuk alami di alam, seperti tulang, yang memiliki kombinasi antara sifat ringan dan kekuatan yang baik. Hal ini dapat terjadi akibat kombinasi antara kristal dari apatit (salah satu paduan kalsium sebagai komponen penyusun utama tulang) sebagai matriks dengan penguat fiber berupa protein kolagen. Komposit digunakan tidak hanya pada aplikasi struktural,

melainkan untuk aplikasi elektronik, thermal, dan dengan kondisi lingkungan lainnya.

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

- **Komposisi**

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

$$E_c = E_f V_f + E_m V_m \quad \dots\dots\dots \text{persamaan 2.1}$$

$$\rho_c = \frac{m_c}{V_c} = \frac{m_f + m_m}{V_f + V_m + V_v} = \frac{\rho_f V_f + \rho_m V_m}{V_f + V_m + V_v} = \rho_f V_f + \rho_m V_m$$

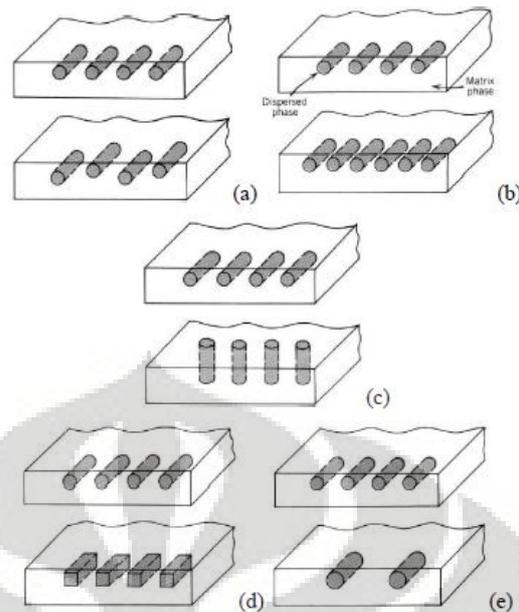
Keterangan : E = Modulus Elastisitas (composite(c), reinforce(f), matrix(m))

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

ρ = Densitas (composite(c), reinforce(f), matrix(m))

- **Arah Orientasi**

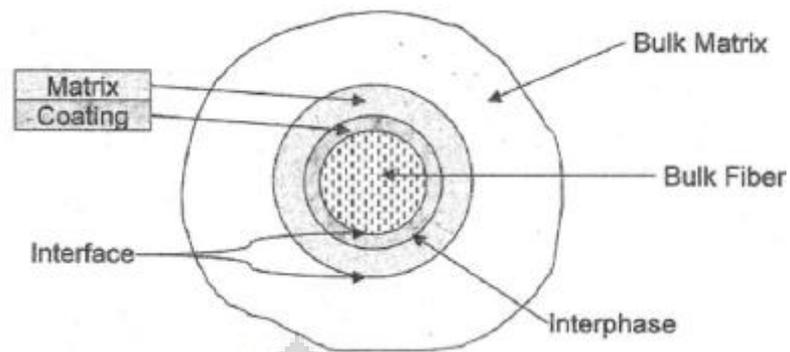
Arah orientasi penguat juga sangat berpengaruh terhadap sifat material komposit. Pengaturan arah orientasi penguat ini juga dapat diatur untuk merekayasa sifat dari material komposit tersebut, seperti sifat mekanis dan konduktivitasnya. Arah orientasi penguat yang searah dengan arah pembebanan akan mampu memberikan performa mekanis yang baik terhadap pembebanan tersebut. Jenis arah orientasi penguat dapat dilihat pada Gambar 2.3



Gambar 2.3 Parameter dari Bahan Pengisi pada Komposit : Distribusi (a), Konsentrasi (b), Orientasi (c), Bentuk (d), dan Ukuran (e) [9]

- **Interface**

Interface merupakan permukaan yang terbentuk diantara matriks dan penguat didalamnya yang berfungsi sebagai media transfer beban dari matriks dan penguat. Ikatan antara penguat dan matriks ini memiliki peran yang besar dalam penentuan sifat komposit. Semakin baik ikatan yang terbentuk (ditandai dengan semakin luasnya daerah permukaan kontak), maka semakin baik pula sifat akhir dari komposit yang terbentuk. Permukaan yang terbentuk tersebut akan mempengaruhi sifat-sifat dari komposit nantinya. Selain itu, diantara matriks dan penguat akan terbentuk fasa ketiga (interphase) yang memiliki sifat gabungan dari kedua fasa pembentuknya. Fase ketiga dapat terbentuk apabila ikatan interface terbentuk dengan baik, sehingga setiap komponen mampu berdifusi seperti terlihat pada Gambar 2.4



Gambar 2.4 Interface dan interphase pada material komposit [9]

- **Daya Pembasahan**

Daya pembasahan akan mempengaruhi ikatan antarmuka. Sempurna atau tidaknya ikatan antarmuka yang terjadi ditentukan oleh sudut kontak yang terbentuk antara matriks dan penguatnya. Wettability dari permukaan padat terhadap permukaan cair dapat diketahui berdasarkan persamaan Young :

$$\gamma_{SV} = \gamma_{LV} \cos\theta + \gamma_{SL} \quad \text{.....persamaan 2.2}$$

Work of adhesion (WA) dari tetesan cairan pada substrat dinyatakan oleh persamaan Dupré's :

$$W_A = \gamma_{SV} + \gamma_{LV} - \gamma_{SL} \quad \text{.....persamaan 2.3}$$

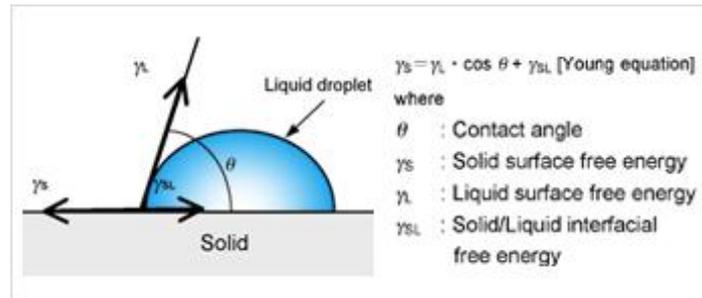
Dengan menggabungkan persamaan (2.2) dan (2.3) maka didapat persamaan Young-Dupré's :

Keterangan : γ_{SV} = energi bebas per unit area pada permukaan padat dan gas

γ_{LV} = tegangan permukaan antara permukaan cair dan gas

γ_{SL} = energi interfacial

θ = sudut kontak

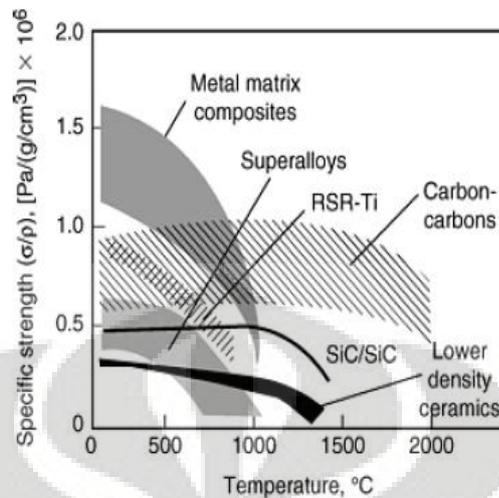


Gambar 2.5 Sudut kontak pada pembasahan [9]

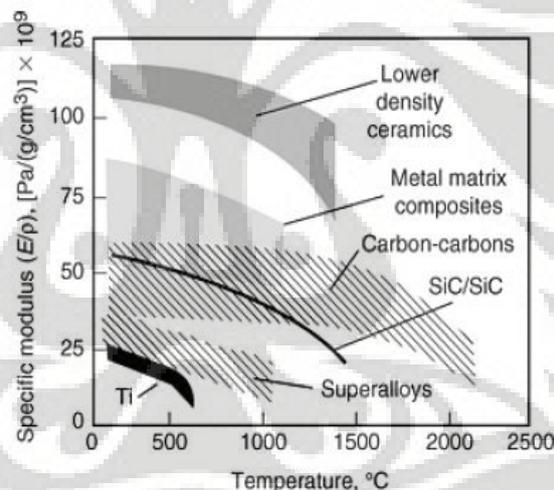
Sudut kontak menentukan baik tidaknya kekuatan antarmuka yang terbentuk. Apabila sudut kontak di bawah 90° , maka kemampubasahan dari ikatan antarmuka tersebut baik, sedangkan pembasahan tidak akan terjadi apabila sudut kontak lebih dari 90° (ditunjukkan oleh gambar 2.5).

2.3 Karbon-Karbon Komposit

Matriks karbon yang dikombinasikan dengan penguat serat karbon, telah banyak diproduksi secara komersial, contoh misalnya seperti pada roket, pesawat dan rem mobil balap. Dalam beberapa aplikasi, bahan tahan api yang terbuat dari karbon sering digunakan, meskipun hanya digunakan sementara karena sangat terbatas ketahanan oksidasinya pada suhu tinggi. Gambar 2.6 dan 2.7 menerangkan tentang nilai kekuatan dan modulus dari beberapa material berbeda. Karbon dapat diproses sebagai matriks melalui sejumlah metode. Dua metode yang paling umum adalah melalui proses chemical vapor deposition (CVD) dan infiltrasi prekursor. Infiltrasi prekursor biasanya melalui senyawa karbon seperti pitch, resin, atau polimer, yang bisa diturunkan untuk membentuk karbon. Meskipun pada prinsipnya adalah mungkin, terkadang proses partikulat padat perlu dilakukan karena karbon sulit untuk disinter dan dikombinasikan pada suhu ekonomis. Wujud karbon ada dalam berbagai bentuk, termasuk amorf, vitrous padat (berasal dari polimer dengan rantai karbon yang panjang), grafit (bentuk kristal heksagonal), dan intan (bentuk kristal kubik dan metastabil pada tekanan tetap). Grafit merupakan bentuk karbon yang stabil hampir di semua rentang temperatur, dan merupakan bentuk yang paling sering ditemui pada karbon-karbon komposit [10]



Gambar 2.6 Perbandingan temperatur terhadap kekuatan dari beberapa material komposit[11]



Gambar 2.7 Perbandingan temperatur terhadap nilai modulus dari beberapa material komposit[11]

2.3.1 Proses Pembentukan Matriks Karbon dengan Metode Gas

Struktur mikro karbon sebagai matriks dalam carbon matrices composite (CMC) sangat tergantung pada metode yang digunakan. CVD, atau yang lebih dikenal dengan CVI (chemical vapor infiltration), menggunakan gas yang kaya karbon, lalu dicampur dengan reaktan, kemudian menguraikan ikatan-ikatan karbon tersebut secara internal (ditunjukkan oleh Gambar 2.9). Karbon yang

dibebaskan kemudian terdeposisi dalam bentuk serat atau whiskers. Karena proses ini terus berlanjut, lapisan karbon terbentuk di sekitar serat sampai terjadi penyatuan. Proses terhenti ketika tidak mungkin lagi untuk mengisi campuran gas ke dalam komposit, baik karena sisa void internal tidak lagi saling terhubung, atau karena permukaan sebelumnya membentuk lapisan karbon yang terus menerus. Struktur mikro yang dihasilkan cenderung mencerminkan geometri serat, yang sering muncul sebagai rangkaian silinder berikat. Bentuk shell ini tergantung pada kondisi deposisi, terutama suhu dan laju aliran gas. Contoh jenis gas yang biasa digunakan terdapat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Jenis-jenis gas digunakan pada CVD proses[11]

Gas/campuran gas	Keterangan
Cyclopentane	Pelapisan lambat
Propylene	Hydrogen as diluent
Propane	Hydrogen as diluent
Methane	Hydrogen as diluent
Propane	Gas infiltration yang bergetar

Dengan tekanan rendah, gas-gas tersebut biasanya dimasukkan ke dalam ruang berisi serat yang sebelumnya telah dipanaskan, atau pada beberapa kasus, serat telah terbentuk dengan matriks karbon yang telah ada melalui proses lain. Untuk mengurangi resiko pengendapan permukaan dan tersumbatnya gas masuk ke dalam komposit, beberapa teknik pembuatan material komposit telah dikembangkan agar aliran gas dapat masuk melalui ketebalan material. Pemanasan dengan menggunakan gelombang pendek atau frekuensi radio telah dipilih untuk menjadi pemanasan radiasi umum oleh beberapa peneliti karena metode ini cenderung menyebabkan suhu internal sebelumnya menjadi lebih tinggi dari permukaan, mendorong terjadinya deposisi dari dalam ke luar dibanding deposisi dari luar ke dalam. Kerapatan akhir yang lebih tinggi dicapai karena adanya aliran gas yang lebih.

Matriks yang terdeposisi melalui proses gas cenderung lebih koheren, lebih padat, dan lebih kuat terikat pada serat dibanding yang dihasilkan melalui

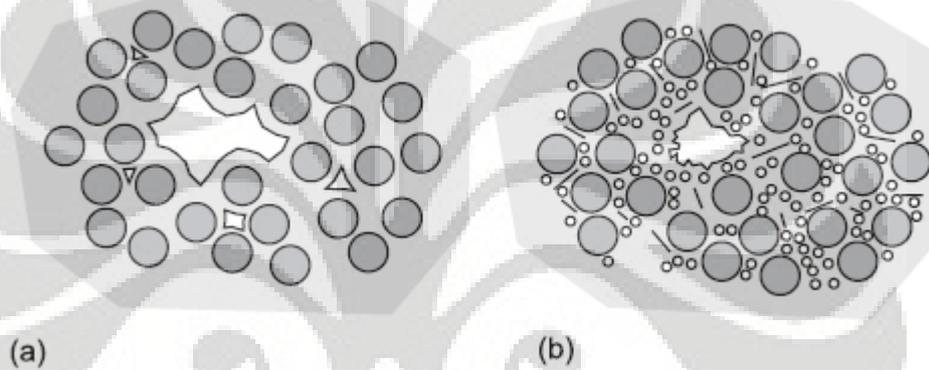
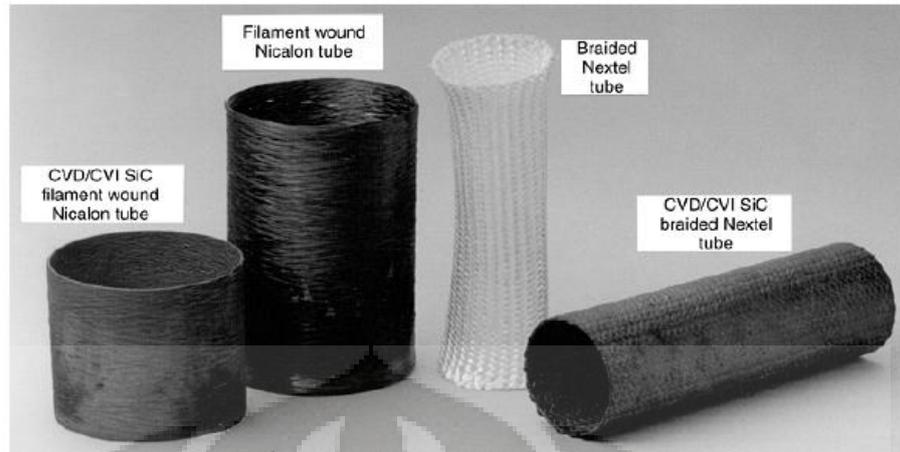
proses lainnya, seperti impregnation oleh prekursor organik cair. Proses ini memiliki retak yang sedikit, dan porositas sisa yang besarnya sekitar $8 \pm 15\%$ dari volume[10]

2.3.2 Proses Pembentukan Matriks Karbon dengan Metode Liquid Impregnation

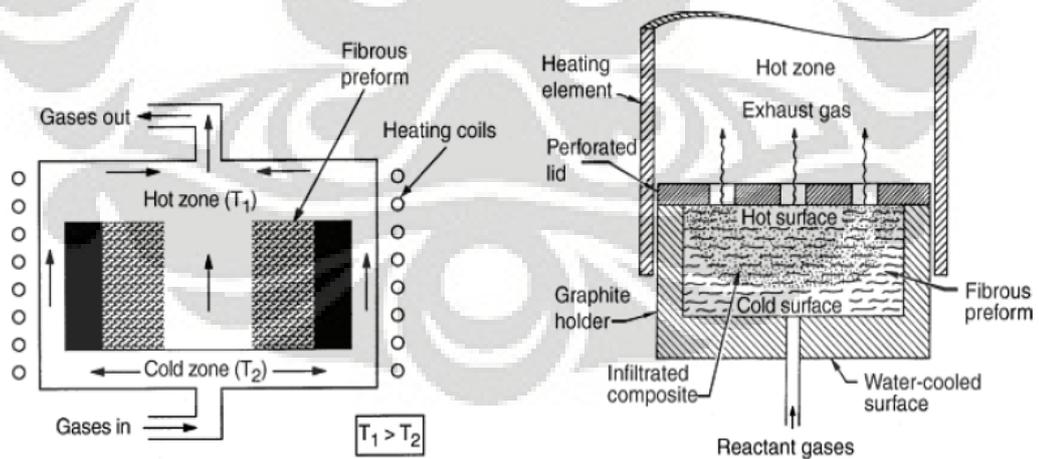
Karena proses CVD / CVI cenderung lebih lambat, butuh waktu berhari-hari, bahkan terkadang berminggu-minggu, untuk dapat menyelesaikan ketebalan seluruhnya, maka peneliti mencari metode alternatif untuk membuat matriks karbon. *Impregnation* oleh cairan organik kini digunakan luas untuk membuat bahan yang lebih murah (Tabel 2.2). Posisi matriks melalui metode prekursor cair memiliki struktur yang sangat berbeda. Karena besarnya penyusutan umumnya terjadi ketika prekursor cair mengkarbonisasi, beberapa impregnations dan karbonisasi lanjutan perlu dilakukan untuk memaksimalkan kepadatan matriks. Hasilnya adalah lapisan yang terbentuk di setiap serat cenderung berlapis-lapis dan terdapat retak, dengan banyak porositas mikro (Gambar 2.8 (b)). Pada lapisan deposisi pertama mengalami perlakuan panas kumulatif agak lebih luas dari yang terdeposisi kemudian, sehingga struktur berinti sering terjadi. Tingkat grafitisasi bervariasi antar lapisan inti, tapi secara keseluruhan sangat tergantung pada suhu yang digunakan. Struktur yang ada dapat dinormalisasi dengan perlakuan panas akhir ke suhu yang lebih tinggi. Namun cara ini cenderung tidak menghapus porositas sisik atau *microcracks*.

