



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH TEMPERATUR SINTER TERHADAP
KARAKTERISTIK KOMPOSIT BATUBARA – *COAL TAR*
*PITCH***

SKRIPSI

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

**ADIDJAYA CHANDRA NUGRAHA
0606074501**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK 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 : Adidjaya Chandra Nugraha

NPM : 0606074501

Tanda Tangan :

Tanggal : 2 Juli 2010



HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Adidjaya Chandra Nugraha
NPM : 0606074501
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Judul Skripsi : Pengaruh Temperatur Sinter terhadap Karakteristik Komposit Batubara – *Coal Tar Pitch*

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Anne Zulfia Syahrial, M.Sc. ()
Penguji 1 : Dr. Ir. Akhmad Herman Y, M.Phil.Eng ()
Penguji 2 : Drs. Agus Edy Pramono, ST, M.Si ()
Penguji 3 : Moch. Chalid, S.Si, M.Sc ()

Ditetapkan di : Depok
Tanggal : 2 Juli 2010

KATA PENGANTAR

Puji Syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, karena berkat rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Metalurgi dan Material pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai penyusunan skripsi ini, sangat sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada :

1. Prof. Dr. Ir. Anne Zulfia S., M.Sc., selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
2. Orang tua dan kakak saya yang selalu menyayangi dengan setulus hati;
3. Teman skripsi saya Adi Gunawan yang selalu membantu saya dari awal pembuatan skripsi ini;
4. Sahabat Kontrakan, Alm. Ari Azhari, Tri Sutrisno, Andhika Insan, Indra Kusuma, dan Ghufran Mahfuzh yang selalu mengerjakan tugas bersama-sama;
5. Teman – teman kuliah saya terutama mahasiswa Teknik Metalurgi dan Material angkatan 2006; dan
6. Pak Agus yang telah banyak memberikan bantuan dalam penyusunan skripsi ini.

Akhir kata, saya berharap segala kebaikan semua pihak yang telah banyak membantu dalam pengerjaan skripsi ini dibalas oleh Allah SWT. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan.

Depok, Juli 2010

Penulis

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

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

Nama : Adidjaya Chandra Nugraha
NPM : 0606074501
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Departemen : 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 Komposit Batubara –
*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 atau pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada Tanggal : 2 Juli 2010

Yang menyatakan

(Adidjaya Chandra Nugraha)

ABSTRAK

Nama : Adidjaya Chandra Nugraha
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Judul : Pengaruh Temperatur Sinter Terhadap Karakteristik Komposit Batubara – *Coal Tar Pitch*

Perkembangan teknologi telah mendorong adanya kebutuhan material dengan sifat unggul. Untuk itulah dilakukan rekayasa material komposit batubara – *coal tar pitch* dengan proses metalurgi serbuk. Komposit batubara – *coal tar pitch* menggunakan batubara sebagai matrik dan *coal tar pitch* sebagai penguat. Pada penelitian ini dilakukan variasi temperatur sinter 200°C, 300°C, 400°C dan 500°C untuk mengetahui karakteristik material komposit batubara – *coal tar pitch*. Hasil menunjukkan bahwa peningkatan temperatur sinter akan meningkatkan densitas, kekerasan, kuat tekan serta menurunkan porositas pada komposit batubara – *coal tar pitch*.

Kata kunci:
komposit batubara – *coal tar pitch*, temperatur sinter, metalurgi serbuk, kekerasan, kuat tekan

ABSTRACT

Name : Adidjaya Chandra Nugraha
Study Program : Metallurgy & Materials Engineering
Title : The Effect of Sintering Temperature on the Characteristic of Coal – Coal Tar Pitch Composite as a Powder Metallurgy Product

The growth of technology has stimulate the needs of materials with superior properties. Therefore, people redesign coal – coal tar pitch composite with powder metallurgy process. This coal – coal tar pitch composite use coal for matrix and coal tar pitch for reinforce. In this research, the variations of 200°C, 300°C, 400°C and 500°C sintering temperature were done to find out the characteristic of coal – coal tar pitch composite. The result showed that the raising of the sintering temperature increases the density, hardness, and compressive strenght and decreases the porosity of the coal – coal tar pitch composite.

Keywords :

coal – coal tar pitch composite, sintering temperature, powder metallurgy, hardness, compressive strenght

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	v
ABSTRAK	vi
<i>ABSTRACT</i>	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
1. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Batasan Penelitian	3
1.5. Sistematika Penulisan	4
2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Komposit	5
2.1.1 Karbon – Karbon Komposit	8
2.2 Material	10
2.2.1 Batu Bara	10
2.2.1.1 Gratifikasi Batubara	12
2.3.2 <i>Coal Tar Pitch</i>	13
2.3 Metalurgi Serbuk	14
2.3.1 Pencampuran dan Pengadukan Partikel Serbuk	17
2.3.2 Kompaksi	18
2.3.3 Proses Sinter	20
2.3.3.1 Tahapan Proses Sinter	21
2.3.3.2 Mekanisme Transport Massa	23
2.3.3.3 Pengaruh Temperatur Sinter	24
2.3.3.4 Atmosfer Sinter	25
3. METODE PENELITIAN	26
3.1 Diagram Alir Penelitian	26
3.2 Alat & Bahan	27
3.2.1 Alat	27
3.2.2 Bahan	27
3.3 Preparasi Sampel	28
3.3.1 Persiapan bahan matrik dan penguat	28
3.4 Pembuatan Karbon Komposit Batu Bara – <i>Coal Tar Pitch</i>	29

3.4.1 Penentuan Penguat dan Matriks	29
3.4.2 Proses Pencampuran	30
3.4.3 Proses Kompaksi	31
3.4.4 Proses Sinter	32
3.5 Pengujian Karbon Komposit Batu Bara – <i>Coal Tar Pitch</i>	33
3.5.1 Pengujian Densitas	33
3.5.2 Pengujian Porositas	34
3.5.3 Pengujian Tekan	34
3.5.4 Pengujian Kekerasan	35
3.5.5 Pengamatan SEM & EDX	36
4. HASIL DAN PEMBAHASAN	38
4.1 Karakteristik Serbuk <i>As Received</i>	38
4.1.1 Distribusi Ukuran Partikel Batubara	38
4.2 Pencampuran	39
4.3 Pencetakan Sampel	40
4.4 Proses Sinter	40
4.5 Hasil Pembuatan Sampel	41
4.6 Pengaruh Temperatur terhadap Densitas Karbon Komposit Batu Bara – <i>Coal Tar Pitch</i>	41
4.7 Pengaruh Temperatur terhadap Porositas Karbon Komposit Batu Bara – <i>Coal Tar Pitch</i>	43
4.8 Pengaruh Temperatur terhadap <i>Compressive Strenght</i> Karbon Komposit Batu Bara – <i>Coal Tar Pitch</i>	45
4.9 Pengaruh Temperatur terhadap <i>Hardness</i> Karbon Komposit Batu Bara – <i>Coal Tar Pitch</i>	48
4.10 Hasil Pengamatan SEM Setelah Proses Sinter	50
4.11 Hasil Pengamatan EDX Setelah Proses Sinter	54
5. KESIMPULAN	55
6. DAFTAR REFERENSI	56

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Kandungan unsur pada batubara	11
Tabel 2.2	Sifat <i>coal tar pitch</i>	14
Tabel 2.3	Pengaruh proses sinter	21
Tabel 3.1	Kandungan unsur pada batubara	27
Tabel 3.2	Kandungan unsur pada <i>coal tar pitch</i>	28
Tabel 4.1	Data besar butir menggunakan SEM	38
Tabel 4.2	Pengaruh temperatur sinter terhadap densitas komposit batubara/ <i>coal tar pitch</i>	42
Tabel 4.3	Pengaruh temperatur sinter terhadap porositas komposit batubara / <i>coal tar pitch</i>	44
Tabel 4.4	Data pengaruh temperatur sinter terhadap nilai kekuatan tekan	46
Tabel 4.5	Data pengaruh temperatur sinter terhadap kekerasan	48
Tabel 4.6	Ukuran partikel dari butir setelah disinter	53
Tabel 4.7	Besarnya void setelah disinter	53
Tabel 4.8	Unsur-unsur yang terdeteksi oleh EDX	54

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Pembagian komposit berdasarkan jenis penguat	6
Gambar 2.2	Variasi dari kekuatan beberapa material terhadap temperatur	9
Gambar 2.3	Perbandingan temperatur terhadap nilai modulus beberapa material komposit	9
Gambar 2.4	Bentuk partikel serbuk	15
Gambar 2.5	Tahapan proses metalurgi serbuk	17
Gambar 2.6	Perilaku serbuk saat kompaksi	20
Gambar 2.7	Partikel serbuk pada berbagai tahapan proses sinter	21
Gambar 2.8	Tahap pertumbuhan leher dengan rasio X/D	22
Gambar 2.9	Pemisahan dan pembulatan pori pada final stage	23
Gambar 2.10	Mekanisme transport massa	24
Gambar 2.11	Pengaruh temperatur sinter terhadap sifat mekanik	25
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian	26
Gambar 3.2	Ilustrasi proses ball mill	29
Gambar 3.3	Mesin pengguncang pada proses pengayakan	29
Gambar 3.4	Timbangan digital	30
Gambar 3.5	Peralatan dalam pencampuran material komposit batubara – <i>coal tar pitch</i>	31
Gambar 3.6	Cetakan	32
Gambar 3.7	Mesin kompaksi	32
Gambar 3.8	Dapur untuk proses sinter	33
Gambar 3.9	Mesin uji kuat tekan	35
Gambar 4.1	Hasil pengamatan SEM dengan perbesaran 500x terhadap serbuk batubara pada tempat yang berbeda	39
Gambar 4.2	Material komposit batubara - <i>coal tar pitch</i> hasil sinter	41
Gambar 4.3	Grafik pengaruh temperatur sinter terhadap densitas komposit batubara / <i>coal tar pitch</i>	42
Gambar 4.4	Grafik pengaruh temperatur sinter terhadap porositas komposit batubara / <i>coal tar pitch</i>	44
Gambar 4.5	Grafik pengaruh temperatur sinter terhadap nilai kekuatan tekan	46
Gambar 4.6	Grafik pengaruh temperatur sinter terhadap kekerasan	49
Gambar 4.7	Hasil pengamatan SEM dengan perbesaran 2.000x terhadap komposit batubara – <i>coal tar pitch</i> pada temperatur (a) 200 °C, (b) 300 °C, (c) 400 °C, dan (d) 500 °C	50
Gambar 4.8	Hasil pengamatan SEM dengan perbesaran 2.000x terhadap komposit batubara – <i>coal tar pitch</i> pada temperatur (a) 200 °C, (b) 300 °C, (c) 400 °C, dan (d) 500 °C	51
Gambar 4.9	Hasil pengamatan SEM dengan perbesaran 2.000x terhadap komposit batubara – <i>coal tar pitch</i> pada temperatur (a) 200 °C, (b) 300 °C, (c) 400 °C, dan (d) 500 °C	52

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A. Sertifikat analisis laboratorium pengujian tekMIRA	58
Lampiran B. Data uji densitas	60
Lampiran C. Data uji porositas	61
Lampiran D. Data uji tekan	62
Lampiran E. Data uji kekerasan	63
Lampiran F. Hasil EDX karbon – karbon komposit batubara – <i>coal tar pitch</i>	64



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Manusia membutuhkan berbagai macam jenis material dalam memenuhi kebutuhan hidupnya. Seiring berjalannya waktu spesifikasi material yang dibutuhkan semakin beragam. Kebutuhan material ini didasarkan kepada kebutuhan sifat material yang sangat baik seperti kuat, memiliki densitas rendah, ketahanan abrasi dan ketahanan impak yang tinggi serta tahan terhadap temperatur tinggi sehingga didapatkan kualitas kerja yang maksimal, namun di samping itu juga memiliki keunggulan lain, yaitu murah dan ringan. Material berbasis logam, keramik atau polimer belum cukup untuk memenuhinya.

Sifat seperti ini dapat diperoleh dengan mengkombinasikan beberapa jenis material konvensional, dalam hal ini dikembangkanlah material komposit. Komposit adalah material yang terdiri dari dua atau lebih fasa yang berbeda baik secara fisika ataupun kimia dan memiliki karakteristik yang lebih unggul dari masing-masing komponen penyusunnya [1]. Material komposit ini dirancang untuk mendapatkan kombinasi karakteristik terbaik dari setiap komponen penyusunnya. Pada dasarnya, komposit dapat didefinisikan sebagai campuran penguat dan matriks. Penguat umumnya jauh lebih kuat dari matriks dan berfungsi memberikan kekuatan tarik. Sedangkan matriks berfungsi untuk melindungi penguat dari efek lingkungan dan kerusakan akibat benturan.

Manfaat utama dari penggunaan komposit adalah untuk mendapatkan kombinasi sifat kekuatan serta kekakuan tinggi dan berat jenis yang ringan. Dengan memilih kombinasi material penguat dan matriks yang tepat, kita dapat membuat suatu material komposit dengan kebutuhan sifat untuk suatu struktur tertentu dan dengan tujuan tertentu pula. Material ini diperlukan untuk penggunaan dibidang angkasa lepas, automobil, perumahan, perkapalan, kendaraan dan industri pengangkutan, karena bidang-bidang tersebut membutuhkan bahan-bahan dengan densitas yang rendah, tahan karat, *flexural*, *tensile* yang tinggi, kuat, kokoh, viskositas dan ketahanan impak yang baik [2]

Salah satu material komposit yang dikembangkan saat ini dan akan dibahas dalam penelitian ini adalah karbon – karbon komposit. Karbon – karbon

komposit adalah komposit yang tersusun dari serat karbon yang berkesinambungan, yang tersusun dalam matrik karbon [3]. Dalam penelitian ini, akan dibuat karbon- karbon komposit dengan material batu bara sebagai matrik dan *coal tar pitch* sebagai penguatnya. Metode yang digunakan dalam pembuatan material komposit ini ialah metalugi serbuk. Prinsip metode ini ialah pencampur matriks dan penguat lalu dilakukan pemadatan serbuk menjadi bentuk yang diinginkan kemudian dipanaskan sehingga partikel-partikel serbuk menyatu. Metode ini digunakan untuk menghasilkan produk dengan dimensi akurat, *near net shape* dan menghasilkan produk yang memiliki sejumlah porositas dengan ukuran dan distribusi tertentu [4].

Pada penelitian ini akan dibahas pengaruh temperatur sinter terhadap karakteristik komposit dimana menggunakan temperatur 200°C, 300°C, 400°C, dan 500°C. Kemudian untuk matriknya menggunakan serbuk batu bara 325# sebanyak 70% sedangkan untuk penguatnya menggunakan *coal tar pitch* sebanyak 30%. Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian densitas, porositas, uji tekan, uji kekerasan, pengamatan struktur mikro dengan menggunakan SEM, serta pengujian EDX.

1.2 Perumusan Masalah

Pada penelitian ini perbedaan temperature sinter dapat mempengaruhi karakteristik material. Temperatur sangat mempengaruhi perpindahan massa pada proses sinter karena dengan meningkatnya temperatur sinter, akan mendorong terjadinya *interdiffusion* dari serbuk hasil kompaksi (*green compact*) dan meningkatkan kepadatan produk hasil proses sinter. Sehingga, dengan semakin meningkatnya temperatur sinter, semakin meningkat pula sifat mekanis bakalan yang telah dilakukan proses sinter [5]. Selain itu masih terdapat faktor lain yang mempengaruhi karakteristik dari komposit ini.

Faktor pertama yang mempengaruhi porositas adalah ukuran partikel dari matrik. Pada penelitian ini digunakan metode pengayakan (*screening*) dengan menggunakan no mesh 325. Hal ini dikarenakan ukuran partikel yang halus sangat diperlukan untuk kompaksi serbuk yang keras atau getas, karena dengan semakin tingginya gesekan antarpartikel akan membantu meningkatkan kekuatan adhesi bakalan [6].

Selain itu dengan semakin kecilnya ukuran partikel maka luas permukaan partikel akan semakin besar. Jika luas permukaan partikel besar, kontak antarpartikel juga semakin besar sehingga akan meningkatkan mekanisme ikatan antarpartikel secara difusi saat proses sinter. Sedangkan jika luas permukaan partikel kecil, kontak antarpartikel sedikit sehingga proses difusi saat proses sinter juga kurang baik dan menyebabkan banyak pori.

Faktor kedua adalah pada proses pencampuran dan kompaksi. Pada proses pencampuran, pemanasan *coal tar pitch* harus konstan, hal ini dimaksudkan agar pencampuran sempurna, karena apabila tidak sempurna partikel logam akan lebih sulit dikompaksi. Kemudian pada saat pengompaksian peningkatan penekanan akan menghasilkan penurunan porositas. Ketika tekanan kompaksi dinaikkan, jumlah partikel yang mengalami deformasi plastis akan meningkat [7]. Dengan penekanan yang cukup, seluruh partikel akan mengalami *work (strain) hardening* ketika jumlah porositas berkurang [8].

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Membuat karbon – karbon komposit dari 70% matrik serbuk batu bara dan 30% penguat *coal tar pitch*
2. Mengetahui pengaruh dari temperatur sinter terhadap karakteristik karbon-karbon komposit.
3. Menganalisa karbon – karbon komposit yang terbentuk baik sifat mekanik maupun sifat fisik.

1.4 Batasan Penelitian

Batasan penelitian ini adalah:

1. Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:
 - a. Serbuk batu bara ukuran 325 # sebanyak 70% sebagai matriks.
 - b. *Coal Tar Pitch* sebanyak 30% sebagai filer.
2. Proses pembuatan karbon – karbon komposit menggunakan metode metalurgi serbuk, tahapannya dimulai dari pencampuran serbuk, kompaksi, hingga proses sinter.

3. Variabel yang digunakan adalah temperatur sinter yaitu menggunakan temperatur 200°C, 300°C, 400°C, dan 500°C dalam atmosfer gas nitrogen (N₂).
4. Pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut:
 - a. Pengujian densitas dan porositas
 - b. Pengujian tekan
 - c. Pengujian kekerasan
 - d. Pengamatan EDX
 - e. Pengamatan struktur mikro dengan menggunakan mikroskop optik dan *scanning electron microscope* (SEM).

