



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**STUDI KARAKTERISTIK KOMPOSIT KARBON  
BATUBARA/ARANG BATOK KELAPA BERUKURAN 250 MESH  
DENGAN MATRIKS *COAL TAR PITCH***

**SKRIPSI**

**ARDIANTO**

**0706268291**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK METALURGI & MATERIAL  
DEPOK  
JUNI 2011**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**STUDI KARAKTERISTIK KOMPOSIT KARBON  
BATUBARA/ARANG BATOK KELAPA BERUKURAN 250 MESH  
DENGAN Matriks *COAL TAR PITCH***

**SKRIPSI**

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

**ARDIANTO**

**0706268291**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK METALURGI & MATERIAL  
DEPOK  
JUNI 2011**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Ardianto  
NPM : 0706268291  
Tanda Tangan :   
Tanggal : 16 Juni 2011

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Ardianto  
NPM : 0706268291  
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material  
Judul Skripsi : Studi Karakteristik Komposit Karbon Batubara  
/Arang Batok Kelapa Berukuran 250 Mesh  
Dengan Matriks *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 Metalurgi dan Material, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.**

### DEWAN PENGUJI

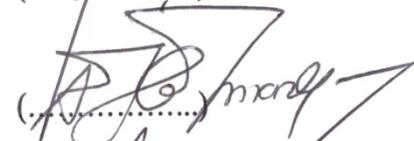
Pembimbing 1 : Prof.Dr. Ir. Anne Zulfia Syahrial, M.Sc

  
(.....)

Pembimbing 2 : Drs. Agus Edy Pramono, ST, M.Si

  
(.....)

Penguji 1 : Dr. Ir. Akhmad Herman Yuwono, M.Phil.Eng

  
(.....)

Penguji 2 : Dr. Ir. Muhammad Anis, M. Met

  
(.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 16 Juni 2011

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, saya ucapkan kepada Allah SWT, karena atas rahmat dan kehendak-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu persyaratan untuk mencapai gelar Sarjana Teknik dari Departemen Teknik Metalurgi dan Material pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya juga mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah membimbing dan membantu penyusunan skripsi ini, yaitu:

1. Kedua orang tua dan keluarga saya yang selalu mendo'akan serta memberikan motivasi dan semangat selama masa perkuliahan hingga terselesaikannya skripsi ini.
2. Prof.Dr. Ir. Anne Zulfia Syahrial, M.Sc, selaku pembimbing akademis, sekaligus pembimbing tugas akhir, yang telah membimbing dan memberi masukan dalam pelaksanaan tugas akhir dan penulisan skripsi ini.
3. Drs. Agus Edy Pramono, ST, M.Si, selaku pembimbing lapangan, yang telah menyediakan waktu, tenaga, pikiran, dan biaya dalam melaksanakan penelitian tugas akhir ini.
4. Semua teman Metalurgi 2007, dan seluruh pihak yang telah ikut membantu saya selama masa penelitian hingga penulisan skripsi ini.

Depok, 16 Juni 2011

Penulis

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

---

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

Nama : Ardianto  
NPM : 0706268291  
Program Studi : Teknik Metalurgi & Material  
Departemen : Teknik Metalurgi & Material  
Fakultas : Teknik  
Jenis karya : Skripsi

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

**Studi Karakteristik Komposit Karbon Batubara/Arang Batok Kelapa  
Berukuran 250 Mesh Dengan Matriks Coal Tar Pitch**

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 16 Juni 2011

Yang menyatakan



( Ardianto )

## ABSTRAK

Nama : Ardianto  
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material  
Judul : Studi Karakteristik Komposit Karbon Batubara/Arang  
Batok Kelapa Berukuran 250 *Mesh* Dengan Matriks *Coal Tar Pitch*

Pada penelitian ini komposit karbon dibuat dengan menggunakan *coal tar pitch* sebagai prekursor matriks dan serbuk arang batok kelapa (ABK) serta batubara (BB) berukuran 250 *mesh* sebagai partikel penguat. Jumlah *coal tar pitch* yang digunakan adalah 30% dari massa total komposit. Untuk mengetahui pengaruh perbandingan massa BB:ABK terhadap densitas, porositas, kekerasan dan keausan, sampel komposit karbon dibuat dengan tiga perbandingan massa BB:ABK yaitu 60:40, 70:30, dan 80:20. Pencetakan dilakukan dengan mesin *press* hidrolik menggunakan beban 11 U.S. ton pada temperatur 100 °C dengan waktu tahan 30 menit. Bakalan hasil kompaksi selanjutnya dikarbonisasi dalam sebuah dapur vakum sederhana pada temperatur 500 °C dengan waktu tahan 15 menit. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sifat-sifat komposit karbon seperti densitas, porositas, kekerasan dan keausan terutama dipengaruhi oleh karakteristik partikel penguat yang digunakan. Densitas meningkat dengan peningkatan kandungan batubara, sedangkan porositas mengalami penurunan. Densitas tertinggi diperoleh pada komposit dengan perbandingan massa BB:ABK 80:20, yaitu 1,55 gr/cm<sup>3</sup>. Porositas terendah diperoleh pada komposit dengan perbandingan massa BB:ABK 80:20, yaitu 31,33%. Kekerasan tertinggi tertinggi dan laju keausan terendah diperoleh pada komposit dengan perbandingan massa BB:ABK 60:40, secara berurutan yaitu 56.44 BHN dan 0.06 mm<sup>3</sup>/Nm.

Kata kunci:

Komposit karbon, *coal tar pitch*, batubara, arang batok kelapa, densitas, porositas, kekerasan, keausan.

## ABSTRACT

Name : Ardianto  
Study Program : Metallurgy and Materials Engineering  
Title : Study of Characteristics Carbon Composite Coal/Coconut  
Shell Charcoal Mesh Size 250 With Coal Tar Pitch  
Matrix.

Carbon composites were prepared with coal tar pitch as matrix precursor and two granular carbons namely coal waste powder (BB) and coconut shell charcoal powder (ABK) size 250 mesh as reinforcements. The amount of coal tar pitch used was 30 wt. % based on the total mass of the composites. Composites were prepared with three mass ratio BB:ABK , 60:40, 70:30, and 80:20, in order to obtained the influence of mass ratio of BB:ABK to the properties of the carbon composites such as density, porosity, hardness, and wear. The moulding of the mixture was performed in a uniaxial press using 11 U.S ton load at 100 °C for 30 minutes. The green compacts obtained from moulding process were carbonized at 500 ° C in a vacuum furnace for 15 minutes. Testing results showed that the properties of the carbon composites mainly governed by the characteristics of the granular carbons that used as reinforcement. Density of the carbon composites increase with the increasing of coal powder content, while the porosity decrease. The highest density was obtained for composites with a mass ratio of 80:20, with density value 1,55 gr/cm<sup>3</sup>. The lowest porosity was also obtained for composites with a mass ratio of 80:20, with porosity value 31,33 %. The highest hardness value and the lowest wear rate were obtained from composites with a mass ratio 60:40, with hardness and wear rate value 56,44 BHN and 0,06 mm<sup>3</sup>/Nm, respectively.

Keywords:

Carbon composites, coal tar pitch, coal waste powder, coconut shell charcoal powder, density, porosity, hardness, wear.

## DAFTAR ISI

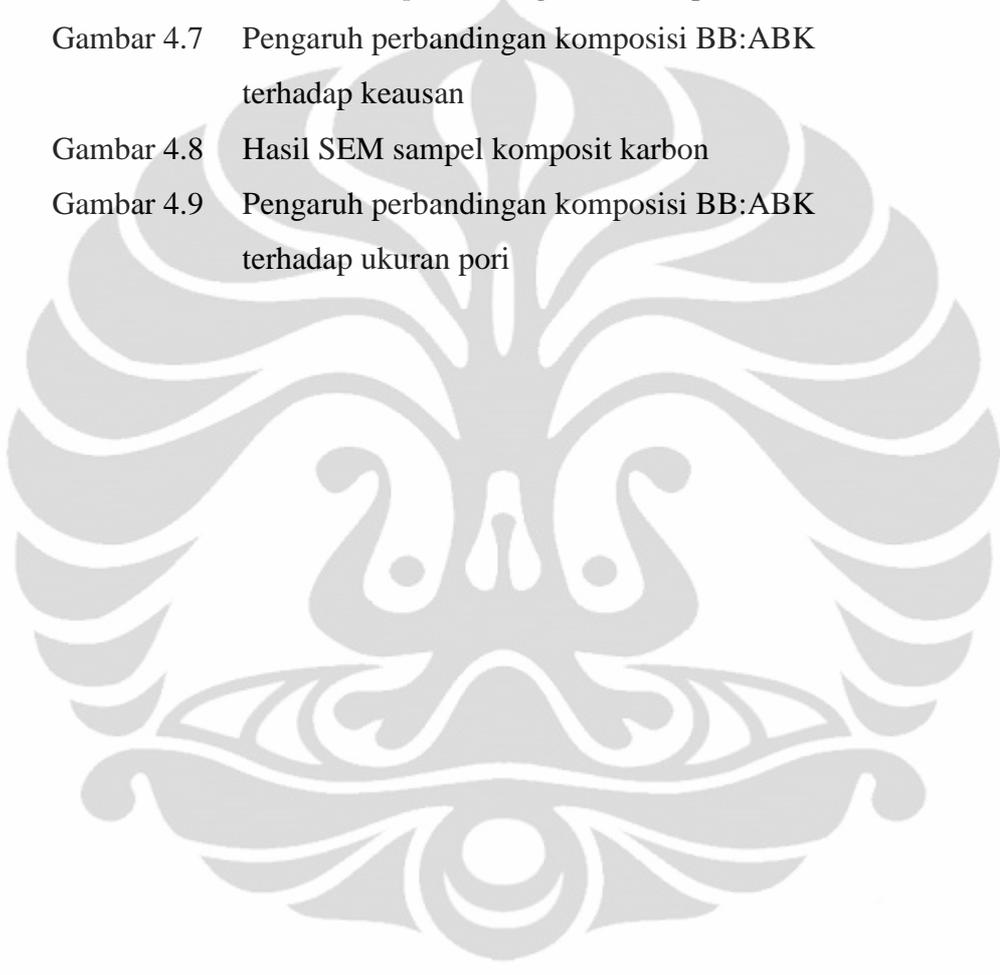
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	v
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Ruang Lingkup Penelitian	3
1.5 Sistematika Penelitian	4
<b>BAB 2 DASAR TEORI</b>	<b>5</b>
2.1 Material Komposit	5
2.1.1 Fasa Matriks	7
2.1.2 Fasa Serat	8
2.2 Komposit Karbon-Karbon ( <i>Carbon-Carbon Composites</i> )	9
2.2.1 Serat Karbon	11
2.2.2 Metode Fabrikasi Komposit Karbon-Karbon	12
2.3 <i>Coal Tar Pitch</i>	19
2.3.1 <i>Air Blown Pitches</i> dan <i>Thermally Treated Pitches</i>	21
2.4 Komposit Karbon Dengan Penguat Granular	24

2.5 Kompaksi Serbuk	29
2.5.1 Karakteristik Serbuk	29
2.5.2 Pencampuran	31
2.5.3 Proses Kompaksi	31
<b>BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN</b>	<b>34</b>
3.1 Diagram Alir Penelitian	34
3.2 Alat dan Bahan	35
3.3 Proses Pembuatan Sampel	36
3.3.1 Persiapan Bahan Baku	36
3.3.2 Pencampuran	37
3.3.3 Pencetakan	37
3.3.4 Karbonisasi	38
3.4 Karakterisasi Sampel	38
3.4.1 Pengujian Densitas	38
3.4.2 Pengujian Porositas	39
3.4.3 Pengujian Kekerasan	40
3.4.4 Pengujian Keausan	40
3.4.5 Pengamatan dengan SEM	41
<b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	<b>42</b>
4.1 Preparasi Komposit Karbon	42
4.2 Karakterisasi Komposit Karbon	44
4.2.1 Pengujian Densitas	44
4.2.2 Pengujian Porositas	46
4.2.3 Pengujian Kekerasan	48
4.2.4 Pengujian Keausan	50
4.2.5 Pengamatan SEM	52
<b>BAB 5 KESIMPULAN</b>	<b>55</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>56</b>
<b>LAMPIRAN</b>	<b>58</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Beberapa parameter fasa terdispersi pada komposit	5
Gambar 2.2	Klasifikasi Material Komposit	6
Gambar 2.3	<i>Specific strength</i> dan <i>specific modulus</i> komposit karbon-karbon	10
Gambar 2.4	Perbandingan koefisien ekspansi termal berbagai material	10
Gambar 2.5	Proses pembuatan serat karbon dari prekursor PAN dan <i>pitch</i>	11
Gambar 2.6	Aplikasi komposit karbon-karbon sebagai sistem rem mobil balap	13
Gambar 2.7	Piston otomotif yang terbuat dari komposit karbon-karbon	14
Gambar 2.8	Foto mikro <i>mesophase sphere</i> dalam <i>isotropic pitch</i>	16
Gambar 2.9	Pengaruh tekanan dan temperatur terhadap struktur karbon CVI	17
Gambar 2.10	Metode <i>chemical vapour infiltration</i> (CVI)	18
Gambar 2.11	Skema metode <i>isothermal</i> CVI	18
Gambar 2.12	Batubara dan produk turunannya	20
Gambar 2.13	Foto mikro (optik) <i>pitch</i> yang di- <i>thermal treatment</i>	22
Gambar 2.14	Foto mikro granular karbon	26
Gambar 2.15	Pengaruh tekanan pencetakan terhadap densitas dan kekuatan tekan komposit karbon	28
Gambar 2.16	Berbagai kemungkinan bentuk partikel	30
Gambar 2.17	Distribusi densitas pada penekanan satu arah dan dua arah	32
Gambar 2.18	Fenomena serbuk ketika peningkatan tekanan kompaksi	33
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian	35
Gambar 3.2	Kurva termal <i>coal tar pitch</i> , batubara, dan arang batok kelapa	36
Gambar 3.3	Cetakan yang digunakan untuk pembuatan sampel	38
Gambar 3.4	Pengukuran densitas dan porositas	39
Gambar 3.5	Ilustrasi uji keausan dengan metode Ogoshi	41
Gambar 4.1	Sampel komposit karbon hasil karbonisasi	43
Gambar 4.2	Pengaruh perbandingan komposisi BB:ABK terhadap densitas	44
Gambar 4.3	Hasil pengujian densitas arang batok kelapa dan batubara	45

Gambar 4.4	Pengaruh perbandingan komposisi BB:ABK terhadap porositas	47
Gambar 4.5	Pengaruh perbandingan komposisi BB:ABK terhadap kekerasan	49
Gambar 4.6	Perbandingan nilai kekerasan komposit <i>coal tar pitch</i> /batubara dan <i>coal tar pitch</i> /arang batok kelapa	49
Gambar 4.7	Pengaruh perbandingan komposisi BB:ABK terhadap keausan	51
Gambar 4.8	Hasil SEM sampel komposit karbon	52
Gambar 4.9	Pengaruh perbandingan komposisi BB:ABK terhadap ukuran pori	53



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Karakteristik beberapa material serat penguat	8
Tabel 2.2	Perolehan karbon dari berbagai prekursor matriks	15
Tabel 2.3	Sifat dari sampel yang diperoleh dengan beberapa tekanan pencetakan berbeda	28
Tabel 3.1	Kandungan unsur dan <i>ash</i> pada <i>coal tar pitch</i>	35
Tabel 3.2	Kandungan unsur dan <i>ash</i> pada arang batok kelapa dan batubara	36
Tabel 3.3	Formulasi untuk sebuah sampel komposit	37
Tabel 4.1	Data hasil Pengujian densitas	44
Tabel 4.2	Data hasil Pengujian porositas	46
Tabel 4.3	Data hasil pengujian kekerasan	48
Tabel 4.4	Data hasil pengujian keausan	51
Tabel 4.5	Data hasil pengukuran pori menggunakan SEM	53

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Sertifikat analisis CHSNO batubara	58
Lampiran 2	Sertifikat analisis CHSNO arang batok kelapa	59
Lampiran 3	Sertifikat analisis CHSNO <i>coal tar pitch</i>	60
Lampiran 4	Perhitungan densitas komposit dengan hukum campuran	61
Lampiran 5	Hasil pengamatan SEM sampel komposit karbon	62



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi saat ini membutuhkan material yang mempunyai sifat-sifat yang tidak bisa dicapai oleh material konvensional seperti logam, keramik, atau polimer. Komposit merupakan salah satu solusi untuk masalah tersebut, dimana sifat-sifat produk dapat didesain sesuai dengan kebutuhan aplikasi. Namun, disamping pencapaian sifat-sifat atau karakteristik yang diinginkan, faktor biaya menjadi pertimbangan yang juga tidak bisa diabaikan.

Hal ini merupakan sebuah tantangan untuk dapat mendesain material dengan sifat-sifat yang sesuai tuntutan aplikasi dan harga yang lebih rendah. Diantara strategi yang dapat diterapkan untuk menekan harga adalah dengan menggunakan bahan baku yang murah, misalnya produk sampingan dari suatu industri, dan juga dengan menggunakan metode fabrikasi yang lebih sederhana, sehingga dapat menurunkan biaya produksi secara signifikan<sup>[7]</sup>. Namun, tentunya kita tidak bisa mendapatkan produk dengan sifat-sifat yang sama dengan produk yang dibuat dengan bahan baku khusus dan metode fabrikasi yang lebih canggih, tetapi hal ini dapat diterapkan untuk aplikasi konvensional.

Komposit karbon-karbon (*carbon-carbon composite*) merupakan material komposit yang dikelompokkan ke dalam *organic matrix composite*<sup>[1]</sup>, karena prekursor matriksnya merupakan material organik yang berasal dari polimer atau *pitch*. Istilah lengkap material ini adalah *carbon fiber-reinforced carbon matrix-composites*, yang jika diterjemahkan berarti material komposit dengan matrik karbon yang diperkuat serat karbon. Kelebihan material komposit karbon dibanding dengan material lainnya adalah kemampuannya untuk mempertahankan kekuatan dan kekakuan pada temperatur tinggi. Selain itu, material ini mempunyai CTE (*coefficient of thermal expansion*) yang rendah dan konduktivitas panas yang tinggi, sehingga material ini memiliki ketahanan terhadap *thermal shock*. Komposit karbon-karbon digunakan pada motor roket, sebagai cakram rem pada pesawat terbang dan kendaraan bermotor performa tinggi, sebagai cetakan tekan

panas (*hot-pressing*), komponen untuk turbin *engine*, dan *ablative shielded* pada *re-entry vehicle*<sup>[2]</sup>.

Bahan baku yang umum digunakan untuk pembuatan serat karbon diantaranya adalah PAN, rayon, dan *pitch*<sup>[4]</sup>. Sebagaimana yang kita ketahui harga serat karbon relatif mahal karena proses pembuatannya yang cukup rumit. Komposit karbon-karbon biasanya dibuat menggunakan *preform* dari serat karbon, yang dipadatkan dengan suatu prekursor matriks. Proses densifikasi yang paling banyak digunakan adalah melalui CVD dari karbon yang diperoleh melalui dekomposisi termal hidrokarbon, dan impregnasi liquid dari suatu prekursor organik (resin atau *pitch*)<sup>[5]</sup>. Kedua proses tersebut mahal karena melibatkan temperatur dan tekanan tinggi dan juga waktu fabrikasi yang lama. Selain itu, diperlukan beberapa kali (siklus) proses densifikasi untuk mendapatkan sifat-sifat produk akhir yang diinginkan. Pada aplikasi konvensional, dimana tidak dibutuhkan material dengan performa tinggi dapat digunakan material prekursor yang lebih murah dan metode fabrikasi yang lebih sederhana, yang akan menurunkan biaya produksi secara signifikan<sup>[7]</sup>.

Material karbon dapat diperoleh dari bahan-bahan yang pada dasarnya memiliki nilai ekonomi yang rendah misalnya limbah batubara, arang batok kelapa, dan juga *coal tar pitch*. *Coal tar pitch* telah digunakan secara luas sebagai prekursor matriks karena harganya yang murah, perolehan karbon yang relatif tinggi, dan kemampuannya untuk menghasilkan karbon yang *graphitizable* dalam pembuatan komposit karbon<sup>[5]</sup>. Namun, limbah batubara dan batok kelapa belum banyak diteliti dan digunakan sebagai penguat dalam komposit karbon. Material ini cukup menarik untuk digunakan karena kandungan karbonnya yang relatif tinggi, sehingga bisa dijadikan sebagai alternatif penguat (*reinforcement*) pada komposit karbon. Dengan pemanfaatan material-material tersebut, yang harganya relatif murah dan juga proses produksi yang lebih mudah (karena bentuknya partikel) akan diperoleh komposit karbon yang harganya lebih murah dan bisa digunakan dalam aplikasi konvensional.

## 1.2 Perumusan Masalah

Dalam penelitian ini akan dikaji karakteristik dari material komposit karbon dengan bahan baku *coal tar pitch*, batubara, dan arang batok kelapa yang dibuat dengan metode *hot pressing* dan karbonisasi dalam dapur vakum. *Coal tar pitch* berperan sebagai prekursor matriks sedangkan batubara dan arang batok kelapa sebagai partikel penguat. Sampel komposit karbon dibuat dengan perbandingan massa matriks/penguat 30:70, dengan tiga variasi komposisi batubara/arang batok kelapa yaitu 80:20, 70:30, dan 60:40. Ukuran partikel batubara dan batok kelapa yang digunakan adalah 250 *mesh*. Sampel tersebut selanjutnya dikarakterisasi melalui beberapa pengujian diantaranya densitas dan porositas, kekerasan, keausan, dan pengamatan dengan SEM.