Tabel 2.2 Jenis cairan impragnasi yang biasa digunakan[11]

Cairan	Keterangan
Pitches	Sumber yang ada berbagai macam, termasuk batubara dan minyak
Phenol formaldehyde resin	Bentuk matriks acak
Vinyl o carborane	Dengan partikel B4C berfungsi sebagai inhibitor
Phenolic resins	



Gambar 2.8 Skema mikrostruktur matrik karbon, (a) dengan metode CVI., (b) metode impragnasi[10]



Gambar 2.9 Tahapan CVI proses[11]

Keunggulan dari teknik CVI adalah :

- Memiliki sifat yang baik pada temperatur tinggi
- Produk yang dihasilkan dapat berukuran besar, kompleks dan memiliki jarring
- Berbagai jenis fiber dan matrik yang diinginkan bisa digunakan
- Merupakan proses dengan tekanan dan temperatur rendah dibanding dengan proses *hot pressing*

2.3 Grafit

Grafit adalah mineral yang dapat berasal dari batuan beku, sedimen, dan metamorf. Secara kimia, grafit sama dengan intan karena keduanya berkomposisi karbon, yang membedakannya adalah sifat fisik (terdapat di Tabel 2.3). Intan dikenal sangat keras, langka, dan transparan, sedangkan grafit agak lunak, mudah ditemukan, dan opak.

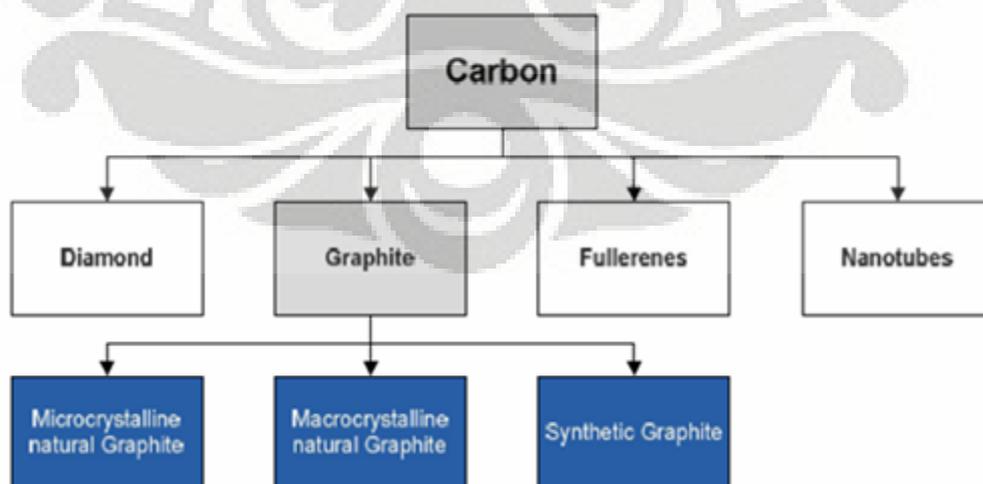
Tabel 2.3 di bawah merupakan sifat-sifat lain dari grafit

Sifat umum grafit	
Massa jenis (g/cm³)	1.3-1.95
Porositas (%)	0.7-53
Modulus elastisitas (GPa)	8-15
Kekuatan Tekan (MPa)	20-200
Kekuatan Tekuk (MPa)	6.9-100
Koefisien ekspansi panas (x10⁻⁶°C)	1.2-8.2
Konduktivitas panas (W/m.K)	25-470
Kalor laten (J/kg.K)	710-830
Ketahanan listrik (Ω.m)	5x10 ⁻⁶ -30x10 ⁻⁶

Grafit berstruktur lapisan yang terdiri atas cincin atom karbon beranggotakan 6 yang mirip cincin benzen yang terkondensasi tanpa atom hidrogen. Jarak karbon-karbon dalam lapisan adalah 142 pm dan ikatannya

memiliki karakter ikatan rangkap analog dengan senyawa aromatik. Karena jarak antar lapisan adalah 335 pm dan lapis-lapis tersebut diikat oleh ikatan yang relatif lemah yakni gaya van der Waals, lapisan-lapisan ini dengan mudah akan saling menggelincir bila dikenai gaya. Hal inilah yang merupakan asal mula sifat pelumasan grafit. Berbagai molekul, seperti logam alkali, halogen, halida logam, dan senyawa organik dapat menginterkalasi lapisan grafit dan membentuk senyawa interkalasi. Grafit memiliki sifat semi-logam, konduktivitasnya 3-10 Ωcm (paralel dengan lapisan dan hantarannya sekitar 100 kali lebih kecil dalam arah tegak lurus lapisan) [13]. Grafit memiliki sifat yang unik, dimana sifatnya merupakan gabungan sifat material logam dan nonlogam. Grafit bersifat fleksibel, tetapi tidak elastis, grafit juga memiliki konduktivitas termal dan listrik yang baik, serta dapat bersifat refraktori dan tidak mudah bereaksi secara kimia. Grafit memiliki kemampuan adsorpsi yang rendah terhadap x-ray dan neutron, sehingga dapat digunakan dalam aplikasi nuklir.

Pada penelitian ini menggunakan grafit sintetis, berupa elektroda. Gambar 2.10 menjelaskan tentang klasifikasi alotropi karbon. Pertimbangan penggunaan karbon atau grafit adalah karena tidak lumer, menghantarkan listrik, sifat tidak larut, kemurnian kimia, kekuatan mekanis dan tahan terhadap kejutan thermal. Secara kimia, karbon dan grafit adalah sama, tetapi secara fisis dan listrik banyak perbedaannya. Karbon adalah berongga sedangkan grafit tidak. Grafit diperoleh dengan cara memanaskan karbon pada temperatur tinggi.



Gambar 2.10 Klasifikasi alotropi karbon[21]

Grafit biasanya ditemukan dalam bentuk flakes pada batuan yang kaya akan unsur karbon, bersifat sangat anisotropik, umumnya digunakan sebagai pelumas pada industri, penguat pada baja, 'lead' pada pensil dan reinforce untuk komposit dengan kekuatan tinggi[14]. Tabel 2.4 menerangkan tentang komposisi grafit yang digunakan.

Tabel 2.4 Komposisi grafit yang digunakan(terlampir)

ANALYSIS PARAMETER	Sample Mark	Unit	Basis	Standard Acuan
	AG			
	No.Lab 3487/09			
Carbon	67,01	%	Adb	ASTM D 5373
Hydrogen	0,21	%	Adb	ASTM D 5374
Nitrogen	Tidak Terdeksi	%	Adb	ASTM D 5375
Total Sulfur	0,04	%	Adb	ASTM D 4239

Grafitisasi didefinisikan sebagai sebuah transformasi material turbostraticgraphitic (seperti karbon) menjadi grafit dengan struktur yang teratur. Hal ini terjadi selama proses perlakuan panas pada temperatur di atas 2500°C. Perubahan struktur ini disertai dengan peningkatan konduktivitas listrik dan termal dari material. Peningkatan terhadap densitas pada grafit akan terjadi jika grafit mendekati struktur kristal tunggal. Tingkat grafitisasi prekursor karbon sangat bervariasi, tergantung pada apakah batu bara atau arang yang terbentuk. Carbon yield adalah perbandingan berat residu karbon setelah karbonisasi dengan berat bahan sebelum karbonisasi. Tabel 2.5 di bawah menunjukkan carbon yield (%) pada masing-masing prekursor karbon.

Tabel 2.5 Carbon yield (%) pada masing-masing precursor[13]

	Prekursor	Rata-rata Carbon yield (%)	Keterangan
Aromatik Hidrokarbon	Coal-tar pitches	40-60	Batubara
	Petroleum fractions	50-60	Batubara
	Naphtalene, C ₁₀ H ₈		
	Anthracene, C ₁₄ H ₁₀		
Polimer	Polyvinylidene chloride, (CH ₂ CCl ₂) _n	25	Arang
	Polyfurfural alcohol, (C ₂ H ₅ O ₆) _n	50 - 56	Arang
	Phenolics (C ₅ H ₂ O) _n	52-62	Arang
	Polyacrylonitrile (PAN), (CH ₂ CHCN) _n	46 - 50	Arang

2.4.1 Grafitisasi Batubara

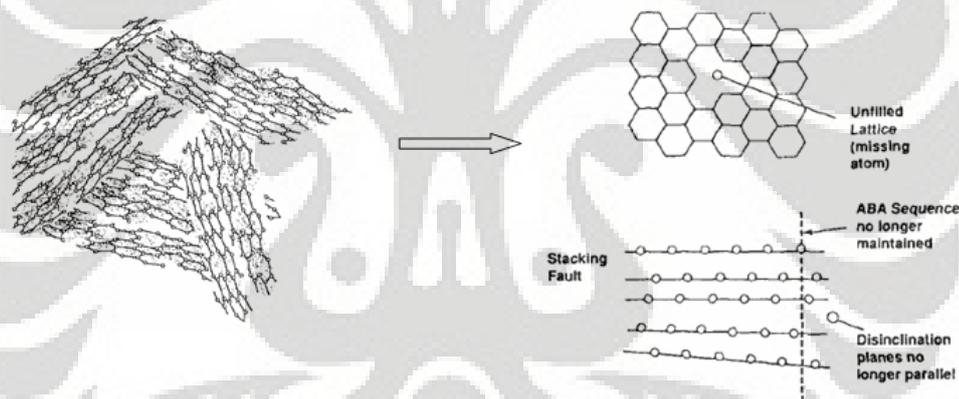
Batu bara terbentuk oleh karbonisasi dari aromatik hidrokarbon dan beberapa polimer seperti yang disebutkan di atas dan kemudian dikonversi menjadi struktur yang teratur seperti grafit. Pembentuk batu bara dari aromatik hidrokarbon yang terdapat pada Tabel 2.5, yaitu, naftalena, antrasena, dan acenaphtalene, adalah linear dengan struktur coplanar yang tidak memiliki arah pertumbuhan yang diinginkan. Struktural ini merupakan faktor utama dalam konversi struktur turbostratik ke struktur teratur grafit.

Coal-tar pitch adalah campuran dari hidrokarbon aromatik pembentuk batu bara. Grafit dan derajat grafitisasi adalah fungsi dari rasio aromatik untuk alifatik hidrogen, dikenal sebagai aromatisitas hidrogen (rasio atom aromatik-hidrogen terhadap jumlah atom hidrogen). Pada *coal tar pitch*, rasio ini bervariasi antara 0,3 dan 0,9. Semakin tinggi rasionya, batu bara tersebut akan semakin mudah untuk dibentuk menjadi grafit

Secara umum polimer termoset terdiri dari dua penyusun, yaitu resin dan *curing agent (hardener)*. *Hardener* adalah suatu senyawa reaktif *aliphatic amine* yang mempunyai sifat *curing time* yang cepat bila direaksikan pada temperatur ruang. Pencampuran resin epoksi dan *hardener* akan menghasilkan reaksi *curing* sehingga didapatkan *hardened polymer (cross-linked structure)*.

Grafitisasi terjadi dalam beberapa tahap, dimulai dengan meningkatnya temperatur melewati temperature karbonisasi, yaitu $\sim 1200^{\circ}\text{C}$. Hidrogen, sulfur, dan unsur lainnya, yang mungkin masih ada setelah karbonisasi, secara bertahap berkurang dan saat temperatur mencapai 2000°C , unsur-unsur tersebut hilang.

Temperatur di atas 1800°C , konversi dari struktur turbostratik ke struktur grafitik (ditunjukkan dalam Gambar 2.11). mulai terjadi secara perlahan, kemudian menjadi lebih cepat ketika temperature melewati 2200°C . Grafitisasi terhadap struktur tersebut dapat dianalisa oleh difraksi sinar X-ray.



Gambar 2.11 Perubahan dari struktur turbostatik menjadi struktur yang teratur[13]

Grafitisasi disertai dengan kehilangan berat, yang disebabkan penghapusan unsur kimia pada interlayer, yang sebagian besar berupa karbon interstisi. Kebanyakan bahan grafit (seperti batu bara) memerlukan temperatur sekitar 3000°C untuk mencapai grafitisasi penuh dengan jarak minimum pada interlayer. Pada temperatur 3000°C , grafitisasi penuh biasanya diperoleh dalam waktu 2 sampai 3 jam. Temperatur rendah membutuhkan waktu lebih lama.

Proses grafitisasi bisa dipercepat dengan adanya katalis logam atau gas oksidasi. Grafitisasi juga dapat ditingkatkan dengan menggunakan tekanan. Pada tekanan tinggi dan temperature tinggi, tingkat grafitisasi lebih besar dapat dicapai

dibanding pada tekanan atmosfer. Demikian juga, tekanan tinggi akan menghasilkan waktu perlakuan-panas yang singkat[13].

2.5.3 Coal tar pitch

Pitch digunakan sebagai prekursor untuk serat karbon dan biasanya berasal dari minyak bumi (residu penyulingan yang diperoleh dari penyulingan minyak mentah di bawah tekanan atmosfer atau produk turunan hasil pirolisis nafta) dan batubara. Pada umumnya *pitch* yang berasal dari batubara, lebih aromatik dibanding dengan *pitch* yang berasal dari minyak bumi[15]. Sifat-sifat *coal tar pitch* diunjukkan pada Tabel 2.6.

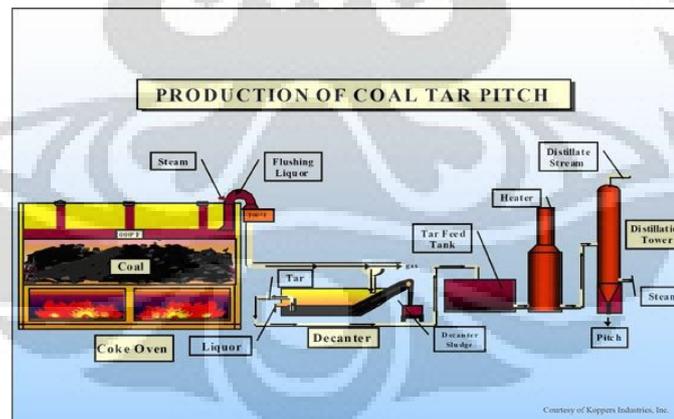
Tabel 2.6 Sifat-sifat dari beberapa jenis material polimer dan grafit[16]

Material	Density (g/cm ³)	Tensile strength (GPa)	Modulus of elasticity (Gpa)	Ductility (%)	Melting temp. (°C)	Specific modulus (10 ⁶ m)
E-glass	2,55	3,4	72,4	4,7	<1725	2,9
S-glass	2,5	4,5	86,9	5,2	<1725	3,56
Carbon (high-strength)	1,5	5,7	280	2,0	3700	18,8
Carbon (high-modulus)	1,5	1,9	530	0,36	3700	36,3
Graphite whiskers	1,66	21	703	3,0	3700	43
Kevlar	1,44	4,5	120	3,8	500	8,81

Tabel 2.7 Sifat coal tar pitch dan petroleum pitch[16]

	Coal tar pitch	Petroleum pitch
Softening point (°C)	116	120
Glass transition temperature (°C)	34	48
Mass % C	91,9	93,3
Mass % H	4,13	5,63
Mass % S	0,73	1,00
Mass % N	1,17	0,11
Mass % O	1,05	0,37
Percent aromatic H (NMR)	82	60
Percent benzene insoluble	32	7
M_n (benzene soluble)	460	560
Percent quinoline insoluble	12	0,2

Pitch termasuk jenis *thermoplast* yang meleleh saat dipanaskan. Lelehan *pitch* dapat diputar membentuk serat *pitch*. Serat *pitch* harus dikarbonisasi dengan pemanasan pada suhu $\geq 1000^{\circ}\text{C}$ untuk membentuk serat karbon dan bentuknya harus tetap dijaga selama karbonisasi, sehingga mereka harus terlebih dahulu menjalani *infusibilization* (stabilisasi). *Infusibilization* adalah proses pembentukan *pitch* dapat dicairkan. Proses ini melibatkan oksidasi udara pada temperatur 50-400 $^{\circ}\text{C}$. Setelah karbonisasi pada temperature $\geq 1000^{\circ}\text{C}$ dalam suasana inert, grafitisasi adalah dilakukan pada temperature $\geq 2500^{\circ}\text{C}$, untuk mendapatkan modulus tinggi, konduktivitas termal tinggi, atau tahanan listrik yang rendah. Semakin tinggi suhu grafitisasi, grafit yang dihasilkan semakin banyak berbentuk serat. Serat karbon tipe *high-strength* terbentuk setelah karbonisasi sedangkan tipe *high-modulus* karbon terbentuk setelah grafitisasi. Jika *pitch* isotropik digunakan sebagai prekursor, perlakuan panas grafitisasi harus terus dilakukan sambil serat diregangkan. Proses ini sangat mahal, biasa disebut sebagai *stretch-graphitization*, membantu menentukan orientasi dalam serat. Sementara jika yang digunakan sebagai prekursor adalah *pitch* anisotropik, peregangan tidak diperlukan, karena *pitch* anisotropik memiliki orientasi inheren molekul[10]. Proses produksi *coal tar pitch* ditunjukkan oleh Gambar 2.12.