1.5 Sistematika Penulisan

Skripsi ini di susun menjadi lima bab utama yaitu pendahuluan, dasar teori, metodologi penelitian, hasil dan pembahasan, dan kesimpulan.

Bab 1 Pendahuluan, berisi mengenai latar belakang penelitian, tujuan penelitian, batasan penelitian, dan sistematika penulisan.

Bab 2 Dasar Teori, berisi dasar teori yang terkait, diantaranya tentang karbon – karbon komposit sifat-sifat material yang digunakan untuk bahan penelitian, dan proses pembuatannya secara metalurgi serbuk.

Bab 3 Metodologi Penelitian, berisi diagram alir penelitian, peralatan dan bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian, prosedur penelitian, dan prosedur pengujian yang dilakukan.

Bab 4 Hasil dan Pembahasan, berisi pengolahan data yang di dapat dari hasil pengujian yang telah dilakukan, baik berupa angka, gambar, maupun grafik serta pembahasan mengenai hasil pengujian dan membandingkannya dengan teori serta hasil penelitian sebelumnya.

Bab 5 Kesimpulan berisi kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Komposit

Material komposit adalah material yang terdiri dari dua atau lebih fasa yang berbeda baik secara fisika ataupun kimia dan memiliki karakteristik yang lebih unggul dari masing-masing komponen penyusunnya [1].

Komposit tersusun dari dua bagian utama, yaitu:

- a) 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 mampuproses yang baik, dan juga memiliki resistansi yang baik terhadap bahan kimia dan panas.
- b) Filler (pengisi), berfungsi sebagai penguat dalam komposit untuk meningkatkan sifat dari material komposit yang dihasilkan dan memiliki kemampuan untuk ditempatkan pada arah pembebanan untuk meningkatkan sifat mekanisnya. Bahan penguat komposit dapat berbentuk serat, partikel, serpihan, atau juga dapat berbentuk yang lain [9].

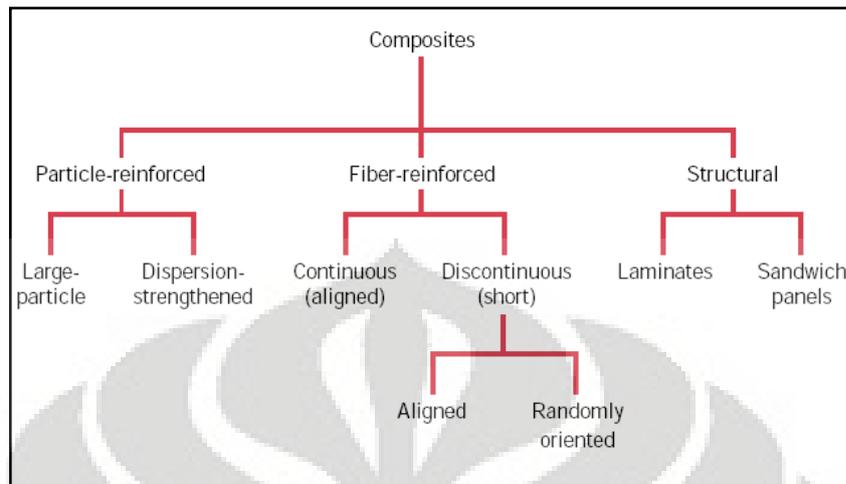
Berdasarkan jenis penguatnya, komposit dibagi menjadi 3 macam, yaitu :

- a) Partikulat, yang terdiri dari partikel besar dan penguatan dispersi
- b) Fiber, yang terdiri dari kontinyu dan diskontinyu (terikat dan acak).
- c) Struktural, yang terdiri dari lamina dan *panel sandwich*

Berdasarkan sifat penguatannya, maka komposit dibagi menjadi dua:

1. Komposit isotropik, merupakan komposit yang penguatnya memberikan penguatan yang sama untuk berbagai arah sehingga segala pengaruh tegangan atau regangan dari luar akan mempunyai nilai kekuatan yang sama baik arah transversal maupun longitudinal.
2. Komposit anisotropik, merupakan komposit yang penguatnya memberikan penguatan tidak sama terhadap arah yang berbeda, sehingga segala pengaruh tegangan atau regangan dari luar akan mempunyai nilai kekuatan yang tidak sama baik arah transversal maupun longitudinal.

Untuk lebih jelasnya pembagian dari material komposit itu sendiri dapat dilihat pada Gambar 2.1 dibawah ini.



Gambar 2.1 Pembagian komposit berdasarkan jenis penguat [2]

Sifat-sifat komposit secara umum bila dibandingkan dengan komponen-komponen penyusunnya antara lain memiliki kekuatan dan ketangguhan yang lebih baik, lebih ringan, ketahanan aus dan ketahanan korosi yang lebih baik, ketahanan temperatur tinggi dan *creep* yang lebih baik, ketahanan dampak serta konduktivitas listrik dan termal yang lebih baik, serta umur fatik yang lebih lama. Hal ini disebabkan oleh sifat-sifat komponen penyusunnya yang saling menutupi kekurangan satu dengan yang lain [10]. 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 [11]:

1. Komposisi

Komposisi penguat dan matrik komposit mempengaruhi karakteristik komposit tersebut. Semakin banyak komposisi material dalam komposit, maka semakin besar material tersebut mendominasi sifat komposit. Sifat yang dipengaruhi oleh adanya komposisi tersebut berupa koefisien elongasi, 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.

$$\rho_c = \frac{m_c}{V_c} = \frac{m_f + m_m}{V_f + V_m + V_v} = \frac{\rho_f V_f + \rho_m V_m}{V_f + V_m + V_v} = \rho_f V_f + \rho_m V_m \quad (2.1)$$

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))

2. 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.

3. 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.

4. 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 :

$$\gamma_{SV} = \gamma_{LV} \cos\theta + \gamma_{SL} \quad (2.2)$$

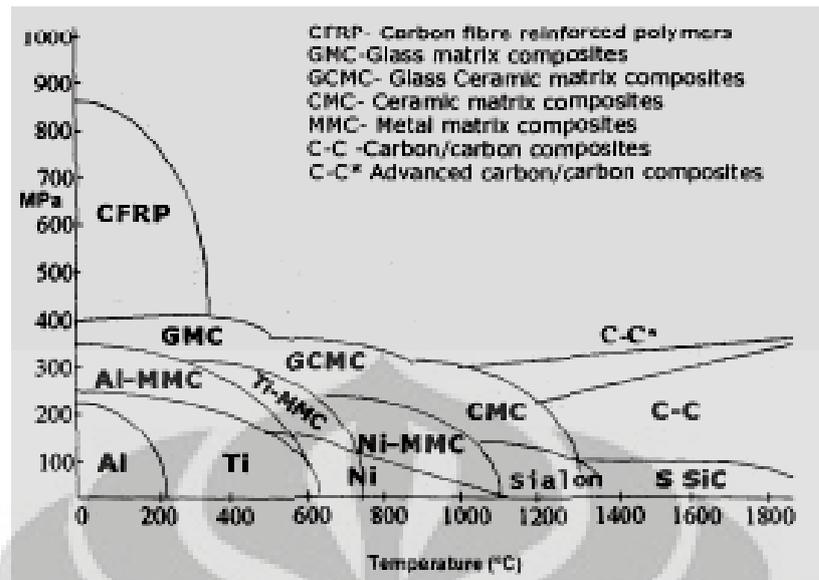
Dimana: γ_{SV} = tegangan permukaan *solid-vapour*
 γ_{SL} = tegangan permukaan *solid- liquid*
 γ_{LV} = tegangan permukaan *liquid-vapour*
 θ = sudut kontak

2.1.1. Karbon – Karbon Komposit

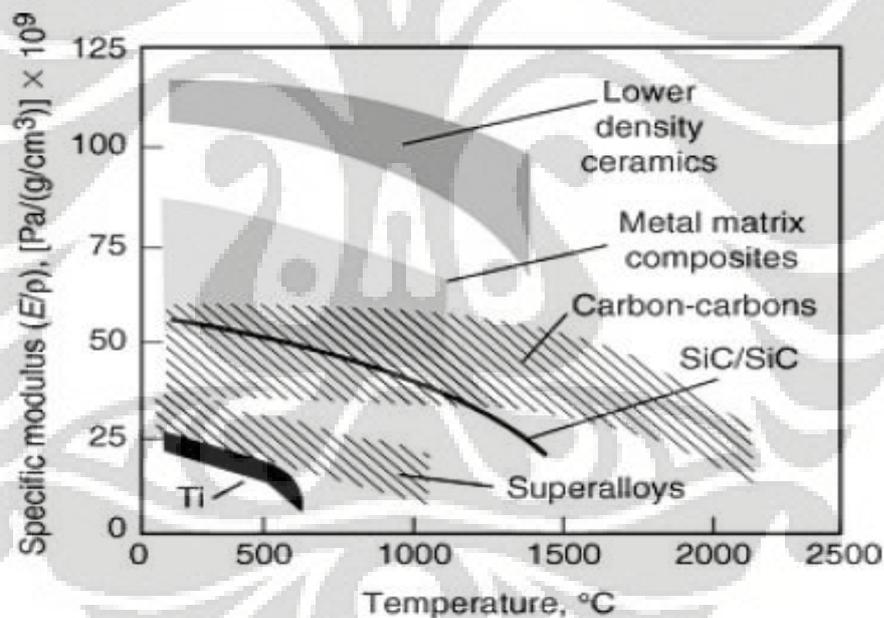
Karbon – karbon komposit adalah jenis material baru yang hampir mirip keramik tetapi berasal dari alam tetapi menunjukkan sifat *brittle* dan *pseudoplastic*. Seperti kebanyakan material komposit, karbon – karbon komposit mempunyai tujuan untuk mengkombinasikan keuntungan dari material penyusunnya.

Karbon – karbon komposit diproduksi dengan orientasi penguat yang berbeda. mulai dari struktur *unidirectional*, struktur *bi-directional*, struktur *multi-directional*. penguat dengan struktur *multi-directional* memberikan tingkatan yang maksimum dari sifat mekanis material komposit [12].

Karbon - karbon komposit memiliki densitas antara 1,6 - 2,0 gr/cm³, jauh lebih rendah dibanding kebanyakan metal dan keramik sehingga membuat komponen menjadi lebih ringan dimana merupakan hal terpenting dalam pembuatan kapal luar angkasa [13]. Kekuatan mekanis dari karbon - karbon komposit meningkat dengan dengan kenaikan suhu, berlawanan dengan kekuatan logam dan keramik, yang turun dengan suhu naik. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.2 dan Gambar 2.3 dibawah ini.



Gambar 2.2 Variasi dari kekuatan beberapa material terhadap temperatur [3]



Gambar 2.3 Perbandingan temperatur terhadap nilai modulus beberapa material komposit [10]

Secara umum pembuatan, karbon – karbon komposit memiliki beberapa metode diantaranya adalah [12]:

1. Proses *liquid phase infiltration*
2. Proses CVD (*chemical vapor deposition*)

Diantara kedua metode tersebut, pembuatan karbon – karbon komposit memiliki hasil yang baik dalam modulus elastisitas dan kekuatan mekanik saat menggunakan metode CVD. Berikut ini sifat – sifat yang dimiliki oleh karbon – karbon komposit, yaitu [12]:

- a. Densitas yang rendah ($114 \text{ lb/ft}^3 / 1.83 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$);
- b. Kekuatan yang tinggi pada temperatur tinggi $3000 \text{ }^\circ\text{C}$ di temperatur tidak teroksidasi;
- c. Konduktifitas termal yang tinggi;
- d. Ketahanan panas yang baik;
- e. Memiliki koefisien perpindahan panas yang rendah;
- f. Modulus Elastisitas yang tinggi (lebih dari $29000 \text{ ksi} / 200 \text{ GPa}$);
- g. Kekuatan yang tinggi;
- h. Ketahanan aus yang tinggi;
- i. Konduktivitas listrik yang tinggi;

Karena keunggulan dari sifat – sifatnya itu maka material karbon – karbon komposit banyak digunakan untuk [12]:

- a. Performa yang baik untuk pengereman tingkat tinggi (*brake disc* untuk pesawat berkecepatan tinggi);
- b. Material refractory;
- c. Cetakan *hot-pressed*;
- d. Elemen yang dipanaskan;
- e. Komponen pada mesin turbo jet.

2.2. Material

2.2.1. Batu Bara

Batubara adalah material yang cukup melimpah di Indonesia. Batubara adalah salah satu bahan bakar yang berasal fosil. Pengertian umumnya adalah batuan sedimen yang dapat terbakar, terbentuk dari endapan organik, utamanya adalah sisa-sisa tumbuhan dan terbentuk melalui proses pembatubaraan. Unsur-unsur utamanya terdiri dari karbon, hidrogen dan oksigen. Karena batubara mempunyai kandungan karbon yang cukup tinggi maka sangat cocok digunakan sebagai aplikasi karbon – karbon komposit. Berdasarkan tingkat proses

pembentukannya yang dikontrol oleh tekanan, panas dan waktu, batu bara umumnya dibagi dalam lima kelas yaitu [14]:

1. Antrasit

Merupakan kelas batu bara tertinggi, dengan warna hitam berkilauan (*luster*) metalik, mengandung antara 86% - 98% unsur karbon (C) dengan kadar air kurang dari 8%.

2. Bituminus

Mengandung 68 - 86% unsur karbon (C) dan berkadar air 8-10% dari beratnya. Kelas batu bara yang paling banyak ditambang di Australia.

3. Sub-bituminus

Mengandung sedikit karbon dan banyak air, dan oleh karenanya menjadi sumber panas yang kurang efisien dibandingkan dengan bituminus.

4. Lignit atau batu bara coklat

Merupakan batu bara yang sangat lunak yang mengandung air 35-75% dari beratnya.

5. Gambut

Merupakan batubara yang berpori dan memiliki kadar air di atas 75% serta nilai kalori yang paling rendah.

Batubara mempunyai densitas sebesar 1,5 gr/ m³. Untuk kandungan unsure dari batubara terdapat pada Tabel 2.1 dibawah ini.

Tabel 2.1 Kandungan unsur pada batubara [15]

ANALYSIS PARAMETER	Sample Mark	Unit	Standard Acuan
	AB		
	No.Lab 3487/09		
Carbon	72,31	%	ASTM D 5373
Hydrogen	3,39	%	ASTM D 5374
Nitrogen	1,36	%	ASTM D 5375
Total Sulfur	1,7	%	ASTM D 4239

2.2.1.1. 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 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

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 mulai terjadi secara perlahan, kemudian menjadi lebih cepat ketika temperature melewati 2200°C . Grafitisasi terhadap struktur tersebut dapat dianalisa oleh difraksi sinar X-ray.

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 [16].

2.2.2. *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 [17].

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 [17]. Pada Tabel 2.2 dibawah ini dijelaskan sifat dari *coal tar pitch*.

Table 2.2 Sifat *coal tar pitch* [18]

Property	Value	Comment / Reference
Physical state	black solid	-
Melting point	65 – 150 °C	Softening range; CCSG (2006a)
Boling point	>360 °C	At 1013 hPa
Density	1,15 – 1,4 g/cm ³	At 20 °C; ASTM D 71; CCSG (2006a)
Vapour pressure	<0,1 Pa <10 Pa	At 20 °C At 200 °C; OECD 104; CCSG (2006a)
Water solubility	< 1 mg/L at 20 °C	No test report were available. Data are from data sheet (ACCCI, 1992; van den bosch, 1997)(see also HEDSET)
Partition coefficient n – octanol / water (log value)	-	Not applicable
Flash point	>250 °C	ISO 2719; CCSG (2006a)
Flammability	Non flammable	No test report were available. Data are from data sheet (ACCCI, 1992; van den bosch, 1997)(see also HEDSET)
Auto ignition temperature	>450 °C	At 1013 hPa; DIN 51794; CCSG (2006a)
Explosive properties	Non explosive	CCSG (2006a)
Oxidizing properties	Non oxidizing	CCSG (2006a)

2.3. Metalurgi Serbuk

Proses metalurgi serbuk merupakan mekanisme proses yang mempelajari sifat-sifat serbuk logam mulai dari fabrikasi, karakteristik, hingga konversi serbuk logam menjadi komponen produk [8]. Teknologi Metalurgi Serbuk memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan proses lain dalam menghasilkan produk.

Serbuk didefinisikan sebagai suatu padatan yang memiliki dimensi ukuran lebih kecil dari 1 mm [8]. Karakteristik serbuk awal dapat mempengaruhi kemampuan serbuk logam untuk dikompaksi dan sifat serbuk kompaksi sebelum dan sesudah sinter. Karakteristik dasar serbuk tersebut meliputi ukuran serbuk, distribusi ukuran serbuk, bentuk serbuk, berat jenis serbuk, mampu alir (*flowability*), dan mampu tekan (*compressibility*) [19]. Berikut ini merupakan karakteristik serbuk:

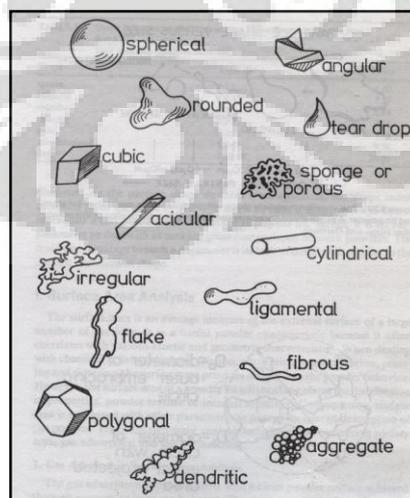
1. Ukuran dan Distribusi Partikel Serbuk

Ukuran partikel ini dapat didefinisikan sebagai ukuran linier partikel oleh analisa ayak [4]. Ukuran partikel akan berpengaruh terhadap porositas dan densitas bakalan serta sifat mekanisnya. Ukuran partikel juga akan menentukan stabilitas dimensi, pelepasan gas yang terperangkap dan karakteristik selama pencampuran. Semakin halus ukuran serbuk partikel, maka akan semakin besar berat jenis bakalan (*green density*) tersebut [19].