## 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Membuat material komposit karbon dengan prekursor matriks *coal tar pitch* dan penguat partikel batubara (BB) dan arang batok kelapa (ABK) menggunakan metode metalurgi serbuk (*hot pressing*).
2. Menganalisis pengaruh perbandingan komposisi partikel penguat BB:ABK (80:20 ; 70:30 ; 60:40) ukuran 250 *mesh* terhadap sifat fisik (densitas, porositas) dan sifat mekanis (kekerasan, keausan) komposit tersebut.

## 1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Dalam penelitian ini akan digunakan perbandingan komposisi matriks (*coal tar pitch*) dan partikel penguat berukuran 250 *mesh* (batubara dan arang batok kelapa) 30:70, dengan variasi perbandingan massa batubara/arang batok kelapa 80:20, 70:30 dan 60:40. Sampel dibuat dengan metode *hot pressing* dengan beban 11 U.S ton pada temperatur 100 °C selama 30 menit, dan kemudian dikarbonisasi pada temperatur 500 °C. Selanjutnya dilakukan beberapa pengujian yaitu pengujian densitas dan porositas, pengujian keausan pengujian kekerasan pengujian dampak pengamatan dengan SEM.

## 1.5 Sistematika Penulisan

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

### **Bab 1 : Pendahuluan**

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

### **Bab 2 : Tinjauan Pustaka**

Bab ini berisikan uraian tentang studi literatur yang berkaitan dengan penelitian skripsi ini.

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

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

### **Bab 4 : Hasil Dan Pembahasan**

Bab ini berisi data-data hasil penelitian dan analisa dari hasil penelitian tersebut yang dibandingkan dengan hasil dari studi literatur.

### **Bab 5 : Kesimpulan**

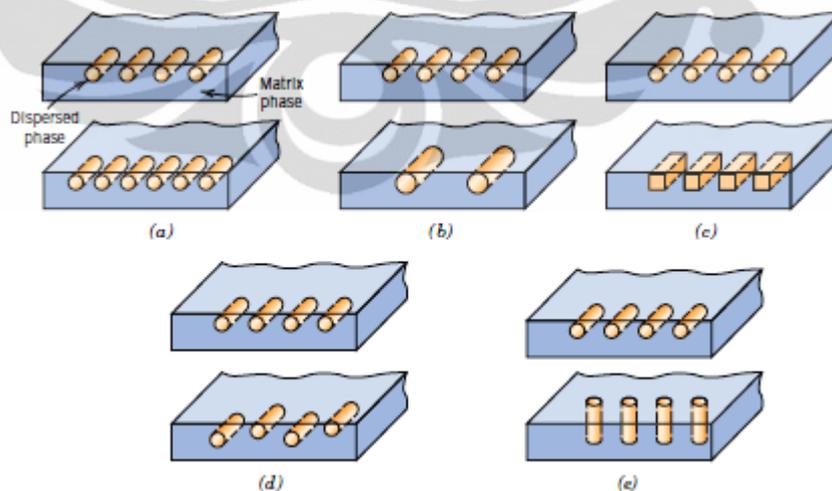
Bab ini berisikan kesimpulan akhir berdasarkan hasil dan pembahasan penelitian ini.

## BAB 2 DASAR TEORI

### 2.1 Material Komposit

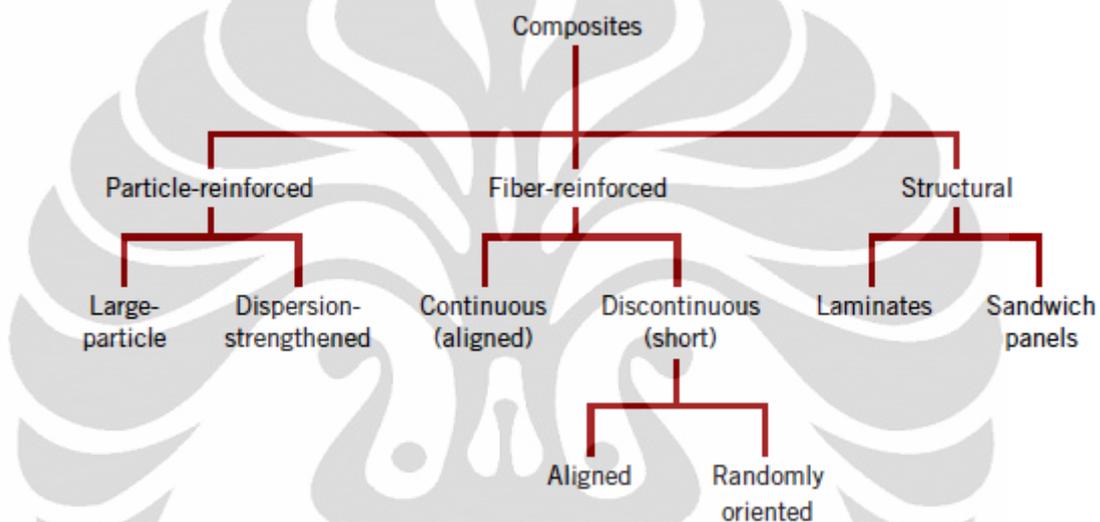
Material komposit adalah gabungan makroskopik dari dua atau lebih material berbeda, yang memiliki suatu antarmuka (*interface*) yang jelas diantara material-material tersebut. Material-material penyusun tersebut mempertahankan identitasnya didalam sistem komposit, yaitu tidak terlarut atau bergabung secara sempurna kedalam satu sama lain, namun mereka saling bekerjasama. Material komposit biasanya adalah *man-made*, dibuat dengan tujuan untuk mendapatkan sifat-sifat tertentu, terutama sifat mekanis, yang tidak dapat dicapai oleh setiap konstituen secara sendiri. Komposit tidak hanya dimanfaatkan untuk sifat-sifat mekanisnya namun juga sifat listrik, panas, tribologi dan lainnya<sup>[1]</sup>.

Material komposit terdiri dari dua komponen utama yang disebut fasa, yaitu fasa matriks yang kontinyu dan mengelilingi fasa lainnya yang disebut fasa terdispersi (*dispersed phase*). Sifat-sifat komposit merupakan fungsi dari sifat-sifat fasa penyusun tersebut (matriks dan fasa terdispersi), jumlah relatifnya, dan geometri dari fasa terdispersi. Dalam konteks ini geometri fasa terdispersi meliputi bentuk partikel, ukuran, distribusi dan orientasi (Gambar 2.1)<sup>[2]</sup>.



**Gambar 2.1** Beberapa parameter fasa terdispersi a) konsentrasi; dan geometri fasa terdispersi yaitu: b) ukuran, c) bentuk, d) distribusi dan e) orientasi.<sup>[2]</sup>

Berdasarkan matriks penyusunnya, komposit dibedakan atas *organic-matrix composites* (OMCs), *metal-matrix composites* (MMCs), dan *ceramic-matrix composites* (CMCs). Istilah *organic matrix composites* meliputi dua kelompok material komposit, yaitu *polymer matrix composites* (PMCs) dan *carbon matrix composites* (disebut juga *carbon-carbon composites*, CCCs). *Carbon matrix composites* biasanya dibuat dari PMCs dengan melibatkan tahapan-tahapan tambahan seperti karbonisasi dan densifikasi<sup>[1]</sup>.



Gambar 2.2 Klasifikasi Material Komposit<sup>[2]</sup>

Komposit juga dapat diklasifikasikan menjadi *particle-reinforced*, *fiber reinforced* dan *structural composite*, seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.2 di atas. *Particle-reinforced composites* memiliki fasa terdispersi yang *equiaxed* (dimensi partikel hampir sama dalam semua arah). Berdasarkan mekanisme penguatannya *particle-reinforced composites* dibedakan menjadi *large particle* dan *dispersion strengthening composites*. Istilah *large* digunakan untuk menunjukkan bahwa interaksi antara partikel dengan matriks tidak terjadi dalam tingkat atomik atau molekuler. Umumnya partikel tersebut lebih keras dan kaku daripada matriksnya. Partikel-partikel penguat tersebut cenderung menahan pergerakan matriks di sekitarnya. Pada dasarnya matriks mentransfer sejumlah *stress* yang diterimanya kepada partikel, yang menanggung sebagian dari beban tersebut. Tingkat penguatan atau peningkatan sifat mekanis tergantung pada kekuatan ikatan antarmuka matriks dengan partikel<sup>[2]</sup>.

Pada *dispersion strengthening composites*, ukuran partikel biasanya jauh lebih kecil, dengan diameter berkisar antara 0.01 dan 0.1  $\mu\text{m}$  (10 dan 100 nm). Interaksi antara partikel dengan matriks yang menghasilkan peningkatan kekuatan terjadi pada tingkat atomik atau molekuler. Mekanisme penguatan yang terjadi mirip dengan pengerasan presipitasi (*precipitation hardening*). Matriks menanggung sebagian besar dari beban yang diberikan, sedangkan partikel-partikel kecil yang terdispersi menghambat gerakan dislokasi. Akibatnya, deformasi plastis terhambat dan menyebabkan peningkatan kekuatan luluh (*yield strength*), kekuatan tarik (*tensile strength*) dan juga kekerasan<sup>[2]</sup>.

### 2.1.1 Fasa Serat

Salah satu karakteristik penting dari kebanyakan material, terutama material *brittle*, adalah bahwa material dalam bentuk serat dengan diameter yang kecil jauh lebih kuat daripada material yang sama dalam kondisi *bulk*. Hal ini terjadi karena probabilitas adanya cacat permukaan yang dapat mengakibatkan perpatahan berkurang dengan penurunan volume, sehingga menjadi suatu keuntungan pada *fiber-reinforced composites*.

Berdasarkan diameter dan sifatnya, serat dikelompokkan kedalam tiga klasifikasi yaitu *whiskers*, serat (*fiber*), dan *wires*. *Whiskers* merupakan kristal tunggal yang sangat tipis dengan *aspect ratio* (perbandingan panjang terhadap diameter) yang sangat tinggi. Karena ukurannya yang sangat kecil, *whiskers* memiliki derajat kesempurnaan kristalin yang tinggi dan hampir bebas dari cacat, yang merupakan kunci dari kekuatannya yang sangat tinggi. Walaupun kekuatannya tinggi, *whisker* tidak banyak digunakan sebagai media penguat karena harganya sangat mahal dan juga kesulitan dalam menggabungkan *whisker* kedalam matriks. Material *whisker* meliputi silikon karbida, silikon nitrida, dan aluminium oksida. Serat (*fibre*) merupakan material polikristalin atau amorf dengan diameter yang kecil. Material serat umumnya keramik dan polimer, seperti aramid, serat gelas, karbon, boron, aluminium oksida, dan silikon karbida. *Wires* memiliki diameter yang relatif besar; material yang digunakan biasanya meliputi baja, molibdenum, dan tungsten<sup>[2]</sup>. Karakteristik beberapa material serat dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Karakteristik beberapa material serat penguat<sup>[2]</sup>

<i>Material</i>	<i>Specific Gravity</i>	<i>Tensile Strength [GPa (10<sup>6</sup> psi)]</i>	<i>Specific Strength (GPa)</i>	<i>Modulus of Elasticity [GPa (10<sup>6</sup> psi)]</i>	<i>Specific Modulus (GPa)</i>
<b>Whiskers</b>					
Graphite	2.2	20 (3)	9.1	700 (100)	318
Silicon nitride	3.2	5–7 (0.75–1.0)	1.56–2.2	350–380 (50–55)	109–118
Aluminum oxide	4.0	10–20 (1–3)	2.5–5.0	700–1500 (100–220)	175–375
Silicon carbide	3.2	20 (3)	6.25	480 (70)	150
<b>Fibers</b>					
Aluminum oxide	3.95	1.38 (0.2)	0.35	379 (55)	96
Aramid (Kevlar 49™)	1.44	3.6–4.1 (0.525–0.600)	2.5–2.85	131 (19)	91
Carbon <sup>a</sup>	1.78–2.15	1.5–4.8 (0.22–0.70)	0.70–2.70	228–724 (32–100)	106–407
E-glass	2.58	3.45 (0.5)	1.34	72.5 (10.5)	28.1
Boron	2.57	3.6 (0.52)	1.40	400 (60)	156
Silicon carbide	3.0	3.9 (0.57)	1.30	400 (60)	133
UHMWPE (Spectra 900™)	0.97	2.6 (0.38)	2.68	117 (17)	121
<b>Metallic Wires</b>					
High-strength steel	7.9	2.39 (0.35)	0.30	210 (30)	26.6
Molybdenum	10.2	2.2 (0.32)	0.22	324 (47)	31.8
Tungsten	19.3	2.89 (0.42)	0.15	407 (59)	21.1

### 2.1.2 Fasa Matriks

Fasa matriks pada komposit berpenguat serat bisa berupa logam, polimer, atau keramik. Umumnya, logam dan polimer digunakan sebagai matriks karena diinginkan tingkat keuletan tertentu; sedangkan pada CMCs komponen penguat ditambahkan untuk meningkatkan ketangguhan. Pada *fiber-reinforced composites*, fasa matriks memiliki beberapa fungsi. Pertama, untuk mengikat serat dan berperan sebagai media dimana *stress* yang diberikan dari luar diteruskan dan didistribusikan ke serat, sedangkan matriks hanya menanggung sebagian kecil dari beban yang diberikan. Modulus elastisitas dari serat harus jauh lebih tinggi daripada modulus elastisitas matriks. Fungsi kedua dari fasa matriks adalah untuk melindungi masing-masing serat dari kerusakan permukaan akibat abrasi mekanis dan reaksi dengan lingkungan yang dapat menyebabkan cacat permukaan dan membentuk retakan, mneyebabkan terjadinya kegagalan pada tingkat *stress* yang rendah. Matriks juga berfungsi untuk memisahkan antar serat, dan karena keuletan

yang dimilikinya matriks mencegah perambatan retak getas dari serat ke serat yang dapat menyebabkan kegagalan katastrofik.

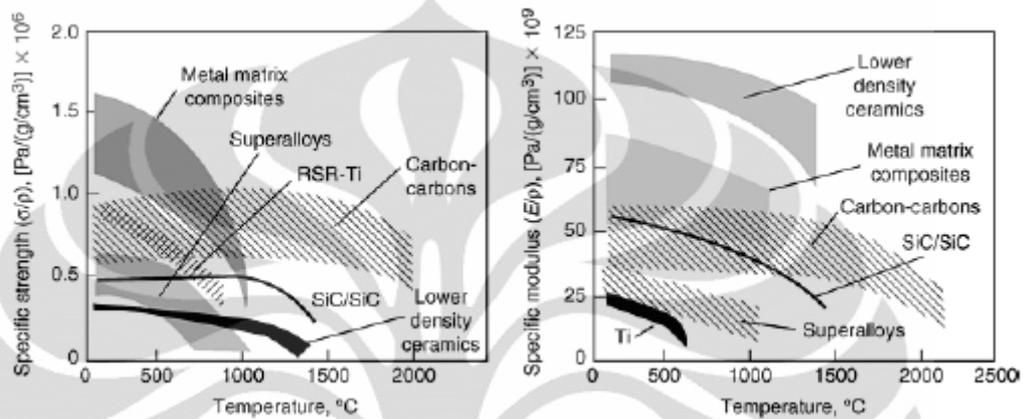
Walaupun beberapa dari serat mengalami kegagalan, perpatahan komposit secara keseluruhan tidak akan terjadi hingga sejumlah besar serat yang patah yang berdekatan membentuk suatu *cluster* dengan ukuran kritis tertentu. Gaya ikatan adhesi yang besar antara serat dan matriks merupakan hal yang penting untuk meminimalisasi terpisahnya serat dari matriks (*fiber pull-out*). Kekuatan ikatan merupakan pertimbangan penting dalam pemilihan kombinasi matriks dan serat yang akan digunakan. *Ultimate strength* komposit sangat tergantung pada besarnya kekuatan ikatan ini, kekuatan ikatan harus cukup untuk memaksimalkan transfer *stress* dari matriks ke serat<sup>[2]</sup>.

## 2.2 Komposit Karbon-Karbon

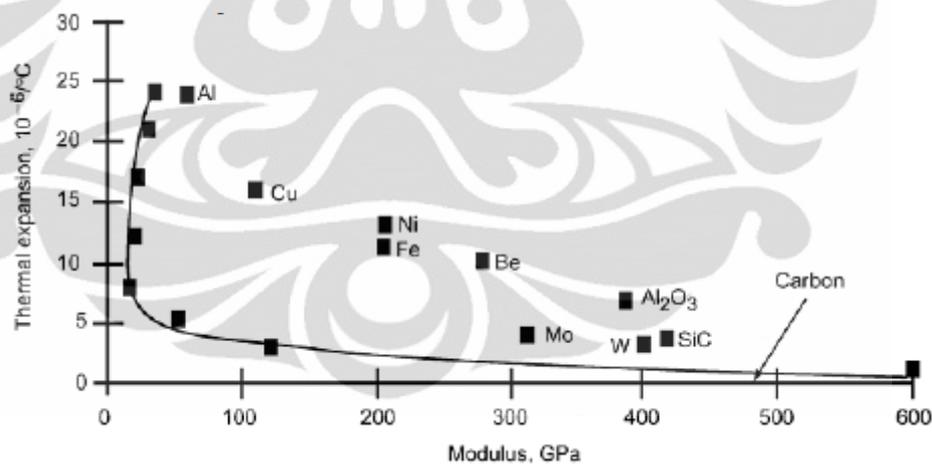
*Carbon fiber-reinforced carbon-matrix composite*, yang biasa disebut *carbon-carbon composites* merupakan salah satu material rekayasa yang paling maju dan menjanjikan. Sebagaimana namanya, baik matriks maupun material penguatnya adalah karbon. Material tersebut relatif baru dan mahal, sehingga saat ini belum digunakan secara luas. Sifat yang menarik dari material ini diantaranya adalah modulus tarik (*tensile modulus*) dan kekuatan tariknya (*tensile strength*) yang bertahan hingga temperatur di atas 2000 °C (Gambar 2.3), ketahanan terhadap *creep*, dan juga nilai ketangguhan patah yang relatif besar. Selain itu, material ini memiliki koefisien ekspansi termal yang rendah (Gambar 2.4) dan konduktivitas panas yang relatif tinggi, kombinasi karakteristik tersebut dengan kekuatan yang tinggi menyebabkan material ini tahan terhadap *thermal shock*<sup>[2,3]</sup>.

Komposit karbon-karbon digunakan pada motor roket, sebagai cakram rem pada pesawat terbang dan kendaraan bermotor performa tinggi, sebagai cetakan tekan panas (*hot-pressing*), komponen untuk mesin turbin, dan *ablative shielded* pada kendaraan antariksa. Alasan utama kenapa material tersebut sangat mahal adalah karena teknik pemrosesan yang relatif rumit. Prosedur awalnya pada dasarnya mirip dengan pembuatan *polymer matrix composites* (PMCs). Serat karbon yang kontinu dibentuk sesuai pola yang diinginkan (2D atau 3D) kemudian dimpregnasi dengan suatu resin polimer cair dan dibiarkan mengeras (*curing*) dan selanjutnya dipanaskan dalam suatu atmosfer *inert* untuk mengubah

matriks tadi menjadi karbon, yang disebut proses pirolisis. Selama pirolisis, komponen molekul resin polimer yang terdiri dari oksigen, hidrogen, dan nitrogen terlepas dan menyisakan rantai molekul karbon yang besar. Perlakuan panas selanjutnya pada temperatur yang lebih tinggi akan menyebabkan matriks karbon ini memadat dan mengalami peningkatan kekuatan<sup>[2]</sup>.



**Gambar 2.3** *Specific strength* dan *specific modulus* komposit karbon-karbon<sup>[1]</sup>



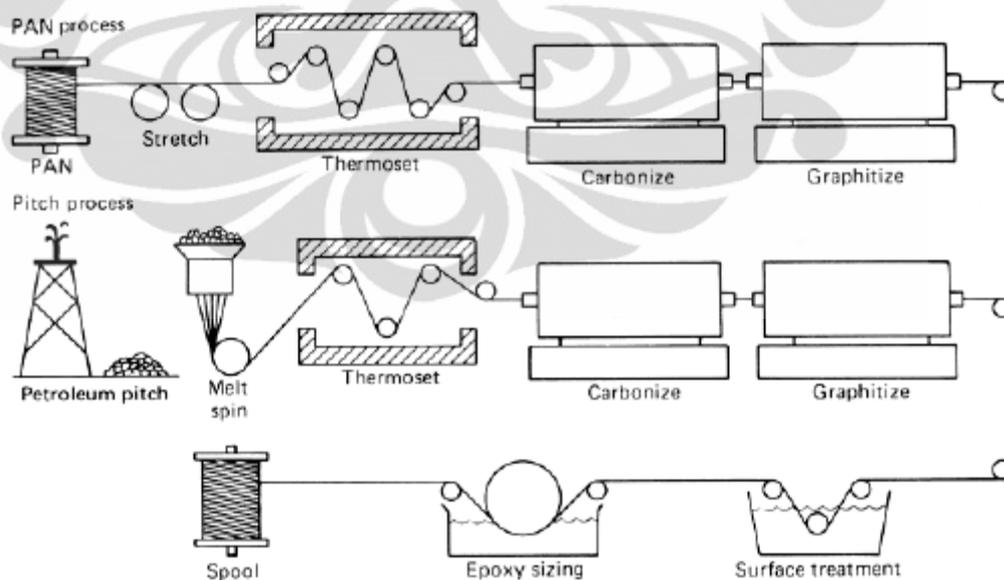
**Gambar 2.4** Perbandingan koefisien ekspansi termal berbagai material<sup>[1]</sup>

Salah satu keterbatasan dari komposit karbon adalah kerentanannya terhadap oksidasi. Pada temperatur di atas 500 °C, baik matriks maupun serat rentan mengalami oksidasi jika tidak diproteksi dari paparan oksigen. Metode yang digunakan untuk melindungi material komposit karbon dari oksidasi diantaranya adalah *external coating* dan penggunaan *inhibitor* oksidasi. Pelapisan permukaan akan menghalangi penetrasi oksigen ke dalam material komposit

karbon. Material yang umum digunakan untuk *coating* adalah silikon karbida. Penambahan *inhibitor* oksidasi berperan sebagai penghalang internal terhadap masuknya oksigen atau sebagai *sinker* oksigen<sup>[6]</sup>.