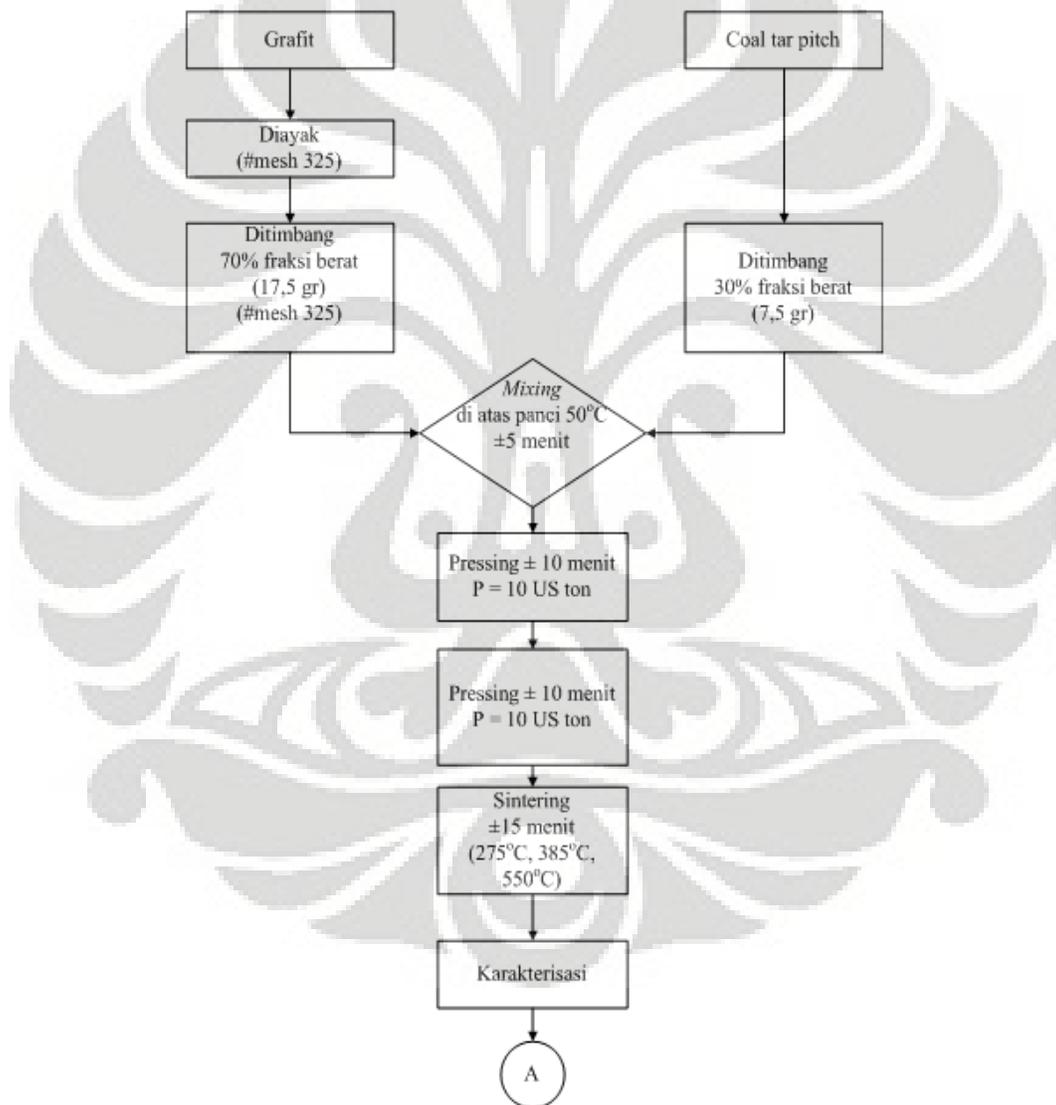


Gambar 2.12 Proses produksi coal tar pitch [17]

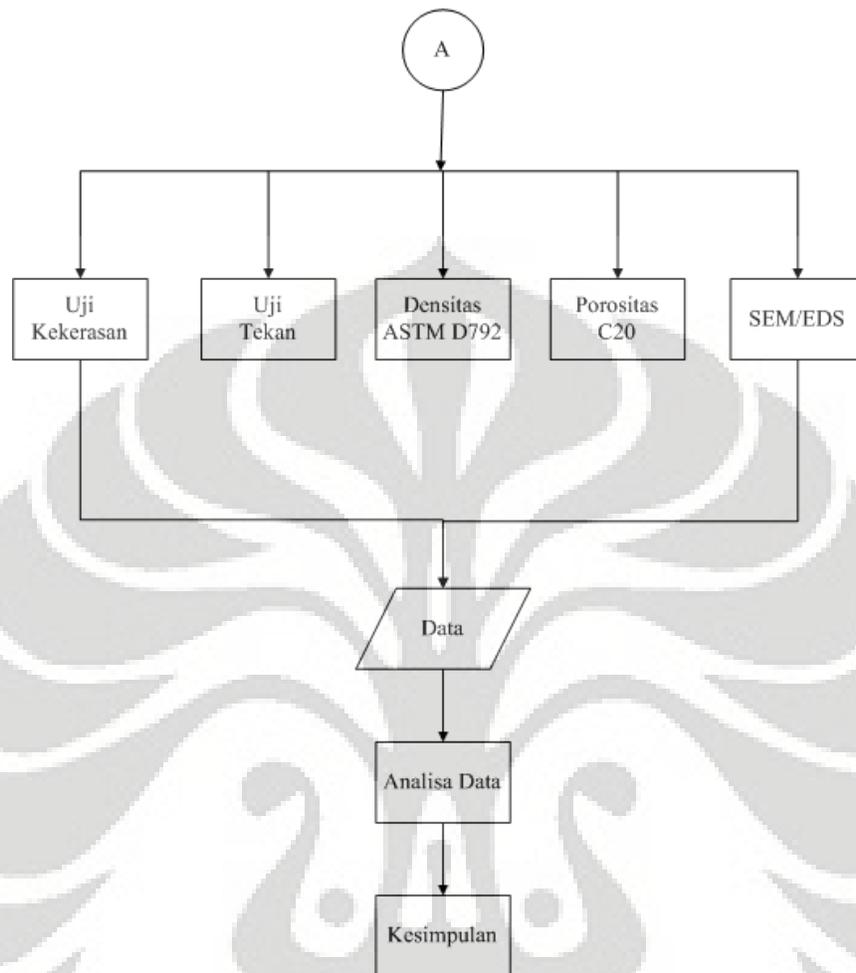
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Berikut ini adalah diagram alir penelitian secara umum yang akan dilakukan untuk mengetahui pengaruh temperatur sinter terhadap karakteristik grafit/coal tar pitch komposit dengan 70% V_f grafit dan 30% V_f coal tar pitch :



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Peralatan

Berikut ini adalah peralatan yang digunakan didalam penelitian untuk menghasilkan *grafit/coal tar pitch* komposit dan pengujian karakterisasi terhadap material komposit tersebut :

- Peralatan Preparasi Sampel
Adapun peralatan yang digunakan dalam proses *grafit/coal tar pitch* komposit, antara lain :

- *Beaker Glass*
- Timbangan Digital
- Kompor Listrik
- Panci kecil
- Alkohol 70%
- Pengaduk
- Cetakan silinder
- Mesin pengguncang
- *Hydraulic Pressure Machine*
- Peralatan Pengujian Karakterisasi
 - Oven
 - *Universal Testing Machine*
 - *Scanning Electron Microscope*
 - Alat Uji Porositas (ASTM C 20)
 - Alat Uji Densitas (ASTM D 792)
 - *Microvickers Testing Machine-Mituyo MVK-H1*

3.2.2 Bahan

Pada penelitian ini, digunakan grafit sebagai matriks, dan *coal tar pitch* sebagai penguat. Adapun jumlah dari massa bahan baku yang digunakan sesuai dengan jumlah variable temperature sinter dan jumlah spesimen yang dibutuhkan untuk pengujian. Komposisi sampel dapat dilihat pada Tabel 3.1, untuk setiap komposisi dibutuhkan 25 gram sampel.

Tabel 3.1 Komposisi dan pengkodean sampel

Bahan	Unit	Sampel F1	Sampel F2	Sampel F3	Sampel F4
Grafit	%wt	17,5	17,5	17,5	17,5
<i>Coal tar pitch</i>	%wt	7,5	7,5	7,5	7,5
Total	Gram	25	25	25	25

- Ket : F1 : merupakan sampel yang digunakan untuk uji tekan
F2 : merupakan sampel yang digunakan untuk uji keras
F3 : merupakan sampel yang digunakan untuk densitas dan porositas
F4 : merupakan sampel yang digunakan untuk *SEM/EDS*

Data di atas merupakan perhitungan dan jumlah sample yang digunakan hanya pada satu temperature sinter. Karena pada penelitian digunakan tiga variable temperatur sinter, maka total keseluruhan sample yang digunakan adalah 12 sampel.

3.2.2.1Grafrit Sintetis

Dalam penelitian ini menggunakan grafit aktif dengan merek dagang Merck yang memiliki ukuran partikel <44 mikron. Ukuran partikel grafit tersebut merupakan hasil dari proses pengayakan yang menggunakan saringan dengan mesh #325. Grafit sintetis ini sangat mudah tertiuap oleh udara, sehingga saat disimpan pada media penyimpanannya harus tertutup rapat. Selain itu, tujuan lain grafit disimpan pada media penyimpanan yang rapat agar tidak terjadi penggumpalan dari partikel-partikel grafit. Penggumpalan partikel tersebut harus dihindari agar ukuran partikel tidak mengalami perubahan.

3.2.2.2Coal Tar Pitch

Pada umumnya terdapat dua jenis *pitch*. Pertama yang berasal dari batubara, dan yang berasal dari minyak bumi. Pada penelitian ini *pitch* berasal dari hasil sampingan batubara. Pada umumnya *pitch* yang berasal dari batubara, lebih aromatic dibanding dengan *pitch* yang berasal dari minyak bumi.

Tabel 3.2 Kandungan unsur pada material *coal tar pitch* yang digunakan

ANALYSIS PARAMETER	Sample Mark	Unit	Basis	Standard Acuan
	No.Lab 3982/09			
	A pitch BB			
Ash	2,14	%	adb	ASTM D 3174
Carbon	84,99	%	adb	ASTM D 5373
Hydrogen	5,91	%	adb	ASTM D 5374
Nitrogen	1,32	%	adb	ASTM D 5375
Total Sulfur	0,61	%	adb	ASTM D 4239
Oxygen	5,03	%	adb	By diff

3.3 Prosedur Penelitian

3.3.1 Preparasi Sampel

3.3.1.1 Pengayakan

Proses ini bertujuan mendapatkan material grafit dengan ukuran partikel sebesar 44 μm . Alat yang digunakan pada proses ini adalah mesin pengguncang yang di atasnya tersusun beberapa sieve number. Pada proses ini, pengayakan hanya dilakukan pada material grafit, karena bentuk material coal tar pitch adalah semi solid, sehingga tidak memungkinkan untuk dilakukan proses pengayakan. Jumlah massa grafit yang didapatkan dari proses pengayakan adalah sekitar 1000 gram. Sebagian dari jumlah itu digunakan untuk *trial and error*.



Gambar 3.3 Mesin Pengguncang pada proses pengayakan

3.3.1.2 Penimbangan

Komponen-komponen penyusun material komposit yang akan digunakan di dalam penelitian ditimbang dengan menggunakan timbangan digital dengan kepresisian yang cukup baik. Setiap bahan yang digunakan ditimbang sesuai dengan komposisi yang telah ditentukan sebelumnya untuk menghasilkan suatu material karbon komposit. Perbandingan yang digunakan adalah 70% matriks grafit dan 30% penguat *coal tar pitch*, yang pada proses selanjutnya penguat *coal tar pitch* akan menjadi penguat karbon. Bahan baku grafit yang akan digunakan berupa serbuk yang ukuran partikelnya sebesar $44\ \mu\text{m}$ atau sekitar 0,0015 inci. Sedangkan material yang akan menjadi penguat, yaitu *coal tar pitch* memiliki bentuk *semi solid*.



Gambar 3.4 Timbangan Digital

3.3.1.3 Pencampuran

Proses selanjutnya yang dilakukan setelah dilakukan penimbangan adalah proses pencampuran (*mixing*) dari bahan-bahan yang telah ditimbang sebelumnya. Tahap ini merupakan tahap yang paling penting karena menentukan karakteristik akhir dari karbon komposit yang dihasilkan. Diharapkan dengan proses pencampuran yang baik, komponen-komponen penyusun material komposit dapat terdistribusi secara merata pada setiap bagian yang dihasilkan. Masing-masing komponen dicampur ke dalam panci dengan terus dipanaskan di atas kompor listrik. Proses pengadukan dilakukan secara manual dengan menggunakan tangan.

Coal tar pitch terlebih dahulu dimasukkan ke dalam panci dan kemudian dipanaskan agar *coal tar pitch* yang sebelumnya berbentuk *semi solid* dapat berubah mencair, sehingga dapat berinfiltrasi ke dalam matriks karbon. Proses pemanasan *coal tar pitch* dilakukan pada temperatur sekitar 50°C, dimana pada temperatur tersebut material *coal tar pitch* biasanya sudah mencair, sehingga bisa dicampur dengan material grafit.

Tahapan-tahapan dari proses pencampuran pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Siapkan bahan-bahan yang dibutuhkan untuk membuat pelat bipolar dan telah ditimbang sesuai dengan komposisi yang telah ditentukan sebelumnya
- Bersihkan panci dan pengaduk dari kotoran-kotoran yang ada dengan menggunakan alcohol 70 %
- Nyalakan kompor listrik dengan menekan tombol *switch power* dan letakkan panci yang telah dibersihkan sebelumnya di atas kompor listrik tersebut.
- Siapkan *coal tar pitch* 7,5 gram dan masukkan ke dalam panci. Tunggu hingga *coal tar pitch* mencair
- Masukkan serbuk grafit ke dalam *coal tar pitch* yang telah mencair secara perlahan dan diaduk dengan menggunakan pengaduk.
- Aduk campuran antara grafit dan *coal tar pitch* tersebut hingga merata seluruhnya (kurang lebih waktu pengadukan selama 5 menit)

- Masukkan campuran grafit dan *coal tar pitch* yang telah diaduk secara merata tersebut ke dalam *dies* silinder untuk selanjutnya dilakukan proses kompaksi



Gambar 3.5 Peralatan dalam pencampuran material komposit grafit-*coal tar pitch*

3.3.1.4 Pencetakan Sampel

Sampel karbon komposit yang akan dibuat pada penelitian ini dicetak dengan menggunakan cetakan yang terbuat dari *carbon tool steel* dengan ukuran diameter 4 x 4 cm. Adonan yang telah dicampur pada proses sebelumnya, dimasukkan ke dalam cetakan hingga $\frac{1}{4}$ dari tinggi cetakan terisi oleh campuran tersebut. Campuran tersebut harus terdistribusi secara merata pada permukaan bawah cetakan agar proses *pressing* dapat berjalan dengan baik. Jika ada campuran yang menempel pada dinding cetakan, maka *punch* cetakan akan sulit memberikan tekanan ke bawah. Cetakan akan ditekan dengan pembebanan hidrolis agar campuran yang dimasukkan ke dalam cetakan menjadi padat dan akan menyatu ketika dilakukan proses pemanasan. Tekanan yang diberikan adalah sebesar 10 US ton atau sekitar 9,1 metrices ton. Tekanan diberikan secara perlahan agar cetakan tidak “membal” ke atas, sehingga proses kompaksi tidak diulang dari awal.



Gambar 3.6 Cetakan material komposit graffiti-*coal tar pitch*



Gambar 3.7 Mesin kompaksi dalam pembuatan sampel material komposit grafit-*coal tar pitch*

3.3.1.5 Proses sintering

Proses sinter (pemanasan) dilakukan dengan menggunakan dapur vacuum yang dialiri oleh gas inert. Proses sinter yang dilakukan dalam penelitian ini menggunakan 3 variabel temperatur sinter, yaitu 275°C, 385°C, dan 550°C dengan waktu tahan sinter konstan selama 15 menit. Penentuan temperatur sinter bertujuan untuk mengetahui pada temperatur sinter berapa, material komposit grafit-*coal tar pitch* memiliki sifat yang bagus dan cocok untuk diaplikasikan sebagai bahan baku rompi anti peluru

Tahapan dari proses sinter yang dilakukan ialah sebagai berikut:

- a) Menyiapkan sampel sebanyak 7 buah untuk setiap temperatur sinter yang digunakan. (3 sampel berlebih diperuntukkan sebagai cadangan)

- b) Meletakkan sampel tersebut ke wadah keramik dan memasukkannya ke dalam dapur vacuum.
- c) Mengalirkan gas inert ke dapur dan mengkondisikannya selama kurang lebih 10 menit.
- d) Mengatur dapur vacuum untuk masing-masing temperatur sinter tunnel dapur, laju kenaikan temperatur sebesar 2-3°C/menit, dan waktu tahan sinter (*holding time*) konstan selama 15 menit.
- e) Menutup *input* dan *output* gas inert pada dapur saat temperature sinter telah tercapai. Di dalam dapur gas inert terperangkap.
- f) Mengeluarkan sampel dari dalam dapur setelah temperatur di dalam dapur mencapai temperatur kamar.
- g) Melakukan tahapan yang sama untuk temperatur sinter 385°C, dan 550°C
- h) Sampel yang telah mengalami proses sinter (*burn compact*) siap untuk dilakukan pengujian.