Distribusi ukuran partikel serbuk menyatakan distribusi atau sebaran serbuk untuk ukuran tertentu yang bertujuan untuk menampilkan hasil pengukuran kerapatan maksimum suatu partikel. Distribusi ukuran partikel serbuk ini sangat menentukan kemampuan partikel dalam mengisi ruang kosong antar partikel untuk mencapai volume terpadat yang pada akhirnya akan menentukan besarnya densitas dan porositas, serta kekuatan dari bakalan.

2. Bentuk Partikel Serbuk

Bentuk partikel serbuk merupakan faktor penting yang mempengaruhi sifat massa serbuk, seperti efisiensi pemadatan (*packing efficiency*), mampu alir (*flowability*), dan mampu tekan (*compressibility*). Bentuk partikel dapat memberikan informasi mengenai proses fabrikasi serbuk dan membantu menjelaskan karakteristik proses. Berbagai bentuk partikel dari serbuk dapat dilihat pada Gambar 2.4. Bentuk partikel serbuk akan mempengaruhi luas permukaan serbuk dan gesekan antarpartikel serbuk. Hal ini akan mempengaruhi perpindahan serbuk ketika dilakukan penekanan pada saat proses kompaksi. Peningkatan luas permukaan partikel (semakin kecil ukuran partikel, semakin tidak beraturan bentuk partikel, semakin kasar permukaan partikel) akan meningkatkan reaktivitas kimia serbuk. Hal tersebut juga akan meningkatkan penyerapan gas dan uap air dari lingkungan sehingga akan terbentuk oksida-oksida pada permukaan partikel yang dapat mengganggu proses kompaksi dan sinter [6].



Gambar 2.4 Bentuk partikel serbuk [8]

3. Berat Jenis Serbuk

Berat jenis serbuk biasa dinyatakan dalam satuan gram/cm^3 . Dalam proses metalurgi serbuk terdapat beberapa istilah mengenai berat jenis serbuk, yakni [8]:

- a. *Apparent density* atau *bulk density* didefinisikan sebagai berat per satuan volume dari serbuk lepas.
- b. *Tap density* didefinisikan sebagai berat jenis tertinggi yang dicapai dengan variasi tanpa aplikasi tekanan luar.
- c. *Green density* didefinisikan sebagai berat jenis serbuk setelah serbuk mengalami penekanan kompaksi untuk proses pemanasan (*sintering*).
- d. *Theoretical density* didefinisikan sebagai berat jenis sesungguhnya dari material serbuk ketika material serbuk tersebut ditekan hingga menghasilkan serbuk tanpa pori.

4. Mampu Alir (*Flowability*) Serbuk

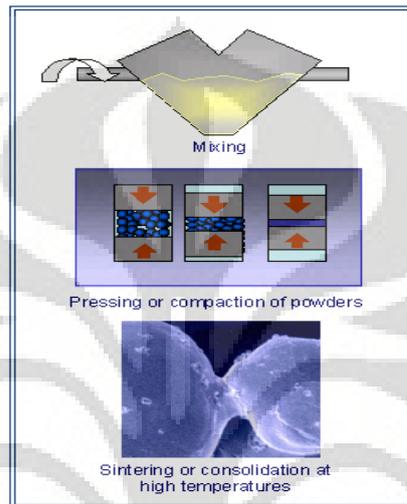
Mampu alir serbuk merupakan karakteristik yang menggambarkan sifat alir serbuk dan kemampuan serbuk untuk memenuhi ruang cetakan [8]. Karakteristik serbuk seperti berat jenis (*apparent density*) seringkali dihubungkan dengan gesekan antar partikel. Pada umumnya faktor-faktor yang mengurangi gesekan antarpartikel atau meningkatkan berat jenis (*apparent density*), seperti partikel bulat dan halus, akan meningkatkan mampu alir serbuk [6].

5. Mampu Tekan (*Compressibility*)

Mampu tekan serbuk merupakan perbandingan volume serbuk mula-mula dengan volume benda yang ditekan yang nilainya berbeda-beda tergantung distribusi ukuran serbuk dan bentuk butirnya [17]. Besarnya mampu tekan serbuk dapat dipengaruhi oleh efek gesekan antarpartikel. Serbuk yang memiliki bentuk lebih teratur, lebih halus, dan sedikit porositas antarpartikel akan memiliki mampu tekan dan *green density* yang lebih tinggi dibandingkan serbuk yang kasar.

Secara garis besar, tahapan dalam proses metalurgi serbuk seperti pada Gambar 2.5 yaitu:

1. Pencampuran (*mixing*)
2. Kompaksi (*compaction/pressing*)
3. Proses Sinter (*sintering/consolidation*)



Gambar 2.5 Tahapan proses metalurgi serbuk [20]

2.3.1. Pencampuran dan Pengadukan Partikel Serbuk

Pencampuran dan pengadukan partikel serbuk didefinisikan sebagai proses bercampurnya serbuk secara sempurna dengan masing-masing besaran komposisi guna menghasilkan serbuk yang homogen [21]. Dalam pencampuran dan pengadukan serbuk, variabel yang berpengaruh adalah jenis material, ukuran partikel, jenis pengadukan, ukuran pengaduk, dan waktu pengadukan [19]. Nilai gaya gesek antar partikel serbuk merupakan hal yang menentukan keberhasilan pencampuran dan pengadukan serbuk. Berikut ini metoda pencampuran yang digunakan, yaitu [4]:

- a) Difusi, merupakan pencampuran karena gerak antarpartikel serbuk yang dihasilkan oleh perputaran drum
- b) Konveksi, merupakan pencampuran karena ulir di dalam kontainer berputar pada porosnya
- c) Geser, merupakan pencampuran karena menggunakan suatu media pengaduk

Dampak negatif pengadukan dan pencampuran terhadap serbuk, diantaranya [4]:

- a) Partikel logam akan lebih sulit dikompaksi.
- b) Kontaminasi terhadap serbuk dapat terjadi selama pengadukan dan pencampuran
- c) Disain alat pencampur yang buruk dapat mengakibatkan segregasi partikel

2.3.2. Kompaksi

Kompaksi adalah suatu proses pembentukan atau pemampatan terhadap serbuk murni, paduan atau campuran dari berbagai jenis serbuk sehingga mempunyai bentuk tertentu dan mempunyai kekuatan yang cukup untuk mengalami proses selanjutnya [4]. Peningkatan tekanan akan menghasilkan penurunan porositas. Ketika tekanan kompaksi dinaikkan, jumlah partikel yang mengalami deformasi plastis akan meningkat [7]. Dengan tekanan yang cukup, seluruh partikel akan mengalami *work (strain) hardening* ketika jumlah porositas berkurang [8].

Pada saat kompaksi, terdapat beberapa tahapan yang terjadi pada serbuk, yaitu [4]:

1. Penataulangan Partikel Serbuk (*Rearrangement*)

Pada saat dimulai tekanan, serbuk mulai mengalami penyesuaian letak pada tempat-tempat yang lebih luas atau dengan kata lain belum terjadi deformasi pada partikel serbuk tersebut. Pergerakan dan pengaturan kembali partikel-partikel serbuk akibat adanya tekanan menyebabkan partikel serbuk tersusun lebih rata. Gerakan penyusunan kembali partikel ini dibatasi oleh adanya gaya gesek antar partikel, atau antara partikel dengan permukaan cetakan, permukaan penekan dan inti. Pergerakan partikel cenderung terjadi di dalam massa serbuk pada tekanan yang relatif rendah sehingga kecepatan tekanan yang rendah akan memberikan kesempatan pada partikel untuk membentuk susunan yang terpadat.

2. Deformasi Elastis Partikel Serbuk

Pada tahap ini serbuk mulai bersentuhan dan apabila penekanan dihentikan, maka serbuk akan kembali ke bentuk semula. Umumnya deformasi elastis dapat dilihat dengan dimensi bakalan yang sedikit membesar saat dikeluarkan dari cetakan. Kecenderungan deformasi elastis meningkat dengan menurunnya nilai modulus elastisitas.

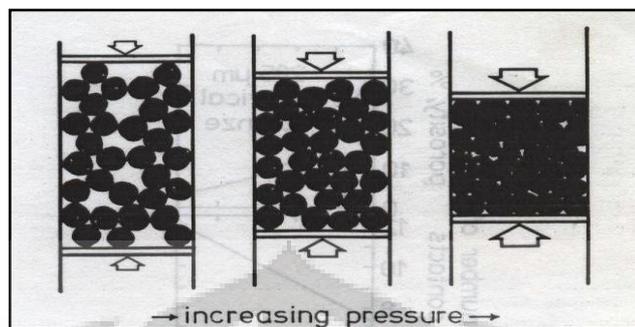
3. Deformasi Plastis Partikel Serbuk

Deformasi plastis merupakan bagian terpenting dari mekanisme pemadatan (*densification*) selama kompaksi berlangsung. Pada tahap ini, semakin tinggi tekanan kompaksi yang diberikan akan menyebabkan semakin meningkatnya derajat deformasi plastis dan pemadatan yang terjadi. Ada beberapa faktor yang menentukan deformasi plastis, antara lain kekerasan dan perpindahan tegangan antar partikel yang berdekatan dan terjadi peningkatan nilai kekerasan.

4. Penghancuran Partikel Serbuk

Setelah serbuk mengalami deformasi plastis, serbuk mengalami *mechanical interlocking* (antar butir saling mengunci). Mekanisme ini disebut ikatan *cold weld*, yaitu ikatan antara dua permukaan butiran logam yang bersih yang ditimbulkan oleh gaya kohesi, tidak ada peleburan atau pengaruh panas. Pada umumnya permukaan serbuk akan teroksidasi, namun dibawah permukaan oksida terdapat permukaan yang bersih. Oleh karena itu, diperlukan pemecahan lapisan oksida sebelum terjadi *cold weld*. Ketika serbuk ditekan, berat jenis serbuk naik, porositas menurun karena rongga berkurang. Selain itu, serbuk juga mengalami distribusi berat jenis yang tidak merata, pada bagian atas (dekat *punch*) berat jenis serbuk lebih besar dibandingkan pada bagian tengah.

Gambar 2.6 mengilustrasikan perilaku dari serbuk ketika sedang dilakukan kompaksi.



Gambar 2.6 Perilaku serbuk saat kompaksi [22].

2.3.3. Proses Sinter

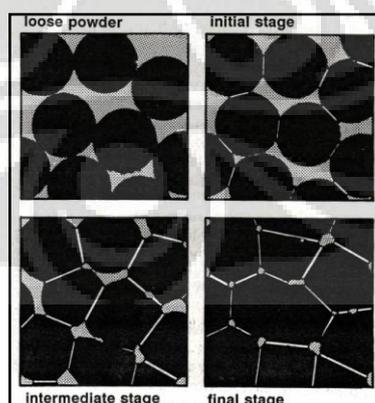
Proses sinter diartikan sebagai perlakuan panas untuk mengikat partikel-partikel menjadi koheren, menghasilkan struktur padat melalui transport massa yang biasa terjadi dalam skala atomik. Ikatan yang terbentuk akan meningkatkan kekuatan dan menurunkan energi dari sistem [8]. Proses sinter biasanya akan diikuti dengan adanya peningkatan sifat mekanik jika dibandingkan dengan material hasil kompaksi yang belum melalui proses sinter. Hal ini diakibatkan oleh penyatuan dari partikel-partikel tersebut akan dapat meningkatkan densitas (kepadatan) produk atau biasa disebut proses densifikasi (pemadatan)[19]. Gaya penggerak utama pada proses sinter adalah penurunan energi bebas sistem. Ikatan yang terbentuk akan meningkatkan kekuatan dan menurunkan energi dari sistem [8]. Pada Tabel 2.3 dijelaskan pengaruh proses sinter dan efek yang dihasilkan dari perubahan itu.

Tabel 2.3. Pengaruh proses sinter [8]

Perubahan Proses Sinter	Efek
Penurunan ukuran partikel	Proses sinter lebih cepat Biaya yang lebih tinggi Kemurnian lebih tinggi Meningkatkan bahaya
Peningkatan waktu sinter	Biaya lebih tinggi Pertumbuhan dan pengkasaran butir Mengurangi produktivitas
Peningkatan temperatur sinter	Penyusutan lebih besar Pertumbuhan butir Biaya lebih tinggi Keakuratan kurang Sifat mekanik lebih baik Keterbatasan tanur Pengkasaran Pori
Peningkatan <i>green density</i>	Penyusutan berkurang Pori yang lebih kecil Densitas akhir lebih tinggi Dimensi seragam <i>Density gradients</i>
Peningkatan paduan / <i>additives</i>	Kekuatan lebih tinggi Masalah homogenitas Temperatur sinter lebih tinggi
Penggunaan <i>sintering aids</i>	Sinter lebih cepat Temperatur sinter lebih rendah Penggetasan (<i>Embrittlement</i>) Distorsi Kontrol pertumbuhan butir

2.3.3.1. Tahapan Proses Sinter

Tahapan pada proses sinter menggambarkan perubahan bakalan menjadi kuat dan padat, seperti yang terlihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Partikel serbuk pada berbagai tahapan proses sinter [23]

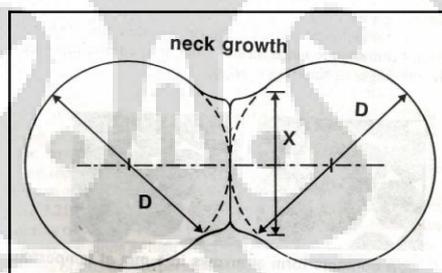
Beberapa tahapan yang dialami oleh partikel-partikel serbuk pada proses sinter adalah sebagai berikut [22]:

1. Pengaturan Kembali

Pada awal tahap ini, partikel lepas membentuk kontak dengan partikel lainnya pada orientasi acak. Tahap adhesi terjadi secara spontan dengan pembentukan ikatan sinter yang baru dimulai. Kekuatan ikatan kontak yang terjadi masih lemah dan belum terjadi perubahan dimensi bakalan. Semakin tinggi berat jenis bakalan maka bidang kontak yang terjadi antar partikel juga semakin banyak sehingga ikatan yang terjadi pada proses sinter pun semakin besar. Pengotor yang menempel pada batas kontak mengurangi jumlah bidang kontak sehingga kekuatan produk sinter juga menurun.

2. *Initial Stage*

Pada tahap ini, pada daerah kontak antar partikel terjadi perpindahan massa yang menyebabkan terjadinya pertumbuhan leher. Tahap ini berakhir saat rasio ukuran leher (X/D) mencapai 0,3 [23]. Pada tahap ini pula pori mulai terpisah karena titik kontak membentuk batas butir. Selain itu, terjadi pula penyusutan (*shrinkage*), pengurangan luas permukaan, dan pepadatan. Ilustrasi dari tahapan tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.8.



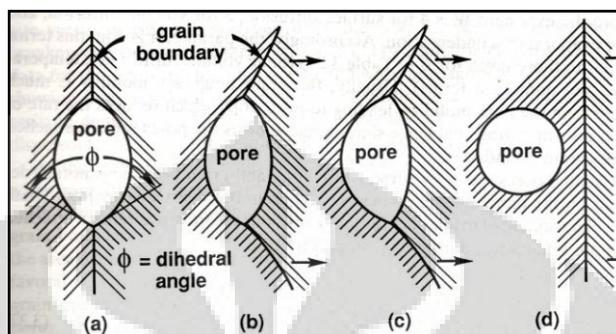
Gambar 2.8 Tahap pertumbuhan leher dengan rasio X/D [23]

3. *Intermediate Stage*

Tahap ini merupakan tahap terpenting dalam penentuan terhadap pepadatan (densifikasi) dan sifat mekanik bakalan sinter. Tahap ini ditandai dengan proses pepadatan, pertumbuhan butir dan struktur pori menjadi halus. Geometri batas butir dan pori yang terjadi pada tahap ini tergantung pada laju proses sinter. Mulanya, pori terletak pada bagian batas butir yang memberikan struktur pori. Sedangkan pepadatan yang terjadi pada tahap ini diikuti oleh difusi volume dan difusi batas butir. Semakin tinggi temperatur dan waktu tahan sinter serta semakin kecil partikel serbuk, maka ikatan dan densifikasi yang terjadi juga semakin tinggi.

4. Final Stage

Pada tahapan ini proses berjalan lambat. Pori-pori yang bulat meyusut dengan adanya mekanisme difusi ruah (*bulk diffusion*). Pemisahan pori pada tahap akhir ini dapat dilihat Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Pemisahan dan pembulatan pori pada final stage [23]

Untuk pori yang berada di batas butir, sudut dihedral yang kecil menyebabkan gaya menjadi besar. Setelah batas butir meluncur, pori akan berdifusi ke batas butir sehingga mengalami penyusutan, dimana proses ini berlangsung lambat. Dengan waktu pemanasan yang berlangsung lama, pengkasaran pori akan menyebabkan ukuran pori rata-rata meningkat, sedangkan jumlah pori akan berkurang. Jika pori memiliki gas yang terperangkap, maka kelarutan gas dalam matriks akan mempengaruhi laju pengurangan pori.

2.3.3.2. Mekanisme Transport Massa

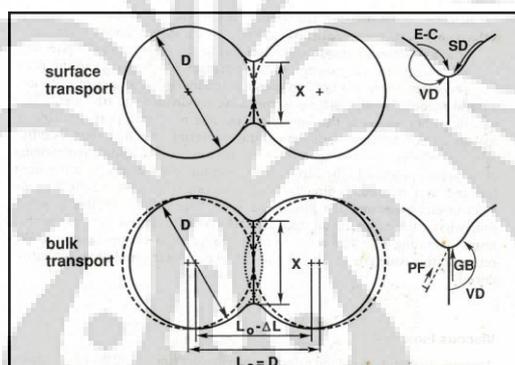
Terdapat dua mekanisme transport massa yang terjadi dalam proses sinter, yaitu sebagai berikut [10]:

1. Transport Permukaan (*Surface Transport*)

Transport permukaan menghasilkan pertumbuhan leher tanpa terjadi perubahan jarak antar partikel (tidak ada penyusutan dan densifikasi) karena massa mengalir dan berakhir pada permukaan partikel. Difusi permukaan dan penguapan-kondensasi merupakan kontribusi penting selama sinter transport permukaan.