### 2.5.1 Serat Karbon

Serat karbon memiliki sifat yang sangat bervariasi tergantung pada jenis material prekursor dan kondisi proses yang digunakan. Material prekursor yang digunakan untuk pembuatan serat karbon diantaranya yaitu rayon, *polyacilonitrile* (PAN), dan *petroleum pitch*. Serat yang memiliki modulus rendah (27.6 GPa) diproduksi dari material prekursor rayon melalui suatu rangkaian tahap pemanasan. Pertama, serat dipanaskan hingga 400 °C agar seluosa mengalami pirolisis. Karbonisasi berlangsung lebih cepat pada temperatur > 1000 °C. Setelah karbonisasi terjadi secara sempurna, serat digrafitisasi dengan pemanasan hingga > 2000 °C sehingga diperoleh 100 % karbon. Serat karbon modulus tinggi dari prekursor rayon dapat diperoleh dengan proses tambahan *stretching* pada temperatur perlakuan panas akhir. Skema alur proses pembuatan serat karbon dari prekursor PAN dan *pitch* dapat dilihat pada Gambar 2.5.



**Gambar 2.5** Proses pembuatan serat karbon dari prekursor PAN dan *pitch*<sup>[1]</sup>

Serat karbon dengan modulus dan kekuatan yang tinggi biasanya dibuat dari prekursor PAN atau *mesophase pitch*. Serat tersebut diproses dengan cara yang sama melalui tiga tahapan proses. Serat PAN awalnya di-*stretch* dari 500 % hingga 1300 % dan kemudian distabilisasi (di-*cross-link*) dalam suatu atmosfer oksigen pada temperatur 200 °C hingga 280 °C. Karbonisasi dilakukan antara temperatur 1000 °C dan 1600 °C dan selanjutnya grafitisasi dicapai pada temperatur > 2500 °C. Serat yang berasal dari *mesophase pitch* mengalami prosedur pemrosesan yang sama dengan serat PAN, namun tidak membutuhkan proses *stretching* selama perlakuan panas untuk mempertahankan susunan kristalit yang diinginkan<sup>[4]</sup>.

### 2.2.2 Metode Fabrikasi Komposit Karbon-Karbon

Komposit karbon dibuat dengan menginfiltirasi suatu *preform* serat karbon dengan matriks karbon. Matriks dapat dibentuk melalui infiltrasi fasa cair (*liquid phase infiltration*) dan CVI (*chemical vapor infiltration*), atau kombinasi dari kedua metode tersebut. Infiltrasi fasa cair dilakukan dengan suatu prekursor matriks berupa resin *thermoset* (seperti *phenolic* dan *furan*) atau *pitch* yang berasal dari *coal tar* atau minyak bumi. Proses fabrikasi komposit karbon-karbon akan dijelaskan di bawah ini berdasarkan jenis komposit karbon, yaitu komposit karbon dengan porositas tinggi (*porous carbon-carbon composites*) dan komposit karbon dengan densitas yang tinggi (*dense carbon-carbon composites*)<sup>[5]</sup>.

#### a) *Porous Carbon-Carbon Composites*

Aplikasi utama komposit karbon dengan kandungan porositas dalam kisaran 70% hingga 90% adalah sebagai insulasi pada temperatur tinggi. Komposit tersebut juga dikenal sebagai *carbon bonded carbon fiber* (CBCF). Serat yang digunakan pada CBCF adalah serat dengan modulus rendah yang dihasilkan dari prekursor rayon dan umumnya memiliki panjang beberapa milimeter. Suatu *slurry* dibentuk dengan serat bersama dengan limbah daur ulang CBCF. Resin *phenolic*, bahan pengikat (*binder*) dan air ditambahkan pada *slurry* dan diaduk. Campuran tersebut selanjutnya dipompakan kedalam suatu cetakan dan kemudian air diekstrak dari *slurry* dalam kondisi vakum. Pada tahap ini

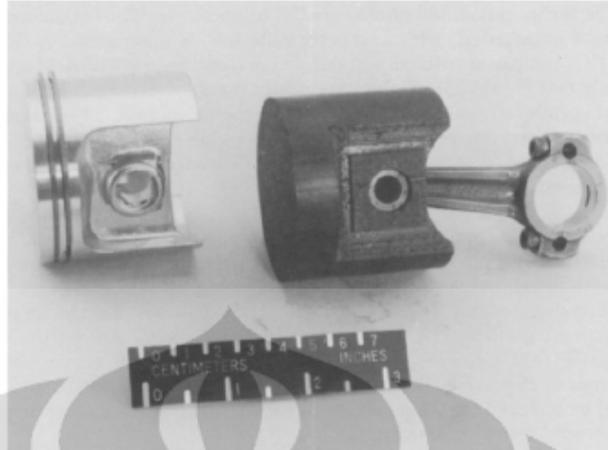
terjadi pengaturan arah serat tegak lurus terhadap arah vakum yang diberikan. Komponen yang dihasilkan tersebut selanjutnya melalui berbagai prosedur pengeringan sebelum memasuki proses karbonisasi pada temperatur sekitar 950 °C yang menghasilkan perolehan karbon dari resin *phenolic* sekitar 50%. Langkah terakhir adalah perlakuan panas temperatur tinggi yang diakhiri pada tekanan rendah untuk menghilangkan gas pengotor, sehingga dihasilkan produk akhir yang sangat murni dengan kandungan karbon lebih dari 99.9%. Produk yang dihasilkan bersifat anisotropic karena pengaturan arah serat sewaktu pemberian tekanan vakum pada tahap pencetakan<sup>[51]</sup>.

#### **b) Dense Carbon-Carbon Composites**

Serat kontinyu dan diskontinyu digunakan sebagai penguat pada *dense carbon-carbon composites*. Serat diskontinyu biasanya digunakan untuk membuat komponen berukuran besar, menghasilkan material yang lebih isotropik dan untuk meningkatkan kekuatan interlaminar. Serat tersebut biasanya dibuat dari material prekursor rayon atau *pitch*. Serat kontinyu biasanya digunakan untuk menghasilkan material dengan tingkat anisotropi yang diinginkan. Aplikasi dari komposit tersebut meliputi cakram rem untuk mobil balap dan pesawat terbang, komponen turbin gas, *nose cone* serta *leading edge* untuk misil dan lainnya. Metode yang digunakan untuk membuat matriks komposit ini adalah *liquid phase infiltration* dan CVI<sup>[51]</sup>. Contoh aplikasi *dense carbon-carbon composites* dapat dilihat pada Gambar 2.6 dan Gambar 2.7.



**Gambar 2.6** Aplikasi komposit karbon-karbon sebagai sistem rem pada mobil balap<sup>[23]</sup>



**Gambar 2.7** Piston otomotif yang terbuat dari komposit karbon-karbon<sup>[4]</sup>

### 2.2.2.1 Infiltrasi Fasa Cair (*Liquid Phase Infiltration*)

Setiap cairan yang memiliki fluiditas yang baik untuk memungkinkan impregnasi dan bisa menghasilkan perolehan karbon (*carbon yield*) minimal 40% ketika pirolisis dapat digunakan sebagai prekursor matriks pada proses infiltrasi fasa cair. Jenis prekursor yang biasa digunakan adalah resin *thermoset* (*phenolic*, *furan* dan *polymide*) dan *pitch* yang berasal dari *coal tar* atau minyak bumi. Perolehan karbon dari berbagai material prekursor disajikan pada Tabel 2.2.

Pengetahuan yang diperoleh dari pemrosesan *polymer matrix composites* menggunakan resin *thermoset* memberikan keuntungan tersendiri dalam tahap pengembangan komposit karbon. Umumnya resin tersebut mengalami polimerisasi pada temperatur rendah (250 °C) membentuk material amorf dengan struktur jaring silang (*cross-link*). Untuk mengubahnya menjadi karbon dibutuhkan temperatur yang lebih tinggi, yaitu sekitar 1000 °C. Perolehan karbon biasanya adalah dalam kisaran 45-65%, namun dalam beberapa kasus bisa mencapai 80%. Untuk mendapatkan komposit dengan densitas yang tinggi dibutuhkan siklus impregnasi dan karbonisasi yang berulang-ulang. Satu siklus densifikasi bisa memakan waktu tiga hari karena gas yang terbentuk ketika pirolisis harus dilepaskan secara perlahan untuk menghindari kerusakan pada struktur, sehingga proses fabrikasi komposit membutuhkan waktu yang lama. Untuk merubah matriks karbon yang amorf menjadi grafit (kristalin), dibutuhkan temperatur di atas 2500 °C bersama dengan tekanan agar grafitisasi terjadi pada laju yang cukup<sup>[5]</sup>.

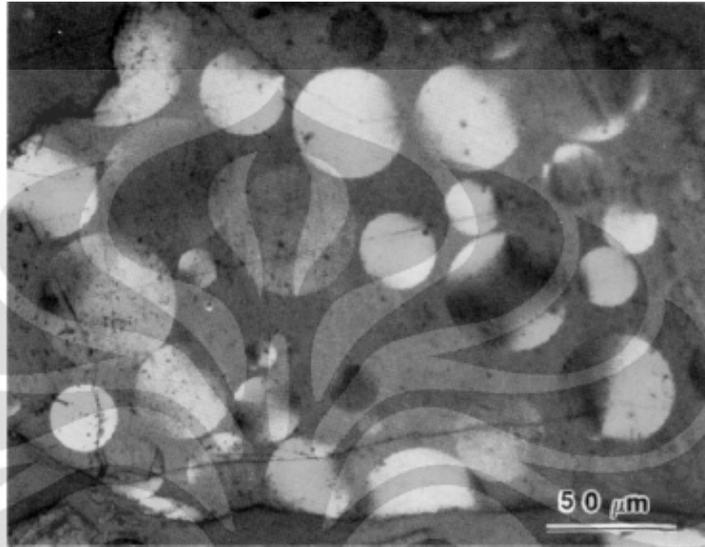
Tabel 2.2 Perolehan karbon dari berbagai prekursor matriks<sup>[18]</sup>

Virgin Matrix Experimental Char*		
Matrix	Carbon content, %	Yield, %
<b>Resins</b>		
Polybenzimidazole	96	73
Polyphenylene	92	71
Biohenol formaldehyde	80	65
Furfural alcohol	75	63
Phenol formaldehyde (phenolic)	78	60
Epoxy novalac	74	55
Polyimide	77	49
<b>Pitches</b>		
Coal tar	75	60
Electrode binder	92	40
Vegetable	69	30
Petroleum	88	21
<b>Synthetic pitches</b>		
Truxene	95	87
Isotruxene	95	80
<b>Resin: Pitch blends</b>		
Phenolic - 60%, Coal tar pitch	78	75
Furfural alcohol - 60%, Coal tar pitch	-	67
Epoxy novalac - 60%, Coal tar pitch	-	60

\*Heated 12 °F/min to 1800 °F in an inert gas

*Pitch*, misalnya yang berasal dari minyak bumi, yang digunakan dalam fabrikasi komposit karbon-karbon merupakan campuran *polynuclear aromatic hydrocarbon* yang bersifat termoplastik<sup>[5]</sup>. Dari *softening point*-nya hingga sekitar 400 °C *pitch* mengalami berbagai perubahan, diantaranya yaitu penguapan dari fraksi yang memiliki berat molekul rendah, polimerisasi, *cleavage* (penguraian suatu molekul menjadi molekul-molekul lain yang lebih sederhana melalui pemutusan ikatan kimia), dan pengaturan kembali struktur molekul. Pada temperatur di atas 400 °C dalam *isotropic liquid pitch* terbentuk suatu struktur yang sangat teratur menyerupai *liquid crystal*, yang disebut *mesophase sphere*. *Mesophase sphere* tersebut mengalami perubahan bentuk, penyatuan, dan membeku membentuk daerah yang teratur. Susunan *lamellar* dari struktur

molekul pada daerah ini mempermudah pembentukan struktur grafitik ketika pemanasan selanjutnya di atas 2000 °C<sup>[1]</sup>. Foto mikro *mesophase sphere* pada *pitch* dapat dilihat pada Gambar 2.8 di bawah ini.



**Gambar 2.8** Foto mikro *mesophase sphere* dalam *isotropic pitch*<sup>[4]</sup>

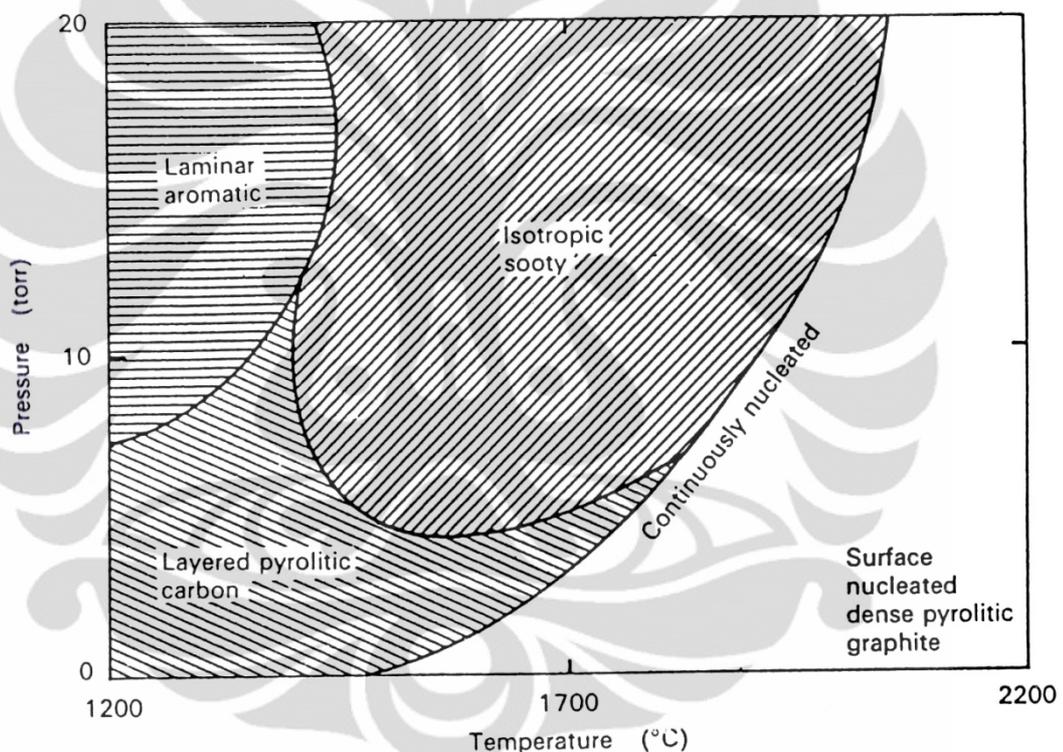
Perolehan karbon dari *pitch* pada tekanan atmosfer adalah sekitar 50%, hampir sama dengan perolehan karbon dari prekursor resin *thermoset*. Perbedaan struktur matriks dari prekursor *pitch* dan resin *thermoset* menyebabkan komposit dengan prekursor *pitch* memiliki densitas yang lebih tinggi. Berbeda dengan resin, perolehan karbon dari *pitch* meningkat signifikan dengan kenaikan tekanan. Perolehan karbon mendekati 90% dapat dicapai pada tekanan >1000 atm (100MPa)<sup>[5]</sup>.

#### 2.2.2.2 Chemical Vapour Infiltration (CVI)

Pembentukan matriks karbon juga dapat dilakukan melalui CVI yang melibatkan dekomposisi termal dari suatu gas hidrokarbon pada temperatur dan tekanan tertentu. Berbagai gas hidrokarbon telah digunakan sebagai prekursor matriks, seperti metana, propana, benzena dan hidrokarbon lainnya. Sebagai contoh, ketika pemrosesan metana terurai berdasarkan reaksi berikut:

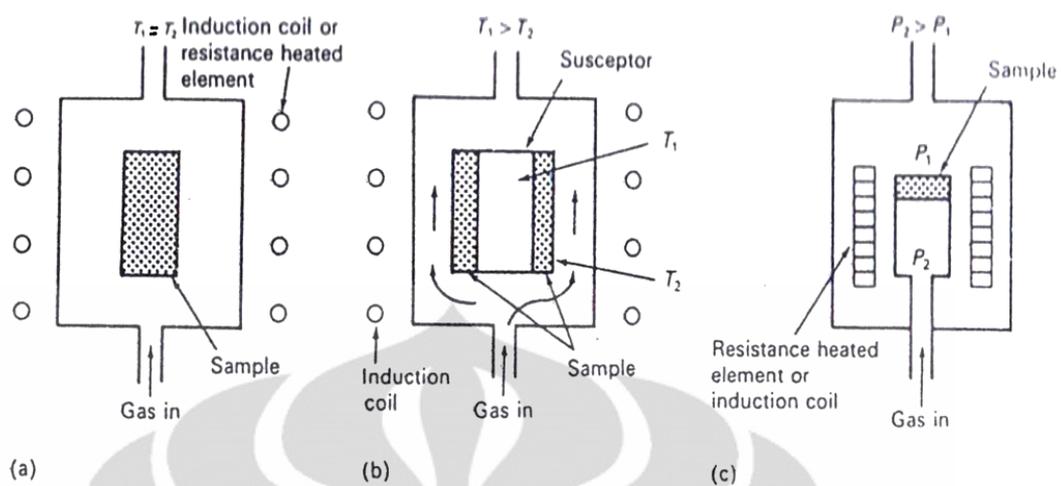


Gambar 2.9 menunjukkan bahwa struktur karbon yang dihasilkan dengan CVI sangat dipengaruhi oleh temperatur dan tekanan yang digunakan ketika proses. Pada temperatur dan tekanan rendah, terbentuk struktur lapisan *pyrolytic carbon* dengan densitas tinggi. *Pyrolytic carbon* merupakan suatu karbon mikrokristalin dengan ukuran butir yang sangat kecil sehingga terlihat seperti non-kristalin jika diamati dengan teknik konvensional seperti XRD. Pada temperatur yang lebih tinggi terbentuk *pyrolytic grafit* dengan densitas yang tinggi melalui proses nukleasi permukaan. Sedangkan pada kondisi pemrosesan lainnya menghasilkan struktur yang kurang baik, misalnya *soot* [5].



**Gambar 2.9** Pengaruh tekanan dan temperatur terhadap struktur karbon hasil CVI [5]

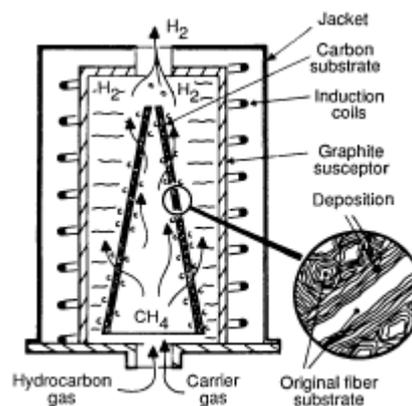
Pada proses CVI, struktur karbon dan efektifitas proses infiltrasi tidak hanya bergantung pada temperatur dan tekanan, tetapi juga pada karakteristik substrat seperti kekasaran permukaan, luas area permukaan, serta morfologi dan ukuran pori. Untuk proses densifikasi yang baik dan dalam waktu yang wajar, harus terdapat struktur pori yang terbuka dan *permeable* pada substrat dan juga ukuran pori harus kecil. Pada dasarnya ada tiga metode CVI untuk pembentukan karbon, yaitu metode *isothermal*, *temperature gradient*, dan *pressure gradient* (Gambar 2.10).



**Gambar 2.10** Metode *chemical vapour infiltration* (CVI) a) *isothermal* b) *thermal gradient*, dan c) *pressure gradient* <sup>[5]</sup>.

#### a. *Isothermal CVI*

Pada metode isothermal, gas dan substrat dipertahankan pada temperatur konstan sekitar 1000 °C dan tekanan 0.6-6 KPa<sup>[4]</sup>. Laju aliran gas hidrokarbon ditentukan oleh luas permukaan dan morfologi pori pada substrat. Permasalahan utama pada metode ini adalah kecenderungan terjadinya deposisi karbon pada permukaan bagian luar substrat, menyebabkan terbentuknya kerak yang *impermeable* sehingga menghalangi infiltrasi gas hidrokarbon ke bagian dalam substrat. Oleh karena itu, proses infiltrasi harus diselingi penghilangan kerak dengan *machining* untuk memungkinkan infiltrasi selanjutnya. Kelebihan metode ini adalah prosesnya yang relatif sederhana, dan sejumlah substrat bisa diproses dalam satu waktu<sup>[5]</sup>. Skema proses *isothermal CVI* dapat dilihat pada Gambar 2.11 berikut.



**Gambar 2.11** Skema metode *isothermal CVI* <sup>[4]</sup>

### b. *Thermal-Gradient CVI*

Pada metode *thermal gradient*, *preform* serat karbon disangga dengan sebuah mandrel. Permukaan mandrel dipanaskan oleh *coil* secara induksi hingga temperatur sekitar 1100 °C. Bagian substrat yang kontak dengan mandrel memiliki temperatur yang paling tinggi, sedangkan sisi lainnya yang kontak dengan gas reaktan memiliki temperatur yang lebih rendah. Pada metode ini terbentuknya kerak yang menghalangi deposisi gas hidrokarbon pada bagian dalam substrat dapat dihindari karena laju deposisi pada permukaan luar substrat (temperatur lebih rendah) lebih rendah, sehingga deposisi karbon terjadi dari bagian dalam ke arah luar atau permukaan. Gradien temperatur harus dikontrol secara seksama selama proses. Oleh karena itu, metode ini hanya digunakan untuk satu substrat dalam satu kali proses<sup>[4]</sup>.