Gambar 3.8 Dapur untuk proses sinter

3.3.2 Pengujian Karakteristik Material

3.3.2.1 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui hubungan antara temperatur sinter dengan nilai kekerasan material komposit grafit-coal tar pitch komposit, serta perbandingan dari beberapa perlakuan sampel terhadap nilai kekerasan yang dihasilkan. Pengujian ini menggunakan metode *Microhardness*

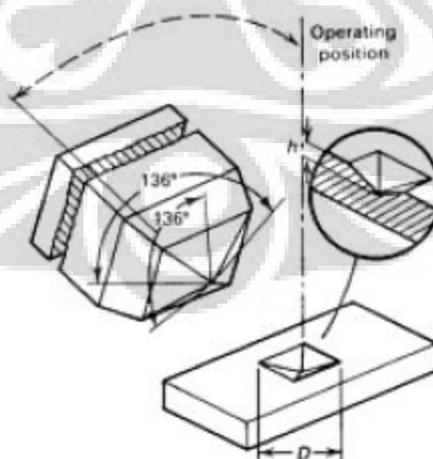
Vickers Testing dengan diameter indenter bola baja sebesar 1,6 mm. Standar pengujian yang digunakan adalah ASTM E 384

Adapun tahapan dari pengujian kekerasan *Microhardness Vickers Testing* ialah sebagai berikut:

- Mengamplas permukaan sampel yang akan dijejak hingga rata dan halus.
- Memasang indenter intan piramid 136° dan mengatur beban sebesar 10g.
- Melakukan indentasi (penjejakan) pada tiap sampel sebanyak 3 titik dengan waktu tahan indentasi selama 10 detik.
- Mengukur diameter jejak secara vertikal dan horizontal dengan menggunakan *measuring microscope* pada layar *microvickers machine*.
- Mencatat hasil pengukuran jejak kemudian menghitung nilai kekerasan sampel dengan rumus:

$$\frac{2000P \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{d^2} = \frac{1854,4P}{d^2} \quad \dots\dots\dots \text{persamaan 3.1}$$

Ket : d : diagonal rata-rata (μm)
 P : beban yang diberikan (gf), and
 α : sudut antar muka (136°)



Gambar 3.9 Skema Indentasi Mikro dengan metode *microvickers*



Gambar3.10 Mesin *Microvicker* pada uji keras

3.3.2.2 Pengujian Kekuatan Tekan

Pengujian kuat tekan dilakukan untuk mengetahui hubungan antara temperatur sinter terhadap kemampuan material komposit aluminium grafit untuk dapat menahan beban tekan sebelum mengalami pecah. Pengujian kuat tekan dilakukan dengan menggunakan mesin uji *Tarno Grocki*. Penekanan sampel dilakukan dan dihentikan ketika telah terjadi retak pada sampel. Beban yang diberikan pada sampel mencapai 20kN. Adapun tahapan dari pengujian kuat tekan ialah sebagai berikut:

- a) Mempersiapkan sampel yang akan dilakukan pengujian.
- b) Menyalakan mesin uji *Tarno Grocki*.
- c) Memasang sampel pada mesin uji *Tarno Grocki*.
- d) Mengatur skala pembebanan pada mesin uji *Tarno Grocki*.
- e) Melakukan pembebanan dengan kecepatan konstan.
- f) Menghentikan pengujian ketika sampel telah pecah.
- g) Membaca dan mencatat besarnya beban pada jarum penunjuk pada mesin uji *Tarno Grocki*.

h) Menghitung kekuatan tekan dengan menggunakan rumus

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad \dots\dots\dots \text{persamaan 3.2}$$

dimana:

σ = tegangan tekanan/*compressive stress* (N/mm²)

F = beban pada saat sampel pecah atau terdeformasi 25% dari tinggi awal (Newton)

A = luas permukaan sampel (mm²)



Gambar 3.11 Mesin Uji Kuat Tekan

3.3.2.3 Pengujian Densitas

Pengujian ini mengacu pada ASTM D 792 dengan prinsip pengujian yaitu membandingkan massa spesimen di udara dengan massa spesimen di dalam air, karena massa spesimen di dalam air akan berbeda jauh dengan massa spesimen di udara akibat adanya gaya archimedes. Langkah-langkah pengujian densitas berdasarkan ASTM D 792 adalah sebagai berikut :

1. Timbang spesimen di udara
2. Timbang spesimen di dalam air (diusahakan tepat berada di tengah dari volum air dan tidak menyentuh bejana).
3. Catat suhu air dengan menggunakan termometer

Nilai densitas didapat dengan menggunakan rumus berikut :

$$\text{Densitas} = \frac{A}{A-B} \times \rho_{\text{air}} \quad \dots\dots\dots \text{persamaan 3.3}$$

Keterangan :

ρ_{sampel} = Densitas spesimen (gr/cm^3)

A = Massa spesimen di udara (gr)

B = Massa spesimen di dalam air (gr) ρ_{air} = Massa jenis air (gr/cm^3)

3.3.2.4 Pengujian Porositas

Pengujian ini mengacu pada prosedur ASTM C20 dengan langkah pengujian sebagai berikut :

1. Keringkan spesimen di dalam oven dengan temperatur 1000C selama 1 jam untuk menghilangkan uap air yang ada di dalam spesimen
2. Timbang spesimen di udara
3. Rebus spesimen menggantung di dalam air dengan temperatur 1000C selama 2 jam
4. Setelah selesai, diamkan di dalam wadah yang sama selama 12 jam
5. Timbang spesimen di dalam air
6. Keringkan dengan menggunakan kain, kemudian timbang di udara.

Nilai porositas spesimen akan di dapatkan dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\text{Porositas (\%)} = \frac{S_w - D}{D - S} \times 100\% \quad \dots\dots\dots \text{persamaan 3.4}$$

Keterangan : D = Massa spesimen di udara setelah di oven (gr)

S = Massa di dalam air setelah direbus dan didiamkan selama
12 jam (gr)

S_w = Massa spesimen di udara (setelah dikeringkan) (gr)

3.3.2.5 Pengamatan SEM (*Scanning Electron Microscope*) dan EDS (*Energy Dispersive X-ray Spectroscopy*)

Pengamatan morfologi pada permukaan sampel dilakukan dengan menggunakan SEM. Pancaran berkas elektron yang ditembakkan pada sampel akan berinteraksi dengan atom-atom atau elektron dari sampel dan menghasilkan objek gambar. SEM menggunakan sinar-X yang memiliki panjang gelombang 4×10^{-3} nm, atau sekitar 100.000 kali lebih pendek dari panjang gelombang cahaya tampak. Itu sebabnya SEM dapat digunakan untuk menganalisa objek-objek yang sangat kecil yang tidak dapat dipisahkan oleh mikroskop biasa. Detektor yang digunakan pada SEM adalah *secondary electron*. Tujuan pengamatan adalah untuk mengetahui dispersi bahan pengisi pada matriks dan daya pembasahan matriks terhadap serat karbon dengan perbesaran 2000 x. Bagian sampel yang diamati adalah pada permukaan sampel dan perpatahan uji tekuk.

Berbeda halnya dengan EDS, EDS merupakan suatu metode yang digunakan untuk menentukan radiasi spektrum energi sinar- X yang umumnya digunakan dalam analisis kimia. Analisis menggunakan EDS dilakukan berdasarkan identifikasi dan pencacahan sinar-x karakteristik yang terjadi dari peristiwa efek fotolistrik karena elektron dalam atom target (sampel) terkena sinar berenergi tinggi (radiasi gamma, sinar-x). Analisis EDS dapat digunakan untuk analisis kualitatif dan kuantitatif. Analisis kualitatif memberikan informasi jenis unsur yang terkandung dalam bahan, sedangkan analisis kuantitatif memberikan informasi jumlah unsur yang terdapat dalam bahan tersebut. Didalam pengujian EDS, dibutuhkan nitrogen cair sebagai pendingin sampel yang diamati ketika ditembakkan sinar X.

Prosedur pengujian SEM dan EDS adalah :

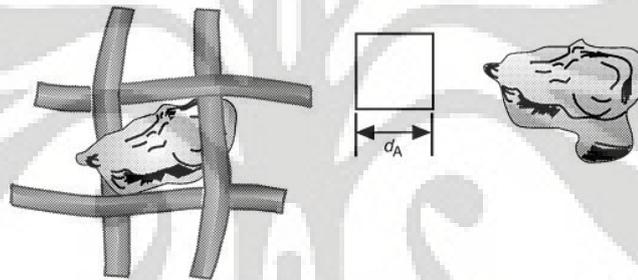
- Potong sampel dengan ukuran tertentu (sesuai dengan *chamber* pada SEM) dan bersihkan sampel
- Proses pembersihan sampel dilakukan dengan pemberian *ultrasonic* pada sampel didalam larutan alkohol selama 5 menit
- Keringkan seluruh permukaan sampel dengan menggunakan mesin pengering
- Sampel diletakkan ke dalam *chamber* yang kemudian akan divakum.
- Setelah divakum, elektron ditembakkan pada sampel.
- Selanjutnya dilakukan pengambilan gambar terhadap bagian-bagian yang diinginkan dengan perbesaran yang diinginkan
- Untuk pengamatan EDS, nitrogen cair dialirkan kedalam sampel
- Unsur yang terkandung pada sampel akan ditampilkan dalam bentuk grafit dengan persentasi jumlah masing-masing dari unsur tersebut

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Preparasi Sampel

4.1.1 Pengayakan

Metode pengayakan digunakan untuk mendapatkan distribusi serbuk tertentu atau untuk memperoleh ukuran rentang dari besar serbuk (ditunjukkan Gambar 4.1). Pengayakan adalah sebuah prosedur yang sangat berguna karena partikel terbagi dalam beberapa kategori yang didasarkan pada ukuran, dan sifat independent lainnya (densitas, dan permukaan). Hal ini dapat digunakan untuk membedakan serbuk kering atau basah dan menghasilkan fraksi yang terklasifikasi secara rapat. Untuk mempercepat analisa, beberapa saringan ditumpuk di atassatu sama lain, dengan saringan berisi bukaan kasar di atas[6]



Gambar 4.1 Serbuk saat melewati saringan[11]

Pada penelitian ini, besar serbuk yang dihasilkan dari proses pengayakan adalah 44 μm . Ukuran partikel akan mempengaruhi kepadatan dari suatu material. Makin kecil ukuran partikel, maka kontak permukaan antar partikel semakin besar dan menyebabkan kerapatannya semakin besar pula. Dengan ukuran partikel yang kecil diharapkan mampu mengisi pori-pori yang terbentuk. Masa jenis grafit yang cenderung relatif ringan yaitu sebesar 1,7 gram/cm^3 membuat grafit mudah tertiuap pada kondisi udara terbuka. Untuk itu, pada proses penyimpanan material grafit serbuk, media yang digunakan harus benar-benar rapat dan terisolasi dari udara terbuka.

4.1.2 Pencampuran

Hasil pencampuran antara serbuk grafit dan *coal tar pitch* yang diperoleh yaitu berupa material serbuk juga. Selain berfungsi sebagai penguat, *coal tar pitch* cair hasil pemanasan berfungsi juga sebagai pengikat antar partikel grafit. Pada proses pencampuran, material *coal tar pitch* yang telah cair saat dipanaskan harus segera dicampur dengan serbuk grafit secara perlahan. Apabila *coal tar pitch* cair tersebut dibiarkan terlalu lama saat dipanaskan, maka akan banyak *coal tar pitch* yang menguap. Tentunya hal ini akan mengurangi komposisi dari %berat grafit yang akan dicampur.

Pada saat pencampuran, hal lain yang perlu diperhatikan adalah proses pengadukan. Saat serbuk grafit dicampur perlahan dengan *coal tar pitch* cair, proses pengadukan harus terus dilakukan. Proses pengadukan yang terus-menerus tersebut berfungsi untuk menjaga agar pencampuran benar-benar terjadi secara merata. Selain itu, proses pengadukan ini juga berfungsi agar tidak terdapat material serbuk grafit yang menggumpal saat dicampur dengan *coal tar pitch*. Penggumpalan ini harus dihindari karena nantinya akan menyebabkan pori pada material komposit grafit-*coal tar pitch*.

4.1.3 Pencetakan Sampel

Proses ini diawali dengan memasukkan serbuk yang telah ditimbang dan dicampur ke dalam cetakan (*dies*). Proses kompaksi ini bertujuan untuk pembentukan bakalan sampel (*green compact*). Cetakan yang digunakan terbuat dari logam dan memiliki bentuk silinder. Sebelum serbuk dimasukkan, cetakan terlebih dahulu dibersihkan agar terbebas dari unsur pengotor lain, mengurangi gesekan antara serbuk dengan dinding cetakan, dan memudahkan pengeluaran bakalan.

Untuk menghilangkan unsur pengotor digunakan larutan alkohol yang disemprotkan secara merata ke bagian dalam cetakan. Kemudian setelah disemprotkan, bagian dalam dari cetakan digosok dengan menggunakan kain bersih, sehingga dinding cetakan menjadi bersih. Setelah bersih, campuran sampel yang telah ada dapat dimasukkan ke dalam cetakan. Pada proses penuangan, ada beberapa hal yang perlu diperhatikan, di antaranya: penuangan serbuk ke dalam

cetakan harus dilakukan secara perlahan agar tidak ada serbuk yang terbang, sehingga keakuratan massa pada sampel menjadi berkurang. Selain itu, pada proses penuangan harus dihindari terjadinya segregasi partikel serbuk karena kecepatan penuangan yang tidak konstan[2]. Bila seluruh serbuk telah mengisi rongga cetakan, maka proses kompaksi dapat dilakukan. Besarnya tekanan yang diberikan pada masing-masing sampel adalah 10 US ton. Pemberian tekanan dilakukan secara perlahan dan merata ke segala arah agar didapatkan hasil yang maksimal.

Hasil bakalan (*green compact*) salah satunya ditentukan oleh proses kompaksi. Hal ini karena tekanan (*pressure*) pada material serbuk menyebabkan deformasi dan peningkatan densitas. Selain itu, proses kompaksi juga akan menyebabkan terjadinya kontak permukaan antara partikel satu dengan yang lainnya sehingga terjadi homogenisasi yang ditandai dengan tidak adanya lapisan batas pada dinding sampel. Penekanan yang diberikan dilakukan secara bertahap dari yang rendah hingga optimum (10 US ton) sehingga memberikan kesempatan kepada partikel-partikel serbuk untuk membentuk susunan yang terpadat dan menghasilkan berat jenis yang homogen[5]. Selain itu, kehomogenan densitas hasil kompaksi juga dipengaruhi oleh perbandingan antara tinggi sampel terhadap diameter sampel (L/D), dimana semakin kecil nilai L/D maka kehomogenan densitas bakalan hasil kompaksi akan semakin mudah tercapai karena distribusi partikel-partikel serbuk semakin merata atau homogen[18].

Pada saat proses kompaksi, terjadi penataulangan serbuk, deformasi elastis dan plastis, penghancuran, dan pemadatan serbuk yang diikuti dengan meningkatnya berat jenis dan menurunnya porositas karena rongga akan berkurang. Hal ini disebabkan oleh partikel serbuk yang hancur dan mempunyai ukuran serbuk yang kecil atau halus akan mengisi rongga antar partikel, sehingga mengakibatkan terjadinya proses pemadatan partikel (*densification*). Saat kompaksi, terjadi *mechanical interlocking* (antar butir saling mengunci) sehingga serbuk memiliki kekuatan bakalan (*green strength*).. Selain itu, ketika serbuk mengalami penekanan, serbuk mengalami distribusi berat jenis yang tidak merata.

Di bagian bawah (dekat cetakan) berat jenis serbuk kasar, karena pada *single compaction* aliran serbuk dari atas ke bawah mengikuti aliran penekanan.

4.1.4 Proses Sintering

Proses sinter dilakukan pada keseluruhan sampel material komposit grafit-*coal tar pitch*. Terdapat tiga variable temperatur sinter yang diberikan, yaitu: 275°C, 385°C, dan 550°C, dengan waktu tahan sinter konstan, yakni selama 15 menit. Gas inert di dalam dapur dibiarkan terperangkap saat proses pendinginan dilakukan. Gas inert tersebut berfungsi untuk melindungi atau mengontrol material komposit pada saat proses sinter[5]. Setelah dilakukan proses sinter, terlihat adanya beberapa sampel yang memiliki porositas yang besar dan ada beberapa sampel yang mengalami retak awal. Penggumpalan lapisan pada material komposit grafit-*coal tar pitch* juga ditemukan pada beberapa sampel yang mungkin disebabkan karena proses pencampuran yang kurang merata antara grafit dan *coal tar pitch*

Proses sinter menyediakan energi *thermal* untuk pembentukan awal ikatan antarpartikel dan memperbaiki sifat dari material[5]. Proses sinter merupakan proses dimana partikel-partikel berikatan pada temperatur dibawah temperature lebur melalui peristiwa transport atom. Jumlah pori akan berkurang disebabkan terjadinya difusi atom. Selain itu, terjadi pula peristiwa *shrinkage* dan *densification*, dimana apabila temperatur sinter dinaikkan, maka % *shrinkage* dan *densification* juga semakin meningkat. Kenaikan temperatur sinter akan mempengaruhi sifat dari material, dimana semakin meningkatnya temperature sinter, maka kecenderungan umum dari sifat material juga semakin meningkat[5].

4.1.5 Hasil Pembuatan Sampel

Sampel yang diperoleh dari proses sinter ditunjukkan oleh Gambar 4.2. Besarnya diameter pada sampele yaitu sekitar 4 cm. Dari pengamatan visual terlihat bahwa pada material komposit grafit-*coal tar pitch* hasil sinter terdapat pori di permukaannya. Sampel yang mengalami perlakuan sinter tersebut nantinya akan diuji karakterisitiknya untuk mengetahui dan membandingkan pengaruh temperatur sinter terhadap sifat material komposit grafit-*coal tar pitch*.