2. Transport Ruah (*Bulk Transport*)

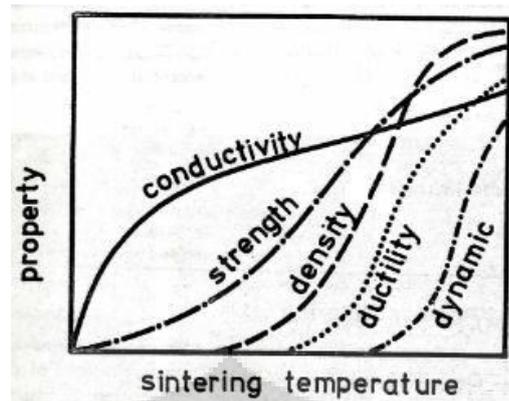
Transport ruah melibatkan difusi volume, difusi batas butir, aliran plastis, dan aliran rekat. Aliran plastis biasanya penting hanya selama waktu pemanasan, terutama untuk serbuk yang telah dikompaksi, dimana berat jenis dislokasi awal tinggi. Lain halnya dengan material *amorphous* seperti polimer dan gelas, yang disinter dengan aliran rekat, di mana partikel-partikelnya bersatu tergantung pada ukuran partikel dan sifat merekat material. Pembentukan aliran rekat juga memungkinkan untuk logam dengan fasa cair pada batas butir. Difusi batas butir penting untuk densifikasi material kristalin. Umumnya, transport ruah aktif pada temperatur tinggi. Gambar 2.10 mengilustrasikan mekanisme dari transport masa.



Gambar 2.10 Mekanisme transport massa [23]

2.3.3.3. Pengaruh Temperatur Sinter

Temperatur sangat mempengaruhi perpindahan massa pada proses sinter karena dengan meningkatnya temperatur sinter, akan mendorong terjadinya *interdiffusion* dari serbuk hasil kompaksi (*green compact*) dan meningkatkan kepadatan produk hasil proses sinter. Sehingga, dengan semakin meningkatnya temperatur sinter, semakin meningkat pula sifat mekanis bakalan yang telah dilakukan proses sinter. Pada Gambar 2.11 ditunjukkan pengaruh temperatur sinter terhadap sifat mekanik dari material.



Gambar 2.11. Pengaruh temperatur sinter terhadap sifat mekanik [8]

2.3.3.4. Atmosfer Sinter

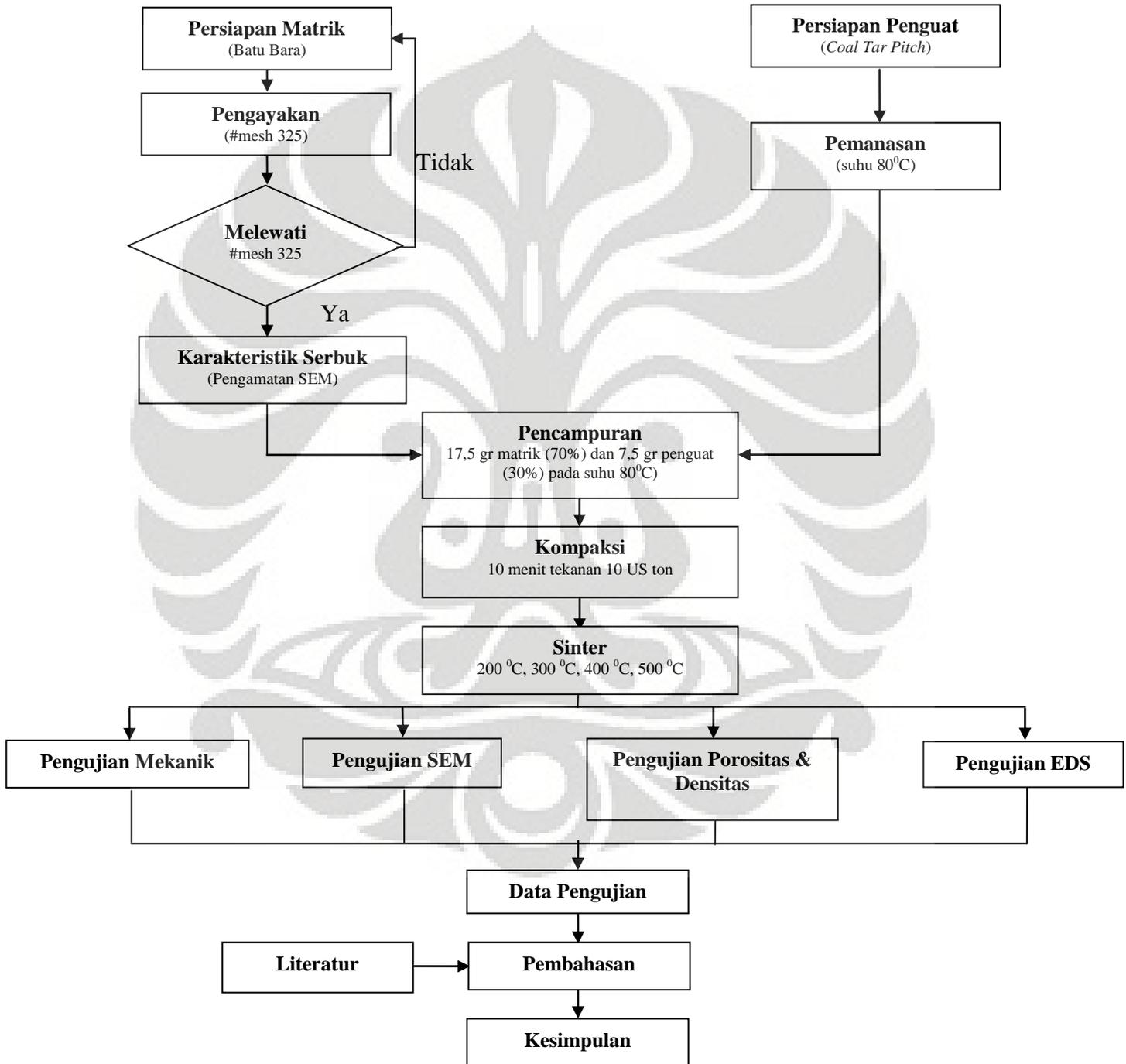
Penggunaan atmosfer sinter bertujuan untuk mengontrol atau melindungi logam dari oksida selama proses sinter berlangsung [8]. Gas-gas yang tidak diinginkan dalam atmosfer sinter tidak hanya dapat bereaksi pada permukaan luar bakalan saja, tetapi juga dapat berpenetrasi ke struktur pori dan bereaksi ke dalam permukaan bakalan [18]. Terdapat enam jenis atmosfer yang dapat digunakan untuk melindungi bakalan, yakni hidrogen, amoniak, gas *inert*, nitrogen, vakum dan gas alam. Sebagai contoh, atmosfer vakum sering digunakan sebagai atmosfer sinter karena prosesnya bersih dan kontrol atmosfer mudah. Atmosfer hidrogen juga disukai karena kemampuannya untuk mereduksi oksida dan menghasilkan atmosfer dekarburisasi untuk logam ferrous.

Pengontrolan atmosfer merupakan hal yang cukup penting selama proses sinter berlangsung. Namun bukan hanya atmosfer yang dapat menyebabkan terjadinya reaksi kimia, tetapi juga serbuk yang telah dikompaksi biasanya terkontaminasi oleh oksida-oksida, karbon, dan gas-gas yang terperangkap, sehingga ketika dilakukan pemanasan terjadi perubahan komposisi atmosfer sinter [8].

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

4.1. Diagram Alir Penelitian

Gambar 3.1 merupakan diagram alir dalam penelitian pengaruh temperature sinter terhadap komposit batubara – *coal tar pitch*.



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

4.2. Alat & Bahan

4.2.1. Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

- | | |
|------------------------|--|
| a) <i>Beaker Glass</i> | h) Mesin pengguncang |
| b) Timbangan Digital | i) <i>Hydraulic Pressure Machine</i> |
| c) Kompor Listrik | j) Oven |
| d) Panci kecil | k) <i>Universal Testing Machine</i> |
| e) Alkohol 70% | l) <i>Scanning Electron Microscope</i> |
| f) Pengaduk | m) Alat Uji Porositas & Densitas |
| g) Cetakan silinder | n) <i>Brinell Testing Machine</i> |

4.2.2. Bahan

Untuk setiap komposisi sampel dibutuhkan 25 gram hasil pencampuran 17,5 gr matrik dan 7,5 gr penguat. Berikut ini bahan yang digunakan dalam penelitian :

- a) Batu Bara

Dalam penelitian ini menggunakan batubara dengan kandungan yang disebutkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Kandungan unsur pada batubara [15]

ANALYSIS PARAMETER	Sample Mark		Unit	Standard Acuan
	AB			
	No.Lab 3487/09			
Carbon	72,31		%	ASTM D 5373
Hydrogen	3,39		%	ASTM D 5374
Nitrogen	1,36		%	ASTM D 5375
Total Sulfur	1,7		%	ASTM D 4239

- b) Coal 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 romatic dibanding dengan *pitch* yang berasal dari minyak bumi. Tabel 3.2 berisi tentang kandungan dari *coal tar pitch*.

Tabel 3.2 Kandungan unsur pada *coal tar pitch* [15]

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

4.3. Preparasi Sampel

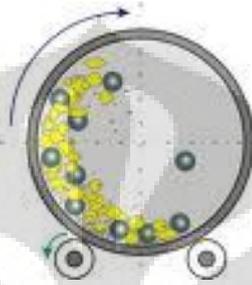
4.3.1. Persiapan Bahan Matrik dan Penguat

Sebelum melakukan tahap pertama preparasi sampel, dilakukan persiapan matrik terlebih dahulu. Dalam persiapan bahan matrik, dilakukan 2 buah tahap yaitu penghancuran batubara menjadi serbuk seperti Gambar 3.2 dan pengayakan. Proses ini bertujuan mendapatkan material batubara dengan ukuran partikel sebesar 44 μm . Alat yang digunakan pada proses ini adalah *ball mill* dan mesin pengguncang yang di atasnya tersusun beberapa *sieve number* seperti Gambar 3.3. Pada proses ini, penghancuran dan pengayakan hanya dilakukan pada material batubara, karena bentuk material *coal tar pitch* adalah *semi solid*, sehingga tidak memungkinkan untuk dilakukan proses pengayakan. Jumlah massa batubara yang didapatkan dari proses pengayakan adalah sekitar 1000 gram. Sebagian dari jumlah itu digunakan untuk *trial and error*.

Langkah – langkah dalam penghancuran dan pengayakan adalah sebagai berikut :

1. Sampel seberat 1 kg dipersiapkan.
2. Masukkan sampel ke dalam bejana keramik, hal ini dilakukan dalam beberapa kali karena bejana hanya mampu menampung 200 gr dan belum tentu langsung mendapatkan butir yang diinginkan.
3. Kemudian masukan bola – bola keramik yang berfungsi sebagai penghancur.
4. Nyalakan mesin dan tunggu selama 2 jam

5. Keluarkan serbuk yang telah dihancurkan untuk selanjutnya dimasukan ke alat pengayakan.
6. Lakukan pengayakan selama 2 jam
7. Setelah itu serbuk yang tidak tertahan, di kumpulkan kembali yang kemudian dilakukan proses penghancuran kembali.



Gambar 3.2 Ilustrasi proses ball mill [24]



Gambar 3.3 Mesin pengguncang pada proses pengayakan

4.4. Pembuatan Karbon Komposit Batu Bara – *Coal Tar Pitch*

4.4.1. Penentuan Penguat dan Matriks

Dalam pembuatan sampel ini besar berat matrik dan penguat yang digunakan, menggunakan perbandingan fraksi berat. Berat total yang diinginkan adalah 25 kg. Perbandingan yang digunakan adalah 70% matriks batubara dan 30% penguat *coal tar pitch*, yang pada proses selanjutnya penguat *coal tar pitch* akan menjadi penguat karbon. Bahan baku batubara yang akan digunakan berupa serbuk yang ukuran partikelnya sebesar 44 μm atau sekitar 0,0015 inci. Sedangkan material yang akan menjadi penguat, yaitu *coal tar pitch* memiliki bentuk *semi solid*.

Tahapannya adalah :

1. Mempersiapkan timbangan digital (Gambar 3.4)
2. Menimbang berat dari matrik batubara yakni $70\% \times 25 \text{ gr} = 17,5 \text{ gr}$
3. Menimbang berat dari matrik *coal tar pitch* yakni $30\% \times 25 \text{ gr} = 7,5 \text{ gr}$



Gambar 3.4 Timbangan digital

4.4.2. Proses Pencampuran

Proses selanjutnya yang dilakukan setelah penimbangan adalah proses pencampuran (*mixing*) dari bahan-bahan yang telah ditimbang sebelumnya. Masing-masing komponen dicampur ke dalam panci (Gambar 3.5) dengan terus dipanaskan di atas kompor listrik. Proses pengadukan dilakukan secara manual dengan menggunakan tangan.

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

1. Siapkan bahan-bahan
2. Bersihkan panci dan pengaduk dengan menggunakan alcohol 70 %
3. Nyalakan kompor listrik lalu letakkan panci yang telah dibersihkan sebelumnya di atas kompor listrik tersebut.
4. Siapkan *coal tar pitch* 7,5 gram dan masukkan ke dalam panci. Tunggu hingga *coal tar pitch* mencair
5. Masukkan serbuk batubara ke dalam *coal tar pitch* yang telah mencair secara perlahan dan diaduk dengan menggunakan pengaduk.

6. Aduk campuran antara batubara dan *coal tar pitch* tersebut hingga merata seluruhnya (kurang lebih waktu pengadukan selama 5 menit)
7. Masukkan campuran batubara dan *coal tar pitch* tersebut ke dalam *dies* silinder untuk selanjutnya dilakukan proses kompaksi



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

4.4.3. Proses Kompaksi

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 seperti pada Gambar 3.6. Tahapan – tahapan dalam proses kompaksi ini adalah :

1. Masukkan campuran kedalam cetakan.
2. Kemudian masukan penekan kedalam cetakan, lalu letakan cetakan di mesin kompaksi.
3. Lakukan penekanan secara bertahap hingga mencapai tekanan 10 US ton atau sekitar 9,1 metrics ton menggunakan mesin kompaksi (Gambar 3.7).
4. Lalu ditahan selama sekitar 5 menit.
5. Keluarkan sampel yang hasil kompaksi dari cetakan.
6. Sampel siap untuk dilakukan sinter



Gambar 3.6 Cetakan



Gambar 3.7 Mesin kompaksi

4.4.4. Proses Sinter

Proses sinter (pemanasan) dilakukan dengan menggunakan dapur vacuum yang dialiri oleh gas nitrogen. Proses sinter yang dilakukan dalam penelitian ini menggunakan 4 variabel temperatur sinter, yaitu 200 °C, 300 °C, 400 °C dan 500 °C dengan waktu tahan sinter konstan selama 15 menit.

Tahapan dari proses sinter yang dilakukan ialah sebagai berikut:

1. Menyiapkan sampel sebanyak 12 buah untuk setiap temperatur sinter (4 sampel berlebih diperuntukkan sebagai cadangan).
2. Letakkan sampel tersebut ke wadah keramik dan memasukkannya ke dalam dapur vacuum (Gambar 3.8).
3. Alirkan gas nitrogen ke dapur dan mengkondisikannya selama kurang lebih 10 menit.

4. Atur 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.
5. Menutup *input* dan *output* gas nitrogen pada dapur saat temperature sinter telah tercapai sehingga gas terperangkap.
6. Mengeluarkan sampel dari dalam dapur setelah temperatur di dalam dapur mencapai temperatur kamar.
7. Melakukan tahapan yang sama untuk temperatur sinter 300 °C, 400° C dan 500°C
8. Sampel yang telah mengalami proses sinter (*burn compact*) siap untuk dilakukan pengujian.



Gambar 3.8 Dapur untuk proses sinter

4.5. Pengujian Karbon Komposit Batu Bara – *Coal Tar Pitch*

4.5.1. 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 :

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

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)

4.5.2. Pengujian Porositas

Pengujian ini mengacu pada prosedur ASTM 378-88 dengan langkah pengujian sebagai berikut :

1. Menghitung nilai porositas sampel hasil percobaan dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\% \text{ Porositas} = \frac{D_{\text{teoritis}} - D_{\text{percobaan}}}{D_{\text{teoritis}}} \times 100\% \quad (3.2)$$

Dimana:

D_{teoritis} = densitas teoritis (gram/cm^3)

$D_{\text{percobaan}}$ = densitas percobaan (gram/cm^3)

2. Perhitungan nilai densitas teoritis dari sampel percobaan dengan menggunakan rumus adalah sebagai berikut:

$$\rho_{\text{komposit}} = (V_{\text{batubara}} \cdot \rho_{\text{batubara}}) + (V_{\text{coal tar pitch}} \cdot \rho_{\text{coal tar pitch}}) \quad (3.3)$$

4.5.3. Pengujian Tekan

Pengujian kuat tekan dilakukan untuk mengetahui hubungan antara temperatur sinter terhadap kemampuan material komposit alumunium batubara 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:

1. Mempersiapkan sampel yang akan dilakukan pengujian.
2. Menyalakan mesin uji *Tarno Grocki*.
3. Memasang sampel pada mesin uji *Tarno Grocki*.
4. Mengatur skala pembebanan pada mesin uji *Tarno Grocki*.
5. Melakukan pembebanan dengan kecepatan konstan.
6. Menghentikan pengujian ketika sampel telah pecah.
7. Membaca dan mencatat besarnya beban pada jarum penunjuk pada mesin uji *Tarno Grocki* (Gambar 3.9).
8. Menghitung kekuatan tekan dengan menggunakan rumus

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (3.4)$$

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 3.9 Mesin uji kuat tekan

4.5.4. Pengujian Kekerasan

Pengujian yang dilakukan dengan kekerasan makro menggunakan metode Brinell. Pada pengujian ini, nilai kekerasan suatu bahan ditentukan dengan diameter jejak dari indenter pada spesimen. Hasil penekanan adalah jejak berbentuk lingkaran bulat, yang harus dihitung diameternya di bawah mikroskop

khusus pengukur jejak. Pengukuran nilai kekerasan suatu material diberikan oleh rumus:

$$\text{BHN} = \frac{2P}{(\pi D)(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (3.5)$$

Dimana : P : beban (kg)
D : diameter indenter (mm)
d : diameter jejak (mm).