### c. *Pressure-Gradient CVI*

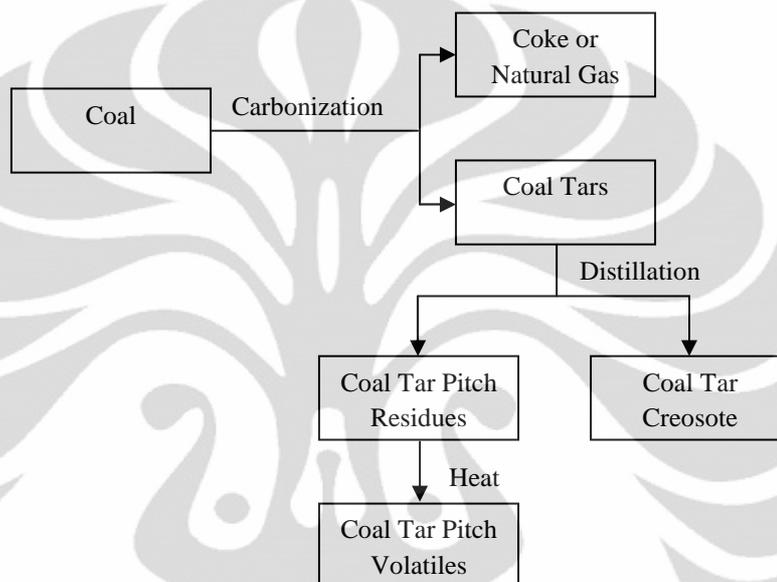
Metode lainnya yaitu gradien tekanan, merupakan variasi dari teknik isothermal dimana bagian dalam dari *preform* serat diisolasi dari ruang dapur pemanas pada bagian dasar. Gas hidrokarbon dialirkan kedalam rongga bagian dalam pada tekanan positif dalam kaitan terhadap ruangan dapur. Perbedaan tekanan mendorong hidrokarbon untuk mengalir melalui pori dan mendepositkan karbon<sup>[4]</sup>.

Kedua metode densifikasi tersebut menghasilkan mikrostruktur karbon yang berbeda. Penggunaan salah satu metode tersebut atau kombinasi keduanya akan menghasilkan perbedaan sifat-sifat matriks yang mempengaruhi performa komposit. Ketika terbentuk, karbon (dari resin atau CVI) cenderung menjadi amorf atau berupa struktur mikrokristalin<sup>[6]</sup>.

## 2.3 *Coal Tar Pitch*

*Coal tar* merupakan produk sampingan dari karbonisasi batubara untuk menghasilkan kokas dan atau gas alam. Secara fisik, umumnya bahan ini berupa cairan kental atau semi-padat berwarna hitam atau coklat tua dengan bau seperti *naphthalene*. *Coal tar* merupakan kombinasi kompleks dari *polycyclic aromatic hydrocarbons* (PAHs), *phenols*, *heterocyclic oxygen*, *sulfur*, dan senyawa nitrogen<sup>[19]</sup>. Kandungan PAHs dalam *coal tar* meningkat dengan peningkatan

temperatur karbonisasi. *Coal tar* yang terbentuk pada temperatur dibawah 700 °C berupa cairan kental berwarna hitam yang massa jenisnya lebih besar daripada air dan mengandung presentase senyawa aromatik yang lebih rendah (40-50%), sedangkan *coal tar pitch* yang terbentuk pada temperatur lebih tinggi memiliki kandungan senyawa-senyawa aromatik yang lebih tinggi<sup>[20]</sup>. Skema alur proses untuk mendapatkan *pitch* dari batubara dapat dilihat pada Gambar 2.12 di bawah ini.



**Gambar 2.12** Batubara dan produk turunannya<sup>[24]</sup>

*Coal tar pitch* merupakan residu yang dihasilkan ketika distilasi *coal tar*. Material ini berwarna coklat tua hingga hitam mengkilap, berupa padatan pada temperatur ruang, dan memiliki rentang temperatur pelunakan yang lebar (temperatur transisi gelas)<sup>[22]</sup>. Kandungan utama dari *pitch* ini adalah *polycyclic aromatic hydrocarbons* (PAHs) dan senyawa turunan *methyl* dan *polymethyl* dan juga senyawa-senyawa *heteronuclear*. Kualitas dari *pitch* yang dihasilkan bergantung pada kondisi distilasi, yang meliputi waktu dan temperatur proses. Jumlah konstituen dalam *coal tar pitch* diperkirakan mencapai ribuan<sup>[19]</sup>.

Pemanfaatan utama dari *coal tar pitch* adalah sebagai *binder* pada pembuatan elektroda yang digunakan untuk *smelting* aluminum. Selain itu *pitch* yang merupakan residu distilasi *coal tar* ini juga digunakan dalam *roofing*

*material*, untuk mengimpregnasi dan memperkuat *refraktory brick* (untuk *lining furnace*), dan pada pelapisan permukaan seperti untuk melapisi pipa<sup>[21]</sup>.

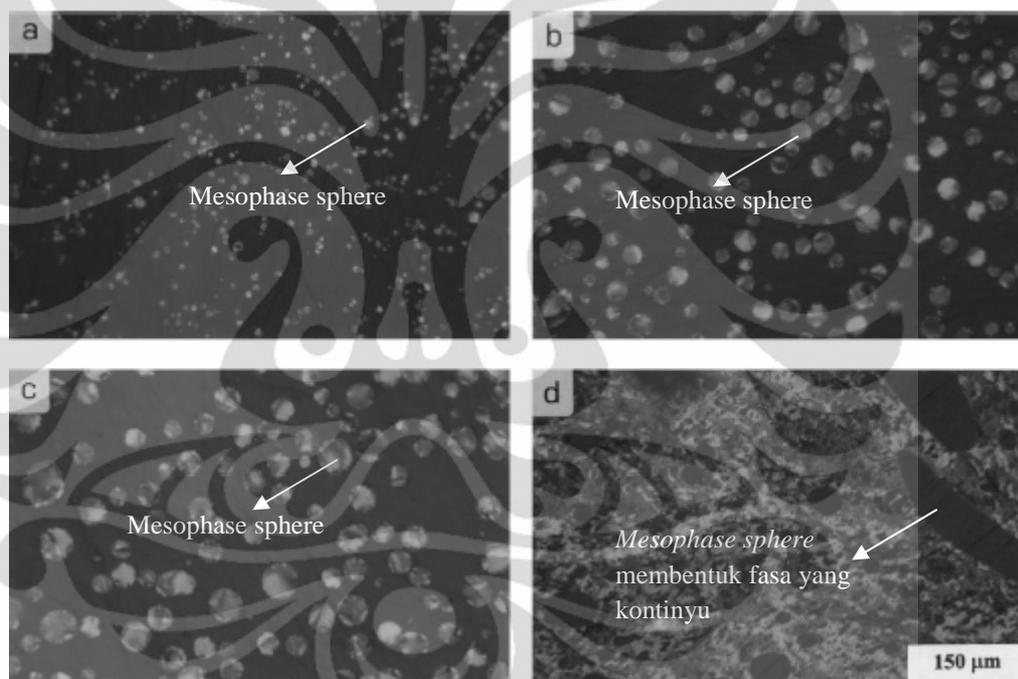
### 2.3.1 *Air Blown Pitch dan Thermally Treated Pitch*

*Coal tar pitch* telah digunakan secara luas sebagai prekursor matriks dalam pembuatan komposit karbon karena harganya yang murah, perolehan karbon yang relatif tinggi, dan kemampuannya untuk menghasilkan karbon yang *graphitizable*<sup>[8]</sup>. Namun, *pitch* komersial masih menghasilkan keporian yang tinggi ketika karbonisasi akibat pelepasan senyawa-senyawa volatil, yang berdampak negatif terhadap sifat mekanis komposit. Perolehan karbon dari *pitch* dapat ditingkatkan dengan melakukan *pre-treatment* sehingga menurunkan porositas material karbon yang dihasilkan. Tujuan utama dari *treatment* tersebut adalah untuk meningkatkan perolehan karbon tanpa menyebabkan penurunan pada sifat lainnya seperti *wettability* terhadap substrat karbon atau kemampuan untuk menghasilkan karbon yang *graphitizable*<sup>[9]</sup>. Metode *pre-treatment* yang paling umum dilakukan adalah dengan *air-blowing* (barr&Lewis, 1978; Fernandez *et al.*, 1995) dan *thermal treatment* (Lewis, 1978; Blanco *et al.*, 2000). Perlakuan tersebut melibatkan pelepasan senyawa-senyawa dengan berat molekul rendah dan polimerisasi serta kondensasi komponen-komponen *pitch*<sup>[8]</sup>.

Pada *air-blown pitch* derajat polimerisasi meningkat dengan peningkatan waktu *treatment* sebagai akibat dari reaksi komponen *pitch* dengan oksigen. Hal ini dapat dilihat dari peningkatan *softening point*, perolehan karbon dan juga kandungan *toluene insoluble* (TI). Analisis unsur dari sampel menunjukkan penurunan kandungan hidrogen secara bertahap yang dicerminkan oleh penurunan rasio C/H. Peningkatan kandungan oksigen dengan meningkatnya waktu *treatment* memperkuat pendapat bahwa oksigen menyebabkan *dehydrogenative polymerization* pada komponen-komponen *pitch*. Pengamatan dengan mikroskop optik menunjukkan bahwa *pitch* yang diberi perlakuan *air-blowing* terlihat isotropik, tidak ada *mesophase* yang terbentuk ketika *treatment*<sup>[9]</sup>.

Sebagaimana *air-blown pitch*, *pitch* yang di-*thermal treatment* juga menunjukkan peningkatan derajat polimerisasi dengan meningkatnya waktu *treatment*. *Pitch* yang diperoleh dengan waktu *treatment* 5 dan 6 jam memiliki

perolehan karbon yang sangat tinggi, dan juga kandungan TI yang tinggi<sup>[9]</sup>. Hal tersebut merupakan akibat polimerisasi termal dari komponen-komponen *pitch* dan distilasi sebagian senyawa ringan yang terdapat pada *pitch* awal. Rasio C/H lebih tinggi pada *pitch* dengan waktu *treatment* yang lebih lama. Berbeda dengan *air-blown pitch*, pengamatan dengan mikroskop optik menunjukkan bahwa pada *pitch* yang di-*thermal treatment* terbentuk *mesophase sphere* yang jumlahnya meningkat dengan peningkatan waktu *treatment*, seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.13. Pada *pitch* dengan waktu *treatment* yang lama *mesophase* bergabung membentuk suatu fasa yang kontinu<sup>[9]</sup>.



**Gambar 2.13** Foto mikro (optik) *pitch* yang di-*thermal treatment* dengan waktu *treatment* berbeda. a) 2 jam b) 3 jam c) 4 jam , dan d) 5 jam<sup>[9]</sup>.

*Pitch* yang di-*thermal treatment* memiliki perolehan karbon yang jauh lebih tinggi daripada *pitch* yang di-*air blowing*. Hal ini mengindikasikan bahwa beberapa senyawa yang terbentuk sewaktu *air-blowing* tidak stabil dan terurai sewaktu pirolisis (karbonisasi). Dekomposisi termal tersebut diperlihatkan secara jelas oleh *thermogravimetical analyses*<sup>[9]</sup>.

Perbedaan yang ditemukan pada kedua jenis *pitch* tersebut dapat mempengaruhi perilaku *pitch* selama preparasi material karbon, seperti komposit

karbon. *Pitch* yang di-*thermal treatment* menghasilkan molekul yang lebih planar dan padat dan memiliki kandungan senyawa ringan lebih tinggi daripada *air-blown pitch*. Pada *air-blown pitch* komponen-komponen ringan mengalami polimerisasi membentuk molekul *cross-link* dengan bantuan oksigen sewaktu *air-blowing*<sup>[9]</sup>. Oksigen di udara berperan sebagai promotor polimerisasi dan hanya sejumlah kecil bergabung dengan *pitch* sebagaimana yang ditunjukkan oleh sedikit peningkatan pada kandungan oksigen<sup>[10]</sup>. Senyawa-senyawa ringan yang tetap berada dalam *pitch* yang di-*thermal treatment* dapat membuat *pitch* tersebut lebih *fluid*, memudahkan impregnasi serat atau granular karbon dan struktur mikrokristalin yang lebih besar. Namun, adanya *mesophase* bisa memberikan pengaruh negatif terhadap infiltrasi *pitch* pada *preform*. Di sisi lain, *air-blown pitch* melepaskan senyawa-senyawa volatil pada temperatur yang lebih tinggi, sehingga memudahkan penanganan *pitch* sewaktu pemrosesan. Namun, struktur jaring silang dapat menurunkan sifat pembasahan terhadap substrat pada temperatur rendah<sup>[9]</sup>. Hasil XRD menunjukkan bahwa *pitch* yang di-*thermal treatment* memiliki keteraturan struktur yang tinggi, yang terlihat dari penurunan nilai *d-spacing*, sedangkan *pitch* yang di-*air-blowing* memiliki derajat ketidakteraturan yang tinggi, terlihat dari peningkatan nilai *d-spacing* dibanding *pitch* awal<sup>[10]</sup>.

*Pitch* merupakan padatan amorf yang tidak menunjukkan titik leleh tertentu, dimana ia melewati transisi gelas sebelum menjadi *viscous liquid*.  $T_g$  berkaitan dengan komposisi molekul dari *pitch* dan secara umum meningkat dengan peningkatan berat molekul rata-rata dan interaksi antarmolekul. *Air-blown pitch* memiliki  $T_g$  yang lebih rendah daripada *pitch* di-*thermal treatment*, kemungkinan karena ukuran molekul rata-rata dari komponennya yang lebih rendah.  $T_g$  pada *pitch* yang di-*thermal treatment* dipengaruhi oleh fasa isotropik yang kontinyu.  $T_g$  mengalami peningkatan dengan meningkatnya waktu treatment sebagai akibat dari peningkatan ukuran molekul rata-rata. Lebar interval temperatur transisi gelas,  $\Delta T_g$ , dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti reaksi antarmolekul, kepadatan rantai molekul polimer dan distribusi ukuran molekul. *Pitch* dengan waktu *treatment* yang lebih lama menunjukkan interval  $T_g$  yang lebih lebar karena distribusi ukuran molekulnya yang juga lebih lebar.

Hal yang sama tidak berlaku untuk *air-blown pitch* karena struktur molekulnya berupa jaring silang, dimana *air-blown pitch* menunjukkan  $\Delta T_g$  yang lebih lebar daripada *pitch* yang di-*thermal treatment*. Hal ini bukanlah akibat distribusi ukuran molekul yang lebih lebar namun kemungkinan adalah akibat interaksi antarmolekul dan kepadatan dari komponen-komponen *air-blown pitch*<sup>[10]</sup>.

Pembentukan dan perkembangan *mesophase* dipengaruhi oleh kehadiran partikel karbon. *Petroleum coke* mempercepat pembentukan *mesophase* dan menghasilkan kandungan *mesophase* yang lebih besar daripada *filler* lainnya. Hasil *thermogravimetry analyses* dari *pitch* yang di-*thermal treatment* menunjukkan bahwa parameter yang berhubungan dengan pemrosesan *pitch* seperti temperatur mulai terjadi dan berakhirnya kehilangan berat dan temperatur interval terjadinya kehilangan berat, mengalami peningkatan akibat distilasi senyawa ringan dan polimerisasi molekul yang terjadi ketika *treatment* yang diberikan pada *pitch* awal untuk memperoleh *pitch* tersebut<sup>[11]</sup>.

#### 2.4 Komposit Karbon dengan Penguat Granular

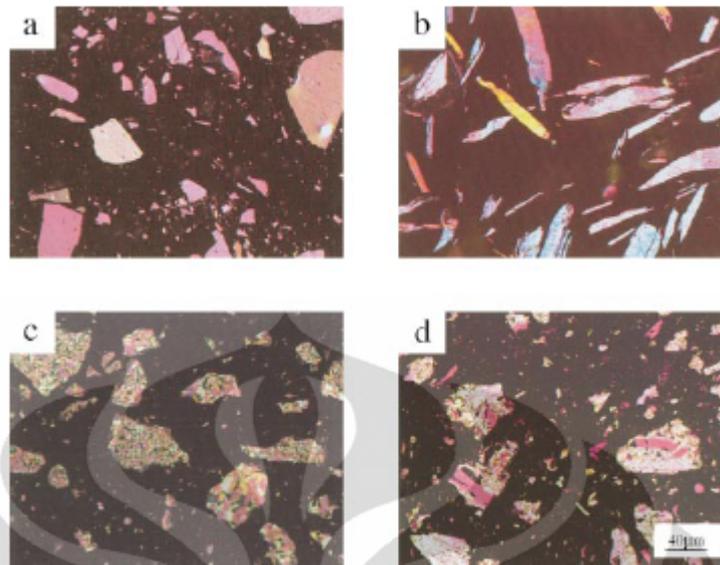
Komposit karbon memiliki aplikasi penting dalam sistem rem karena sifat khas yang dimilikinya, seperti koefisien ekspansi termal yang rendah, kapasitas panas yang tinggi, ketahanan terhadap *thermal shock* yang baik, ringan, dan sifat keausan yang baik. Namun, harganya yang mahal membatasi pemakaian komposit ini pada aplikasi *hi-tech* dimana tidak ada material lain yang sesuai. Penggunaan material prekursor yang lebih murah dan proses produksi yang lebih sederhana dapat menurunkan biaya komposit karbon sehingga membuat material ini kompetitif dalam aplikasi konvensional.

Karbon dalam bentuk granular (butiran) bisa menjadi alternatif serat karbon sebagai material penguat. *Coal tar pitch* telah digunakan secara luas sebagai prekursor matriks karena harganya yang murah, perolehan karbon yang relatif tinggi, dan kemampuannya untuk menghasilkan karbon yang *graphitizable*. Namun, *pitch* komersial masih menghasilkan keporian yang tinggi ketika karbonisasi, yang berdampak negatif terhadap sifat mekanis komposit. Perolehan karbon dari *pitch* dapat ditingkatkan dengan melakukan *pre-treatment*, sehingga menurunkan porositas material karbon yang dihasilkan. Metode *pre-treatment*

yang paling umum dilakukan adalah dengan *air-blowing* (Barr&Lewis, 1978; Fernandez *et al.*, 1995) dan *thermal treatment* (Lewis, 1978; Blanco *et al.*, 2000). Perlakuan tersebut melibatkan pelepasan senyawa-senyawa ringan dan polimerisasi serta kondensasi komponen-komponen *pitch*. *Air-blowing* menghasilkan struktur *cross-link* (Barr & lewis 1978), sedangkan *thermal treatment* menciptakan molekul yang lebih planar dan padat, dan biasanya disertai dengan pembentukan *mesophase* (Blanco *et al.*, 2000). Penggunaan *pitch* yang telah di *pre-treatment* tersebut, terutama *thermal treatment*, memperbaiki struktur dan sifat komposit karbon secara signifikan.

Transformasi *pitch* menjadi material karbon (*coke*) membutuhkan proses karbonisasi. Perilaku *pitch* selama pirolisis dan mikrostruktur material karbon yang dihasilkan tergantung pada komposisi *pitch* yang digunakan (Menéndez *et al.*, 1997) dan kondisi karbonisasi (Marsh & Menéndez, 1988). Di samping itu, jika *pitch* digunakan sebagai prekursor matriks dalam komposit, kehadiran partikel penguat karbon memainkan peranan penting dalam perilaku pirolisisnya, seperti yang ditunjukkan oleh Méndez *et al.* (2001). Interaksi antara *pitch* dengan penguat karbon selama pirolisis ditunjukkan oleh adanya variasi *weight loss temperature* dan reaktivitas seperti yang ditunjukkan oleh *thermogravimetric analysis* dan *differential scanning calorimetry*. Secara umum, kehadiran karbon mengubah laju polimerisasi *pitch*<sup>[8]</sup>.

Berbagai jenis granular karbon dan pengaruhnya terhadap sifat-sifat dan perilaku pirolisis *pitch* telah dipelajari oleh beberapa peneliti. Diantaranya yaitu grafit (GR), antrasit (AT), *petroleum coke* (PC) dan *foundry coke* (FC). Foto mikro beberapa granular karbon dapat dilihat pada Gambar 2.14. Pada PC terlihat bahwa jumlah *pitch* yang digunakan tidak mencukupi untuk dapat menutupi permukaan semua butir, khususnya jika menggunakan *pitch* yang di-*thermal treatment*. Kebutuhan *pitch* yang lebih tinggi untuk impregnasi yang memadai ini ketika menggunakan PC sebagai partikel penguat dapat dikaitkan dengan densitas PC yang rendah. Pada *pitch* tersebut fraksi isotropik terlihat bertanggung jawab terhadap sifat pengikatan, sementara *mesophase* berperan sebagai tambahan karbon (*filler*). Hal ini terbukti dari foto optik dimana *mesophase sphere* terpisah dari fasa isotropik pada campuran<sup>[10]</sup>.



**Gambar 2.14** Foto mikro granular karbon a. antrasit b. grafit c. *petroleum coke* d. *foundry coke*<sup>[8]</sup>

Pada campuran *pitch*/GR, *pitch* nampak terdistribusi merata disekitar partikel sebagai lapisan tipis. Pada *pitch* yang di-*thermal treatment*, kehadiran *mesophase* membuat lapisan tersebut diantara partikel-partikel lebih tebal karena *mesophase* tidak meleleh sewaktu tahap *mixing*. Pada campuran AT, terlihat bahwa sebagian *mesophase sphere* terdeformasi dan menyatu sewaktu tahap pencampuran<sup>[10]</sup>. Ini merupakan hasil yang mengejutkan pada kasus CTP, karena *primary* QI yang terdapat pada *pitch* biasanya menghambat penyatuan *mesophase* dan bahkan terlebih lagi pada temperatur rendah<sup>[16]</sup>. Salah satu aspek yang membedakan *coal tar pitch* dengan *pitch* yang diperoleh dari sumber lain adalah adanya partikel padat yang tidak larut dalam *quinoline*, yang disebut *primary quinoline insoluble*, QI. Sewaktu karbonisasi, partikel tersebut biasanya terdapat pada permukaan *sphere* pada tahap permulaan pembentukan *mesophase* dan umumnya dianggap bahwa partikel ini menghambat perkembangan dan penyatuan *mesophase*. Sehingga hasil yang didapatkan pada campuran *pitch* /AT merupakan hal yang mengejutkan.

Penelitian lebih lanjut menunjukkan bahwa permukaan partikel AT diselimuti secara keseluruhan oleh partikel QI. Interaksi ini tidak terlalu terlihat pada PC dan FC, sedangkan pada grafit tidak ada interaksi sama sekali, dan partikel QI tidak menempel pada permukaan partikel grafit. Adanya afinitas/ketertarikan yang tinggi terhadap antrasit kemungkinan merupakan sebab

dari penyatuan *mesophase* sewaktu tahap pencampuran dengan panas, dimana partikel QI yang seharusnya berada pada permukaan *mesophase sphere* dan menghambat terjadinya penyatuan antar *mesophase* malah tertarik ke permukaan partikel antrasit.

Fenomena tersebut tidak ditemukan jika menggunakan *pitch* yang di *thermal treatment*. Kemungkinan hal ini terjadi karena *softening point pitch* tersebut yang tinggi dan menyebabkan viskositas yang tinggi sehingga membuat pergerakan QI dari permukaan *mesophase* ke permukaan partikel AT menjadi lebih sulit. Pada *air-blown pitch* QI tidak menempel pada permukaan partikel AT (berbeda dengan kasus *thermally treated pitch*). Kemungkinan hal ini terjadi karena sewaktu *air-blowing* QI berubah dan kehilangan kemampuannya untuk berinteraksi dengan partikel antrasit.

Ukuran molekul dan reaksi antarmolekul merupakan beberapa parameter yang menentukan kelarutan dari *pitch*. Pencampuran *pitch* dengan granular karbon menyebabkan peningkatan *TI content*, yang menunjukkan bahwa terjadi interaksi antara komponen *pitch* dan granular karbon ketika kedua bahan tersebut dicampur. Secara umum dapat disimpulkan bahwa kandungan TI dari semua jenis *pitch* meningkat sewaktu proses pencampuran. Kemungkinan bahwa beberapa molekul pada *pitch* yang larut dalam *toluene* menjadi tidak dapat larut setelah dicampur dengan granular karbon. Kehadiran granular karbon merubah Tg akibat interaksi dengan komponen-komponen *pitch*. Partikel PC merubah perilaku *pitch* sesuai dengan peranan yang berasal dari penurunan mobilitas molekul dari komponen *pitch* akibat kehadiran partikel solid, sehingga Tg meningkat<sup>[10]</sup>.

Dalam salah satu studi awal penelitiannya yang menggunakan *pitch* sebagai prekursor matriks dan karbon dalam bentuk granular sebagai penguat, C. Blanco *et al.*<sup>[7]</sup> mendapatkan bahwa jumlah *pitch* optimum adalah 30 wt.%, dan tekanan pencetakan optimum adalah 80 MPa. Penggunaan jumlah *pitch* lebih dari 30 wt.% menyebabkan produk akhir mengalami deformasi, sedangkan jika kurang dari itu tidak mencukupi untuk mengikat partikel-partikel karbon. Sampel yang diperoleh dengan tekanan pencetakan kurang dari 80 MPa mengalami penyusutan, sedangkan untuk tekanan yang lebih tinggi mengalami ekspansi, seperti yang disajikan pada Tabel 2.3. Hasil tersebut dapat dikaitkan terhadap keporian yang

rendah dari sampel yang diperoleh dengan tekanan tinggi. Selama karbonisasi, senyawa-senyawa volatil dari *pitch* dilepaskan sehingga jika porositas bakalan terlalu rendah, senyawa-senyawa tersebut akan mencari jalan keluar, menyebabkan *stress* dan ekspansi pada material. Densitas dan kekuatan tekan meningkat seiring peningkatan tekanan, dimana mencapai nilai maksimum pada tekanan 80 MPa (Gambar 2.15) dan mengalami penurunan untuk tekanan yang lebih tinggi<sup>[7]</sup>.

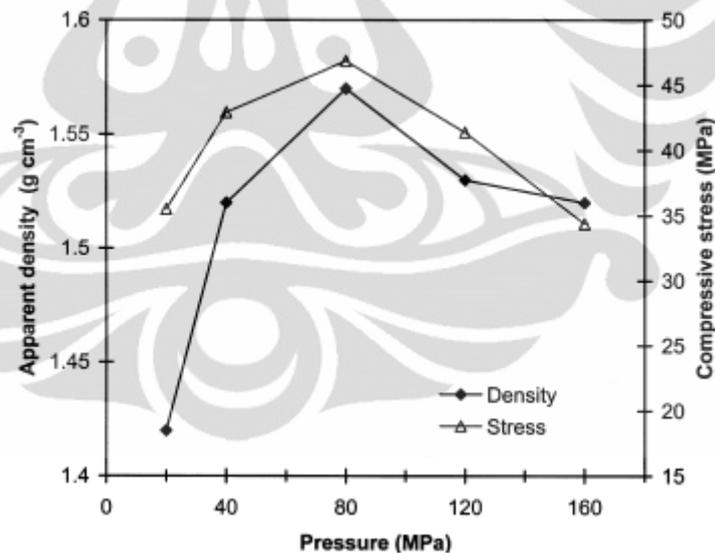
**Tabel 2.3** Sifat dari sampel yang diperoleh dengan beberapa tekanan pencetakan berbeda<sup>[7]</sup>

Pressure <sup>a</sup>	Porosity <sup>b</sup>	$\Delta V$ <sup>c</sup>
20	14.9	-2.5
40	7.0	-4.7
80	3.1	-1.3
120	1.5	+3.1
160	1.2	+4.2

<sup>a</sup> Moulding pressure (MPa).

<sup>b</sup> Open porosity of green pellets (vol.%).

<sup>c</sup> Volume change on carbonisation (%).



**Gambar 2.15** Pengaruh tekanan pencetakan terhadap densitas dan kekuatan tekan komposit karbon<sup>[7]</sup>

## 2.5 Kompaksi Serbuk

### 2.5.1 Karakteristik Serbuk

Karakteristik serbuk mempengaruhi perilaku serbuk ketika pemrosesan yang akan menentukan sifat dari produk yang dihasilkan. Karakteristik partikel

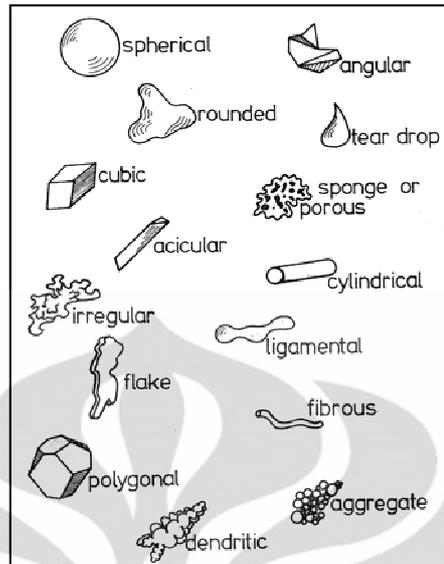
serbuk diantaranya meliputi ukuran dan distribusi ukuran partikel, bentuk partikel, luas permukaan, berat jenis serbuk, mampu alir, kompresibilitas, gesekan antarpartikel dan komposisi kimia serbuk<sup>[13]</sup>. Berikut ini akan diuraikan secara singkat mengenai karakteristik dari partikel serbuk dan pengaruhnya terhadap pemrosesan serbuk dan produk yang dihasilkan.

#### **a. Ukuran dan Distribusi Ukuran Partikel**

Ukuran partikel akan mempengaruhi densitas, porositas dan sifat mekanis material serbuk hasil kompaksi, dimana semakin kecil atau halus ukuran partikel serbuk maka densitas bakalan (*green density*) akan semakin besar. Ada beberapa teknik yang dapat dilakukan untuk menentukan ukuran partikel serbuk, diantaranya dengan pengayakan (*screening*), mikroskop, teknik sedimentasi, hamburan cahaya (*light scattering*), konduktivitas listrik, penghalangan cahaya (*light blocking*)<sup>[14]</sup>. Ukuran partikel juga akan menentukan stabilitas dimensi, pelepasan gas yang terperangkap dan karakteristik selama pencampuran. Distribusi ukuran partikel sangat menentukan kemampuan partikel dalam mengisi ruang kosong antarpartikel untuk mencapai volume terpadat dan pada akhirnya akan menentukan besarnya densitas, porositas serta kekuatan bakalan.

#### **b. Bentuk Partikel**

Bentuk partikel serbuk sangat mempengaruhi sifat massa serbuk, yaitu efisiensi pemadatan (*packing efficiency*), mampu alir (*flowability*) dan mampu tekan (*compressibility*). Bentuk partikel serbuk akan mempengaruhi luas permukaan serbuk dan gesekan antarpartikel serbuk. Hal ini akan mempengaruhi perpindahan serbuk ketika penekanan 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 sehingga hal ini meningkatkan penyerapan gas dan uap air dari lingkungan<sup>[12]</sup>. Bentuk partikel serbuk ditentukan oleh sifat dari material bahan baku serbuk tersebut dan juga proses yang digunakan untuk menghasilkan serbuk dari material *bulk*-nya. Partikel serbuk bisa berbentuk bulat, *angular*, serpihan (*flake*), *fibrous*, *sponge/porous*, dan lainnya. Berbagai kemungkinan bentuk partikel disajikan pada Gambar 2.16.



Gambar 2.16 Berbagai kemungkinan bentuk partikel <sup>[13]</sup>

### c. Mampu alir serbuk

Mampu alir serbuk merupakan karakteristik yang menggambarkan sifat alir serbuk dan kemampuan serbuk untuk memenuhi ruang cetakan. Karakteristik serbuk seperti berat jenis nyata serbuk dan gesekan antarpartikel seringkali dihubungkan dengan mampu alir serbuk. Pada umumnya, faktor-faktor yang mengurangi gesekan antarpartikel dan meningkatkan berat jenis nyata (seperti partikel bulat dan halus) akan meningkatkan mampu alir serbuk. Disamping itu karakteristik serbuk seperti bentuk serbuk, berat jenis serbuk, kelembaban serbuk, dan distribusi ukuran partikel dapat mempengaruhi mampu alir serbuk<sup>[12]</sup>.

Mampu alir dari serbuk logam tergantung dari gesekan antarpartikel, dimana luas permukaan dan kekasaran partikel akan mempengaruhi gesekan antarpartikel tersebut. Jika luas permukaan dan kekasaran partikel meningkat maka intensitas gesekan akan meningkat sehingga menyebabkan efisiensi mampu alir serbuk akan rendah. Selain itu, bentuk partikel serbuk juga mempengaruhi sifat mampu alir, partikel yang mempunyai bentuk tidak beraturan mempunyai efisiensi mampu alir yang rendah sedangkan bentuk yang bulat mempunyai mampu alir yang baik<sup>[21]</sup>.

### d. Mampu Tekan

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. Seperti halnya mampu alir, besarnya mampu tekan serbuk juga dipengaruhi oleh gesekan antarpartikel<sup>[12]</sup>. Gesekan antarpartikel akan lebih rendah bila serbuk yang dikompaksi memiliki bentuk yang lebih teratur dan lebih halus sehingga akan menghasilkan densitas bakalan yang lebih tinggi.

### 2.5.2 Pencampuran

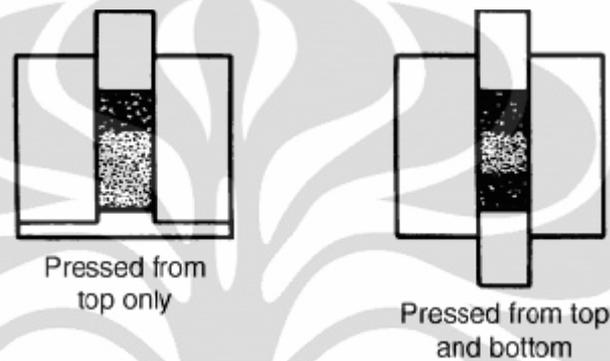
Karakteristik serbuk mempunyai peranan yang penting dalam tercapainya hasil campuran yang seragam. Makin tinggi gesekan antarpartikel akan menjadikan proses pencampuran makin sulit. Friksi akan meningkat oleh beberapa faktor diantaranya ukuran partikel yang makin kecil, bentuk partikel tidak beraturan, koefisien gesek partikel yang makin tinggi. Pada umumnya, ukuran partikel serbuk yang seragam akan memudahkan untuk mendapatkan hasil pencampuran yang seragam. Partikel yang besar memiliki kemungkinan yang tinggi untuk mengalami segregasi. Salah satu kendala dalam proses pencampuran adalah jika serbuk yang akan dicampur memiliki densitas yang berbeda sehingga sulit untuk mendapatkan hasil campuran yang seragam. Serbuk yang memiliki densitas lebih kecil akan terakumulasi di atas serbuk yang densitasnya lebih tinggi sehingga terjadi segregasi.

### 2.5.3 Proses Kompaksi

Kompaksi merupakan proses pemberian suatu gaya luar berupa tekanan untuk mendeformasi serbuk menjadi benda yang mempunyai bentuk dan ukuran tertentu yang mempunyai densitas lebih tinggi. Proses kompaksi akan mengakibatkan pengaturan partikel, deformasi partikel, dan terbentuknya ikatan antarpartikel.

Kompaksi dapat dilakukan melalui kompaksi dingin (*cold compacting*) maupun kompaksi panas (*hot pressing*), baik dengan proses penekanan satu arah (*single end compaction*) maupun penekanan dua arah (*double end punch*). Proses kompaksi dingin dilakukan pada temperatur ruang, sedangkan *hot pressing* merupakan suatu proses kompaksi yang dilakukan pada temperatur yang relatif tinggi. Pada penekanan satu arah, penekan (*punch*) bagian atas bergerak ke

bawah, sedangkan pada penekanan dua arah yang menggunakan dua buah penekan, penekan atas dan penekan bawah bergerak secara bersamaan dengan arah yang berlawanan. Penekanan dengan dua arah memiliki keunggulan berupa hasil densitas bakalan yang seragam<sup>[13]</sup>. Skema perbandingan distribusi densitas pada penekanan satu arah dan dua arah dapat dilihat pada Gambar 2.17 di bawah ini.



**Gambar 2.17** Distribusi densitas pada penekanan satu arah dan dua arah<sup>[17]</sup>

Pada saat kompaksi, terdapat beberapa tahapan yang terjadi pada serbuk, yaitu<sup>[13]</sup> :

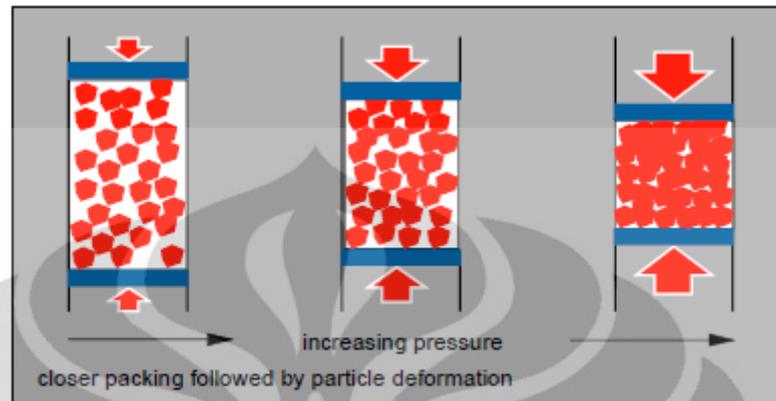
**a. Penataulangan Partikel Serbuk (*Rearrangement*)**

Pada saat dimulai penekanan terjadi pengaturan susunan partikel serbuk (*rearrangement*). Pada tahap ini tidak terjadi deformasi partikel namun hanya penyesuaian letak dari serbuk. Pergerakan dan pengaturan partikel-partikel serbuk akibat adanya penekanan menyebabkan partikel serbuk tersusun lebih rata. Adanya gaya gesek antarpartikel dan antara partikel dengan permukaan cetakan, permukaan penekan, dan inti, menghambat penyusunan partikel serbuk. Pergerakan partikel cenderung terjadi di dalam massa serbuk pada tekanan yang relatif rendah, sehingga kecepatan penekanan yang rendah akan memberikan kesempatan pada partikel untuk membentuk susunan yang terpadat.

**b. Deformasi Elastis Partikel Serbuk**

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

modulus elastisitas. Gambar 2.18 menunjukkan fenomena yang terjadi pada serbuk saat kompaksi.



**Gambar 2.18** Fenomena serbuk ketika peningkatan tekanan kompaksi<sup>[15]</sup>

### c. Deformasi Plastis Partikel Serbuk

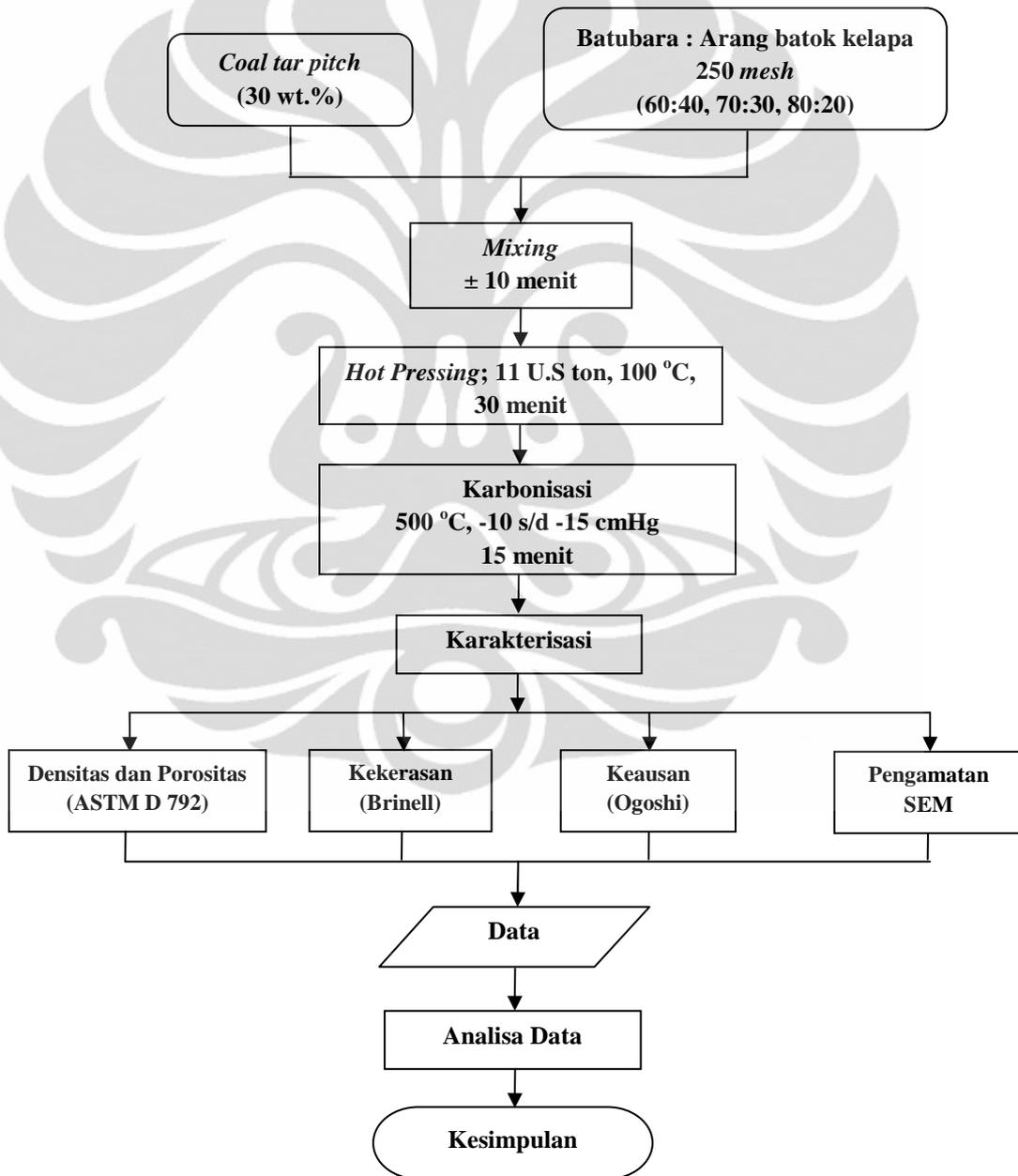
Deformasi plastis merupakan bagian terpenting dari mekanisme pemadatan (*densification*) selama kompaksi berlangsung. Pada saat pemberian tekanan yang lebih tinggi maka akan terjadi peningkatan densitas yang disebabkan oleh perbesaran kontak antarpartikel sehingga akan terjadi deformasi plastis pada partikel tersebut. 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 antarpartikel yang berdekatan.

Makin tinggi kekerasan partikel serbuk, makin rendah densitas bakalan yang dicapai pada tekanan tertentu. Pada material keras, perpatahan dan deformasi terjadi selama kompaksi. Makin kasar sebuah partikel dapat meningkatkan kekuatan bakalan dalam bentuk penguncian mekanik antarpartikel. Disisi lain, makin halus partikel memberikan ikatan antarpartikel yang lebih banyak, dan karenanya meningkatkan kekuatan bakalan.

## BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Gambar 3.1 di bawah ini merupakan diagram alir yang menggambarkan rangkaian kegiatan penelitian yang meliputi preparasi, pembuatan, dan pengujian sampel komposit karbon.



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

### 3.2 Alat dan Bahan

#### 3.2.1 Peralatan :

Berikut ini merupakan peralatan yang digunakan dalam penelitian ini mulai dari preparasi sampel sampai dengan karakterisasi komposit karbon.

- a. *Ball mill* dan ayakan
- b. Timbangan digital
- c. Kompor listrik, panci, dan pengaduk
- d. Cetakan
- e. *Heater*
- f. Dapur vakum
- g. Mesin *press* hidrolis
- h. *Beaker glass*
- i. *Brinell testing machine*
- j. Alat uji aus (Ogoshi)
- k. SEM

#### 3.2.2 Bahan :

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. *Coal tar pitch*
- b. Batu bara (250 *mesh*)
- c. Arang batok kelapa (250 *mesh*)

Kandungan unsur dan *ash* pada bahan *coal tar pitch* yang digunakan sebagai prekursor matriks dapat dilihat pada Tabel 3.1 dibawah ini.

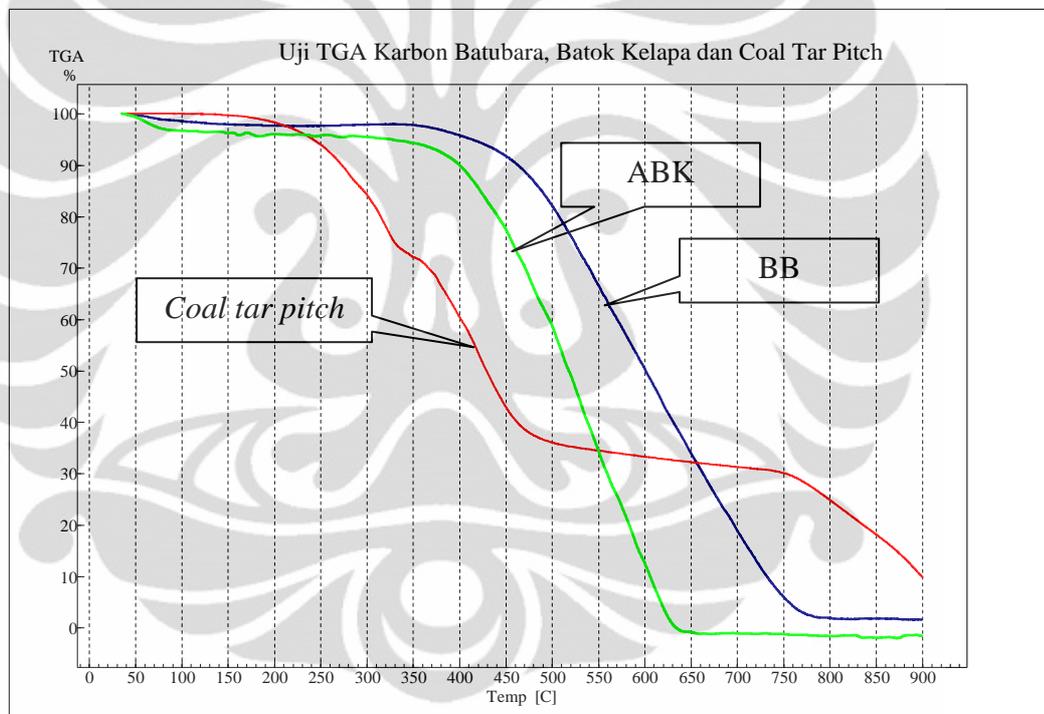
**Tabel 3.1** Kandungan unsur dan *ash* pada *coal tar pitch*

<i>Coal Tar Pitch</i>	
Parameter Analisis	% massa
Ash	2.14
Karbon (C)	<b>84.99</b>
Hidrogen (H)	5.91
Nitrogen (N)	1.32
Sulfur (S)	0.61
Oksigen (O)	5.03

Kandungan unsur dan *ash* pada batubara dan arang batok kelapa yang digunakan sebagai partikel penguat pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.2. Kurva termal dari *coal tar pitch*, batubara dan arang batok kelapa disajikan pada Gambar 3.2.

**Tabel 3.2** Kandungan unsur dan *ash* pada arang batok kelapa dan batubara

Jenis Karbon	Analisis Unsur, % massa					Ash % massa
	C	H	N	S	O	
Arang Batok Kelapa(ABK)	99.27	0.16	0.62	0.05		1.64
Batu Bara (BB)	72.31	3.39	1.36	1.70		



**Gambar 3.2** Kurva termal batubara (BB), arang batok kelapa (ABK) dan *coal tar pitch*.

### 3.3 Proses Pembuatan Sampel

#### 3.3.1 Persiapan Bahan Baku

Bahan baku dalam pembuatan komposit karbon ini adalah batubara (BB), arang batok kelapa (ABK), dan *coal tar pitch*. Batubara dan arang batok kelapa masing-masing diperkecil ukurannya dengan menggunakan *ball mill*, kemudian diayak untuk mendapatkan partikel berukuran 250 *mesh*. Selanjutnya bahan-bahan tersebut ditimbang dengan perbandingan massa matriks (*coal tar pitch*) dengan

partikel penguat (batubara dan arang batok kelapa) 70:30, dengan tiga variasi komposisi batubara/arang batok kelapa yaitu 60:40, 70:30 dan 80:20. Untuk pembuatan sebuah sampel diperlukan 30 gram bahan. Formulasi untuk sebuah sampel komposit disajikan pada Tabel 3.3 di bawah ini.

**Tabel 3.3** Formulasi untuk sebuah sampel komposit

BB:ABK	Massa (gr)			
	Pitch	BB	ABK	Total
60:40	9.0	12.6	8.4	30
70:30		14.7	6.3	
80:20		16.8	4.2	

### 3.3.2 Pencampuran

Tahap pertama dalam pembuatan sampel uji adalah pencampuran ketiga bahan baku yang sebelumnya telah ditimbang. Dalam proses pencampuran, *coal tar pitch* dipanaskan terlebih dahulu di dalam sebuah panci kecil dengan menggunakan kompor listrik (80-100 °C) hingga meleleh dan mengalir agar dapat mengimpregnasi partikel-partikel penguat dengan baik, kemudian baru ditambahkan arang batok kelapa dan batubara yang telah dicampur (tanpa panas) sebelumnya. Campuran ketiga bahan baku tersebut terus diaduk sambil dipanaskan selama  $\pm 10$  menit untuk mendapatkan campuran yang merata.

### 3.3.3 Pencetakan

Bahan baku yang telah dicampur tersebut selanjutnya dituang kedalam cetakan berupa silinder (Gambar 3.3) dan ditekan menggunakan mesin *press* hidrolis dengan beban 11 U.S ton (setara dengan 9.98 *metric ton*), sambil dipanaskan menggunakan *heater* yang ditempatkan di sekeliling cetakan pada temperatur  $\pm 100$  °C selama 30 menit. Selanjutnya sampel dikeluarkan dari cetakan. Jika dikonvesri menjadi tekanan dengan membagi besarnya beban tersebut dengan luas penampang penekan, didapatkan bahwa besar tekanannya adalah 77.9 MPa.

Selama proses pencetakan, tekanan dan temperatur dijaga agar tetap konstan. Tekanan dijaga agar konstan secara manual, dimana setiap kali tekanan turun dinaikkan kembali menjadi 11 U.S. ton, sedangkan temperatur secara

otomatis diatur oleh *thermocouple* yang diselipkan pada cetakan. Jika temperatur yang terdeteksi oleh *thermocouple* telah mencapai atau melebihi 100 °C aliran listrik ke *heater* akan diputus, dan jika temperatur turun dibawah 100 °C maka *heater* akan menyala kembali secara otomatis. *Heater* juga akan mati secara otomatis jika waktu pemanasan telah mencapai 30 menit.



Gambar 3.3 Cetakan yang digunakan untuk pembuatan sampel.

### 3.3.4 Karbonisasi

Sampel yang diperoleh dari *hot pressing* tersebut selanjutnya dikarbonisasi dalam sebuah dapur vakum sederhana ( $P = -10$  s/d  $-15$  cmHg), pada temperatur 550 °C dengan waktu tahan 15 menit. Tujuan proses ini adalah untuk mengubah prekursor matriks *coal tar pitch* menjadi matriks karbon. Temperatur ini dipilih berdasarkan data TGA *coal tar pitch*, dimana transformasi *pitch* menjadi karbon terjadi sekitar temperatur tersebut. Waktu yang dibutuhkan dapur tersebut untuk mencapai temperatur 550 °C dari temperatur ruang adalah  $\pm$  satu jam. Selanjutnya sampel dikeluarkan dari dapur jika telah kembali ke temperatur ruang (35 °C).

### 3.1 Karakterisasi Sampel

#### 3.4.1 Pengujian Densitas

Pengujian ini mengacu pada ASTM D 792, dengan prinsip perbandingan massa spesimen di udara dengan massa spesimen di dalam air. Prosedur pengujiannya adalah sebagai berikut:

1. Timbang massa sampel di udara. Catat nilai tersebut sebagai 'A'.
2. Timbang massa sampel di dalam air, dalam keadaan melayang ditengah-tengah *beaker glass* dengan bantuan gantungan penimbang, seperti pada Gambar 3.4. Catat nilai tersebut sebagai 'B'.
3. Hitung densitas spesimen dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\rho = \frac{A}{A - B} \times \rho_{\text{air}}$$

dimana,

- $\rho$  = densitas spesimen ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )
- A = massa spesimen di udara (gr)
- B = massa spesimen di dalam air (gr)
- $\rho_{\text{air}}$  = densitas air ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )



Gambar 3.4 Pengukuran densitas dan porositas

### 3.4.2 Pengujian Porositas

Presentase volume porositas dari spesimen komposit karbon dihitung berdasarkan data densitas yang diperoleh pada pengujian densitas yang dilakukan sebelumnya. Dengan asumsi bahwa sampel telah menjadi 100% karbon, maka presentase volume porositas dalam sampel komposit dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan di bawah ini:

$$\text{Porositas} = \left( 1 - \left( \frac{\text{bulkdensity}}{\text{theoretical density}} \right) \right) \times 100\%$$

Dimana, *bulk density* adalah densitas hasil pengujian sampel komposit karbon, sedangkan *theoretical density* adalah densitas teoritis dari karbon, yaitu 2,25 gr/cm<sup>3</sup>.

### 3.4.3 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan dengan metode Brinell, menggunakan indenter bola baja berdiameter 3,2 mm, dengan beban indentasi 32,5 kg. Diameter jejak hasil indentasi kemudian diukur menggunakan mikroskop pengukuran. Selanjutnya nilai kekerasan spesimen dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$HB = \frac{2P}{[\pi D][D - \sqrt{D^2 - d^2}]}$$

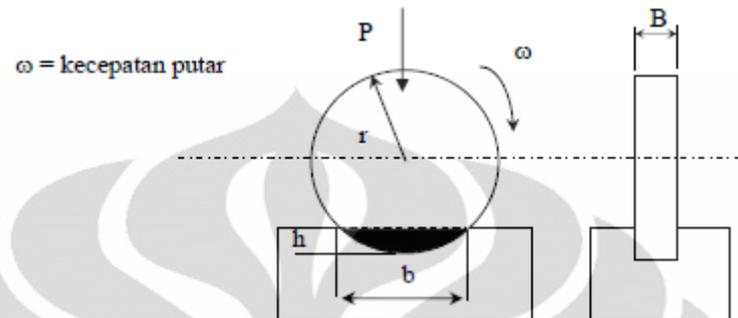
dimana, HB = nilai kekerasan Brinell ( BHN)  
 P = beban indentasi (kg)  
 D = diameter indenter (mm)  
 d = diameter jejak hasil indentasi (mm)

### 3.4.4 Pengujian Keausan

Dalam penelitian ini pengujian keausan dilakukan dengan metode Ogoshi. Pada pengujian ini spesimen diberikan beban gesek dari suatu cakram yang berputar, dimana pembebanan gesek ini akan menghasilkan kontak antar permukaan yang berulang-ulang sehingga menyebabkan terlepasnya partikel pada permukaan spesimen. Tingkat keausan material ditentukan dari dimensi jejak yang dihasilkan akibat terlepasnya partikel dari permukaan spesimen. Semakin besar dan dalam jejak keausan maka semakin tinggi volume material yang terlepas dari spesimen. Ilustrasi uji keausan dengan metode Ogoshi dapat disajikan pada Gambar 3.5. Laju keausan dihitung dengan menggunakan persamaan dibawah ini:

$$W = \frac{2\pi RS}{LF}$$

Dimana,  $R$  adalah jari-jari *revolving disk* (mm),  $S$  adalah luas penampang celah aus ( $\text{mm}^2$ ),  $L$  adalah jarak luncur (m), dan  $F$  adalah gaya/pembebanan yang diberikan (N).



**Gambar 3.5** Ilustrasi uji keausan dengan metode Ogoshi

### 3.4.5 Pengamatan dengan SEM

Pengamatan dengan SEM dilakukan untuk mengamati struktur dari sampel komposit karbon, seperti pori, distribusi partikel penguat dan interaksi partikel penguat dengan matriks.

## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Hasil Preparasi Sampel

##### 4.1.1 Pencampuran Bahan Baku

Sampel komposit karbon dibuat melalui beberapa tahapan proses yaitu pencampuran bahan baku (*mixing*), pencetakan, dan karbonisasi. Pencampuran dilakukan dengan melelehkan *coal tar pitch* terlebih dahulu (80-100 °C) hingga mengalir agar dapat mengimpregnasi partikel batubara dan arang batok kelapa dengan baik, kemudian baru ditambahkan arang batok kelapa dan batubara yang sebelumnya telah dicampur (tanpa panas). Hasil pencampuran pada tahap awal berupa butiran-butiran kasar akibat penggumpalan partikel batubara dan arang batok kelapa oleh lelehan *coal tar pitch*. Dengan pengadukan secara kontinyu sambil terus dipanaskan selama  $\pm 10$  menit, butiran tersebut terurai menjadi ukuran yang lebih kecil dan diperoleh hasil pencampuran yang lebih merata.

Selama pencampuran, dihasilkan asap yang merupakan indikasi terjadinya penguapan sebagian komponen penyusun *coal tar pitch* dan batubara. Senyawa yang menguap kemungkinan adalah uap air, senyawa-senyawa penyusun *coal tar pitch* dengan berat molekul rendah dan komponen penyusun batubara yang mudah menguap.

##### 4.1.2 Pencetakan

Pencetakan sampel dilakukan dengan menggunakan cetakan silinder berdiameter 4 cm yang ditekan dengan alat *press* hidrolik menggunakan beban 11 U.S ton (setara dengan 9.98 *metric ton*) sambil dipanaskan menggunakan *heater* yang ditempatkan di sekeliling cetakan pada temperatur  $\pm 100$  °C selama 30 menit. Tekanan dan temperatur dijaga agar tetap konstan selama pencetakan. Selama proses pencetakan juga masih terlihat adanya asap yang keluar dari cetakan, namun dengan intensitas yang lebih kecil dibanding saat pencampuran, yang menandakan masih adanya komponen-komponen dari bahan baku yang menguap akibat panas yang diberikan.

Pada beberapa sampel, ketika temperatur telah mendekati 100 °C sebagian *coal tar pitch* yang meleleh keluar dari celah antara cetakan dengan penekan (*punch*), sehingga volume sampel menjadi berkurang dan juga bervariasi antara satu sampel dengan sampel lainnya. Pengamatan visual menunjukkan permukaan sampel yang mulus dan tidak berpori, karena pada penekanan satu arah densitas tertinggi terjadi pada bagian yang dekat dengan alat penekan<sup>[1]</sup>. Selain itu, beberapa sampel hasil pencetakan mengalami retak. Kemungkinan penyebabnya adalah karena terlalu banyak *coal tar pitch* yang keluar melalui celah antara cetakan dengan silinder penekan sehingga jumlah efektif *pitch* yang mengikat partikel batubara dan arang batok kelapa berkurang secara signifikan. Sampel tersebut tidak digunakan untuk pengujian dan diganti dengan sampel yang baru.

### 4.3 Karbonisasi

Sampel yang diperoleh dari *hot pressing* tersebut selanjutnya dikarbonisasi dalam dapur vakum sederhana, pada temperatur 550 °C dengan waktu tahan 15 menit. Tujuan proses ini adalah untuk mengubah prekursor matriks *coal tar pitch* menjadi matriks karbon. Temperatur ini dipilih berdasarkan data TGA *coal tar pitch*, dimana transformasi *pitch* menjadi karbon terjadi sekitar temperatur tersebut. Waktu yang dibutuhkan dapur untuk mencapai temperatur 550 °C dari temperatur ruang adalah sekitar satu jam. Sampel yang dihasilkan dari proses karbonisasi lebih ringan dibandingkan sebelum karbonisasi. Selama proses karbonisasi komponen-komponen volatil dari *coal tar pitch* dan batubara menguap, meninggalkan pori pada sampel. Foto sampel hasil karbonisasi dapat dilihat pada Gambar 4.1 di bawah ini.



**Gambar 4.1** Sampel komposit karbon hasil karbonisasi

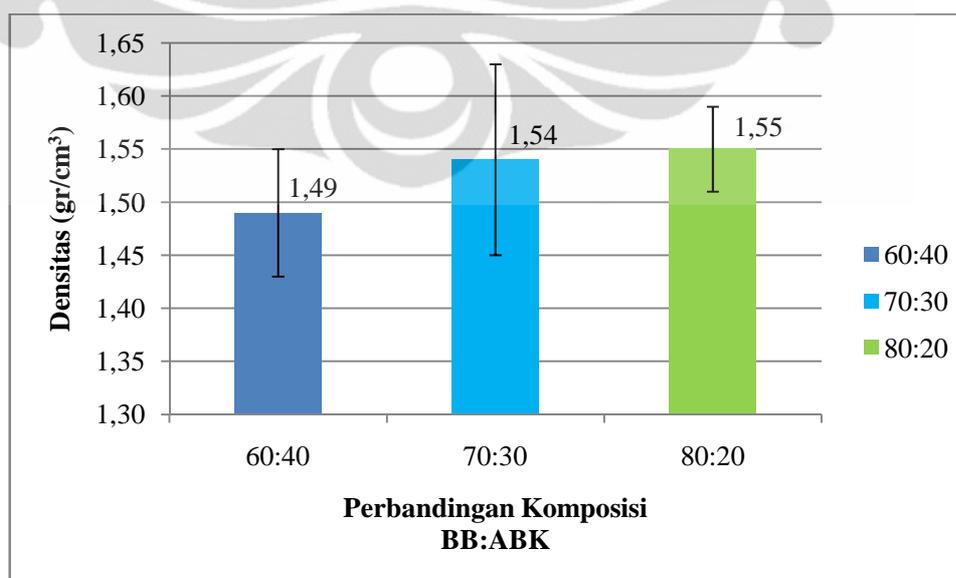
## 4.2 Karakterisasi Sampel Komposit

### 4.2.1 Pengujian Densitas

Data hasil pengujian densitas dari sampel komposit karbon pada penelitian ini disajikan pada Tabel 4.1 dan grafik pada Gambar 4.2 di bawah ini.

**Tabel 4.1** Data hasil pengujian densitas

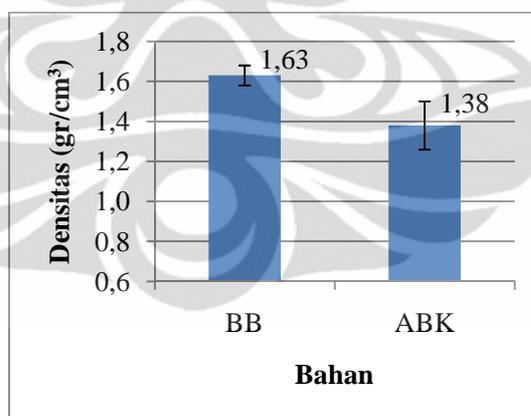
Komposisi BB:ABK	Densitas (gr/cm <sup>3</sup> )	Densitas Rata-Rata (gr/cm <sup>3</sup> )	Standar Deviasi
60:40	1,38	1,49	0,06
	1,48		
	1,53		
	1,51		
	1,53		
70:30	1,55	1,54	0,09
	1,45		
	1,69		
	1,51		
	1,51		
80:20	1,59	1,55	0,04
	1,59		
	1,49		
	1,53		
	1,51		



**Gambar 4.2** Pengaruh perbandingan komposisi BB:ABK terhadap densitas komposit karbon

Berdasarkan grafik pada Gambar 4.2 terlihat adanya kecenderungan peningkatan densitas sampel komposit karbon seiring dengan peningkatan fraksi massa batubara, atau dengan kata lain, densitas sampel mengalami penurunan dengan peningkatan fraksi massa arang batok kelapa. Nilai densitas tertinggi diperoleh pada sampel komposit dengan perbandingan massa batubara/arang batok kelapa 80:20, yaitu  $1,55 \text{ gr/cm}^3$ , sedangkan untuk perbandingan massa 70:30 dan 60:40 secara berurutan adalah  $1,54 \text{ gr/cm}^3$  dan  $1,49 \text{ gr/cm}^3$ .

Peningkatan densitas komposit karbon seiring dengan peningkatan kandungan batubara terjadi karena pada dasarnya densitas batubara lebih tinggi daripada arang batok kelapa, sebagaimana yang diperoleh dari hasil pengujian densitas masing-masing bahan tersebut (Gambar 4.3), sehingga peningkatan fraksi massa batubara dalam komposisi sampel akan menghasilkan komposit dengan densitas yang semakin tinggi. Arang batok kelapa memiliki densitas yang lebih rendah akibat porositas yang terbentuk ketika proses karbonisasi saat pembuatan arang batok kelapa dari batok kelapa mentah, sehingga dengan meningkatnya kandungan arang batok kelapa densitas komposit karbon yang dihasilkan juga lebih rendah seperti pada komposit dengan perbandingan BB:ABK 60:40.