Gambar 4.2 Material komposit grafit-coal tar pitch hasil sinter

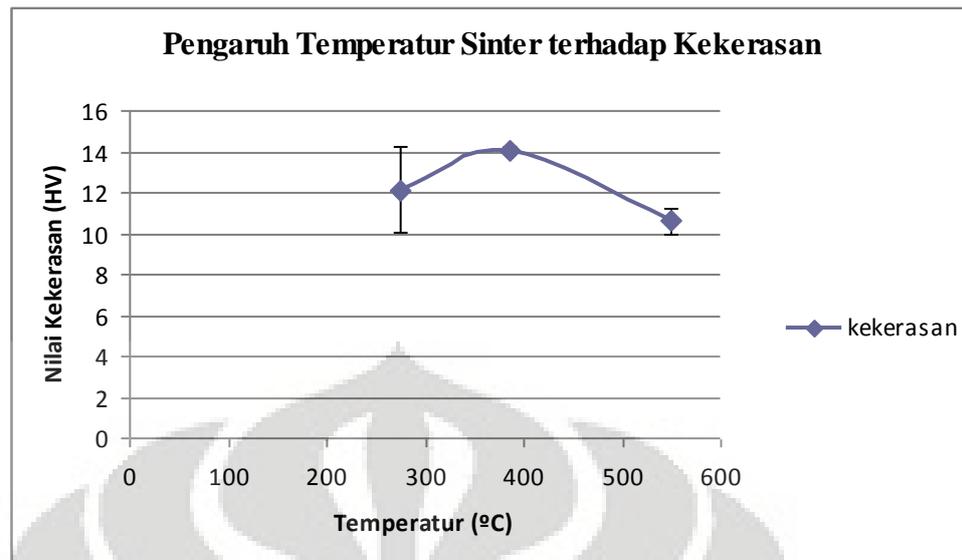
4.2 Pengujian Karakterisasi

4.2.1 Hasil Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan untuk semua sampel telah mengalami perlakuan sinter. Untuk setiap variabel temperatur sinter dilakukan pengujian kekerasan dengan satu buah sampel, dimana masing-masing sampel dilakukan tiga kali penjejakkan pada salah satu bagian permukaannya. Sebelumnya dilakukan penjejakkan, sampel terlebih dahulu dilakukan preparasi dengan cara diampelas untuk meratakan permukaan sampel. Nilai kekerasan untuk beberapa perlakuan sampel dapat dilihat pada tabel 4.1. Gambar 4.3 yang menyatakan hubungan antara temperatur sinter terhadap nilai kekerasan dapat dilihat pada gambar 4.3.

Tabel 4.1 Data Kekerasan material komposit grafit-coal tar pitch

Temp.Sinter (°C)	Kekerasan (HV)
275	13,9
	12,68
	9,8
Rata-rata	12,12
385	13,98
	14,24
	14,02
Rata-rata	14,08
550	10,95
	11,01
	9,88
Rata-rata	10,61



Gambar 4.3 Pengaruh temperatur sinter terhadap nilai kekerasan

Kekerasan merupakan ketahanan material terhadap deformasi plastis akibat pembebanan[19] pada umumnya kekerasan merupakan fungsi dari kekuatan ikatan partikel bahan[20]. Dari hasil uji kekerasan memperlihatkan kekerasan semakin meningkat seiring dengan semakin tingginya kompaksi.

Kekerasan material dipengaruhi oleh kompresibilitas dan faktor lain seperti densitas serta porositas. Pada kompresibilitas yang tinggi terdapat kekerasan yang tinggi pula, hal ini dikarenakan pada partikel serbuk yang kompresibilitasnya tinggi luas bidang kontak permukaan serbuknya besar sehingga serbuknya halus dan ikatan partikelnya rapat/padat[5] dan peningkatan kekerasan disertai dengan kenaikan densitas serta porositas menjadi semakin berkurang akibat dari pengurangan volume partikel serbuk yang diikuti oleh pepadatan akibat kompaksi sehingga dengan dengan kecilnya porositas maka kekerasan menjadi naik. Pada temperatur sintering maksimum (550°C) kekerasan cenderung mengalami penurunan. Kekerasan tertinggi dicapai pada temperature 385°C .

Hal ini disebabkan karena semakin tinggi temperatur sinter, maka akan mendorong terjadinya transport atom yang menghasilkan aliran massa melalui proses difusi dengan permukaan, batas butir, atau kisi. Temperatur sinter yang tinggi merupakan *driving force* yang tinggi pula yang dapat meningkatkan

pergerakan batas butir dan difusi atom. Hal ini tentunya akan berpengaruh pada pori, karena pada tahapan proses sinter akan terjadi peristiwa pemadatan (*densification*) dimana jumlah pori akan berkurang. Itulah sebabnya nilai kekerasan akan meningkat seiring dengan meningkatnya temperatur sinter. Sedangkan kekerasan menurun pada temperature 550°C yang disebabkan oleh peristiwa *swelling*.

Swelling adalah peristiwa penyerapan uap air oleh matrik yang disebabkan oleh adanya perbedaan nilai koefisien ekspansi panas antara penguat dan matrik. Peristiwa ini menyebabkan perubahan dari nilai *glass transition temperature* (T_g) pada matrik, sehingga sifat dari material pun akan berubah. Penyerapan uap air ini dikarenakan pada matrik terjadi peristiwa peregangan kembali[11].

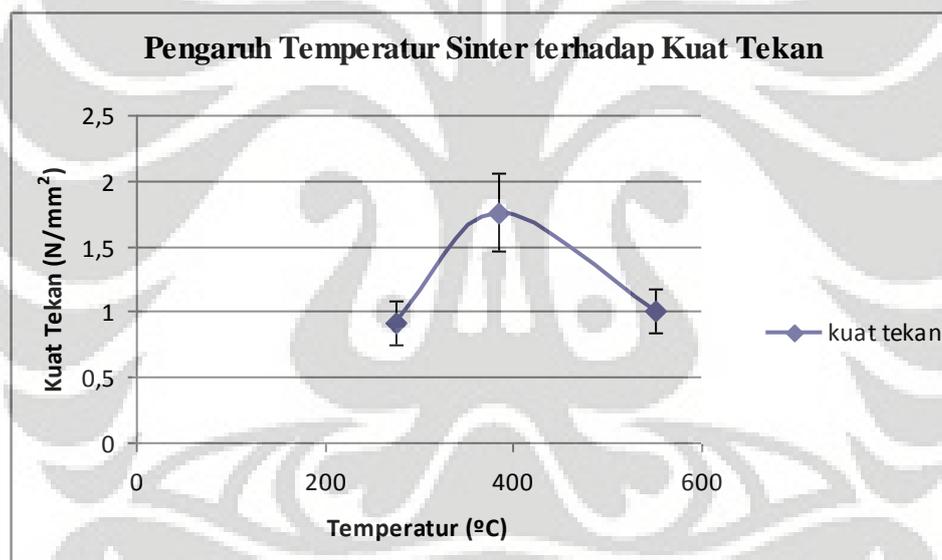
4.2.2 Hasil Pengujian Kuat Tekan

Pengujian ini dilakukan untuk melihat besarnya beban uniaxial yang dapat diterima oleh material komposit grafit-coal tar pitch setelah mengalami perlakuan sinter. Dari data yang ada, terlihat adanya kenaikan kekuatan tekan dari material komposit grafit-coal tar pitch dengan temperatur sinter 275°C ke material grafit-coal tar pitch dengan temperatur sinter 385°C. Hasil tersebut sesuai dengan teori yang menyatakan bahwa peningkatan temperatur sinter akan meningkatkan sifat mekanik, salah satunya adalah kekuatan dari material[11]. Pada tabel 4.2, material dengan temperatur sinter memiliki nilai kuat tekan sebesar 0,91 N/mm², sedangkan material dengan temperatur sinter 385°C nilai kuat tekannya sebesar 1,76 N/mm².

Pada material dengan temperatur sinter 550°C, nilai kuat tekannya mengalami penurunan. Hal ini juga ditemui pada nilai kekerasan dari material dengan perlakuan yang sama. Adanya penurunan nilai kekuatan ini disebabkan oleh peristiwa *swelling*. Peristiwa *swelling* ini terjadi umumnya pada material anisotropik, seperti grafit dan karbon. *Swelling* juga menyebabkan tidak terbentuknya lapisan-lapisan pada komposit dan juga akan meningkatkan nilai tegangan internal komposit. Perubahan tersebutlah yang menyebabkan penurunan dari sifat-sifat dari material grafit-coal tar pitch komposit[11]

Tabel 4.2 Data Kekuatan Tekan material komposit grafit-coal tar pitch

Temp.Sinter (°C)	Kuat Tekan (N/mm ²)
275	1,03
	0,72
	1
Rata-rata	0,91
385	1,55
	1,63
	2,1
Rata-rata	1,76
550	0,95
	0,87
	1,2
Rata-rata	1,01

**Gambar 4.4** Pengaruh temperatur sinter terhadap nilai kekuatan tekan

4.2.3 Hasil Pengujian Densitas

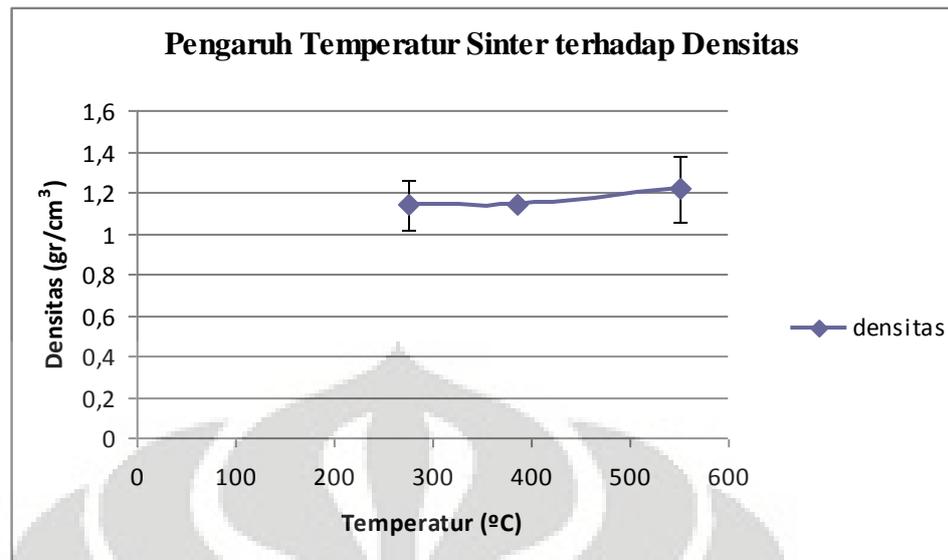
Gambar hubungan antara temperatur sinter terhadap nilai densitas, nilai densitas tertinggi sebesar 1,22 gram/cm³ diperoleh dari perlakuan sample dengan temperature sinter 550°C, sedangkan nilai densitas terendah, yakni 1,13 gram/cm³ diperoleh dari perlakuan sampel dengan temperatur sinter 275°C. Semakin tinggi nilai densitas dari suatu material, maka semakin dekat jarak antaratom pada material tersebut. Nilai densitas tersebut dipengaruhi oleh temperatur sinter dan

besaran kompaksi yang diberikan. Proses kompaksi membuat partikel-partikel menjadi semakin rapat sehingga akan mengisi pori-pori yang ada.

Jika nilai densitas yang diperoleh dari penelitian ini dibandingkan dengan nilai densitas dari material *aramid* yang umum digunakan sebagai bahan baku rompi tahan peluru, maka material komposit grafit-*coal tar pitch* ini tidak cocok sebagai alternatif bahan karena nilai densitasnya rendah dan beberapa nilai kekuatan mekaniknya di bawah material *aramid*. Secara keseluruhan, perubahan nilai densitas pada seluruh sampel tidak menunjukkan perubahan nilai yang signifikan. Densitas pada masing-masing sampel berubah dengan kenaikan dan penurunan yang sangat kecil. Hal ini dikarenakan *coal tar pitch* tidak bisa secara maksimal mengikat partikel-partikel grafit, sehingga kerapatannya pun minimal.

Tabel 4.3 Data Nilai densitas material komposit grafit-*coal tar pitch*

Temp.Sinter (°C)	Densitas (g/cm ³)
275	1,28
	1,08
	1,05
Rata-rata	1,13
385	1,13
	1,15
	1,14
Rata-rata	1,14
550	1,14
	1,11
	1,4
Rata-rata	1,22



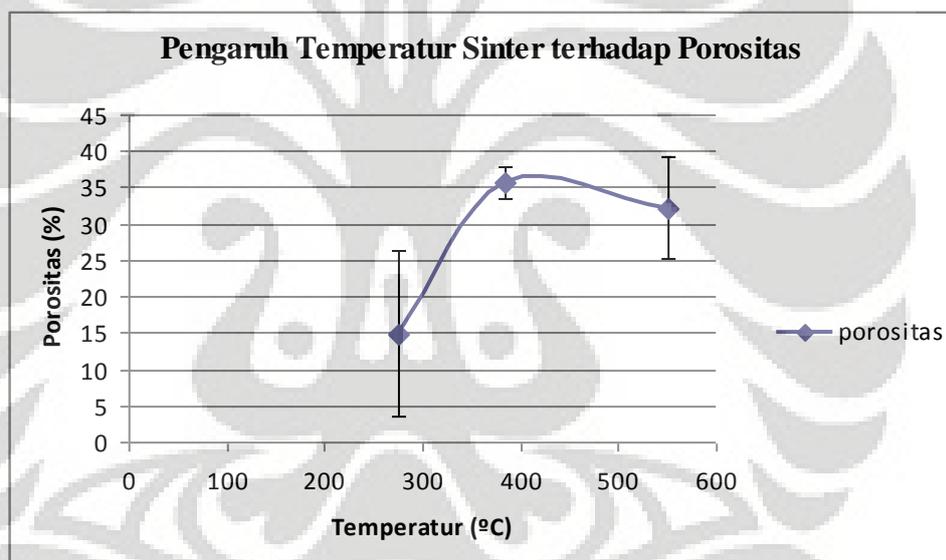
Gambar 4.5 Pengaruh temperatur terhadap nilai densitas

4.2.4 Hasil Pengujian Porositas

Pola data porositas yang diperoleh memiliki kesamaan dengan nilai densitas yaitu terjadi kenaikan nilai porositas. Porositas sangat tidak diinginkan berada pada material karena porositas akan menyebabkan menurunnya kekuatan dari suatu material. Pada penelitian ini, tingkat porositas yang didapatkan cenderung tinggi. Hal inilah yang menyebabkan nilai kekerasan dan kekuatan tekan dari material komposit grafit-coal tar pitch cenderung kecil. Makin tinggi tingkat porositas pada suatu material, maka makin rendah sifat mekaniknya. Porositas(%) tertinggi terdapat pada sampel dengan temperatur perlakuan sinter 385°C. Sedangkan pada temperatur sinter 275°C, nilai porositas yang ada lebih rendah. Pada hasil SEM, juga terlihat bahwa nilai *void* terbesar terdapat pada material komposit grafit-coal tar pitch. Temperatur sinter yang tinggi merupakan *driving force* yang tinggi pula yang dapat meningkatkan pergerakan batas butir dan difusi atom sehingga akan terjadi peristiwa pemadatan yang akan mengurangi jumlah pori dalam *burn compact*.

Tabel 4.4 Data porositas (%) material komposit grafit-coal tar pitch

Temp.Sinter (°C)	Porositas (%)
275	11,7
	27,61
	5,50
Rata-rata	14,92
385	36,90
	37,13
	33,12
Rata-rata	35,71
550	27,40
	28,90
	40,16
Rata-rata	32,21

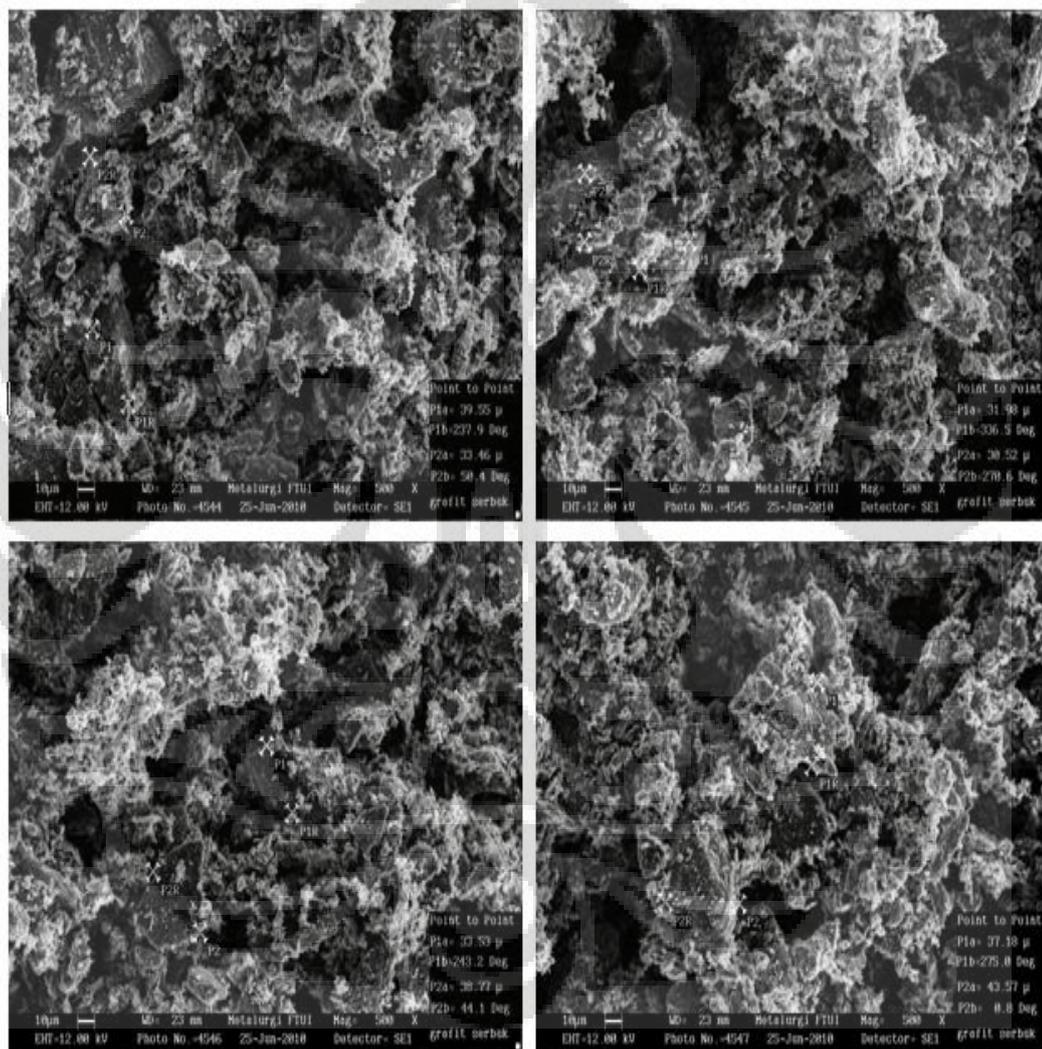
**Gambar 4.6** Pengaruh temperatur terhadap nilai porositas

4.2.5 Hasil Pengamatan SEM/EDS

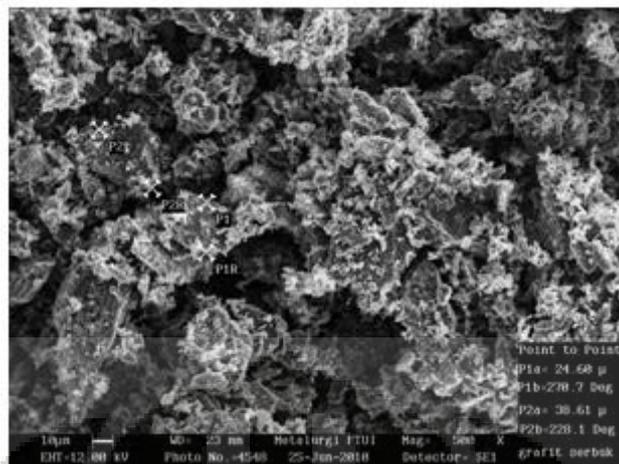
4.2.5.1 Hasil Pengamatan SEM pada sampel hasil ayakan

Distribusi dari besar ukuran partikel serbuk grafit yang telah diayak ditunjukkan pada gambar 4.3, dimana besar ukuran partikel yang diperoleh berada pada rentang 30-43 μm . Karakteristik serbuk merupakan salah satu karakter yang paling penting karena menentukan volume aktual yang diisi sejumlah massa serbuk sehingga ukuran kompaksi dan besarnya tekanan dapat diperhitungkan.