Pada pengujian kekerasan ini menggunakan besar beban (P) 250 kg, dengan diameter bola baja (D) 5 mm dan waktu indentasi 10 detik.

4.5.5. Pengamatan SEM & EDX

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 bias. 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 EDX, EDX merupakan suatu metode yang digunakan untuk menentukan radiasi spektrum energi sinar-X yang umumnya digunakan dalam analisis kimia. Analisis menggunakan EDX 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 EDX 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 EDX, dibutuhkan nitrogen cair sebagai pendingin sampel yang diamati ketika ditembakkan sinar X.

Pada penelitian ini pengujian SEM dilakukan untuk melihat karakteristik dari:

1. Serbuk batu bara yang digunakan.
2. Sampel karbon – karbon komposit batubara - *coal tar pitch* setelah dilakukan sinter.

Sedangkan untuk pengujian EDX dilakukan hanya pada sampel karbon – karbon komposit batubara - *coal tar pitch* setelah dilakukan sinter.

Prosedur pengujian SEM dan EDX adalah :

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

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Karakteristik Serbuk *As Recevied*

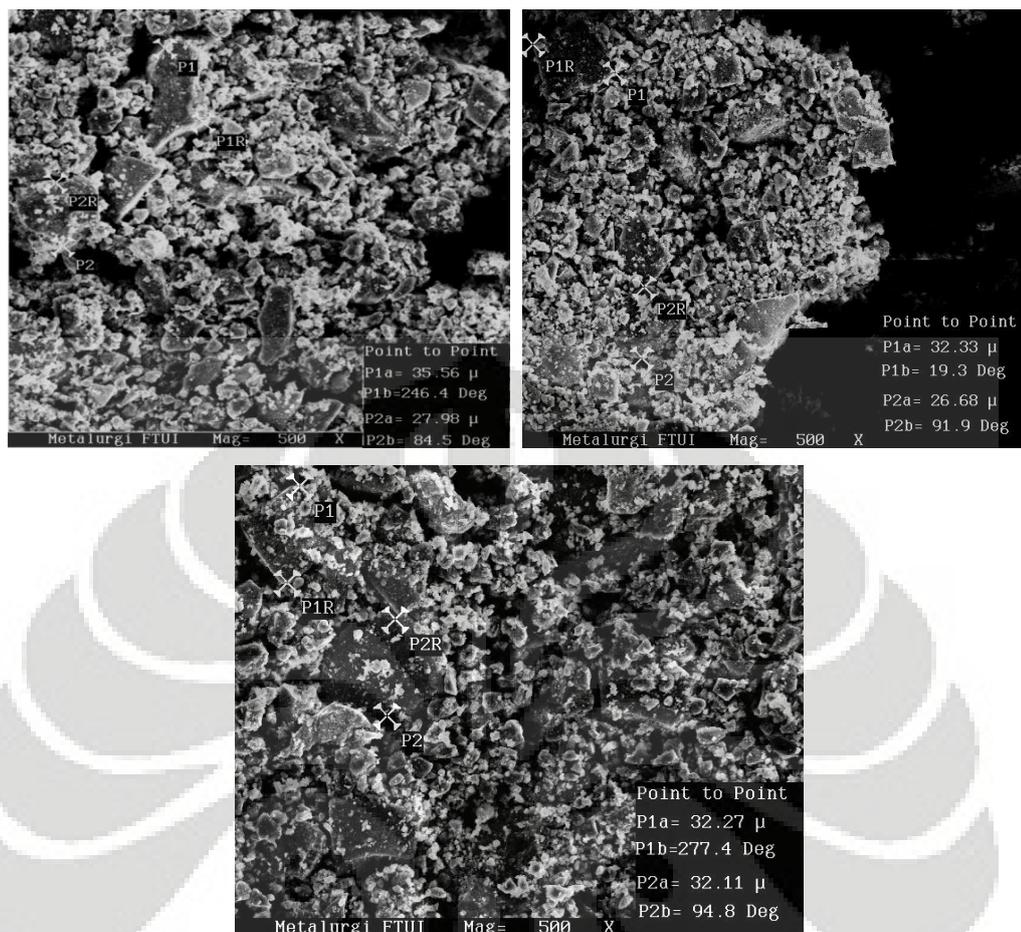
4.1.1. Distribusi Ukuran Partikel Batubara

Untuk melihat distribusi ukuran partikel hasil pengayakan dan bentuk partikel dari serbuk batubara diambil sebanyak 3 buah gambar dari pengamatan SEM. Dari hasil pengamatan SEM dengan perbesaran 500x dapat dilihat bentuk dari partikel batubara berupa angular. Hal itu dibuktikan dengan Tabel 4.1 dibawah ini :

Tabel 4.1 Data besar butir menggunakan SEM

Data	Besar Partikel (μm)
1	32,33
2	26,68
3	35,56
4	27,98
5	32,27
6	32,11
Rata-rata	31,15

Dari hasil pengamatan SEM didapat distribusi ukuran yang ditunjukkan pada tabel 4.1. dapat dilihat bahwa ukuran partikel terbesar yang didapat adalah 32,33; 26,68; 35,56; 27,98; 32,27 dan 32,11 sehingga didapatkan rata – rata ukuran partikel sebesar 31,15 untuk partikel yang paling besar, namun distribusi partikel yang paling banyak didapat jauh lebih kecil dari nilai tersebut, karena dapat dilihat pada Gambar 4.1 ukuran partikel yang besar jauh lebih sedikit dibanding ukuran partikel yang kecil. Dari analisa tersebut didapat kesimpulan bahwa hasil pengayakan untuk mendapat besar butir lebih kecil dari 44 μm telah tercapai. Hal ini semakin baik, karena 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.



Gambar 4.1 Hasil pengamatan SEM dengan perbesaran 500x terhadap serbuk batubara pada tempat yang berbeda

4.2. Pencampuran

Hasil dari pencampuran antara serbuk batu bara dan *coal tar pitch* yaitu berupa material serbuk juga. Hasil ini disebabkan dari lebih dominan serbuk batubara dibanding cairan *coal tar pitch*. Selain berfungsi sebagai penguat, *coal tar pitch* cair hasil pemanasan berfungsi juga sebagai pengikat antar partikel batubara. Pada proses pencampuran, material *coal tar pitch* yang telah cair saat dipanaskan harus segera dicampur dengan batubara secara perlahan. Apabila tidak maka akan banyak yang menguap. Hal ini akan mengurangi komposisi dari % berat batubara yang akan dicampur.

Selain itu proses pengadukan juga sangat berpengaruh. Saat serbuk batubara dicampur perlahan dengan *coal tar pitch* cair, proses pengadukan harus terus dilakukan. Hal ini agar pencampuran benar-benar merata. Selain itu, proses

pengadukan ini juga berfungsi agar tidak terdapat material serbuk batubara yang menggumpal saat dicampur dengan *coal tar pitch*. Penggumpalan ini harus dihindari karena nantinya akan menyebabkan pori pada material komposit batubara-*coal tar pitch*.

4.3. Pencetakan Sampel

Pada bakalan hasil kompaksi yang menunjukkan ada beberapa daerah di dekat permukaan bakalan yang terlihat adanya suatu bentuk penggumpalan atau segregasi, tetapi tidak terjadi di seluruh sampel pengujian. Penggumpalan atau segregasi ini terjadi disebabkan karena adanya perbedaan berat jenis serbuk logam dan larutan *coal tar pitch*. Adanya perbedaan berat jenis ini akan mempengaruhi persebaran serbuk sampel dimana serbuk dengan berat jenis lebih besar umumnya akan berada pada bagian bawah bakalan. Sedangkan serbuk dengan berat jenis yang rendah cenderung banyak berada di dekat permukaan bakalan. Selain itu, pada proses penuangan harus dihindari kecepatan penuangan yang tidak konstan karena dapat menyebabkan segregasi [8]. Karena itu untuk mencegah terjadinya segregasi yang besar, maka ketika 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 [8].

4.4. Proses Sinter

Proses sinter dilakukan pada keseluruhan sampel material komposit batubara - *coal tar pitch*. Terdapat tiga variable temperatur sinter yang diberikan, yaitu: 200°C, 300°C, 400°C dan 500°C, dengan waktu tahan sinter konstan, yakni selama 15 menit. Gas nitrogen digunakan sebagai gas inert dalam proses sinter. 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 [8]. 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 batubara - *coal tar pitch* juga ditemukan pada beberapa sampel

yang mungkin disebabkan karena proses pencampuran yang kurang merata antara batubara dan *coal tar pitch*.

4.5. Hasil Pembuatan Sampel

Sampel yang diperoleh dari proses sinter ditunjukkan oleh Gambar 4.2 dibawah. Besarnya diameter pada sampele yaitu sekitar 4 cm. Dari pengamatan visual terlihat bahwa pada material komposit batubara-*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 batubara-*coal tar pitch*.



Gambar 4.2 Material komposit batubara - *coal tar pitch* hasil sinter

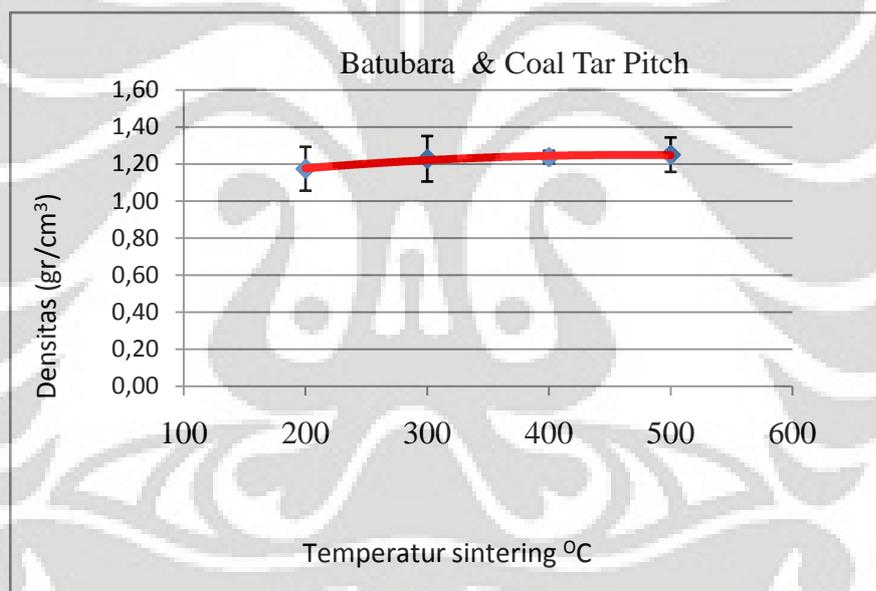
4.6. Pengaruh Temperatur terhadap Densitas Karbon Komposit Batu Bara –*Coal Tar Pitch*

Proses sinter menyediakan energi panas untuk pembentukan awal ikatan dan memperbaiki sifat dari material [8]. Pada proses sinter, partikel-partikel berikatan melalui peristiwa transport atom. Proses utama dalam sinter ini adalah reduksi volume karena adanya penyusutan poros dan eliminasi.

Pada penelitian ini, temperatur sinter yang dilakukan dimulai dari 200°C, 300°C, 400°C dan 500°C. Pada Tabel 4.2 dapat dilihat adanya peningkatan densitas seiring meningkatnya temperatur sinter :

Tabel 4.2 Pengaruh temperatur sinter terhadap densitas komposit batubara/*coal tar pitch*

Suhu (°C)	Densitas (gr/cm ³)	Rata - Rata Densitas (gr/cm ³)	Standart Deviasi
200	1,06	1,17	0,12
	1,16		
	1,30		
300	1,11	1,23	0,12
	1,22		
	1,35		
400	1,28	1,24	0,03
	1,21		
	1,22		
500	1,14	1,25	0,09
	1,30		
	1,31		



Gambar 4.3 Grafik pengaruh temperatur sinter terhadap densitas komposit batubara / *coal tar pitch*

Berdasarkan grafik pada Gambar 4.3 di atas, terlihat adanya kecenderungan peningkatan densitas seiring peningkatan temperatur sinter. Terjadi peningkatan rata – rata densitas saat temperatur sinter 200 °C sebesar 1.17 gr/cm³ menjadi 1.23 gr/cm³ saat temperatur sinter 300 °C, 1.24 gr/cm³ saat temperatur sinter 400 °C, dan 1.25 gr/cm³ saat temperatur 500 °C.

Dari data tersebut juga didapatkan trend dari hasil pengujian densitas. Trend yang didapat tidak menunjukkan densitas akan terus meningkat dengan adanya kenaikan temperatur, melainkan akan mengalami penurunan kembali pada temperatur setelah 500 °C.

Peningkatan densitas dari temperatur 200 °C sampai 500 °C tersebut dikarenakan pada proses sinter *coal tar pitch* mengalami penguapan dan meninggalkan partikel carbon yang kemudian berikatan satu sama lain dengan matrik batubara. *Coal tar pitch* merupakan *residu* dari batubara itu sendiri sehingga memiliki kandungan karbon dan memudahkannya untuk saling berikatan pada saat proses sinter. Proses kompaksi juga merupakan faktor yang menyebabkan kenaikan densitas, dimana pada proses tersebut serbuk batubara menjadi saling berikatan karena adanya *coal tar pitch*. Dari hasil analisa tersebut didapat kesimpulan bahwa hasil penelitian ini sesuai dengan literatur dimana kenaikan temperatur sinter akan mempengaruhi sifat dari material, dimana semakin meningkatnya temperature sinter, maka kecenderungan umum dari sifat material juga semakin meningkat [6]

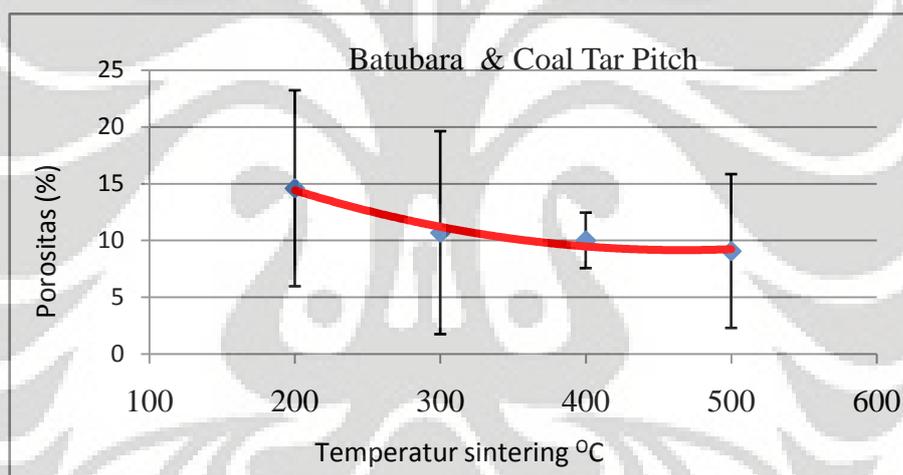
Pada temperatur setelah 500 °C mengalami kecenderungan penurunan dikarenakan sifat dasar dari material akan mengalami pemuaian yang menyebabkan carbon dari sisa penguapan *coal tar pitch* tidak mampu mengisi kekosongan secara sempurna yang menyebabkan terbentuknya porositas.

4.7. Pengaruh Temperatur terhadap Porositas Karbon Komposit Batu Bara –*Coal Tar Pitch*

Dari hasil penelitian pengaruh temperatur sinter terhadap porositas dengan menggunakan metode Archimedes dapat diketahui pada Tabel 4.3 dan Gambar 4.4 di bawah ini:

Tabel 4.3 Pengaruh temperatur sinter terhadap porositas komposit batubara / *coal tar pitch*

Suhu (°C)	Porositas (%)	Rata - Rata Porositas (%)	Standart Deviasi
200	22,73	14,59	8,63
	15,48		
	5,55		
300	19,43	10,68	8,93
	11,02		
	1,58		
400	7,2	10	2,44
	11,7		
	11,1		
500	16,88	9,06	6,77
	5,27		
	5,03		



Gambar 4.4 Grafik pengaruh temperatur sinter terhadap porositas komposit batubara / *coal tar pitch*

Pada Gambar 4.4 terlihat terjadi penurunan porositas pada temperatur sinter 200 °C sebesar 14,59 % menjadi 10,68 % pada temperatur sinter 300 °C, 10 % pada temperatur sinter 400 °C dan 9,06 % pada temperatur sinter 500 °C pada komposit batubara/*Coal Tar Pitch*.

Dari data tersebut juga didapatkan trend dari hasil pengujian porositas. Trend yang didapat tidak menunjukkan porositas akan terus menurun dengan

adanya kenaikan temperatur, melainkan akan mengalami kenaikan kembali pada temperatur setelah 500 °C

Penurunan porositas dari temperatur 200 °C sampai 500 °C tersebut dikarenakan pada proses sinter *coal tar pitch* mengalami penguapan dan meninggalkan partikel carbon yang kemudian berikatan satu sama lain dengan matrik batubara. *Coal tar pitch* merupakan *residu* dari batubara itu sendiri sehingga memiliki kandungan karbon dan memudahkannya untuk saling berikatan pada saat proses sinter. Proses kompaksi juga merupakan faktor yang menyebabkan penurunan porositas, dimana pada proses tersebut serbuk batubara menjadi saling berikatan karena adanya *coal tar pitch*. Dari hasil analisa tersebut didapat kesimpulan bahwa semakin tinggi temperatur sinter maka porositas semakin berkurang dimana berbanding terbalik dengan densitas yang semakin meningkat.

Pada temperatur setelah 500 °C mengalami kecenderungan penurunan dikarenakan sifat dasar dari material akan mengalami pemuaian yang menyebabkan carbon dari sisa penguapan *coal tar pitch* tidak mampu mengisi kekosongan secara sempurna yang menyebabkan terbentuknya porositas.