**Gambar 4.3** Hasil pengujian densitas arang batok kelapa (ABK) dan batubara (BB)

Selain itu, berdasarkan penelitian sebelumnya oleh Agus<sup>[26]</sup> komposit *coal tar pitch*/batubara memiliki kekerasan yang lebih rendah daripada komposit *coal tar pitch*/arang batok kelapa. Hal ini menunjukkan bahwa batubara memiliki kekerasan yang lebih rendah daripada arang batok kelapa, sehingga ketika kompaksi partikel batubara bisa mengalami deformasi dengan mudah dan

menghasilkan kerapatan partikel yang lebih tinggi dan densitas bakalan yang lebih tinggi. Disisi lain, partikel arang batok kelapa sulit mengalami deformasi karena kekerasannya yang lebih tinggi sehingga menghambat terjadinya pepadatan saat proses kompaksi dan menghasilkan densitas yang lebih rendah.

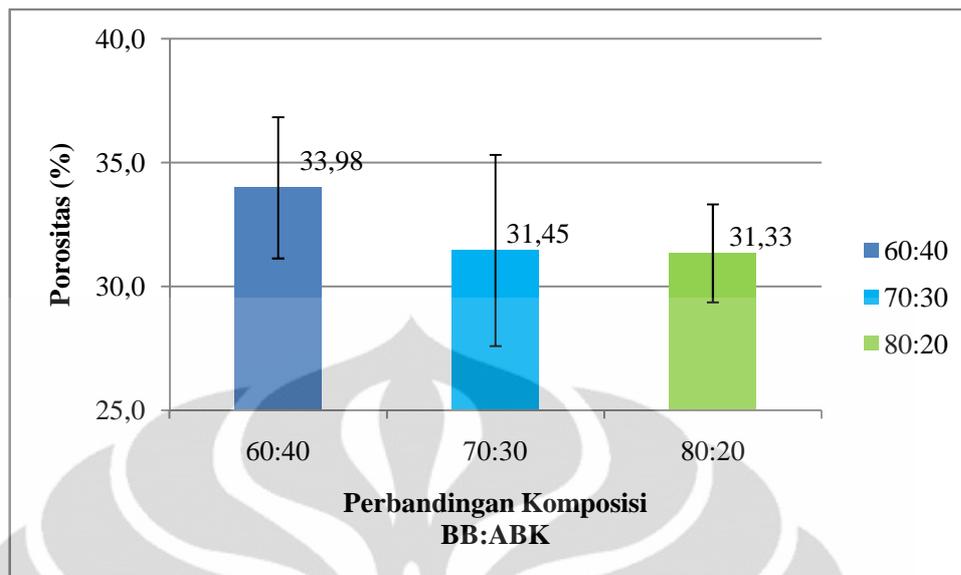
Densitas yang diperoleh pada penelitian ini lebih tinggi daripada penelitian sebelumnya<sup>[26]</sup> yang menggunakan teknik penekanan tanpa panas (*cold pressing*) ketika pencetakan sampel dan hanya menggunakan satu jenis partikel penguat, dimana densitas sampel komposit yang diperoleh berkisar antara 1,06 gr/cm<sup>3</sup> hingga 1,45 gr/cm<sup>3</sup>. Hal ini terjadi karena adanya efek pelumasan yang diberikan oleh lelehan *coal tar pitch* pada penekanan dengan panas, yang memudahkan proses kompaksi sehingga dihasilkan bakalan dengan kepadatan yang lebih tinggi. Densitas komposit yang dihasilkan pada penelitian ini tidak jauh berbeda dengan densitas komposit karbon komersial yang berkisar antara 1,4 gr/cm<sup>3</sup> hingga 1,6 gr/cm<sup>3</sup> <sup>[25]</sup>.

#### 4.2.2 Pengujian Porositas

Hasil pengujian porositas komposit karbon disajikan pada Tabel 4.2 di bawah ini.

**Tabel 4.2** Data hasil pengujian porositas

<b>Komposisi BB:ABK</b>	<b>Porositas (%)</b>	<b>Porositas Rata-Rata (%)</b>	<b>Standar Deviasi</b>
<b>60:40</b>	38,805	<b>33,98</b>	2,854
	34,246		
	32,015		
	32,963		
	31,894		
<b>70:30</b>	31,223	<b>31,45</b>	3,857
	35,418		
	25,100		
	32,801		
	32,697		
<b>80:20</b>	29,296	<b>31,33</b>	1,980
	29,246		
	33,557		
	31,823		
	32,743		



**Gambar 4.4** Pengaruh perbandingan komposisi BB:ABK terhadap porositas komposit karbon

Porositas pada sampel komposit karbon terbentuk akibat penguapan senyawa-senyawa volatil dari prekursor matriks *coal tar pitch* ketika proses karbonisasi untuk menghasilkan matriks karbon. Porositas yang tinggi dapat menurunkan sifat mekanis dari komposit karbon, sehingga untuk aplikasi-aplikasi yang membutuhkan sifat mekanis yang baik seperti cakram rem, komponen kopling, piston, dan lainnya diinginkan komposit karbon dengan porositas yang rendah<sup>[5]</sup>.

Pada umumnya peningkatan densitas diiringi dengan penurunan porositas. Data hasil pengujian menunjukkan kecenderungan penurunan porositas dengan peningkatan fraksi massa batubara, seperti yang disajikan pada Gambar 4.4 di atas. Hal ini sejalan dengan hasil pengujian densitas yang menunjukkan peningkatan densitas dengan peningkatan fraksi massa batubara. Porositas terendah diperoleh pada sampel komposit dengan perbandingan massa BB/ABK 80:20, yaitu 31,33%, sedangkan porositas tertinggi diperoleh pada sampel komposit dengan perbandingan massa BB/ABK 60:40 yaitu 33,98%.

Porositas terendah diperoleh pada sampel komposit dengan perbandingan massa BB/ABK 80:20. Hal ini disebabkan oleh kandungan arang batok kelapa yang rendah pada sampel tersebut. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, arang batok kelapa memiliki kekerasan yang lebih tinggi daripada batubara

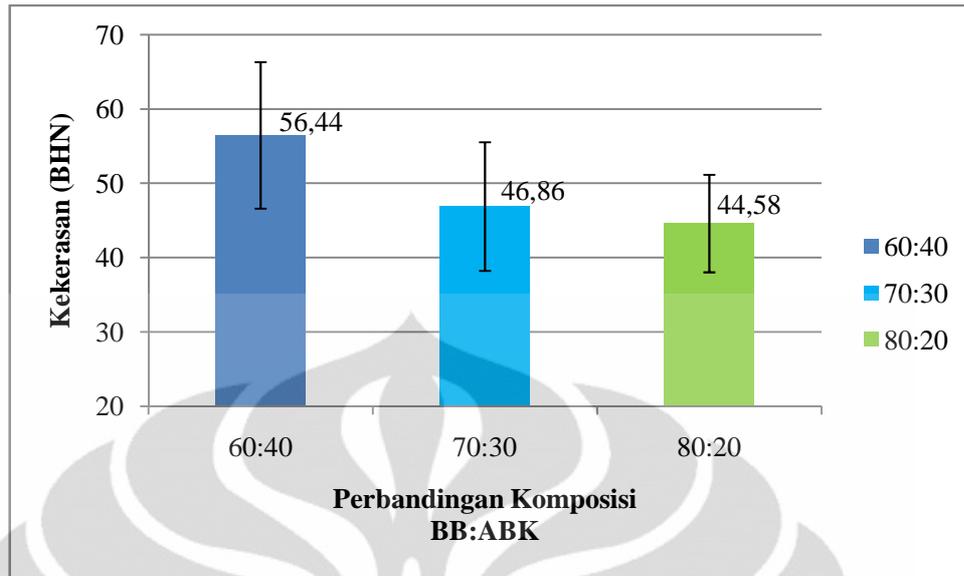
sehingga ketika diberikan tekanan saat kompaksi partikel arang batok kelapa sulit mengalami deformasi dan menghasilkan pori antarpartikel yang lebih besar. Jadi, semakin rendah fraksi massa arang batok kelapa maka pori antarpartikel yang dihasilkan ketika kompaksi juga akan lebih kecil. Selain itu, arang batok kelapa mengandung porositas yang terbentuk ketika proses karbonisasi dari bahan batok kelapa mentah, sehingga makin tinggi kandungan arang batok kelapa porositas sampel komposit yang dihasilkan juga akan semakin tinggi, seperti yang terlihat pada sampel komposit dengan perbandingan massa BB/ABK 60:40.

#### 4.2.3 Pengujian Kekerasan

Nilai kekerasan dari material komposit karbon yang dihasilkan akan sangat bergantung pada kekerasan dari masing-masing partikel penguat yang digunakan, yaitu partikel batubara dan arang batok kelapa, karena fraksi massa partikel penguat lebih dominan (70% dari massa total). Selain itu nilai kekerasan juga bergantung pada densitas dan porositas dari material komposit karbon. Data hasil pengujian kekerasan sampel komposit karbon pada penelitian ini disajikan pada Tabel 4.3 dan grafik pada Gambar 4.5.

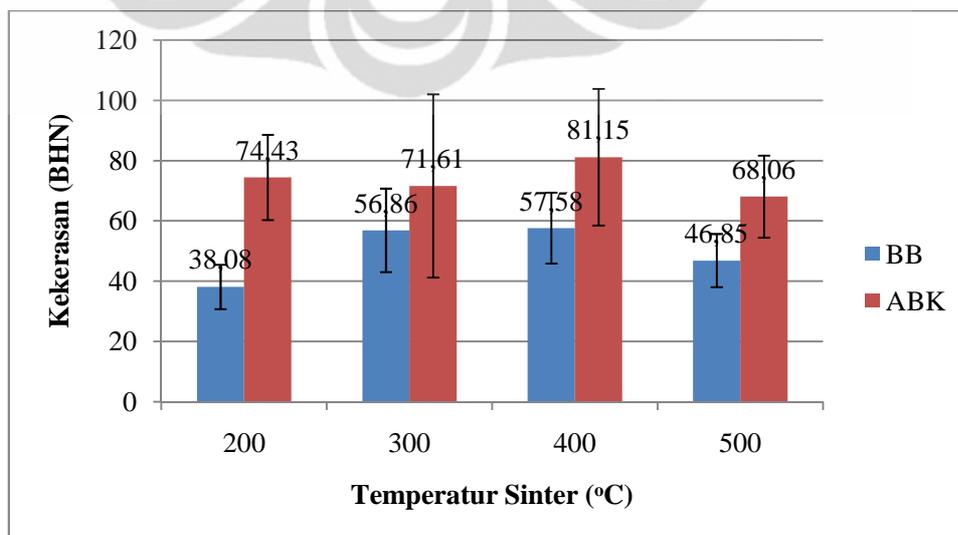
**Tabel 4.3** Data hasil pengujian kekerasan

<b>Komposisi BB:ABK</b>	<b>Kekerasan (BHN)</b>	<b>Kekerasan Rata-Rata (BHN)</b>	<b>Standar Deviasi</b>
<b>60:40</b>	61,18	<b>56,44</b>	9,86
	54,08		
	54,08		
	69,75		
	43,09		
<b>70:30</b>	38,79	<b>46,86</b>	8,66
	43,09		
	61,18		
	48,13		
	43,09		
<b>80:20</b>	48,13	<b>44,58</b>	6,56
	43,09		
	38,79		
	54,08		
	38,79		



**Gambar 4.5** Pengaruh perbandingan komposisi BB:ABK terhadap nilai kekerasan komposit karbon

Berdasarkan penelitian sebelumnya<sup>[26]</sup>, nilai kekerasan komposit karbon *coal tar pitch*/arang batok kelapa lebih tinggi daripada komposit karbon *coal tar pitch*/batubara pada berbagai temperatur sinter. Kekerasan komposit *coal tar pitch*/arang batok kelapa berkisar antara 68,06 BHN hingga 81,15 BHN, sedangkan komposit *coal tar pitch*/batubara berkisar antara 38,08 BHN hingga 57,58 BHN seperti yang disajikan pada Gambar 4.6<sup>[26]</sup>. Hal ini menunjukkan bahwa pada dasarnya nilai kekerasan partikel arang batok kelapa lebih tinggi daripada batubara.



**Gambar 4.6** Perbandingan nilai kekerasan komposit *coal tar pitch*/BB dan *coal tar pitch*/ABK<sup>[26]</sup>

Data hasil pengujian kekerasan pada penelitian ini menunjukkan hal yang sama dengan penelitian tersebut, dimana nilai kekerasan meningkat dengan peningkatan fraksi massa ABK. Kekerasan tertinggi diperoleh pada sampel komposit dengan perbandingan massa BB/ABK 60:40 yaitu 56,44 BHN, sedangkan nilai kekerasan sampel komposit dengan perbandingan 70:30 dan 80:20 secara berurutan adalah 46,86 BHN dan 44,58 BHN. Disini terlihat bahwa kekerasan partikel penguat memberikan pengaruh yang dominan terhadap kekerasan sampel komposit yang dihasilkan, sedangkan densitas dan porositas tidak terlalu berpengaruh karena perbedaan nilai densitas dan porositas tidak terlalu signifikan.

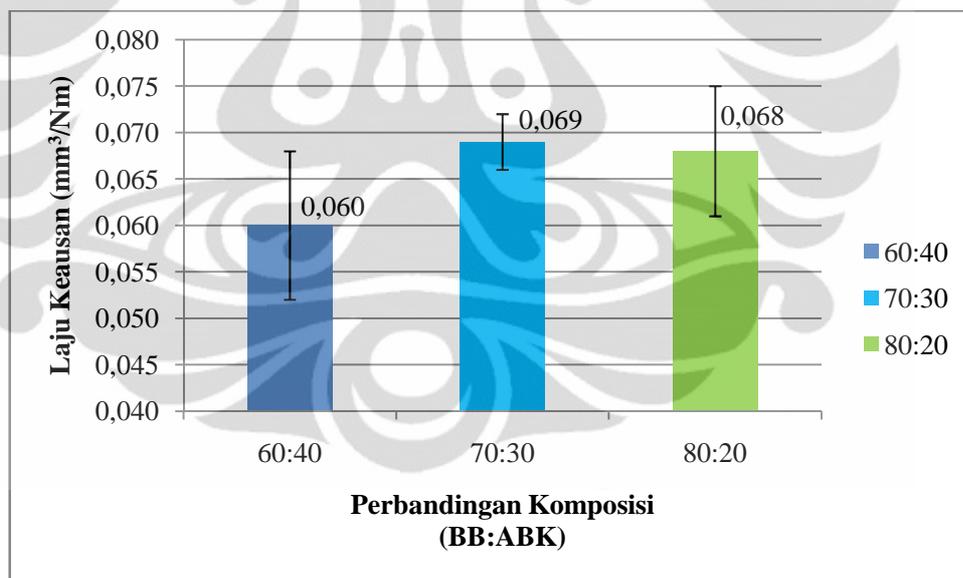
#### 4.2.4 Pengujian Keausan

Perilaku keausan merupakan pertimbangan yang sangat penting dalam aplikasi yang melibatkan friksi. Perilaku keausan sangat dipengaruhi oleh kekerasan material, dimana pada umumnya makin tinggi kekerasan suatu material maka ketahanannya terhadap aus juga semakin tinggi, dan begitu juga sebaliknya. Pada komposit karbon dengan penguat partikel, perilaku keausan terutama ditentukan oleh partikel penguat, sedangkan *pitch* tidak terlalu berpengaruh<sup>[7]</sup>.

Pengukuran laju keausan sampel komposit dilakukan dengan metode Ogoshi. Dengan metode ini diperoleh volume material yang terabrasi dalam satuan  $\text{mm}^3$ , yang selanjutnya dikonversi menjadi laju keausan dengan cara membagi nilai tersebut dengan hasil perkalian beban ( $F$ , Newton) dan jarak luncur ( $L$ , meter) yang digunakan ketika pengujian, sehingga didapatkan laju keausan dalam satuan  $\text{mm}^3/\text{Nm}$ . Data hasil pengujian keausan disajikan pada Tabel 4.4 dan grafik pada Gambar 4.7. Data tersebut menunjukkan bahwa ketahanan aus menurun dengan peningkatan fraksi massa batubara, yang terlihat dari laju keausan yang makin tinggi, walaupun terjadi sedikit penurunan laju keausan pada sampel komposit dengan perbandingan massa BB/ABK 80:20. Sampel komposit dengan perbandingan massa BB/ABK 80:20 memiliki laju keausan tertinggi, yaitu  $0,06 \text{ mm}^3/\text{Nm}$ , sedangkan laju keausan pada sampel komposit dengan perbandingan massa BB/ABK 70:30 dan 60:40 hampir sama yaitu  $0,069 \text{ mm}^3/\text{Nm}$  dan  $0,068 \text{ mm}^3/\text{Nm}$ .

Tabel 4.4 Data hasil pengujian keausan

Komposisi (BB:ABK)	Laju Keausan ( $\text{mm}^3/\text{Nm}$ )	Laju Keausan Rata-Rata ( $\text{mm}^3/\text{Nm}$ )	Standar Deviasi
60:40	0,056	0,060	0,008
	0,063		
	0,049		
	0,072		
	0,060		
70:30	0,071	0,069	0,003
	0,070		
	0,064		
	0,072		
	0,070		
80:20	0,074	0,068	0,007
	0,061		
	0,078		
	0,064		
	0,063		



Gambar 4.7 Pengaruh perbandingan komposisi BB:ABK terhadap laju keausan komposit karbon

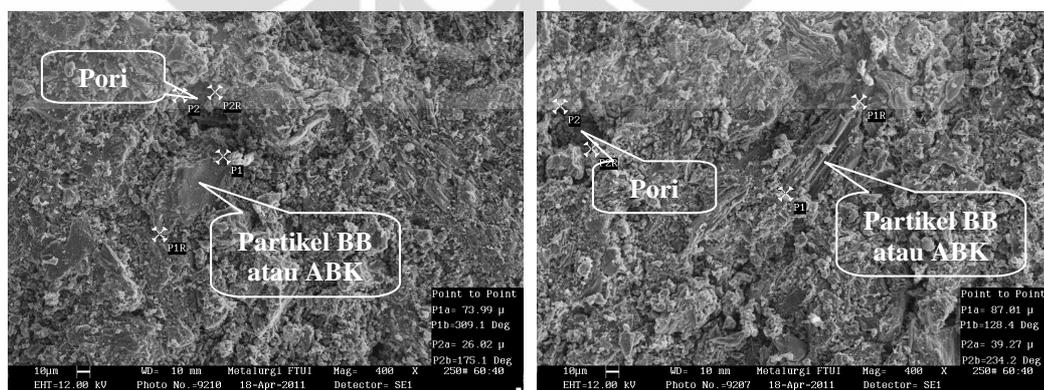
Hasil ini bersesuaian dengan data hasil pengujian kekerasan yang dilakukan sebelumnya, dimana nilai kekerasan menurun dengan peningkatan fraksi massa BB. Nilai kekerasan sampel 60:40 adalah 56,44 BHN sedangkan sampel 70:30 dan 80:20 nilai kekerasannya tidak berbeda jauh, yaitu 46,86 BHN dan 44,58 BHN. Laju keausan pada sampel 60:40 jauh lebih rendah daripada

70:30 dan 60:40 karena nilai kekerasannya juga jauh lebih tinggi dari kedua sampel tersebut. Sedangkan laju keausan pada sampel 70:30 dan 80:20 hampir sama ( $0,069 \text{ mm}^3/\text{Nm}$  dan  $0,068 \text{ mm}^3/\text{Nm}$ ), bersesuaian dengan nilai kekerasannya yang juga tidak berbeda jauh. Laju keausan yang lebih tinggi pada sampel 70:30 dibanding 80:20 kemungkinan disebabkan karena pencampuran yang kurang merata, sehingga terdapat bagian yang memiliki komposisi arang batok kelapa lebih rendah dan menghasilkan laju keausan yang lebih tinggi.

#### 4.2.5 Pengamatan dengan SEM

Hasil pengamatan sampel komposit dengan SEM disajikan pada Gambar 4.8. Foto SEM dari sampel komposit lainnya dapat dilihat pada Lampiran 5. Foto SEM tersebut menunjukkan adanya porositas dalam komposit karbon yang ditunjukkan oleh bagian yang berwarna lebih gelap. Dari gambar tersebut juga dapat dilihat bahwa partikel penguat memiliki bentuk yang tidak beraturan. Partikel penguat batubara dan arang batok kelapa diselimuti oleh karbon yang dihasilkan dari karbonisasi prekursor matriks *coal tar pitch*.

Porositas terbentuk akibat penguapan senyawa-senyawa dari *pitch* yang memiliki berat molekul rendah ketika karbonisasi untuk membentuk matriks karbon, sehingga meninggalkan pori pada matriks. Selain itu, porositas antarpartikel juga terbentuk ketika proses kompaksi, yang dipengaruhi oleh perilaku partikel selama kompaksi.

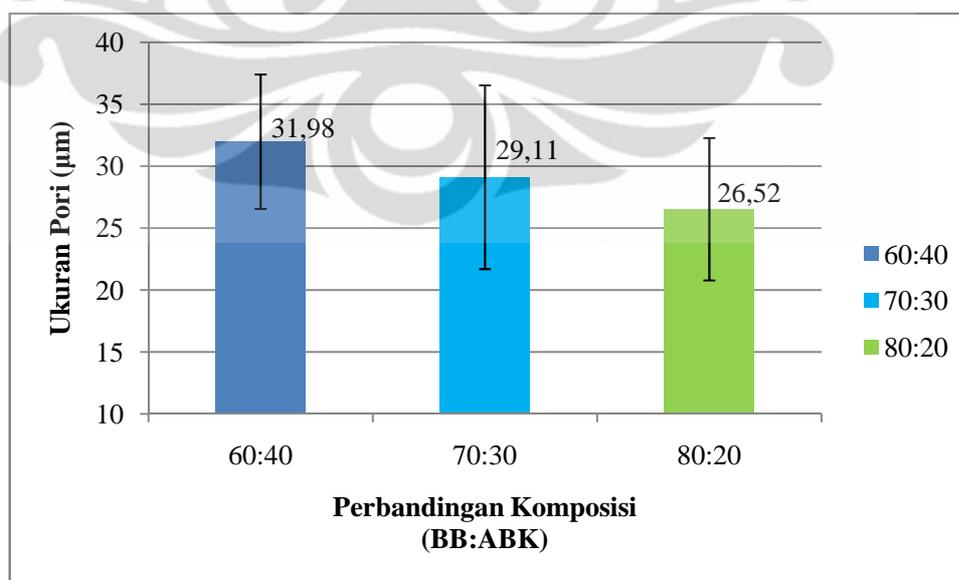


Gambar 4.8 Foto SEM sampel komposit karbon

Pengukuran pori dilakukan secara acak pada sampel komposit. Untuk setiap perbandingan komposisi BB/ABK dipilih lima titik secara acak untuk menentukan ukuran pori pada sampel tersebut. Data hasil pengukuran pori dengan SEM disajikan pada Tabel 4.5 dan grafik pada Gambar 4.8.

**Tabel 4.5** Data hasil pengukuran pori menggunakan SEM

Komposisi BB:ABK	Ukuran Pori ( $\mu\text{m}$ )	Ukuran Pori rata-rata ( $\mu\text{m}$ )	Standar Deviasi
<b>60:40</b>	39,27	<b>31,98</b>	5,43
	34,89		
	32,33		
	26,02		
	27,41		
<b>70:30</b>	38,16	<b>29,11</b>	7,42
	34,02		
	25,02		
	20,38		
	24,18		
<b>80:20</b>	32,87	<b>26,52</b>	5,75
	28,03		
	19,28		
	21,90		
	30,50		



**Gambar 4.9** Pengaruh perbandingan komposisi BB:ABK terhadap ukuran pori komposit karbon

Dari data hasil pengukuran pori tersebut terlihat kecenderungan bahwa semakin tinggi fraksi massa batubara dalam komposisi sampel komposit karbon maka ukuran pori semakin kecil, atau dengan kata lain, semakin tinggi fraksi massa arang batok kelapa maka ukuran pori makin besar. Ukuran pori terbesar terdapat pada sampel komposit dengan perbandingan massa BB/ABK 60:40 yaitu 31,98  $\mu\text{m}$ , sedangkan untuk sampel komposit dengan perbandingan massa BB/ABK 70:30 dan 60:40 secara berurutan adalah 29,15  $\mu\text{m}$  dan 26,52  $\mu\text{m}$ .

Data hasil pengukuran pori ini sesuai dengan data hasil pengujian porositas dan densitas, dimana makin tinggi kandungan arang batok kelapa maka porositas sampel komposit juga meningkat dan menyebabkan nilai densitasnya menurun. Hal ini terjadi karena arang batok kelapa memiliki kekerasan yang lebih tinggi daripada batubara sehingga sulit terdeformasi ketika ditekan saat proses pencetakan dan menghasilkan pori antarpartikel yang lebih besar dan kepadatan yang lebih rendah.

## BAB 5

### KESIMPULAN

1. Perbandingan massa batubara/arang batok kelapa dalam komposit karbon *coal tar pitch*/batubara/arang batok kelapa mempengaruhi densitas, porositas, kekerasan, dan ketahanan aus dari komposit tersebut. Densitas sampel menunjukkan kecenderungan peningkatan dengan peningkatan fraksi massa batubara, sebaliknya porositas menunjukkan kecenderungan penurunan. Kekerasan dan ketahanan aus menunjukkan kecenderungan peningkatan dengan kenaikan fraksi massa arang batok kelapa.
2. Densitas tertinggi dan porositas terendah diperoleh pada sampel yang memiliki kandungan batubara tertinggi (kandungan arang batok kelapa terendah), yaitu pada sampel dengan perbandingan massa batubara/arang batok kelapa 80:20 dengan densitas 1,55 gr/cm<sup>3</sup> dan porositas 31,33%. Hal ini terjadi karena densitas batubara lebih tinggi daripada densitas arang batok kelapa. Selain itu, batubara memiliki kekerasan yang relatif lebih rendah sehingga lebih mudah terdeformasi ketika proses kompaksi dan menghasilkan densitas yang lebih tinggi serta pori antarpartikel yang lebih rendah. Sebaliknya, arang batok kelapa memiliki kekerasan yang lebih tinggi sehingga menghasilkan pori antarpartikel yang lebih besar ketika kompaksi. Di samping itu, arang batok juga kelapa mengandung porositas yang terbentuk ketika proses karbonisasi dari batok kelapa mentah. Pengamatan dengan SEM memperlihatkan pori pada komposit karbon yang terbentuk ketika karbonisasi.
3. Kekerasan tertinggi diperoleh pada sampel yang memiliki kandungan arang batok kelapa tertinggi, yaitu sampel dengan perbandingan massa batubara/arang batok kelapa 60:40 dengan nilai 56,44 BHN. Hal ini merupakan akibat dari kekerasan arang batok kelapa yang lebih tinggi daripada batubara. Dalam hal ini densitas dan porositas tidak terlalu berpengaruh terhadap nilai kekerasan karena perbedaannya tidak signifikan. Ketahanan aus komposit karbon sangat dipengaruhi oleh nilai kekerasan, sehingga makin tinggi fraksi massa arang batok makin rendah kelapa laju aus komposit karbon.

## DAFTAR PUSTAKA

1. ASM Handbook Volume 21, *Composites*. 2004. ASM International.
2. Callister Jr., William D. 2007. *Material Science and Engineering : An Introduction*, 7<sup>th</sup> ed. Jhon Wiley & Sons, Inc.
3. Jacobs, James A. and Thomas F. Kilduff. 2005. *Engineering Materials Technology*, 5<sup>th</sup> ed. New Jersey : Prentice Hall.
4. Buckley, Jhon D. 1993. *Carbon-Carbon Materials and Composites*. New Jersey, USA: Noyes Publication.
5. Rawlings, R. D and F. L. Mathew. 1994. *Composites Materials: Engineering and Science*. Chapman & Hall.
6. Departemen of Defense Handbook, USA. 2002. *Ceramic Matrix Composites*.
7. Blanco, C., Santamaría, R., Bermejo, J. & Menéndez, R. 2000. *Pitch Based Carbon Composites With Granular Reinforcements for Frictional Applications*. Carbon, 38, 1043–1051.
8. Méndez, A., Santamaría, R., M Granda. & Menéndez. 2003. *The Effect of the Reinforcing Carbon on the Microstructure of Pitch-Based Granular Composites*. J. Microscopy, 209, 81–93.
9. Blanco, C., Santamaría, R., Bermejo, J. & Menéndez, R. 2000. *A Comparative Study of The Air-Blown and Thermally Treated Coal Tar Pitches*. Carbon, 38, 517–523.
10. Méndez, A., Santamaría R., Granda M., Morgan T., A.A. Herod, R. Kandiyoti & R. Menéndez. (2003). *Influence of Granular Carbons on Pitch Properties*. Fuel, 82, 1241–1250.
11. Méndez, A., Santamaría, R., Menéndez, R. & Bermejo, J. 2001. *Influence of Granular Carbons on the Pyrolysis Behaviour of Coal Tar Pitches*. J. Anal. Appl. Pyrolysis, 58–59, 825–840.
12. Klar, Enhard. 1983. *Powder Metallurgy Application, Advantages and Limitation*. Ohio : American Society For Metals.
13. German. Randall M. 1984. *Powder Metallurgy Science*. New Jersey: Metal Powder Industries Federation.
14. David Chandrwan dan Myrna Ariati. 1999. *Metalurgi serbuk, Teori dan Aplikasi Jilid 1*. Depok.
15. Froyen, L., Verlinden B. 1994. *Aluminium Powder Metallurgy*. European Aluminium Association.

16. Mora E., Santamaria R., Blanco C., Granda M., Mene´ndez R. 2003. *Mesophase Development in Petroleum and Coal-Tar Pitches and Their Blends*. J. Anal. Appl. Pyrolysis 68-69, 409-424.
17. ASM Handbook Volume 7, *Powder Metal Technologies and Applications*. 2004. ASM International.
18. Schmidt, D.L. *Carbon-Carbon Composites*. SAMPE J., May-June 1972, pp. 9-19
19. <http://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp85-c4.pdf>
20. <http://ntp.niehs.nih.gov/ntp/roc/elevnth/profiles/s048coal.pdf>
21. <http://electrochem.cwru.edu/ed/encycl/art-p04-metalpowder.htm>
22. IUPAC. 1995. *Recommended Terminology For the Description of Carbon as a Solid*.
23. <http://f1-dictionary.110mb.com/brakes.html>
24. <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp85-c2.pdf>
25. <http://www.CarbonComposites.com>
26. Pramono, Agus Edy. 2010. *Rekayasa dan Karakterisasi Material Komposit Karbon Karbon Berbasis Limbah Organik*. Departemen Teknik Metalurgi dan Material, FTUI.

## Sertifikat Analisis CHNSO Batubara



F 40015A

**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 (gl. 27 Desember 2007)

Nomor / Number : 831<sup>B</sup>/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	<b>72.31</b>	%	adb	ASTM D.5373
HYDROGEN	<b>3.39</b>	%	adb	ASTM D.5373
NITROGEN	<b>1.36</b>	%	adb	ASTM D.5373
TOTAL SULFUR	<b>1.70</b>	%	adb	ASTM D.4239

Manajer Teknis  
Lab Batubara.

  
N. Teti Sumiati  
NIP. 100011640

1 dari 1

**Catatan :** 1. Hasil pengujian/analisis ini hanya berlaku untuk contoh yang diuji

Notes These analysis result are only valid for the tested samples

2. Sertifikat ini tidak boleh diperbanyak (digandakan) tanpa izin dari Manajer Teknis

This Certificate shall not be reproduced (copied) without written permission of the Technical manager

## Sertifikat Analisis CHNSO Arang Batok Kelapa



**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.a/LBB/VII/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 : ABK

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 : 3984 / 2009

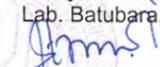
Contoh diterima tanggal / Sample received on : 6 Agustus 2009

Waktu pelaksanaan pengujian / Date of testing : 6 Agustus 2009

**HASIL ANALISIS / ANALYSIS RESULTS :**

ANALYSIS PARAMETERS	Sample Marks	Unit	Basis	Standar Acuan :
	No.Lab.3984/09 ABK 900			
<b>ULTIMATE :</b>				
ASH	1.64	%	adb	ASTM D. 3174
CARBON	99.27	%	adb	ASTM D. 5373
HYDROGEN	0.16	%	adb	ASTM D. 5373
NITROGEN	0.62	%	adb	ASTM D. 5373
TOTAL SULFUR	0.05	%	adb	ASTM D.4239
OXYGEN	*	%	adb	By Diff

Keterangan : \* Hasil negatif, kadar karbon tinggi

Manajer Teknis  
 Lab. Batubara,  
  
 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

## Sertifikat Analisis CHNSO Coal Tar Pitch



**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,

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

**Formulasi Sampel, Hasil Pengukuran Densitas (Empiris), Perhitungan Densitas Komposit  
Dengan Hukum Campuran**

Formulasi untuk sebuah sampel komposit dengan berbagai komposisi batubara/arang batok kelapa

BB:ABK	Massa (gr)			
	Pitch (30 wt. %)	BB	ABK	Total
60:40	9.0	12.6	8.4	30
70:30		14.7	6.3	
80:20		16.8	4.2	

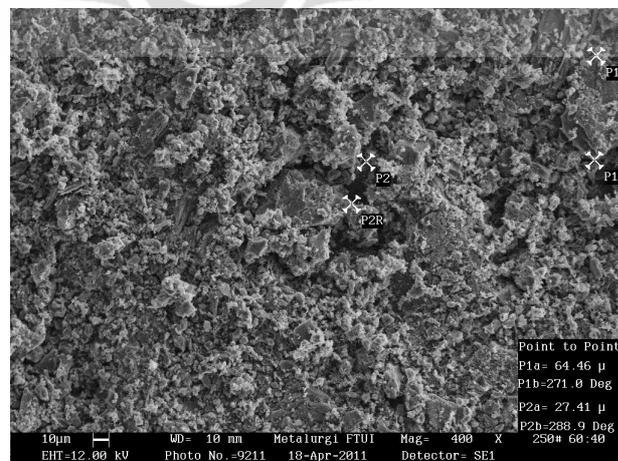
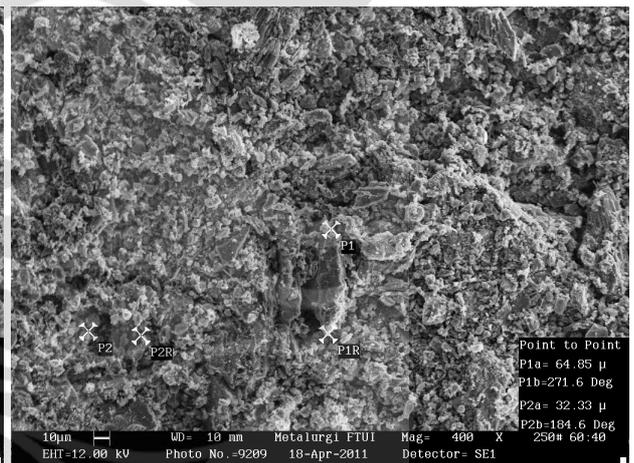
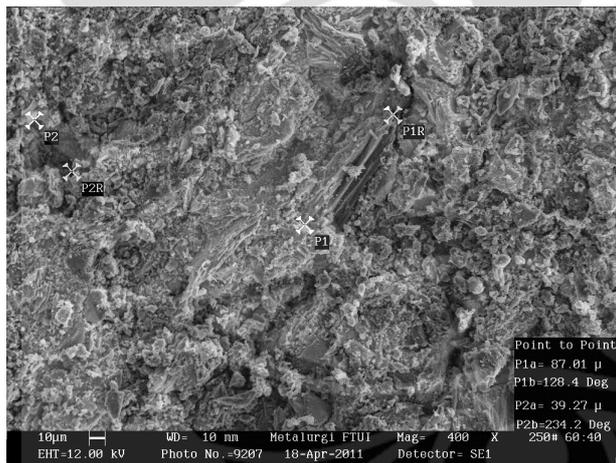
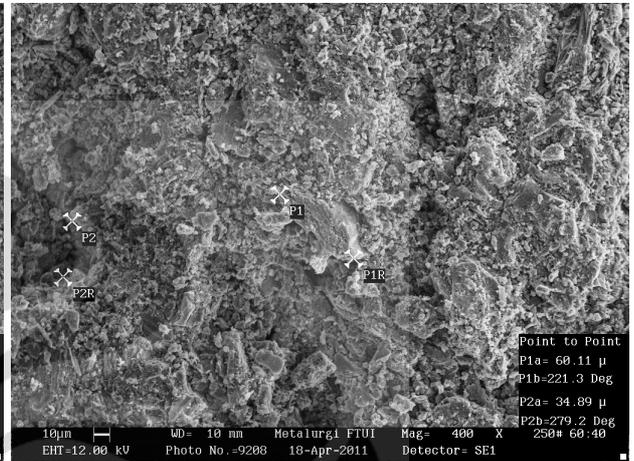
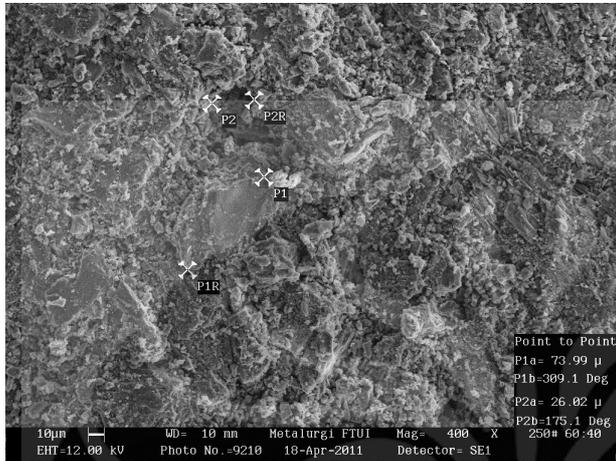
**Hasil Pengukuran Densitas BB, ABK, dan Pitch**

No	Densitas (gr/cm <sup>3</sup> )		Pitch
	BB	ABK	
1	1,604	1,289	1,026
2	1,576	1,461	0,984
3	1,635	1,478	0,864
4	1,692	1,214	1,219
5	1,658	1,437	1,0064
<b>rata-rata</b>	<b>1,63</b>	<b>1,38</b>	<b>1,02</b>

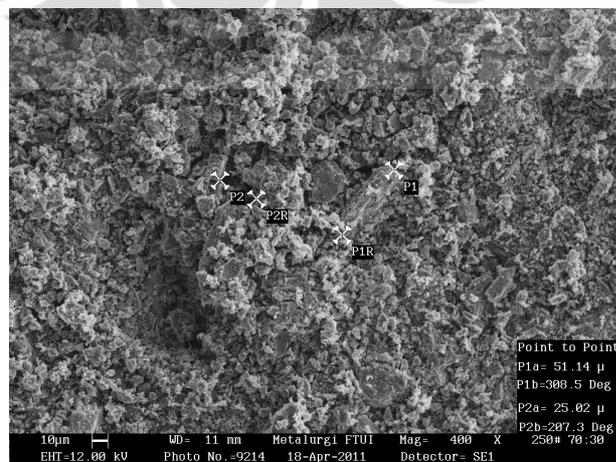
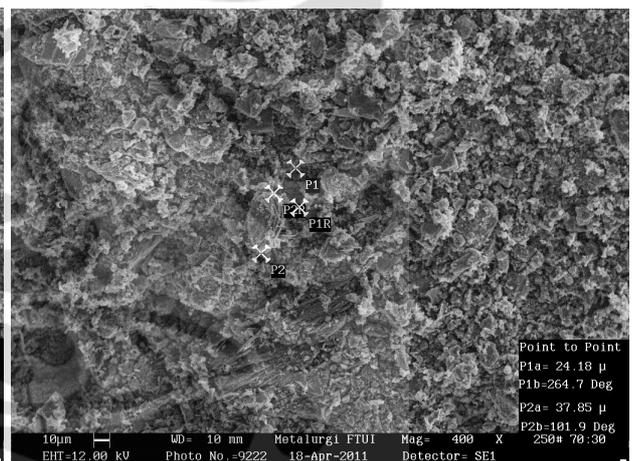
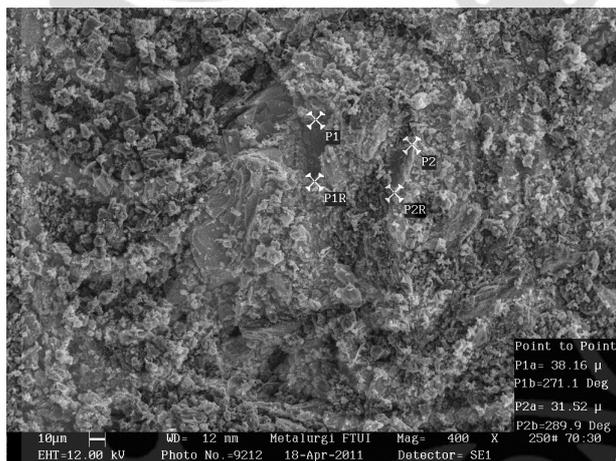
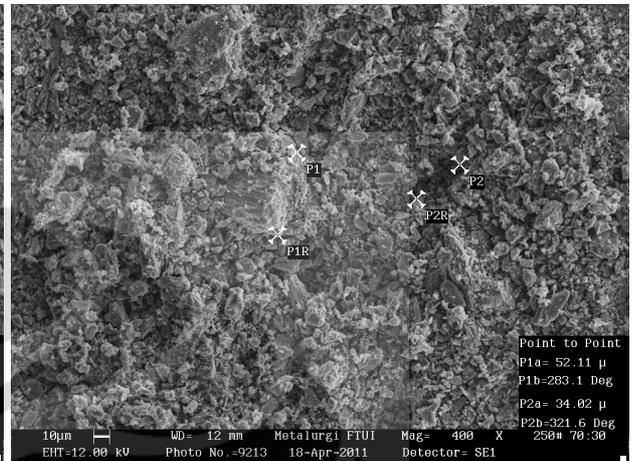
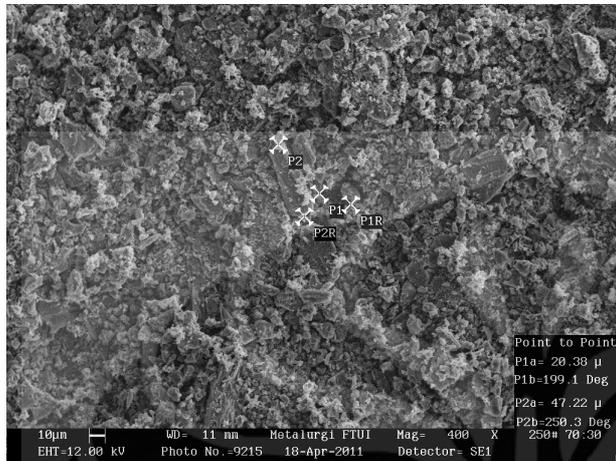
**Perhitungan densitas komposit dengan hukum campuran**

BB:ABK	Bahan						Densitas komposit (gr/cm <sup>3</sup> )
	Pitch		BB		ABK		
	volume (cm <sup>3</sup> )	fraksi volume	volume (cm <sup>3</sup> )	fraksi volume	volume (cm <sup>3</sup> )	fraksi volume	
60:40	8,82	0,39	7,58	0,34	6,11	0,27	1,32
70:30	8,82	0,39	9,00	0,40	4,58	0,20	1,34
80:20	8,82	0,40	10,29	0,46	3,05	0,14	1,35

Hasil Pengamatan SEM Sampel Komposit Karbon BB:ABK 60:40



## Hasil Pengamatan SEM Sampel Komposit Karbon BB:ABK 70:30



## Hasil Pengamatan SEM Sampel Komposit Karbon BB:ABK 80:20