Pada hasil ayakan, ukuran partikel serbuk yang didapatkan cenderung relatif lebih kecil dari besarnya ukuran dari nomor sieve yang dijadikan ayakan. Hal ini menunjukkan terdapat berbagai variasi ukuran pada partikel tersebut. Ukuran partikel serbuk ini akan mempengaruhi proses pencampuran dan pengadukan. Aliran partikel terjadi ketika melewati partikel lainnya dalam satu campuran. Gaya gesek antar partikel serbuk yang tinggi akan membuat pencampuran dan pengadukan lebih sulit



Gambar 4.7 a Distribusi dan ukuran partikel dengan rentang 30-43 μm yang diamati dengan SEM



Gambar 4.7 b Distribusi dan ukuran partikel dengan rentang 30-43 μm yang diamati dengan SEM

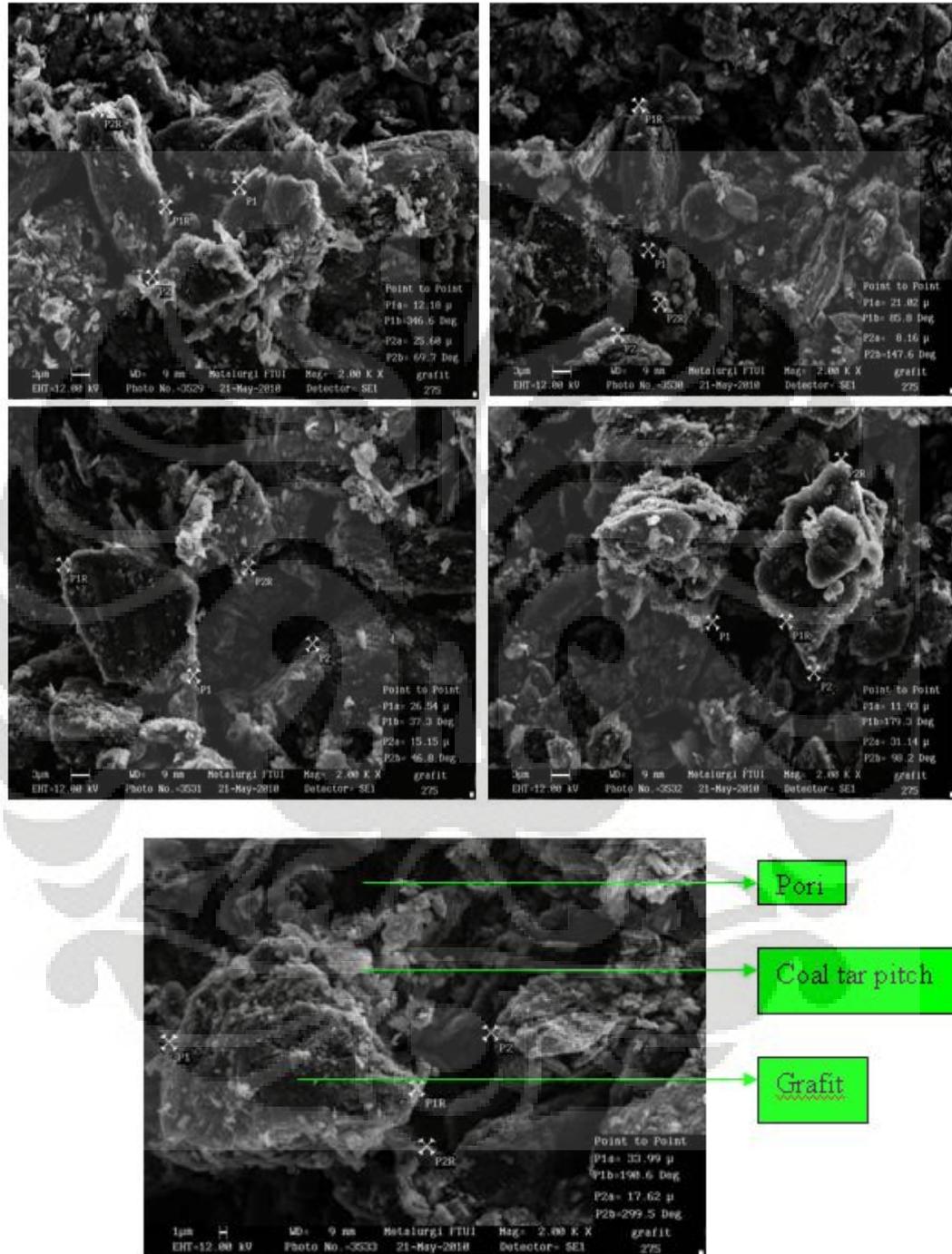
Pada gambar 4.7 a,b terlihat bahwa ukuran partikel grafit yang kecil tersebut membuat ruang gerak partikel tersebut akan semakin banyak. Selain itu, dengan ukuran partikel yang kecil ini membuat partikel bergerak dengan jarak yang relatif besar, karena kemampuan untuk melalui saluran-saluran kecil antar partikel sangat baik. Partikel serbuk akan bergerak sesuai dengan arah tekanan utama yang diberikan. Pergerakan kearah samping atau sisi adalah akibat dari adanya tahanan dari partikel itu sendiri dan adanya ruang kosong atau kepadatan yang lebih rendah pada bagian tersebut.

4.2.5.2 Hasil Pengamatan SEM pada sampel hasil sintering

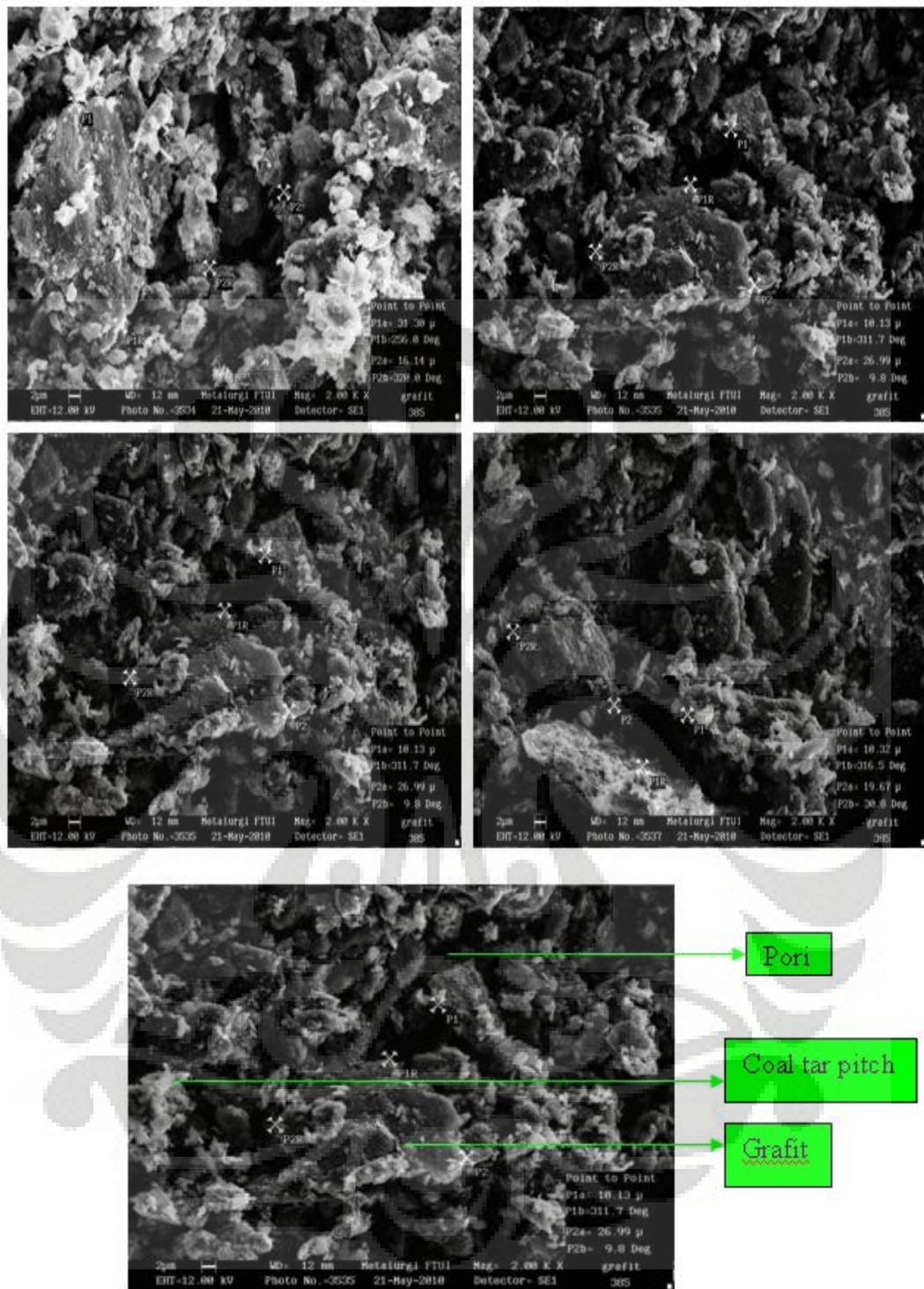
Pengamatan struktur mikro dilakukan untuk mengetahui pengaruh grafit terhadap ukuran pori dan persebaran grafit pada sample. Gambar 4.8-2.10 di bawah memberikan informasi tentang besarnya *void* dan ukuran partikel yang terdapat pada masing-masing sampel dengan perlakuan sinter yang berbeda-beda dan juga merupakan data yang didapatkan dari penembakan sinar-X pada lima titik pada masing-masing sampel. Foto struktur mikro yang diamati merupakan struktur mikro dengan perbesaran 2000x (gambar 4.8- 4.10). Dari hasil pengamatan terlihat bahwa adanya perubahan struktur mikro secara bertahap dan meningkatnya jumlah pori dengan yang terbentuk dengan meningkatnya temperatur sinter.

Terlihat bahwa *void* terbesar terdapat pada material dengan ukuran rata-rata *void* sebesar 14,636 μm dan besar butir rata-rata yaitu 25,5 μm . Besar butir

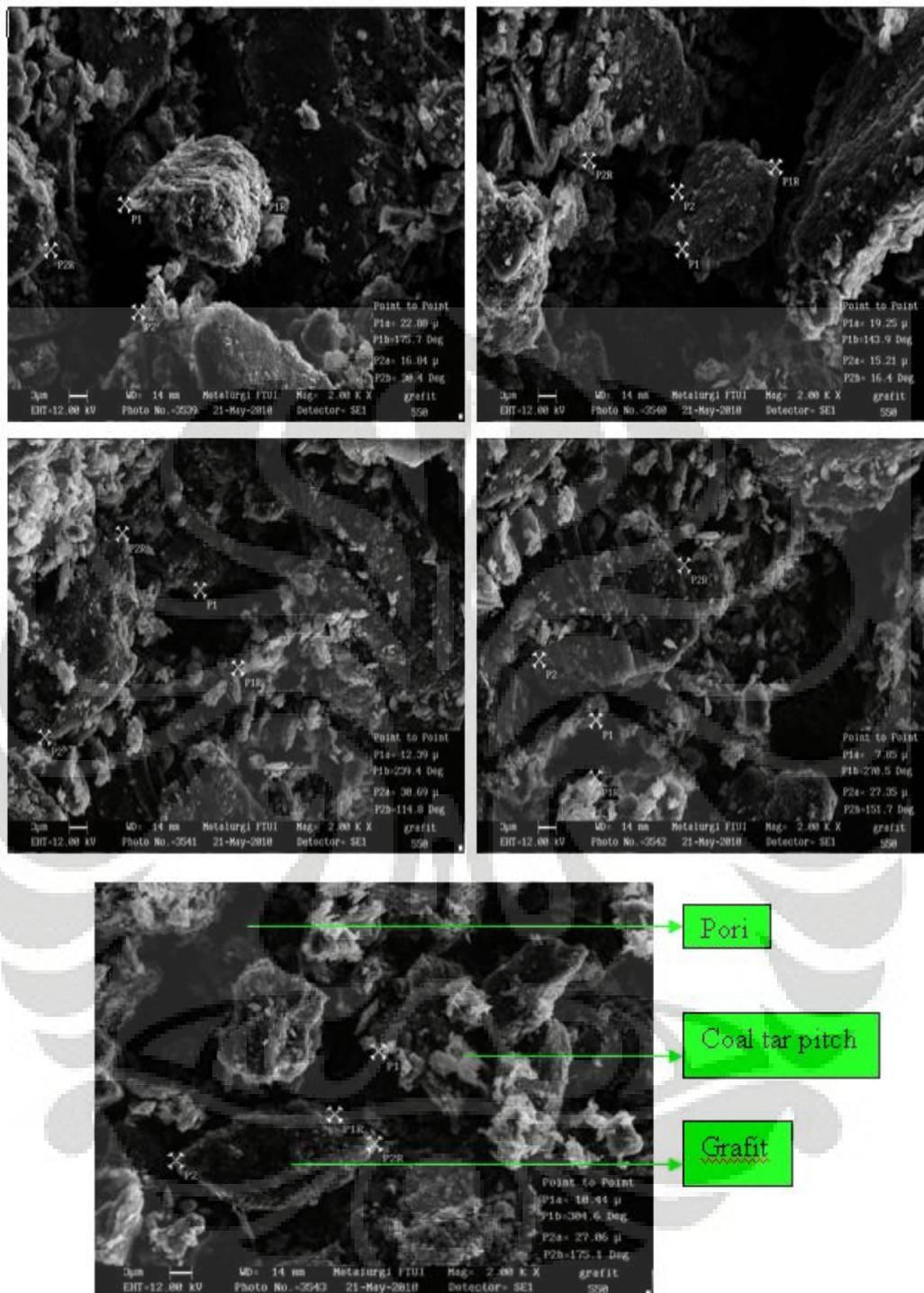
menurun saat temperatur sinter meningkat. *Void* pada material komposit grafit-coal tar pitch selain dikarenakan tidak terikatnya partikel-partikel grafit secara sempurna, juga disebabkan oleh peristiwa *swelling*.



Gambar 4.8 Pengamatan SEM pada sampel hasil sinter dengan temperatur 275°C (perbesaran 2000x)



Gambar 4.9 Pengamatan SEM pada sampel hasil sinter dengan temperatur 385°C (perbesaran 2000x)



Gambar 4.10 Pengamatan SEM pada sampel hasil sinter dengan temperatur 550°C (perbesaran 2000x)

Kekuatan tekan dan kekerasan dari material komposit grafit-coal tar pitch dipengaruhi oleh *void*. Makin banyak *void*, maka nilai kuat tekan dan kekerasannya menurun. Hal ini terjadi karena matriks (grafit) yang berfungsi untuk mentransfer tegangan ke serat jumlahnya berkurang karena adanya

keberadaan *void* tersebut. Keberadaan *void* ini dipengaruhi oleh temperatur sinter yang diberikan. Temperatur sinter yang tinggi merupakan *driving force* yang tinggi pula yang dapat meningkatkan pergerakan batas butir dan difusi atom sehingga akan terjadi peristiwa pemadatan yang akan mengurangi jumlah pori dalam *burn compact*.