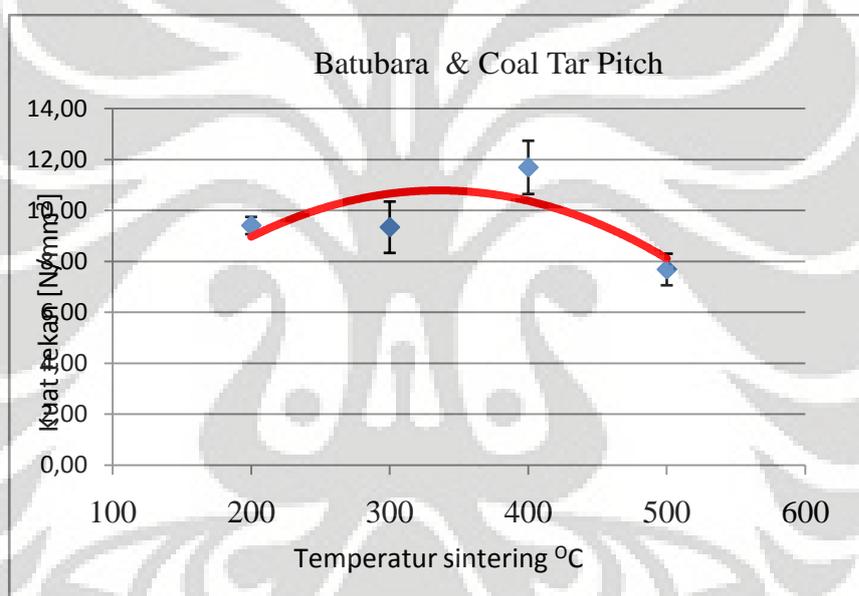
Penurunan porositas tersebut juga dibuktikan dari pengamatan SEM pada Gambar 4.9 dimana dari gambar terlihat porositas semakin berkurang dengan meningkatnya temperatur.

4.8. Pengaruh Temperatur terhadap *Compressive Strenght* Karbon Komposit Batu Bara – *Coal Tar Pitch*

Salah satu bentuk pengujian mekanik yang dilakukan pada sampel komposit ini adalah pengujian tekan (*Compressive Strenght*). Pengujian ini dilakukan untuk melihat besarnya beban uniaxial yang dapat diterima oleh material komposit batubara-*coal tar pitch* setelah mengalami perlakuan sinter. Hasil dari pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.4 dan Gambar 4.5 di bawah ini :

Tabel 4.4 Data pengaruh temperatur sinter terhadap nilai kekuatan tekan

Suhu (°C)	Kuat Tekan (N/mm ²)	Rata - Rata (N/mm ²)	Standart Deviasi
200	9,39	9,40	0,34
	9,74		
	9,07		
300	8,19	9,33	1,01
	10,1		
	9,7		
400	10,5	11,68	1,05
	12,05		
	12,49		
500	6,96	7,67	0,62
	8,03		
	8,03		

**Gambar 4.5** Grafik pengaruh temperatur sinter terhadap nilai kekuatan tekan

Dari data yang ada, terlihat adanya penurunan kekuatan tekan rata – rata dari material komposit batubara - *coal tar pitch* dengan temperatur sinter 200 °C yakni 9,4 N/mm² ke temperatur sinter 300 °C yakni 9,33 N/mm². Pada temperatur sinter 300 °C ke 400 °C mengalami peningkatan menjadi 11,68 N/mm². Namun mengalami penurunan kembali pada temperatur sinter 500 °C yakni ke 7,67 N/mm². Hasil tersebut tidak sesuai dengan teori yang menyatakan bahwa peningkatan temperatur sinter akan meningkatkan sifat mekanik, salah satunya adalah kekuatan dari material [8].

Untuk penurunan kekuatan tekan dikarenakan rata – rata diperoleh dari 3 sampel yang berbeda dimana pada data ke 1 pada temperatur 300 °C kekuatan tekan memiliki hasil yang lebih rendah dari 2 sampel lainnya yakni 8,19 N/mm² sedangkan kedua sampel lainnya 10,1 N/mm² dan 9,7 N/mm². Hasil tersebut dikarenakan meski perlakuan sinter yang diterima oleh sampel sama, namun sampel yang digunakan berbeda dimana ada yang memiliki densitas yang rendah sehingga kekuatan mekanisnya menurun dibanding 2 sampel lainnya. Perbedaan tersebut terjadi karena kesalahan pada preparasi sampel. Ukuran butir yang dimiliki sampel tersebut kemungkinan lebih besar dibanding kedua sampel lainnya. hal tersebut dikarenakan pada proses pengayakan sampel yang digunakan adalah serbuk yang sudah melewati ukuran mesh #325, sehingga tidak diketahui secara pasti apakah serbuk yang digunakan memiliki distribusi ukuran yang tidak jauh berbeda. Karena semakin halus ukuran serbuk partikel, maka akan semakin besar berat jenis bakalan (*green density*) tersebut [18]. Proses pencampuran juga merupakan faktor yang menyebabkan perbedaan densitas. Pada sampel tersebut terjadi pencampuran yang tidak merata sehingga *coal tar pitch* terpusat disatu tempat yang menyebabkan porositas menjadi terpusat juga. sehingga saat dilakukan penekanan kekuatan tekannya kecil.

Pada material dengan temperatur sinter 500°C, nilai kuat tekannya mengalami penurunan yakni menjadi 7,67 N/mm². Pada temperatur ini ketiga sampel yang digunakan tidak memiliki perbedaan yang terlalu jauh, tetapi penurunan kekuatan tekan tetap terjadi dikarenakan sifat dasar dari material akan mengalami pemuaihan yang menyebabkan carbon dari sisa penguapan *coal tar pitch* tidak mampu mengisi kekosongan secara sempurna yang menyebabkan terbentuknya porositas.

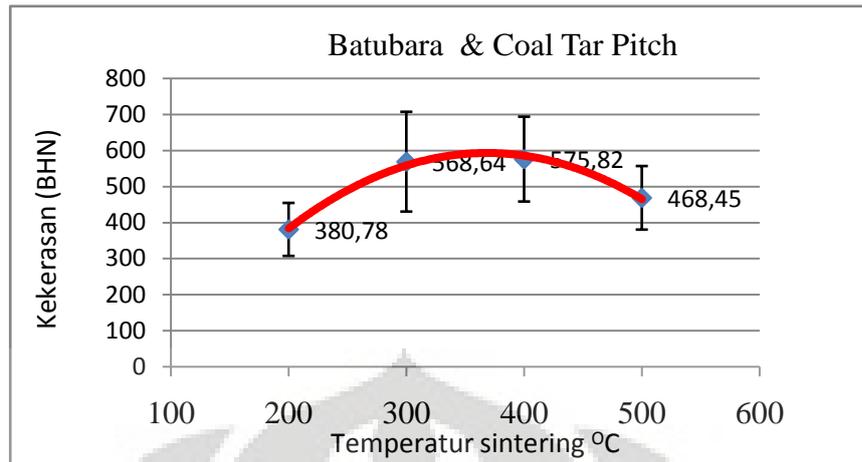
Pada analisa kekuatan tekan ini hasil yang didapat apabila dibandingkan dengan hasil densitas dan porositas yang didapat tidak sesuai, karena sampel yang digunakan untuk pengujian ini tidak menggunakan sampel pada uji porositas dan densitas, sehingga hasil yang didapatkan berbeda.

4.9. Pengaruh Temperatur terhadap *Hardness* Karbon Komposit Batu Bara –*Coal Tar Pitch*

Pada pengujian kekerasan digunakan metode brinell. Nilai kekerasan untuk beberapa perlakuan sampel dapat dilihat pada Tabel 4.5. Grafik yang menyatakan hubungan antara temperatur sinter terhadap nilai kekerasan dapat dilihat pada gambar 4.6.

Tabel 4.5 Data pengaruh temperatur sinter terhadap kekerasan

Suhu (°C)	BHN	Rata - Rata (BHN)	Standart Deviasi
200	389,77	380,78	73,56
	315,09		
	389,77		
	494,16		
	315,09		
300	646,41	568,64	138,37
	389,77		
	494,16		
	750,20		
	562,68		
400	494,16	575,82	117,68
	494,16		
	494,16		
	646,41		
	750,20		
500	562,68	468,45	88,18
	437,36		
	562,68		
	389,77		
	389,77		



Gambar 4.6 Grafik pengaruh temperatur sinter terhadap kekerasan

Dari pengujian tersebut, terlihat adanya kecenderungan peningkatan kekerasan seiring peningkatan temperatur sinter. Terjadi peningkatan rata-rata kekerasan saat temperatur sinter 200 °C sebesar 380,78 BHN menjadi 568,64 BHN saat temperatur sinter 300 °C, 575,82 BHN saat temperatur sinter 400 °C. Pada temperatur 500 °C mengalami penurunan menjadi 468,45 BHN.

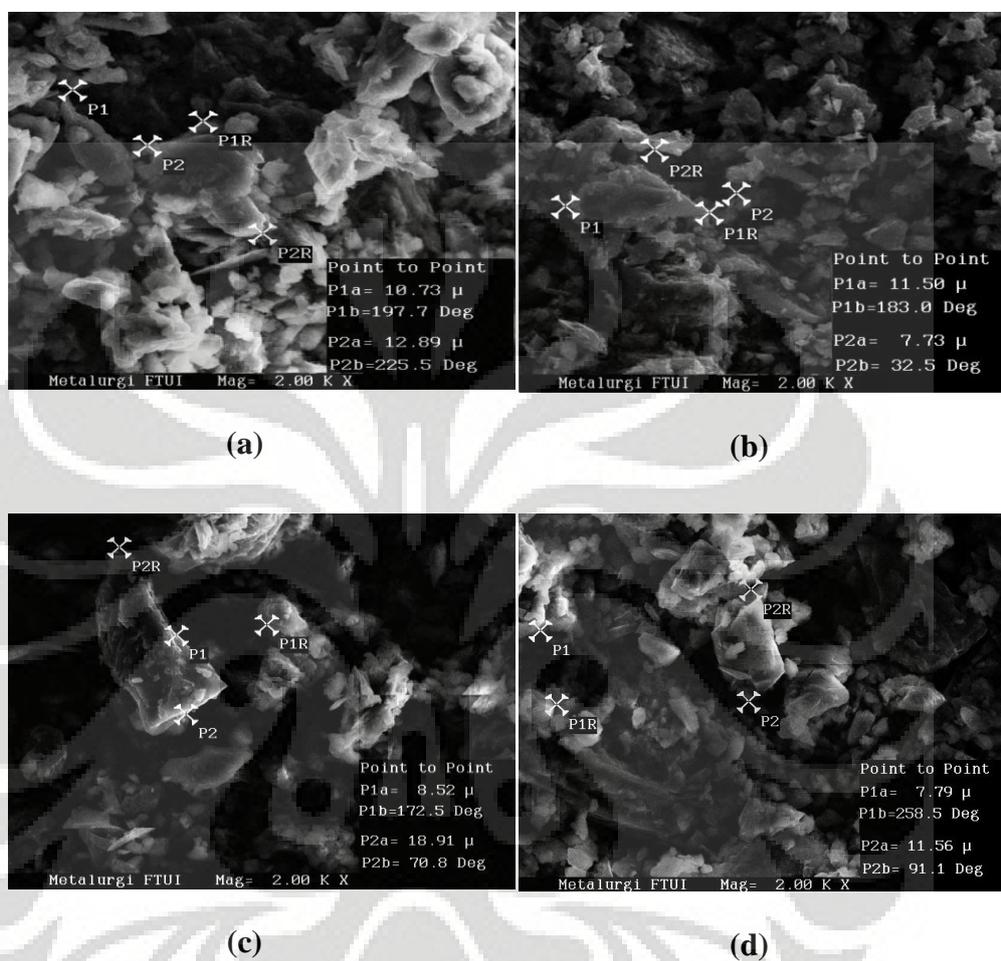
Dari grafik dapat dilihat hasil pengujian keras mengalami trend naik dari temperatur 200 °C sampai 400 °C. Hal tersebut dikarenakan jika dilihat dari hasil densitas dan porositas sampel yang digunakan memiliki kecenderungan yang sama dengan sampel yang digunakan pada pengujian densitas dan porositas sehingga kekerasan yang didapat semakin meningkat.

Kekerasan mengalami peningkatan dikarenakan pada proses pencampuran *coal tar pitch* tercampur dengan merata sehingga pada proses sinter porositas menurun dan densitas meningkat. Hal ini sesuai dengan literatur dimana semakin meningkatnya temperatur sinter, semakin meningkat pula sifat mekanis bakalan yang telah dilakukan proses sinter [8]

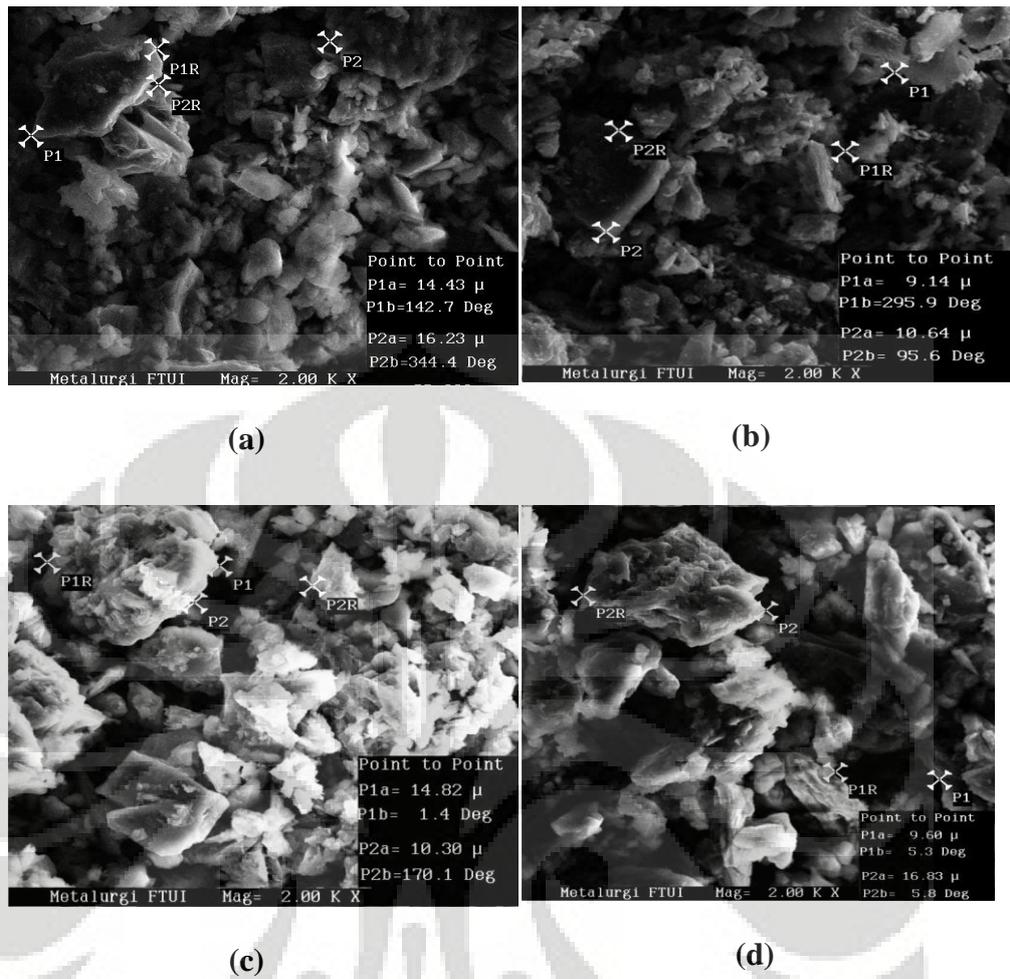
Pada temperatur setelah 500 °C mengalami kecenderungan penurunan dikarenakan sifat dasar dari material akan mengalami pemuaihan yang menyebabkan carbon dari sisa penguapan *coal tar pitch* tidak mampu mengisi kekosongan secara sempurna yang menyebabkan terbentuknya porositas. Dengan terbentuknya porositas maka kekerasannya akan semakin menurun juga.

4.10. Hasil Pengamatan SEM Setelah Proses Sinter

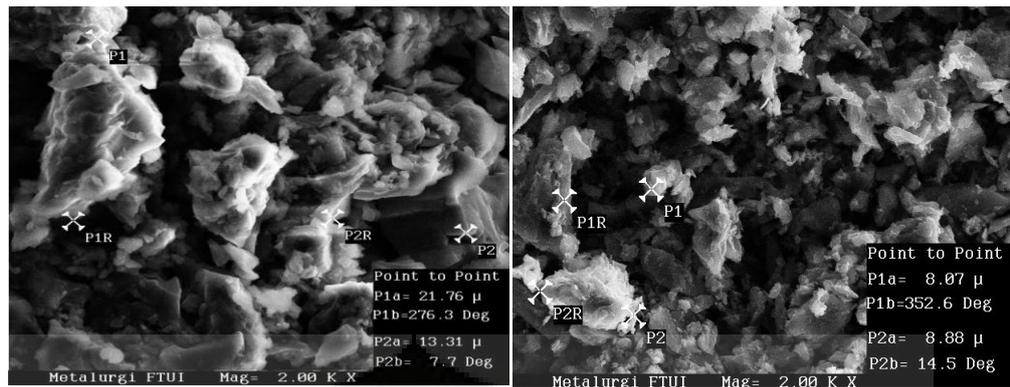
Dari pengamatan SEM dengan perbesaran 2000x terhadap komposit batubara – *coal tar pitch* didapatkan Gambar 4.7, 4.8, 4.9 dibawah ini :



Gambar 4.7 Hasil pengamatan SEM dengan perbesaran 2.000x terhadap komposit batubara – *coal tar pitch* pada temperatur (a) 200 °C, (b) 300 °C, (c) 400 °C, dan (d) 500 °C

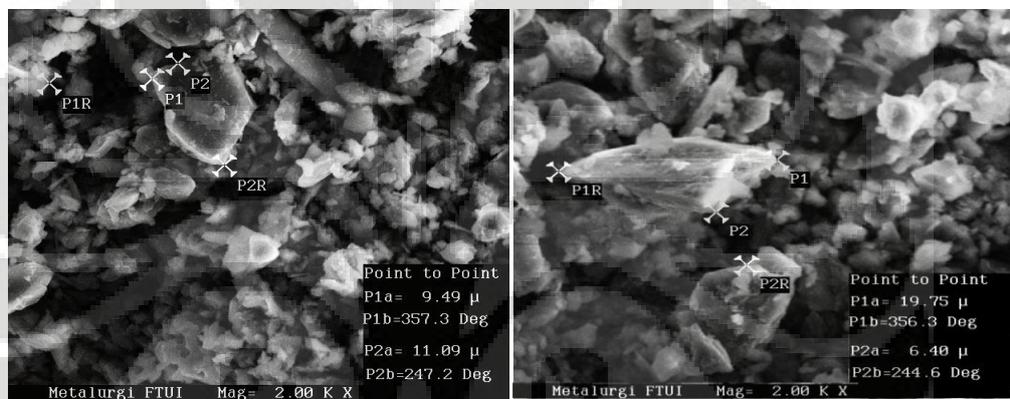


Gambar 4.8 Hasil pengamatan SEM dengan perbesaran 2.000x terhadap komposit batubara – *coal tar pitch* pada temperatur (a) 200 °C, (b) 300 °C, (c) 400 °C, dan (d) 500 °C



(a)

(b)



(c)

(d)

Gambar 4.9 Hasil pengamatan SEM dengan perbesaran 2.000x terhadap komposit batubara – *coal tar pitch* pada temperatur (a) 200 °C, (b) 300 °C, (c) 400 °C, dan (d) 500 °C

Tabel 4.6 Ukuran partikel dari butir setelah disinter

Data	Temperatur (°C)			
	200	300	400	500
1	12,89 μm	11,5 μm	18,91 μm	19,75 μm
2	16,23 μm	19,14 μm	14,82 μm	11,56 μm
3	21,76 μm	8,88 μm	11,09 μm	16,87 μm
Rata-rata	16,36	10,34	14,94	16,06

Data dari Tabel 4.6 diatas dapat menjelaskan bahwa proses sintering yang telah dilakukan pada material komposit batubara - *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 rata – rata partikel terbesar saat sebelum disinter yaitu sebesar 31,15 μm , sedangkan setelah disinter ukuran partikel menjadi lebih kecil yaitu sebesar 16,36 μm pada temperatur 200 °C, 10,34 μm pada temperatur 300 °C, 14,94 μm pada temperatur 400 °C, 16,06 μm pada temperatur 500 °C. 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.

Dari hasil SEM dapat dilihat juga bahwa porositas berkurang dengan adanya peningkatan temperatur, akan tetapi hal ini hanya terlihat pada Gambar 4.9 sedangkan pada Gambar 4.7 dan 4.8 tidak menunjukkan adanya penurunan, tetapi jika dilihat dari data besar void diantara ketiga gambar tersebut selalu mengalami penurunan void yang drastis pada temperatur 300 °C, meskipun begitu secara menyeluruh dari ketiga gambar mengalami penurunan void.

Tabel 4.7 Besar void setelah disinter

Data	Temperatur (°C)			
	200	300	400	500
Gambar 4.7	10,73 μm	7,73 μm	8,52 μm	7,79 μm
Gambar 4.8	14,43 μm	10,64 μm	10,3 μm	9,6 μm
Gambar 4.9	13,31 μm	8,07 μm	9,49 μm	6,40 μm

4.11. Hasil Pengamatan EDX Setelah Proses Sinter

Pengujian unsur-unsur yang terkandung dalam fasa pada material komposit ini dilakukan dengan menggunakan EDX. Sampel yang diuji hanya pada material komposit batubara - *coal tar pitch* yang disinter pada temperatur 500°C. Pada hasil EDX ditemukan beberapa jenis unsur berikut:

Tabel 4.8 Unsur-unsur yang terdeteksi oleh EDX

Unsur	Kadar (%)
C	44,27 - 55,98
O	39,83 - 55,73
Si	0,89 - 0,92
S	0,98 - 3,27

Jika data EDX ini dibandingkan dengan tabel 3.1 untuk matrik batubara dan tabel 3.2 untuk *coal tar pitch*, terlihat adanya unsur lain yaitu Si yang muncul secara tiba-tiba. Pada tabel 3.1 dan 3.2 tidak terdapat unsur Si, sedangkan pada hasil EDX terdapat unsur Si dengan kandungan 0,89 - 0,92 %. Munculnya unsur Si ini mungkin berasal dari debu karena penempatan *coal tar pitch* yang tidak tertutup serta pada saat pencampuran.

BAB V

KESIMPULAN

Dari penelitian pengaruh kenaikan temperatur terhadap karbon – karbon komposit batubara – *coal tar pitch* diperoleh kesimpulan berupa :

1. Karbon – karbon komposit batubara – *coal tar pitch* dapat dibuat dengan proses metalurgi serbuk meskipun kekuatan mekaniknya masih rendah.
2. Densitas pada karbon – karbon komposit batubara – *coal tar pitch* meningkat karena adanya pengaruh dari kenaikan temperatur. Pada temperatur 200 °C densitasnya 1,17 gr/cm³, 300 °C densitasnya 1,23 gr/cm³, 400 °C densitasnya 1,24 gr/cm³, dan 500 °C densitasnya 1,25 gr/cm³.
3. Porositas pada karbon – karbon komposit batubara – *coal tar pitch* berbanding terbalik dengan densitasnya dimana mengalami penurunan karena adanya pengaruh dari kenaikan temperatur. Pada temperatur 200 °C porositasnya 14,59 %, 300 °C porositasnya 10,68 %, 400 °C porositasnya 10 %, dan 500 °C porositasnya 9,06 %.
4. Kekuatan tekan karbon – karbon komposit batubara – *coal tar pitch* mengalami penurunan, peningkatan, dan penurunan lagi pada nilai rata – rata kekuatan tekannya. Hal tersebut tidak sesuai dengan literature dimana seharusnya mengalami peningkatan. Pada temperatur 200 °C rata – rata kekuatan tekannya 9,40 N/mm², 300 °C rata – rata kekuatan tekannya 9,33 N/mm², 400 °C rata – rata kekuatan tekannya 11,68 N/mm², dan 500 °C rata – rata kekuatan tekannya 7,67 N/mm².
5. Kekerasan karbon – karbon komposit batubara – *coal tar pitch* mengalami peningkatan karena adanya pengaruh dari kenaikan temperatur kecuali pada temperatur 500 °C karena terjadinya pemuaian. Pada temperatur 200 °C kekerasannya 380,78 BHN, 300 °C kekerasannya 568,64 BHN, 400 °C kekerasannya 575,82 BHN, dan 500 °C kekerasannya 468,45 BHN.

DAFTAR REFERENSI

- [1] Chawla, K.K., *Composite Materials: Science & Engineering, 2nd edition*, Springer-Verlag, New York, 1999
- [2] Library.usu.ac.id/download/ft/tkimia-Hendra2.pdf didownload tanggal 19 juni 2010
- [3] Callister, William D., *Materials Science and Engineering An Introduction*, New York: John Wiley and Sons, 2003
- [4] David Chandrwan dan Myrna Ariati, *Metalurgi serbuk, Teori dan Aplikasi Jilid 1*. Depok. 1999
- [5] Sadhana, *High performance carbon-carbon composites, Vol. 28, Parts 1 & 2, February/April 2003*, pp. 349-358
- [6] Erhard Klar, *Powder Metallurgy: Application, Advantages, and Limitation* (Ohio: American Society for Metals, 1983)
- [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] Randal M. German, *Powder Metallurgy Science* (USA: Metal Powder Industries Federation, 1984)
- [9] Zulfia, Anne. (2009). *Diktat Kuliah Teknologi Komposit MMF420803*. Departemen Metalurgi dan Material, Fakultas Teknik Universitas Indonesia
- [10] ASM Handbook Volume 21, Composites. USA: ASM Internasional.1990
- [11] Slide Kuliah Material Komposit Departemen Metalurgi dan Material FTUI 2009
- [12] [Http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=carbon-carbon_composites](http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=carbon-carbon_composites) didownload tanggal 25 juni 2010
- [13] Fitzer E, ManochaLM1998 *Carbon reinforcements and carbon-carbon composites* (Berlin: Springer-Verlag)
- [14] http://id.wikipedia.org/wiki/Batu_bara didownload tanggal 25 juni 2010
- [15] Sertifikat analisis laboratorium pengujian tekMIRA
- [16] Hugh O. Pierson, *Handbook of carbon, graphite, diamond and fullerenes* (Noyes Publications)
- [17] D.L.Chung , *Carbon Fiber Composite Deborah*

- [18] [Http://echa.europa.eu/doc/trd_substances/pitch_coal_tar_high_temp/rar/trd_rar_hh_netherlands_pitch.pdf](http://echa.europa.eu/doc/trd_substances/pitch_coal_tar_high_temp/rar/trd_rar_hh_netherlands_pitch.pdf) didownload tanggal 25 juni 2010
- [19] Lenel, Fritzt V., Powder Metallurgy, Principles and Application. New Jersey : Princeton, 1980
- [20] Pramuji Lestari, Franciska. Pengaruh Temperatur Sinter dan Fraksi Volume Penguat Al₂O₃ Terhadap Karakteristik Komposit Laminat Hibrid Al/SiC-Al/Al₂O₃ Produk Metalurgi Serbuk. Skripsi, Program Sarjana Fakultas Teknik UI, Depok 2008.
- [21] ASM Handbook volume 7, Powder Metallurgy Technologies and Applications. USA: ASM international. 1990
- [22] Tirta, Andy. Pembuatan Laminat Komposit Al-Cu dan Al-Cu/SiC Dengan Metode Metalurgi Serbuk. Skripsi, Program Sarjana Fakultas Teknik UI, Depok 2007
- [23] German, Randall M., Sintering Theory and Practice. New York: John Wiley&Son, Inc., 1996.
- [24] [Http://www.ktf-split.hr/glossary/en_o.php?def=ball%20mill](http://www.ktf-split.hr/glossary/en_o.php?def=ball%20mill) didownload tanggal 19 juni 2010

Lampiran A



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. 19 Juni 2009

Nomor / Number : 983/LBB/VIII/2009 Tanggal / Date : 14 Agustus 2009

Dibuat untuk / Certified for : Agus Edy Pramono NPM 0806040120
 Mahasiswa Universitas Indonesia
 Dep.Teknik Metalurgi & Material
 Fakultas Teknik – UI Depok

Jenis contoh / Type of Sample : A PITC BB

Sifat / Kondisi Barang yang diuji / Description of sample : Berbutir Kasar

Asal contoh / Origin of sample : -

Jumlah contoh / Amount of sample : 1 (Satu)

Nomor Laboratorium / Laboratory Number : 3983 / 2009

Contoh diterima tanggal / Sample received on : 6 Agustus 2009

Waktu pelaksanaan pengujian / Date of testing : 6 Agustus 2009

HASIL ANALISIS / ANALYSIS RESULTS :

ANALYSIS PARAMETERS	Sample Marks		Unit	Basis	Standar Acuan :
	No.Lab.3983/09				
	A Pitch BB				
ULTIMATE :					
ASH	2.14		%	adb	ASTM D. 3174
CARBON	84.99		%	adb	ASTM D. 5373
HYDROGEN	5.91		%	adb	ASTM D. 5373
NITROGEN	1.32		%	adb	ASTM D. 5373
TOTAL SULFUR	0.61		%	adb	ASTM D.4239
OXYGEN	5.03		%	adb	By Diff

Manajer Teknis
 Lab. Batubara,

(Signature)
 N. Teti Sumiati, S.Si.
 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

Universitas Indonesia

(Lanjutan)



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^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)

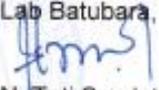
Nomor Laboratorium /
 Laboratory Number : 3489 / 2009

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 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

Lampiran B
Data uji densitas

Tabel B.1 Data perhitungan densitas komposit batubara – coal tar pitch

Suhu (°C)	Densitas (gr/cm ³)	Rata - Rata Densitas (gr/cm ³)	Standart Deviasi
200	1,06	1,17	0,12
	1,16		
	1,30		
300	1,11	1,23	0,12
	1,22		
	1,35		
400	1,28	1,24	0,03
	1,21		
	1,22		
500	1,14	1,25	0,09
	1,30		
	1,31		

Lampiran C
Data uji porositas

Tabel C.1 Data perhitungan porositas komposit batubara – coal tar pitch

Suhu (°C)	Massa di Udara	Massa di Air	Densitas	Densitas Teoritis	Porositas(%)	Rata - Rata	Standart Deviasi
200,00	18,37	1,21	1,06	1,37	22,74	14,59	8,63
200,00	17,80	2,60	1,16	1,37	15,48		
200,00	21,20	5,00	1,30	1,37	5,55		
300,00	18,34	1,91	1,11	1,37	19,44	10,68	8,93
300,00	18,00	3,40	1,22	1,37	11,02		
300,00	18,00	4,80	1,35	1,37	1,58		
400,00	22,18	4,93	1,28	1,37	7,20	10,00	2,44
400,00	21,90	4,00	1,21	1,37	11,70		
400,00	20,20	3,80	1,22	1,37	11,11		
500,00	22,17	2,92	1,14	1,37	16,88	9,06	6,77
500,00	21,00	5,00	1,30	1,37	5,27		
500,00	20,00	4,80	1,31	1,37	5,04		

Lampiran D
Data uji tekan

Tabel D.1 Data perhitungan uji kuat tekan komposit batubara - coal tar pitch

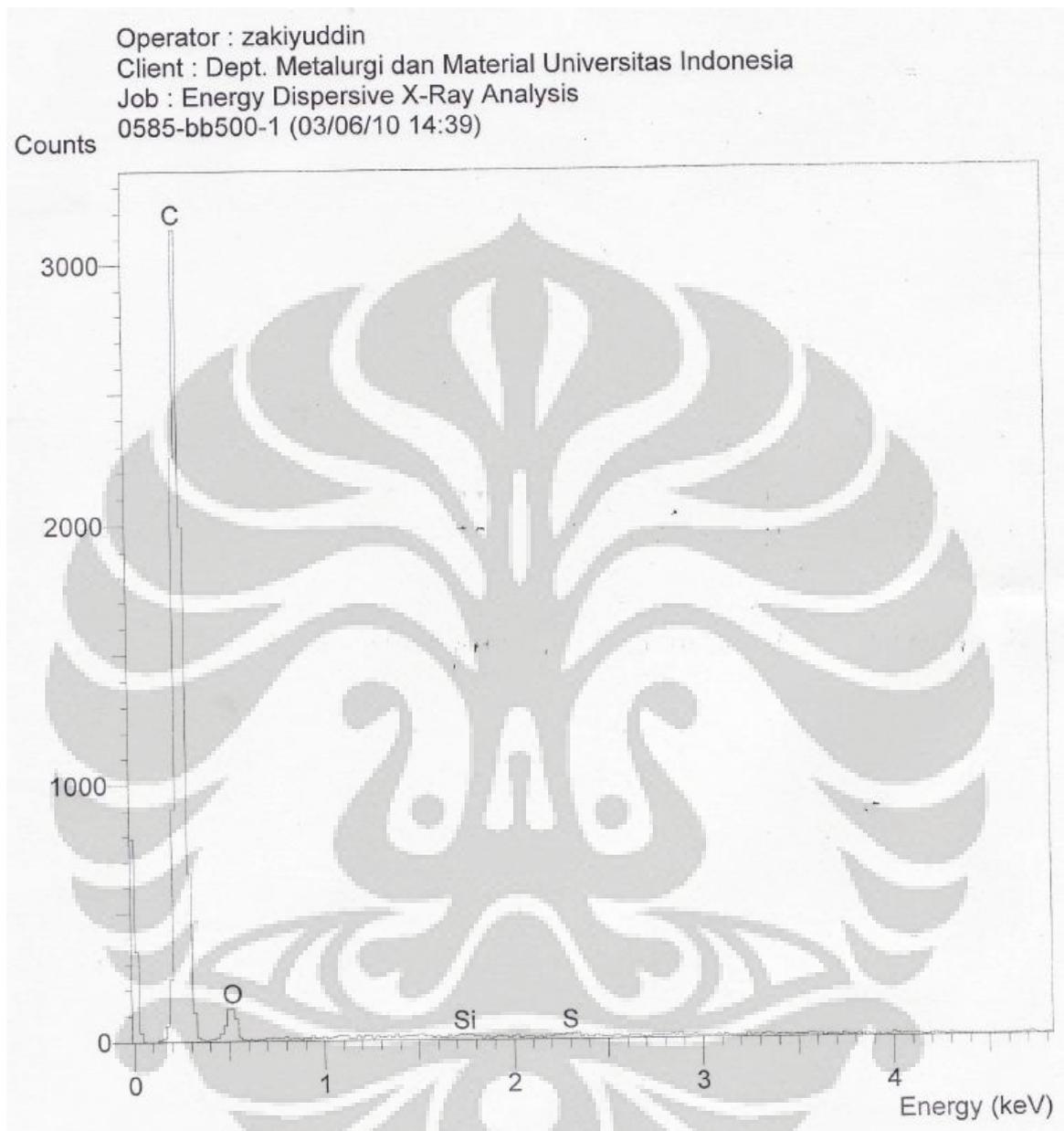
Suhu (°C)	Beban Kompaksi (US ton)	Beban Tekanan (N)	Luas Penampang (mm)	Kuat Tekan [N/mm ²]	Rata - Rata	Standart Deviasi
200	11	11800	1256,64	9,39	9,40	0,34
200	11	12250	1256,64	9,75		
200	11	11400	1256,64	9,07		
300	11	10300	1256,64	8,20	9,34	1,01
300	11	12700	1256,64	10,11		
300	11	12200	1256,64	9,71		
400	11	13200	1256,64	10,50	11,68	1,05
400	11	15150	1256,64	12,06		
400	11	15700	1256,64	12,49		
500	11	8750	1256,64	6,96	7,68	0,62
500	11	10100	1256,64	8,04		
500	11	10100	1256,64	8,04		

Lampiran E
Data uji kekerasan

Tabel E.1 Data perhitungan hasil uji kekerasan komposit batu bara - coal tar pitch

Suhu (°C)	BEBAN [kg]	Diameter Bola [mm]	Diameter Indentasi [mm]	d2	akar D2-d2	BHN	Rata - Rata	Standart Deviasi
200			0,9	0,81	4,92	389,77	380,78	
200			1	1	4,90	315,09		
200	250	5	0,9	0,81	4,92	389,77		73,56
200			0,8	0,64	4,94	494,16		
200			1	1	4,90	315,09		
300			0,7	0,49	4,95	646,41	568,64	
300			0,9	0,81	4,92	389,77		
300	250	5	0,8	0,64	4,94	494,16		138,37
300			0,65	0,4225	4,96	750,20		
300			0,75	0,5625	4,94	562,68		
400			0,8	0,64	4,94	494,16	575,82	
400			0,8	0,64	4,94	494,16		117,68
400	250	5	0,7	0,49	4,95	646,41		
400			0,65	0,4225	4,96	750,20		
500			0,75	0,5625	4,94	562,68	468,45	
500	250	5	0,85	0,7225	4,93	437,36		88,18
500			0,75	0,5625	4,94	562,68		
500			0,9	0,81	4,92	389,77		
500			0,9	0,81	4,92	389,77		