Gambar SEM di atas dapat menjelaskan pula bahwa proses sintering yang telah dilakukan pada material komposit grafit-coal tar pitch mengalami densifikasi akibat penyatuan dari partikel-partikel serbuk. Ini dibuktikan dengan adanya ukuran partikel yang lebih kecil dari hasil ayakan (sebelum disinter). Ukuran partikel saat sebelum disinter yaitu sebesar 30-43 μm , sedangkan setelah disinter ukuran partikel menjadi lebih kecil yaitu sebesar 19-33 μm . Gaya penggerak dalam proses sinter adalah berdasarkan pendekatan termodinamis. Transisi dari bakalan setelah sinter yang berporos menjadi material yang tersinter serupa dengan terjadinya reaksi kimia. Sehingga harus ada pengurangan energi bebas dalam sistem agar reaksi berlangsung. Pengurangan energi bebas terjadi pada permukaan, jadi apabila luas permukaan kontak semakin banyak maka semakin besar energi penggerak yang diperlukan dalam proses sinter.

Gambar 4.8-4.10 di atas menunjukkan struktur mikro perlakuan sample dengan temperatur sinter dimulai dari temperatur sinter 275°C, 385°C, dan 550°C. Dari gambar pertama terlihat adanya fasa matriks unsur grafit, pori (berwarna hitam), dan fasa berwarna putih yang diduga sebagai fasa penguat. Fasa penguat terbentuk dengan jelas dan tersebar secara homogen. Pada gambar juga terlihat bahwa *void* yang terbentuk berada di antara butir-butir matriks. Selain itu, terlihat bahwa penyebaran dari penguat tidak terkonsentrasi pada satu titik tertentu saja. Pada gambar dengan perlakuan sinter 275°C, *void* yang terbentuk lebih kecil dibanding dengan *void* pada sampel dengan temperatur perlakuan sinter yaitu 385°C. Dengan adanya grafit yang mengisi pori yang dihasilkan dari hasil sintering maka porositas akan berkurang.

4.2.5.3 Hasil Pengamatan EDS

Pengujian unsur-unsur yang terkandung dalam fasa pada material komposit ini dilakukan dengan menggunakan EDS (Tabel 4.5). Sampel yang diuji

hanya pada material komposit grafit-*coal tar pitch* yang disinter pada temperatur 550°C. Pada hasil EDS ditemukan beberapa jenis unsur berikut:

Tabel 4.5 Unsur-unsur yang terdeteksi oleh EDS

Unsur	Kadar (%)
C	39-45
O	46-51
Al	4,19-4,9
Si	0,71-4,07

Jika data EDS ini dibandingkan dengan Tabel 2.4, terlihat adanya unsur lain Al yang muncul secara tiba-tiba. Pada Tabel 2.4 tidak terdapat unsur Al, sedangkan pada hasil EDS terdapat unsur Al dengan kandungan 4,19-4,9 %. Munculnya unsur Al ini kemungkinan berasal dari bahan panci yang tercampur saat dilakukan proses pencampuran antara material serbuk grafit dan *coal tar pitch*.

BAB 5 KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

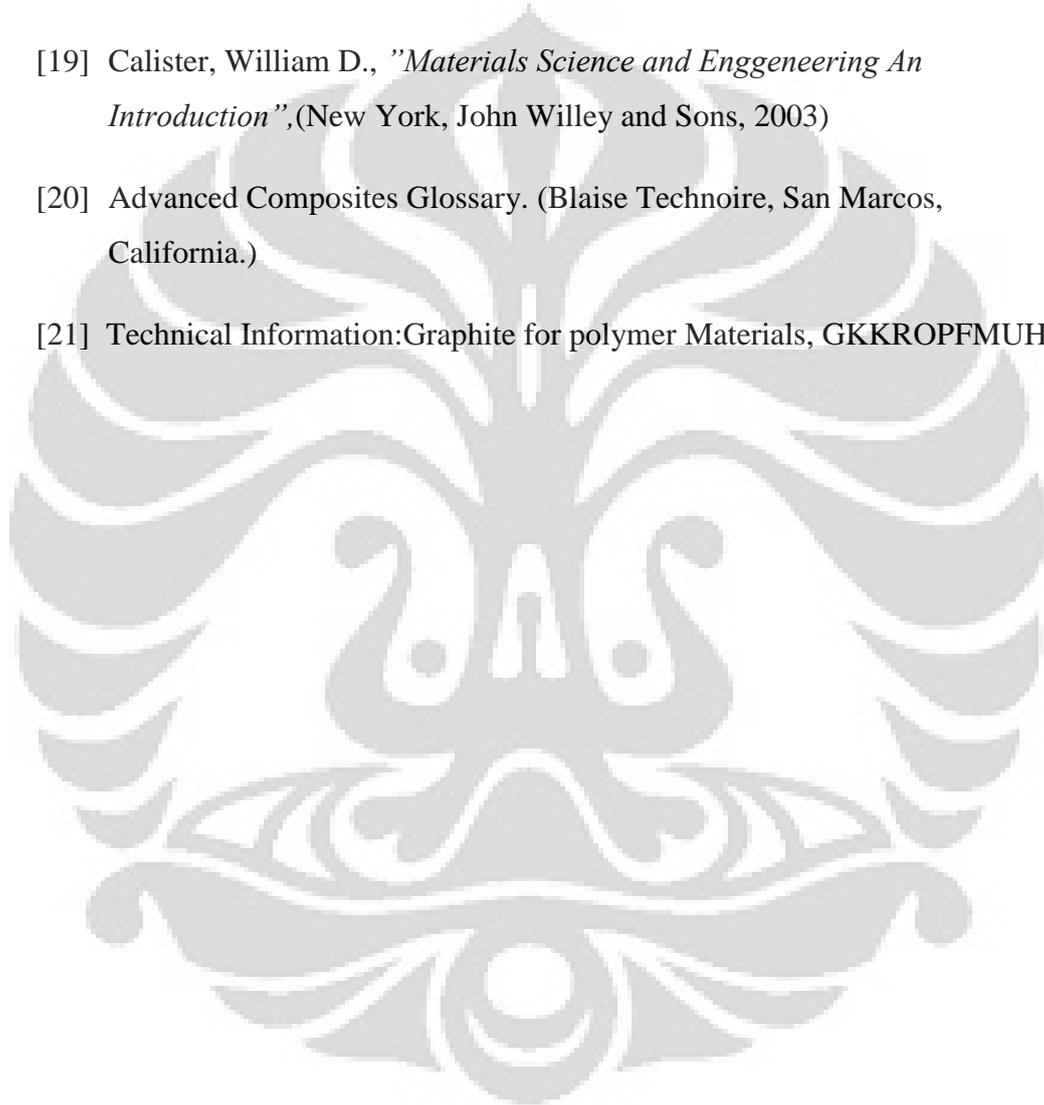
Berdasarkan hasil penelitian kelima pelat bipolar maka dapat ditarik beberapa kesimpulan, yaitu:

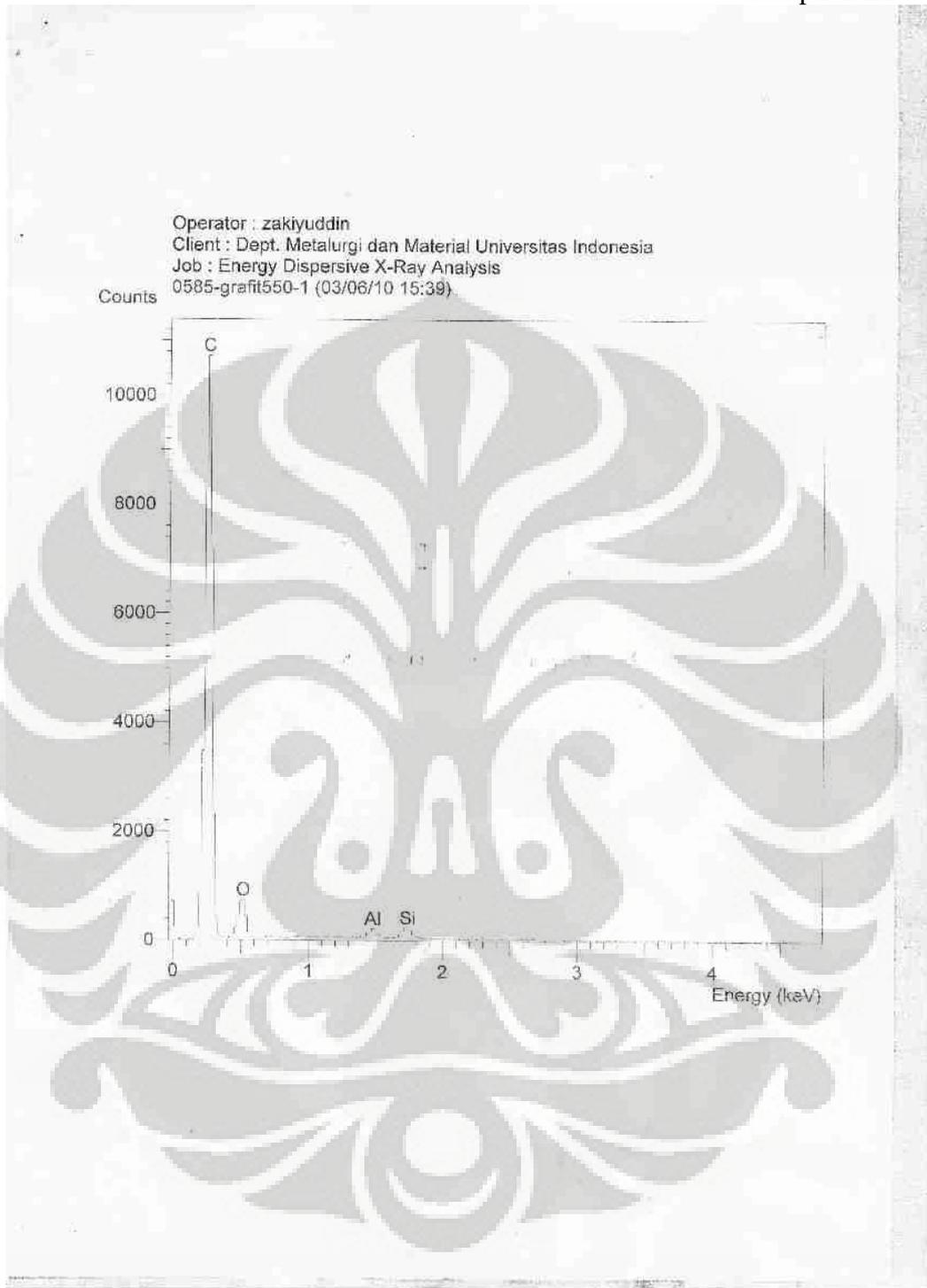
1. Pada penelitian material komposit grafit-*coal tar pitch* dengan perbandingan berat sebesar 70% fraksi berat grafit dan 30% fraksi berat *coal tar pitch*, karakteristik optimum terjadi pada:
 - Temperatur sinter 385°C dengan nilai kekerasannya sebesar 14,08 HV dan nilai kuat tekannya sebesar 1,76 N/mm²
 - Temperatur sinter 550°C dengan nilai densitas sebesar 1,22 gr/cm³
 - Temperatur sinter 275°C dengan porositas (%) sebesar 14,92
2. Pada hasil pengamatan SEM serbuk grafit, rentang ukuran partikel yang didapatkan yaitu sebesar 30-43 μm
3. Pada pengamatan EDS terdapat unsur-unsur asing yang terdeteksi, yaitu: Al. Unsur tersebut dapat berasal dari panci yang digunakan saat proses pencampuran antara material grafit dan *coal tar pitch*

DAFTAR PUSTAKA

- [1] John A. Vaccari, George S. Brady, Henry Clauser *Materials Handbook - Fifteenth Edition* 15th Edition (John Wiley & Sons, Inc., 2003)
- [2] Randall M. German, *Powder Metallurgy Science* (USA: Metal Powder Industries Federation, 1984)
- [3] Sri Harjanto, *Kuliah Metalurgi Serbuk* (Depok, 2006)
- [4] http://www.imi.cnrcnc.gc.ca/.../poudres_english.gif
- [5] Erhard Klar, *Powder Metallurgy: Applications, Advantages, and Limitations* (Ohio: American Society for Metals, 1983)
- [6] ASM Handbook Volume 7, *Powder Metallurgy Technologies and Applications* (USA: ASM International, 1990)
- [7] R. L. Hewitt, W. Wallace dan M. C. Demalherbe, *Plastic Deformation in Metal Powder Compaction* (Powder Met., 1971, vol.17, hal.1-12)
- [8] Randall M. German, *Sintering Theory and Practice* (New York: John Wiley & Sons, Inc., 1996)
- [9] Slide Kuliah Material Komposit Departemen Metalurgi dan Material FTUI 2009
- [10] R. MORRELL, *Matrix Materials National Physical Laboratory* (Teddington, UK)
- [11] ASM Handbook Volume 21, *Composite* (USA: ASM International, 1990)
- [12] <http://www.azom.com/details.asp?articleid=1630>
- [13] Hugh O. Pierson, *Handbook of carbon, graphite, diamond and fullerenes* (Noyes Publications)
- [14] <http://www.galleries.com/minerals/elements/graphite/graphite.htm>

- [15] Deborah D.L.Chung, *Carbon Fiber Composite* (1992)
- [16] K. Kawamura, M. Ono, and K. Okazaki, *Carbon*30(3), 429-434 (1992)
- [17] http://www.caer.uky.edu/energeia/PDF/vol5_3.pdf
- [18] David Chandrawan dan Myrna Ariati, *Metalurgi Serbuk, Teori, dan Aplikasi Jilid 1* (Depok, 1999)
- [19] Calister, William D., "*Materials Science and Enggeneering An Introduction*",(New York, John Willey and Sons, 2003)
- [20] Advanced Composites Glossary. (Blaise Technoire, San Marcos, California.)
- [21] Technical Information:Graphite for polymer Materials, GKKROPFMUH





SEMQuant results. Listed at 15:41:33 on 03/06/10
Operator: zakiyuddin
Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis
Spectrum Label: 0585-grafit1590-1

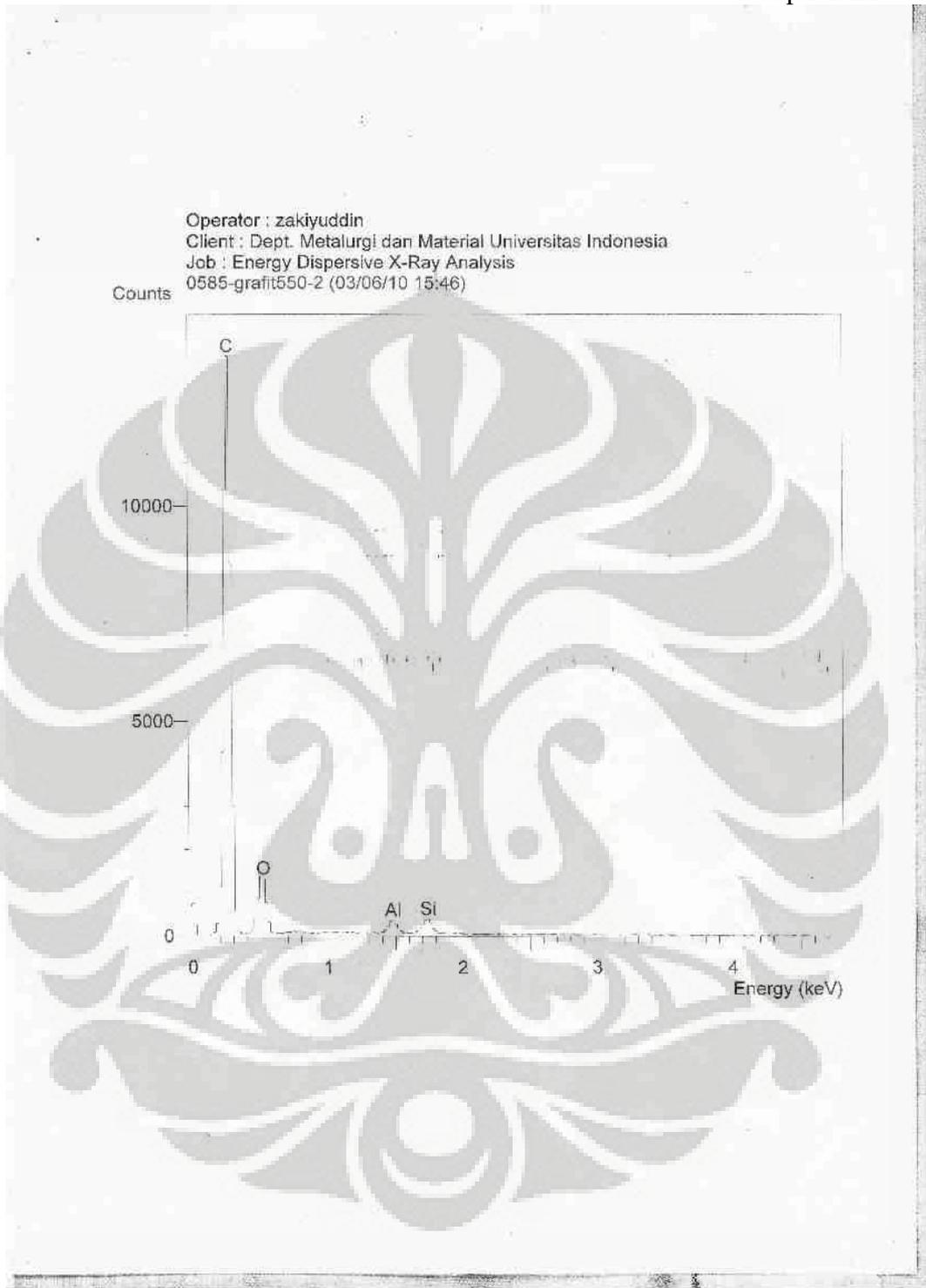
System resolution = 58 eV

Quantitative method: ZAF (5 iterations)
Analysed all elements and normalised results.

Standards :
C K Carbon Low 13/09/06
O K AL2O3 17/11/09
Al K AL2O3 17/11/09
Si K Low Carbon Steel 13/09/06

Elem	Spect.	Element	Atomic
	Type	*	*
C K	ED	45.34	54.01
O K	ED	46.95	41.98
Al K	ED	4.13	2.22
Si K	ED	3.51	1.79
Total		100.00	100.00

* = <2 sigma



SEMQuant results. Listed at 15:47:42 on 03/06/13
Operator: zaklyuddin
Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis
Spectrum label: 058a-grafit550-2

System resolution = 59 eV

Quantitative method: ZAF (5 iterations)
Analyzed all elements and normalized results.

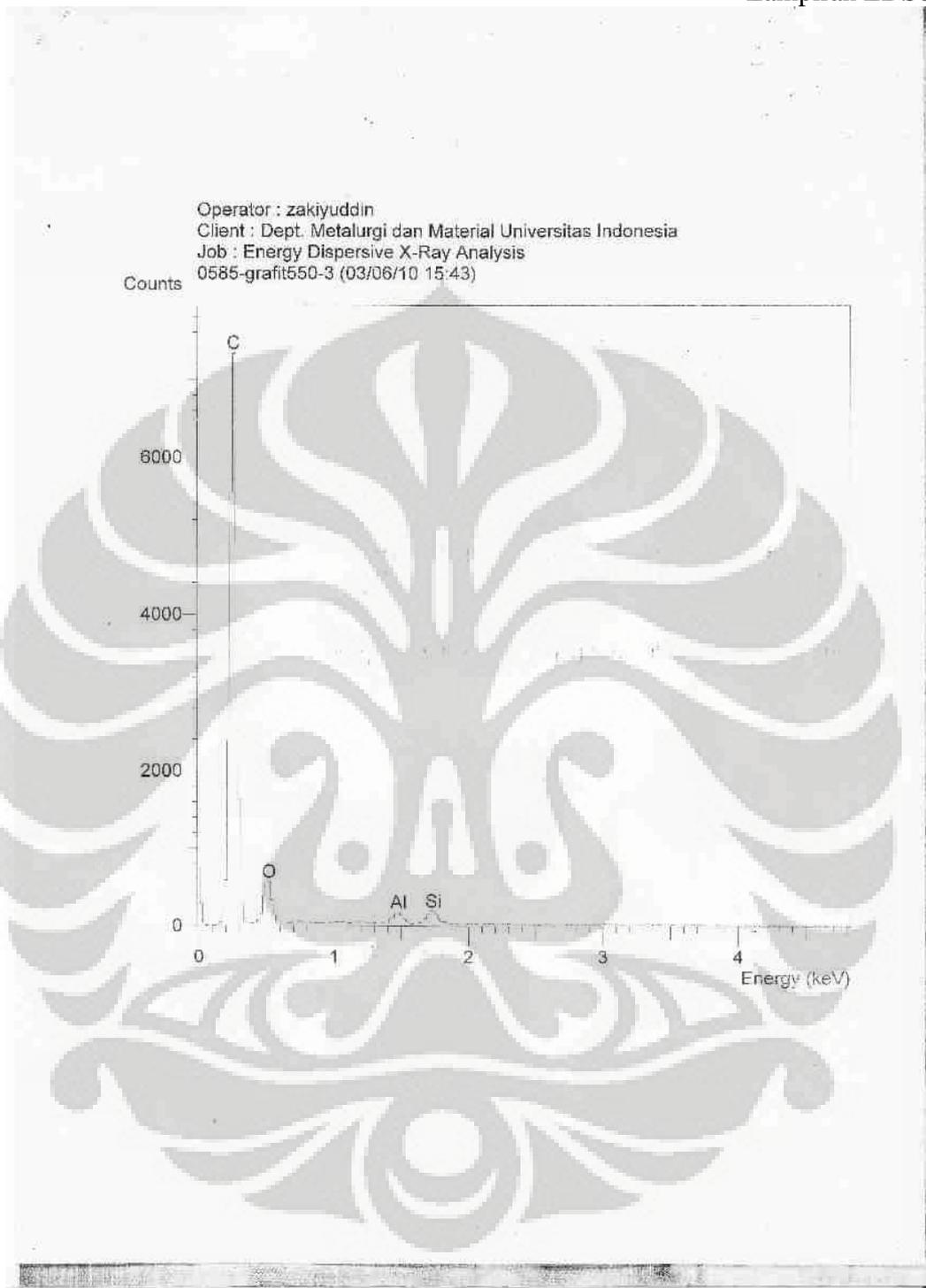
Standards :

C K Carbon Low 13/09/06
O K AL2O3 17/11/09
Al K AL2O3 17/11/09
Si K Low Carbon Steel 13/09/06

Elem	Spect.	Element	Atomic
	Type	%	%
C K	ED	39.67	48.21
O K	ED	51.81	47.27
Al K	ED	4.70	2.54
Si K	ED	3.82	1.98
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma





SEMQuant results. Listed at 15:44:20 on 03/06/10
Operator: sakiyuddin
Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis
Spectrum label: 0385-grafit580-3

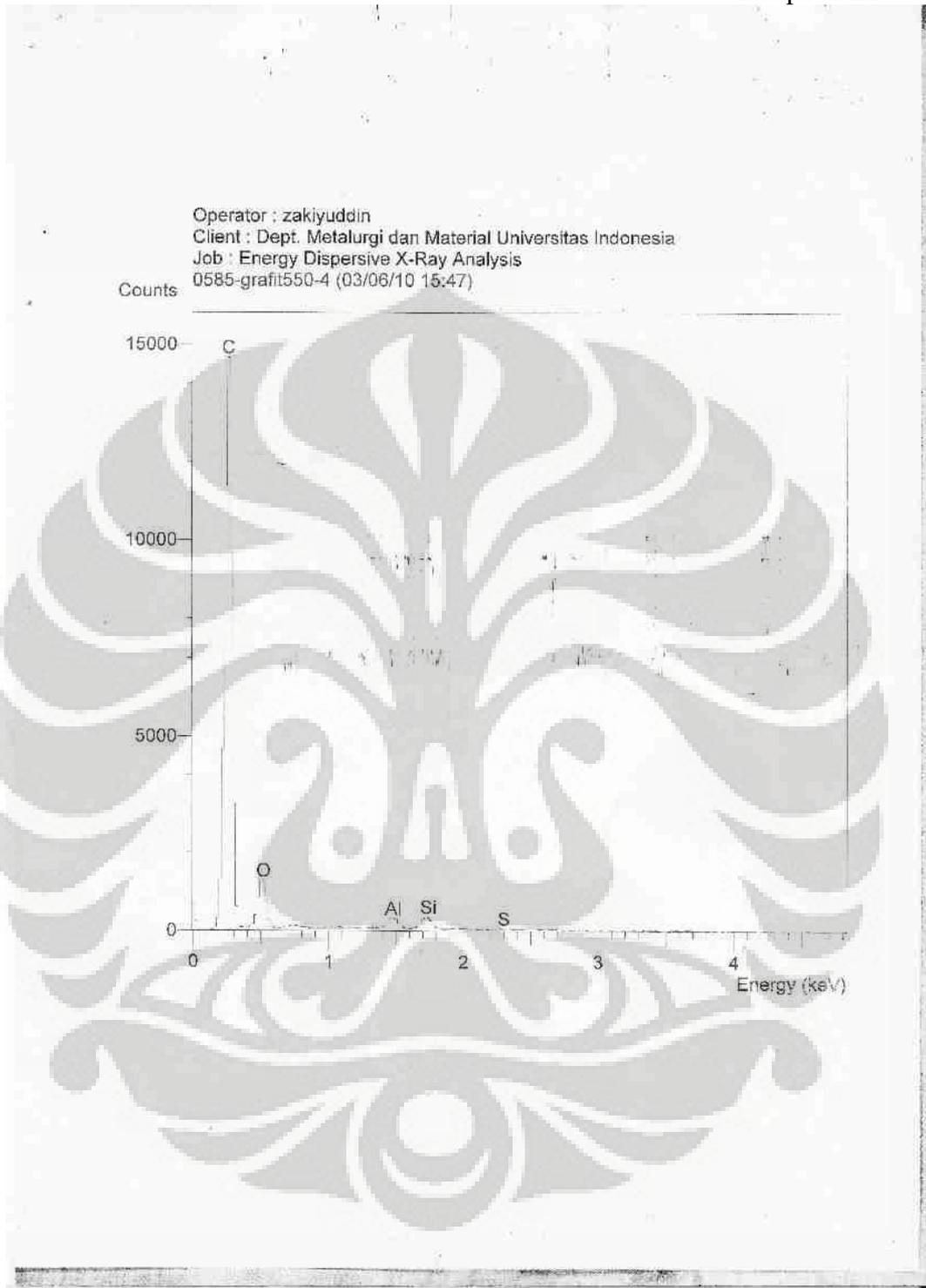
System resolution = 59 eV

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

Standards:
C K Carbon Low 13/09/06
O K AL2O3 17/11/05
Al K AL2O3 17/11/05
Si K Low Carbon Steel 13/09/06

Elem	Spect. Type	Element %	Atomic %
C K	ED	42.62	52.47
O K	ED	47.42	42.92
Al K	ED	4.90	3.62
Si K	ED	4.07	3.09
Total		100.00	100.00

* = <1 Sigma



SEMQuant results. Listed at 15:49:14 on 22/06/10
Operator: zakiyuddin
Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis
Spectrum label: 0585-grafit550-4

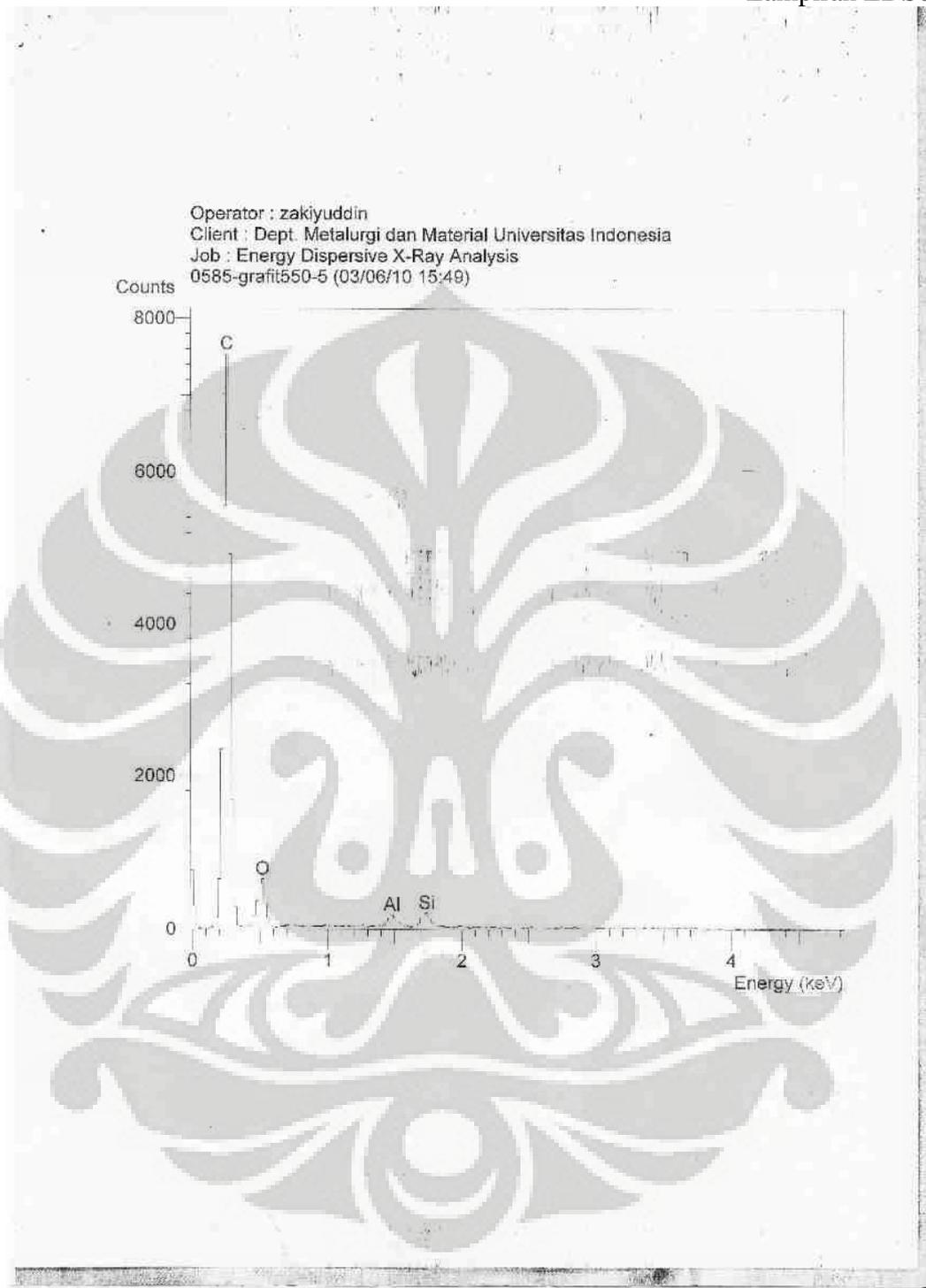
System resolution = 61 eV

Quantitative method: ZAF (5 iterations).
Analyzed all elements and normalized results.

Standards :
C K Carbon Low 13/09/06
O K AL2O3 17/11/09
Al K AL2O3 17/11/09
Si K Low Carbon Steel 13/09/06
S K FeS2 22/02/06

Elm	Spect.	Element	Atomic
	Type	%	%
C K	ED	42.05	50.75
O K	ED	49.50	46.64
Al K	ED	4.29	2.30
Si K	ED	3.45	1.79
S K	ED	0.71	0.32
Total		100.00	100.00

* = ± 2 Sigma



SEMQuant results. Listed at 15:50:38 on 03/06/10
Operator: zakiyuddin
Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis
Spectrum label: 0588-grafit550-5

System resolution = 65 eV

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

Standards :
C K Carbon Low 13/09/06
O K AL2O3 17/11/09
Al K AL2O3 17/11/09
Si K Low Carbon Steel 13/09/06

Elnt	Spect	Element	Atomic
	Type	%	%
C K	ED	43.01	51.70
O K	ED	48.68	43.93
Al K	ED	4.50	2.41
Si K	ED	3.81	1.96
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma



E-01015A

Laboratorium Pengujian tekMIRA

PUSAT PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN TEKNOLOGI MINERAL DAN BATUBARA
Jl. Jenderal Sudirman 623 Bandung – 40211
Telepon : (022) 6030483 Faksimile : (022) 6003373 e-mail : lab_uji@tekMIRA.esdm.go.id

SERTIFIKAT ANALISIS (CERTIFICATE OF ANALYSIS)

Terakreditasi No. LP-051-IDN tgl. 27 Desember 2007

Nomor / Number : 831^A/LBB/VII/09 Tanggal / Date : 22 Juli 2009

Dibuat untuk /
Certified for : Agus Edy Pramono (Mahasiswa UI Depok)
NPM. 0806040120

Jenis contoh /
Type of Sample : AG

Sifat / Kondisi Barang yang diuji /
Description of sample : AG

Asal contoh
Origin of sample : -

Jumlah contoh /
Amount of sample : 1 (satu)

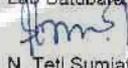
Nomor Laboratorium /
Laboratory Number : 3488/ 2009

Contoh diterima tanggal /
Sample received on : 10 Juli 2009

Waktu pelaksanaan pengujian /
Date of testing : 10 Juli 2009

HASIL ANALISIS / ANALYSIS RESULT :

ANALYSIS PARAMETERS	Sample Marks	Unit	Basis	Standar Acuan
	AG No. Lab 3487/09			
CARBON	67.01	%	adb	ASTM D.5373
HYDROGEN	0.21	%	adb	ASTM D.5373
NITROGEN	Tidak terdeteksi	%	adb	ASTM D.5373
TOTAL SULFUR	0.04	%	adb	ASTM D.4239

Manajer Teknis
Lab Batubara

N. Teti Sumiati
NIP. 100011640

1 dari 1

Catatan : 1. Hasil pengujian/analisis ini hanya berlaku untuk contoh yang diuji
Notes : These analysis result are only valid for the tested samples
2. Sertifikat ini tidak boleh diperbanyak (digandakan) tanpa izin dari Manajer Teknis
This Certificate shall not be reproduced (copied) without written permission of the Technical manager



SERTIFIKAT ANALISIS
(CERTIFICATE OF ANALYSIS)
Terakreditasi No. LP-051-IDN tgl. 27 Desember 2007

Nomor / Number : 831^B/LBB/VII/09 Tanggal / Date : 22 Juli 2009

Dibuat untuk / Certified for : Agus Edy Pramono (Mahasiswa UI Depok)
NPM: 0806040120

Jenis contoh / Type of Sample : AB

Sifat / Kondisi Barang yang diuji / Description of sample : AB

Asal contoh / Origin of sample : -

Jumlah contoh / Amount of sample : 1 (satu)

Nomor Laboratorium / Laboratory Number : 3489 / 2009

Contoh diterima tanggal / Sample received on : 10 Juli 2009

Waktu pelaksanaan pengujian / Date of testing : 10 Juli 2009

HASIL ANALISIS / ANALYSIS RESULT :

ANALYSIS PARAMETERS	Sample Marks	Unit	Basis	Standar Acuan
	AB No. Lab 3487/09			
CARBON	72.31	%	adb	ASTM D.5373
HYDROGEN	3.39	%	adb	ASTM D.5373
NITROGEN	1.36	%	adb	ASTM D.5373
TOTAL SULFUR	1.70	%	adb	ASTM D.4239

Manajer Teknis
Lab Batubara

N. Teti Sumlati
NIP. 100011640

1 dari 1

- Catatan : 1. Hasil pengujian/analisis ini hanya berlaku untuk contoh yang diuji
Notes: These analysis result are only valid for the tested samples
2. Sertifikat ini tidak boleh diperbanyak (dinandakan) tanpa izin dari Manajer Teknis
This Certificate shall not be reproduced (copied) without written permission of the Technical manager