Lampiran F

Hasil EDX karbon – karbon komposit batubara – *coal tar pitch*

(Lanjutan)

SEMQuant results. Listed at 14:41:51 on 03/06/10
 Operator: zakiyuddin
 Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
 Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis
 Spectrum label: 0585-bb500-1

System resolution = 61 eV

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

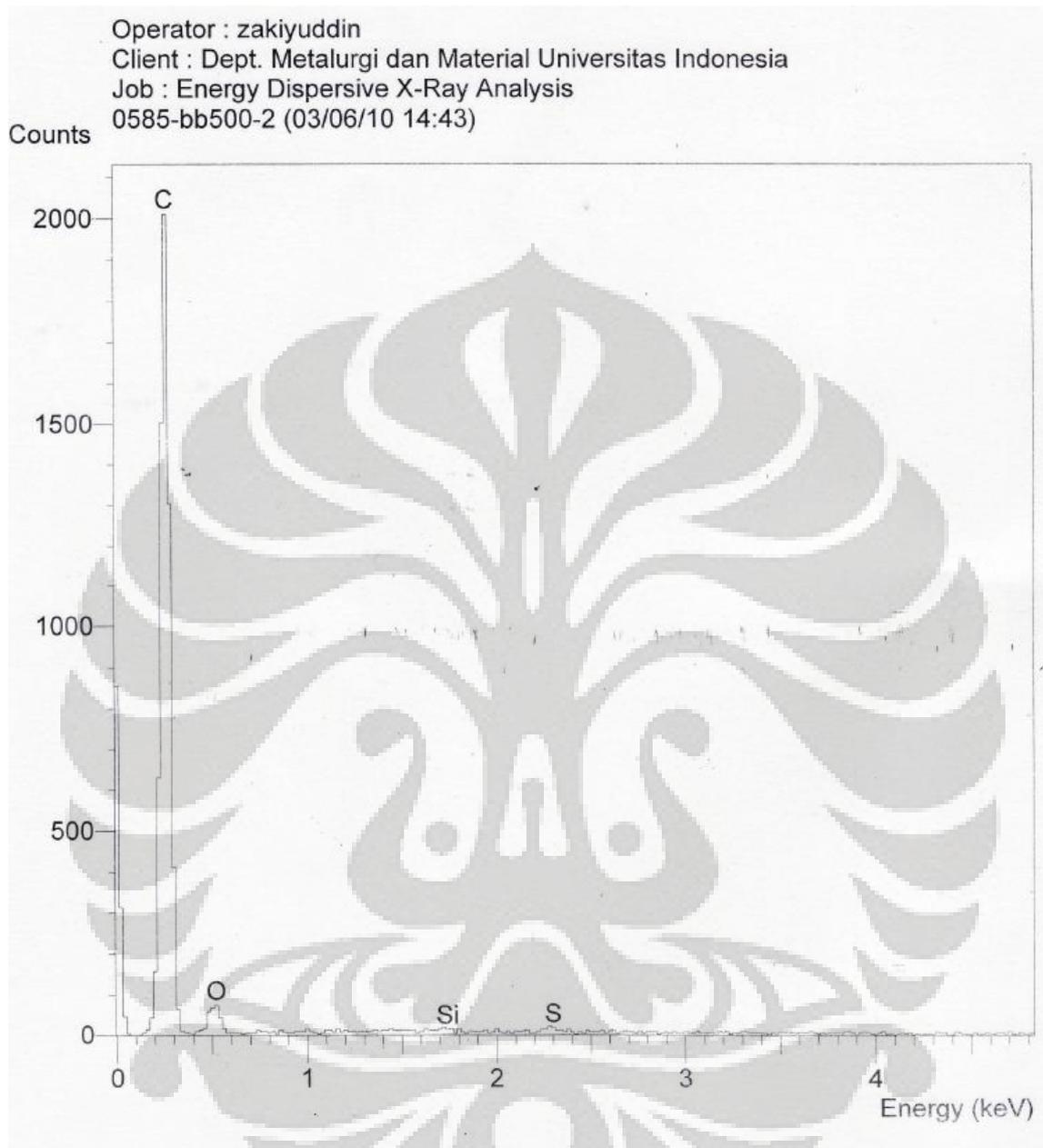
Standards :

C K	Carbon Low	13/09/06
O K	AL2O3	17/11/09
Si K	Low Carbon Steel	13/09/06
S K	FeS2	22/03/06

Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %
C K	ED	53.43	61.17
O K	ED	43.66	37.52
Si K	ED	0.89	0.44
S K	ED	2.03	0.87
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma

(Lanjutan)



(Lanjutan)

SEMQuant results. Listed at 15:26:59 on 03/06/10
Operator: zakiyuddin
Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis
Spectrum label: 0585-bb500-2

System resolution = 61 eV

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

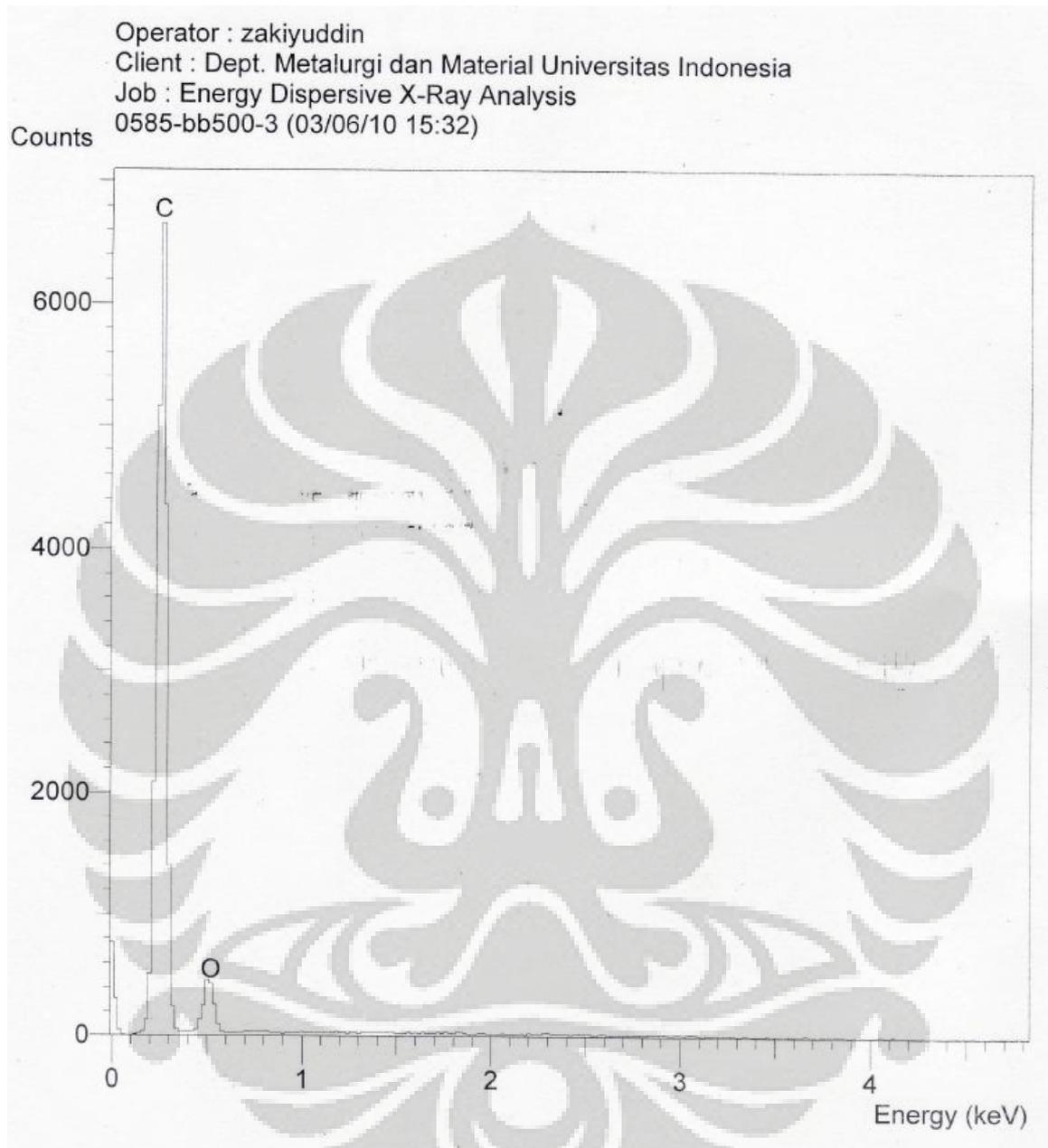
Standards :

C K	Carbon Low	13/09/06
O K	AL2O3	17/11/09
Si K	Low Carbon Steel	13/09/06
S K	FeS2	22/03/06

Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %
C K	ED	55.98	63.98
O K	ED	39.83	34.17
Si K	ED	0.92	0.45
S K	ED	3.27	1.40
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma

(Lanjutan)



(Lanjutan)

SEMQuant results. Listed at 15:34:20 on 03/06/10
Operator: zakiyuddin
Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis
Spectrum label: 0585-bb500-3

System resolution = 59 eV

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

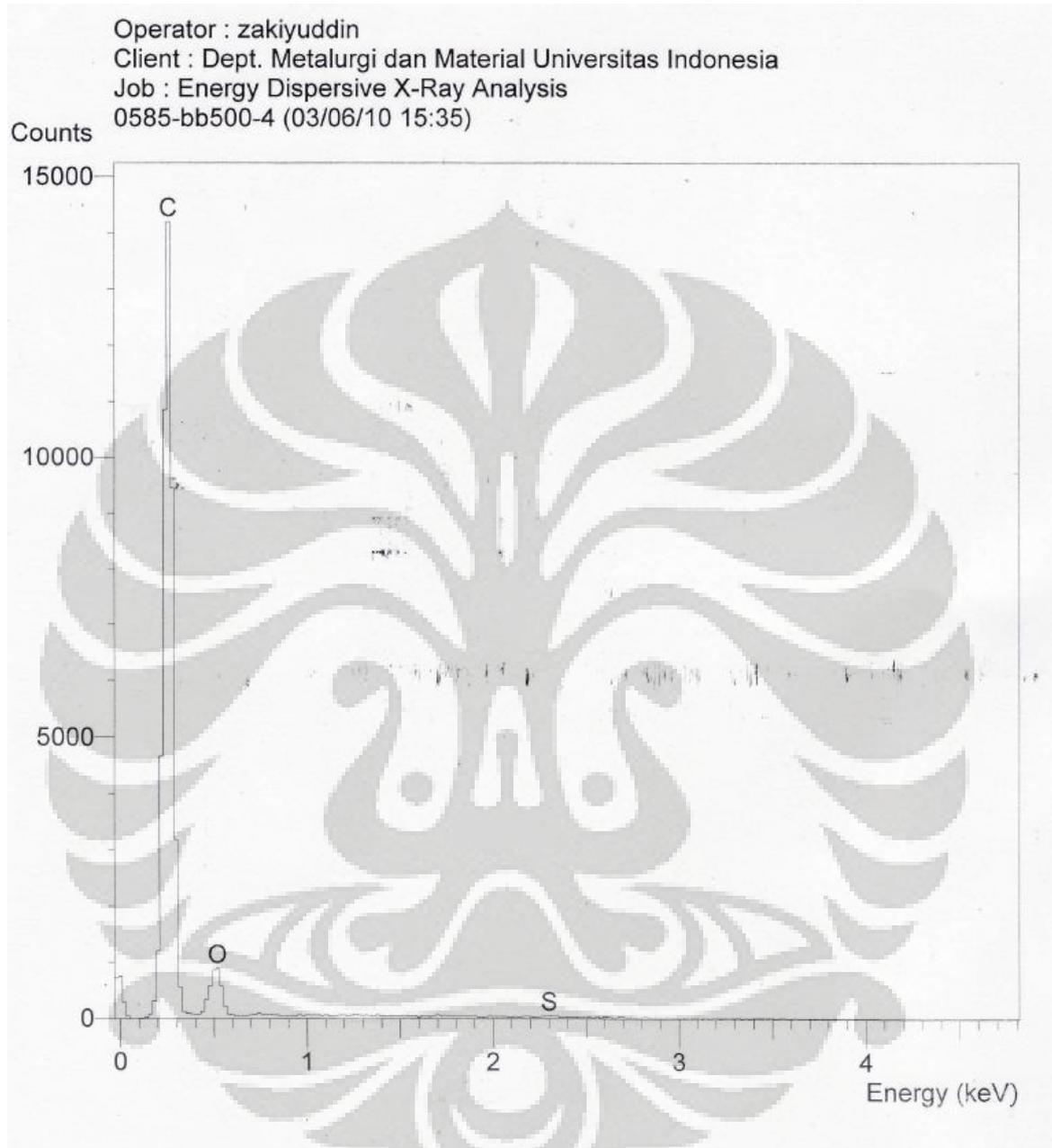
Standards :

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

Elmt	Spect.	Element	Atomic
	Type	%	%
C K	ED	44.27	51.42
O K	ED	55.73	48.58
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma

(Lanjutan)



(Lanjutan)

SEMQuant results. Listed at 15:36:23 on 03/06/10
Operator: zakiyuddin
Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis
Spectrum label: 0585-bb500-4

System resolution = 61 eV

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

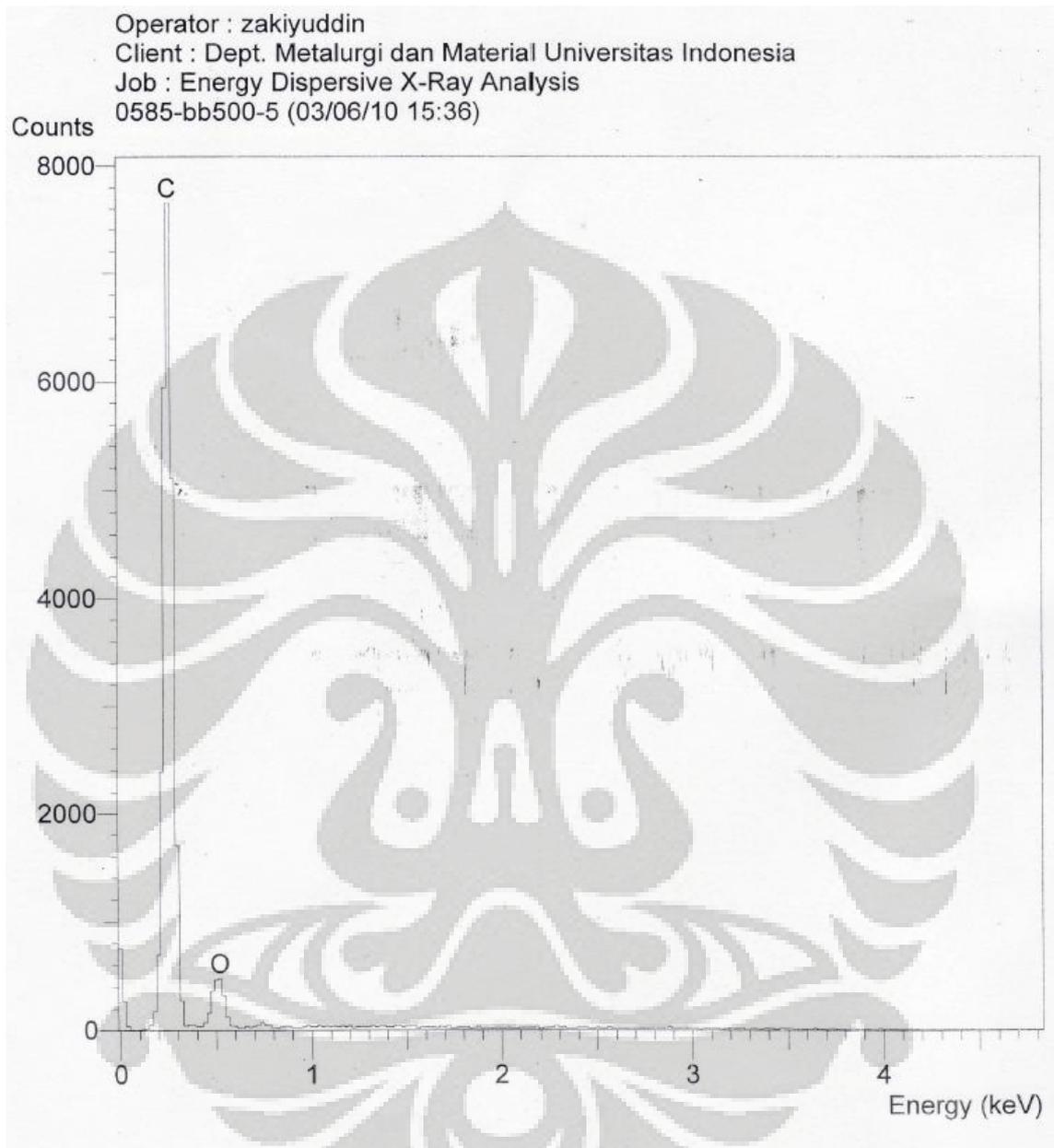
Standards :

C K Carbon Low 13/09/06
O K AL2O3 17/11/09
S K FeS2 22/03/06

Elmt	Spect.	Element	Atomic
	Type	%	%
C K	ED	45.30	52.67
O K	ED	53.73	46.90
S K	ED	0.98	0.43
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma

(Lanjutan)



(Lanjutan)

SEMQuant results. Listed at 15:37:45 on 03/06/10
Operator: zakiyuddin
Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis
Spectrum label: 0585-bb500-5

System resolution = 59 eV

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

Standards :

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

Elmt	Spect.	Element	Atomic
	Type	%	%
C K	ED	44.54	51.68
O K	ED	55.46	48.32
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma