



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI KARAKTERISTIK KOMPOSIT KARBON BATUBARA/ARANG
BATOK KELAPA BERUKURAN 200 MESH DENGAN Matriks *COAL
TAR PITCH***

SKRIPSI

AL BASRI AMIN

0706268253

FAKULTAS TEKNIK

DEPARTEMEN TEKNIK METALURGI DAN MATERIAL

DEPOK

JUNI 2011



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI KARAKTERISTIK KOMPOSIT KARBON BATUBARA/ARANG
BATOK KELAPA BERUKURAN 200 *MESH* DENGAN Matriks *COAL
TAR PITCH***

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

AL BASRI AMIN

0706268253

FAKULTAS TEKNIK

DEPARTEMEN TEKNIK METALURGI DAN 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 : Al Basri Amin

NPM : 0706268253

Tanda Tangan : 

Tanggal : Juni 2011

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Al Basri Amin

NPM : 0706268253

Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material

Judul Skripsi : Studi Karakteristik Komposit Karbon Batubara/Arang Batok Kelapa Ukuran 200 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 (ST) pada Program Studi Teknik Metalurgi dan Material, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing 1 : Prof.Dr.Ir. Anne Zulfia, M.Phil.Eng.

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

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

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

Handwritten signatures of the examiners and supervisors, each with a dotted line underneath for identification.

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 16 Juni 2011

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya ucapkan kepada Allah SWT, karena atas berkat dan karunia-Nya lah penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan tepat waktu. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat mencapai gelar Sarjana Teknik dari Departemen Metalurgi dan Material pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya sangat sadar bahwa tanpa adanya dukungan, pertolongan dan bimbingan dari berbagai pihak, maka proses pembuatan skripsi ini mungkin akan sulit diselesaikan. Oleh karena itu saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof.Dr.Ir.Anne Zulfia, M.Phil.Eng selaku dosen pembimbing dari Departemen Metalurgi dan Material yang telah rela meluangkan waktu, tenaga, pikiran serta bantuan lain baik dorongan moril maupun materil.
2. Drs. Agus Edy Pramono, ST, M.Si sebagai pembimbing dari Politeknik Negeri Jakarta (PNJ) yang banyak membantu dan membimbing dalam penelitian ini.
3. Bapak H.Sobirin dan Ibu Hj.Sholiha yang senantiasa memberikan dorongan motivasi, finansial, dan iringan doa yang tiada henti. Semoga anakmu ini dapat membalas perjuanganmu. Serta Mas Sodik, Mas Ali, Mas Dien, Mba Siti, Mba Nisa, dan seluruh keluarga besar yang senantiasa memberi doa dan motivasi tiada henti.
4. Ahmad “Ichal” Zazali dan Ardianto teman satu kelompok penelitian komposit karbon. Terima kasih atas bantuan, dan kritiknya yang pedas.
5. Hasbi Fahada, Nana Rusdiana, Fuadi Hasan, dan Nurdin Effendi dan teman-teman Kesatuan Pelajar dan Mahasiswa Daerah Brebes (KPMDB) yang selalu mengingatkan untuk mengerjakan skripsi ini.
6. Ahmad Fahrozi, Riyan Nuryanto, Muhammad Riski, Anton Royanto, Angyun, Hedi, dan Wahyu Dwi teman-teman *ngaji* pekanan yang selalu memberi masukan dan motivasi.
7. Pak Zainal, Pak Nudin, Ahmad Zakiyudin, Yuda Pratesa, Bintang Suryo dan semua karyawan Departemen Metalurgi dan Material yang telah membantu saya selama penelitian .

8. Teman-teman metalurgi angkatan 2007 yang selalu memberi semangat serta masukan, semoga mereka yang sedang melakukan penelitian diberi kemudahan. Solid, tanggung jawab, cinta jurusan (STC).
9. Pihak-pihak lain yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu.

Saya menyadari bahwa skripsi ini bukanlah tulisan yang sempurna , sehingga diharapkan kritik dan saran yang membangun agar bisa menjadi lebih baik kedepannya. Akhir kata semoga apa yang sudah diberikan dan dihasilkan dari skripsi ini dapat bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan di Indonesia.

Depok, 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 : Al Basri Amin
NPM : 0706268253
Program Studi : Metalurgi & Material
Departemen : Metalurgi & Material
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

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

Studi Karakteristik Komposit Karbon Batubara/Arang Batok Kelapa Ukuran 200 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 memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : 16 Juni 2011

Yang menyatakan



(Al Basri Amin)

ABSTRAK

Nama : Al Basri Amin
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Judul : Studi Karakteristik Komposit Karbon Batubara/Arang Batok Kelapa Ukuran 200 Mesh Dengan Matriks *Coal Tar Pitch*

Komposit karbon dibuat dengan bahan baku serbuk limbah batubara, arang batok kelapa, dan *coal tar pitch*. Serbuk batubara dan arang batok kelapa berperan sebagai penguat partikulat, dan *coal tar pitch* berperan sebagai prekursor matriks pengikat. Persentase *coal tar pitch* yang digunakan adalah 30% berat dan persentase BB dan ABK 70% berat. Ukuran partikel batubara dan arang batok kelapa yang dipakai adalah 200 mesh. Pembuatan komposit ini dilakukan dengan proses kompaksi panas dengan tekanan 11 U.S ton/78 Mpa, $T=100^{\circ}\text{C}$, selama 30 menit, kemudian dikarbonisasi pada suhu $500-550^{\circ}\text{C}$, $P = \pm 600$ torr. Variabel dalam penelitian ini adalah persentase BB:ABK yaitu 60:40, 70:30, 80:20. Pada spesimen uji komposit karbon ini akan diamati nilai densitas, persentase porositas, nilai kekerasan, ketahanan aus dan morfologi ikatan antar bahan penyusun.

Semakin tinggi kandungan BB(semakin rendah kandungan ABK) akan dihasilkan nilai densitas yang semakin tinggi dan porositas semakin rendah. Nilai densitas tertinggi terdapat pada rasio komposisi BB:ABK 70:30, yaitu $1,53 \text{ gr/cm}^3$ dan persentase porositas terendah terdapat pada 70:30, yaitu 32 %. Kemudian, semakin tinggi kandungan ABK (atau semakin rendah kandungan BB) akan dihasilkan nilai kekerasan yang semakin tinggi dan laju keausan akan semakin rendah/semakin tahan aus. Nilai kekerasan tertinggi terdapat pada BB:ABK 60:40, yaitu 49,73 BHN dan laju keausan terendah terdapat pada BB:ABK 60:40, yaitu $0,05499 \text{ mm}^3/\text{Nm}$. Ketidaksesuaian densitas, porositas, serta laju keausan pada rasio komposisi BB:ABK 80:20 disebabkan karena banyaknya *coal tar pitch* yang meluber saat kompaksi.

Kata Kunci: komposit karbon, batubara, arang batok kelapa, *coal tar pitch*, densitas, porositas, kekerasan, laju keausan

ABSTRACT

Name : Al Basri Amin
Major : Metallurgy and Materials Engineering
Title : Study of Characteristic Carbon-carbon Composite Coal/Coconut Shell Coal Mesh Size 200 with Coal Tar Pitch Matrix

Carbon-carbon composite is made by coal, coconut shell coal, and coal tar pitch. Coal and coconut shell coal acted as reinforced particle and coal tar pitch as matrix precursor. The percentage of coal tar pitch which used is 30% (weight fraction) and reinforced particle (coal and coconut shell coal) is 70%. The mesh of particle size of coal and coconut shell coal is 200. The processed used is hot compaction/pressing. The pressed was 11 U.Ston/78 Mpa, $T=100^{\circ}\text{C}$, for 30 minute, Then carbonized at $500-550^{\circ}\text{C}$, $P = \pm 600$ torr. The variable in this research is the presentage of coal compared with coconut shell coal, individually 60:40, 70:30, and 80:20. The carbon-carbon composite then characterized enclose density, the percentage of porosity, hardness, wear rate, and microstructure by Scanning Electron Microscope (SEM).

With increasing of coal content (decrease of coconut shell coal content), produced the increasing in density and decreasing in porosity. The highest density is shown in composition ratio of coal compared with coconut shell coal 70:30, that was $1,53 \text{ gr/cm}^3$ and the lowest percentage of porosity is produced in 70:30, that was 32%. Then, increasing of coconut shell coal content (decrease of coal content) produced higher proportion in hardness and lower proportion in wear rate/ more wear resistant. The highest proportion in hardness is produced in composition ratio of coal compared with coconut shell coal 60:40, that was 49,73 BHN and the lowest wear rate is shown in composition ratio of coal compared with coconut shell coal 60:40, that was $0.05499 \text{ mm}^3/\text{Nm}$. The nonconformity in density, porosity, and wear rate in composition ratio of coal compared with coconut shell coal caused by the amount of coal tar pitch reduced (caused overflow from the dies) when hot pressing carried out.

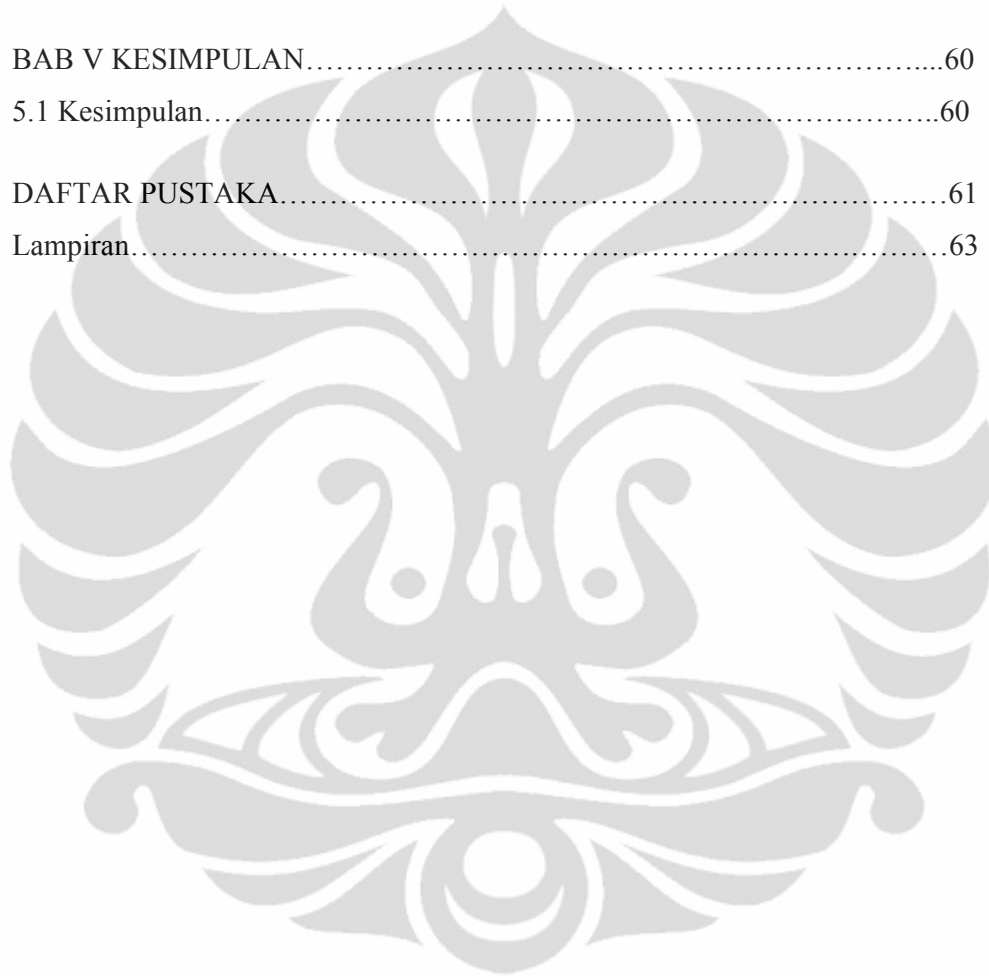
Key word: Carbon-carbon composite, coal, coconut shell coal, *coal tar pitch*, density, porosity, hardness, wear rate.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	vi
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Ruang Lingkup Penelitian.....	3
1.5 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II LANDASAN TEORI.....	5
2.1 Komposit.....	5
2.2 Komposit Karbon-karbon.....	11
2.3 Material.....	13
2.3.1 Serbuk Limbah Batubara.....	13
2.3.2 Arang Batok Kelapa.....	14

2.3.3 <i>Coal Tar Pitch</i>	15
2.4 Teori Metalurgi Serbuk.....	16
2.4.1 Karakteristik Serbuk.....	16
2.4.2 Tahapan Proses Metalurgi Serbuk.....	20
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	26
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	26
3.2 Alat dan Bahan.....	27
3.2.1 Alat.....	27
3.2.2 Bahan.....	27
3.3 Preparasi Sampel.....	28
3.3.1 Persiapan Bahan Baku.....	28
3.4 Pembuatan Komposit Karbon BB-ABK- <i>Coal Tar Pitch</i>	30
3.4.1 Penimbangan.....	30
3.4.2 Proses Pencampuran.....	31
3.4.3 Proses Kompaksi.....	32
3.4.4 Proses Karbonisasi.....	33
3.5 Karakterisasi Sampel.....	34
3.4.1 Pengujian Densitas.....	34
3.4.2 Pengujian Porositas.....	35
3.4.3 Pengujian Kekerasan.....	36
3.4.4 Pengujian Keausan.....	37
3.4.5 Pengujian SEM.....	38
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	39
4.1 Karakteristik Bahan Baku.....	39
4.1.1 Distribusi Serbuk Limbah Batubara(BB) dan Arang Batok Kelapa(ABK).....	39
4.2 Hasil Preparasi dan Pembuatan Sampel Komposit karbon.....	41
4.2.1 Hasil Pencampuran Bahan Penyusun.....	42
4.2.2 Hasil Pencetakan Spesimen Uji.....	43
4.2.3 Hasil Karbonisasi.....	43
4.3 Karakterisasi Komposit Karbon.....	44

4.3.1 Pengujian Densitas.....	44
4.3.2 Pengujian Porositas.....	47
4.3.3 Pengujian Kekerasan.....	49
4.3.4 Pengujian Keausan.....	51
4.3.5 Hasil Pengamatan SEM.....	54
BAB V KESIMPULAN.....	60
5.1 Kesimpulan.....	60
DAFTAR PUSTAKA.....	61
Lampiran.....	63



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Seiring perkembangan teknologi kebutuhan akan material dengan sifat yang unik semakin meningkat. Sifat tersebut seperti kuat, memiliki densitas rendah, ketahanan abrasi dan ketahanan impak yang tinggi serta tahan terhadap temperatur tinggi sehingga didapatkan kualitas kerja yang maksimal. Material monolith seperti logam, polimer, dan keramik belum cukup untuk memenuhinya^[1]. Untuk menghasilkan sifat tersebut, dikembangkanlah material dengan mengkombinasikan dua atau lebih material yang disebut komposit.

Komposit merupakan material yang dibuat dengan kombinasi dua atau lebih material yang berbeda yang digabung atau dicampur secara makroskopik untuk membentuk material yang bermanfaat, dengan syarat terjadi ikatan antara kedua material tersebut^[2]. Salah satu jenis komposit yang banyak diteliti yaitu komposit karbon, dimana sesuai namanya penguat dan matriks adalah karbon. Salah satu sifatnya yang menjadi daya tarik yaitu dapat bertahan hingga suhu diatas 2000°C. Kelemahan utamanya yaitu kecenderungan untuk teroksidasi pada suhu tinggi^[3]. Untuk meminimalisasi oksidasi biasanya dilakukan coating. Selain kelemahan tersebut, biaya produksi komposit karbon juga tinggi^[4]. Biaya tinggi tersebut dikarenakan alat dan bahan bakunya yang mahal.

Proses yang umum dilakukan untuk menghasilkan komposit karbon yaitu menggunakan suatu preform serat karbon (tiga atau multi direksional) yang dipadatkan(*densified*) dengan suatu prekursor matriks. Proses densifikasi yang paling banyak digunakan yaitu *chemical vapour deposition*(CVD) karbon yang diperoleh dari dekomposisi termal hidrokarbon dan impregnasi likuid suatu prekursor organik. Proses tersebut relatif mahal kerana memerlukan suhu dan tekanan yang tinggi dan proses manufakturnya juga cukup lama^[4]

Pada penelitian kali ini, komposit karbon dibuat dengan bahan baku yang relatif mudah didapat dan prosesnya secara ekonomis lebih murah. Bahan baku yang digunakan yaitu serbuk batubara disingkat BB, arang batok kelapa disingkat ABK, dan *coal-tar pitch*. BB dan ABK berfungsi sebagai penguat

dan *coal-tar pitch* akan menjadi matriks. *Coal-tar pitch* telah terbukti cocok menjadi prekursor matriks karena murah dan nilai karbon *yield*nya relatif tinggi. Karbon *yield* akan meningkatkan densitas dan sifat-sifat akhir material karbon, mereduksi siklus densifikasi dan secara dominan mereduksi cost material^[4].

Proses yang digunakan adalah *hot pressing* suhu 100°C. Prinsipnya seperti pada metalurgi serbuk, yaitu pencampuran serbuk kemudian pemadatan menjadi bentuk yang diinginkan^[1]. Pemadatan dilakukan dengan dipanaskan menggunakan tungku sehingga diperoleh suhu 100°C. Variabel pada penelitian ini adalah fraksi massa BB dan ABK yaitu masing-masing 80:20, 70:30, dan 60:40, dari total 70% fraksi massa keduanya. Sedangkan fraksi massa *coal-tar pitch* dibuat tetap yaitu 30%. Untuk komposit karbon dengan penguat serat, aplikasinya masih terbatas untuk militer dan luar angkasa^[5], sedangkan komposit karbon dengan penguat serbuk aplikasinya masih diteliti lebih lanjut.

1.2. Perumusan Masalah

Karbon karbon komposit yang akan dipelajari dibuat dengan bahan baku serbuk limbah batubar (BB) dan arang batok kelapa (ABK) ukuran 200 mesh dengan fraksi massa keduanya yaitu 70%, dengan variasi perbandingan fraksi BB:ABK 80:20, 70:30 dan 60:40 dan *coal tar pitch*(yang berbentuk padatan) dengan fraksi massa 30%. Spesimen uji dibuat 8 buah untuk masing-masing perbandingan sehingga total keseluruhan yaitu 24 buah.

Perbedaan fraksi massa BB dan ABK pada spesimen uji yang dibuat, dimana masing-masing 80:20, 70:30, 60:40 dapat mempengaruhi karakteristik material. Karena kedua bahan memiliki kandungan karbon yang berbeda, masing-masing batu bara 72,31 % dan ABK 99,27%.

Tahap pertama penelitian yaitu menggiling dan mengkarakterisasi bahan baku, kemudian menimbang ketiga bahan baku dengan timbangan digital sesuai dengan perhitungan, kemudian *mixing* ketiga bahan tersebut diatas plat/panci dengan suhu 80-100°C selama ± 10 menit sampai semua serbuk tercampur dengan merata dan kondisi campuran cukup kering. Kemudian serbuk hasil *mixing* tersebut dikompaksi panas(*hot pressing*) dalam cetakan berdiameter

dalam 20mm dan tekanan sebesar 11 USton(77,9 MPa) pada suhu 100°C selama 30 menit. Kemudian komposit (yang berbentuk silinder dengan tinggi sekitar 15-20 mm dan diameter 20mm) di *curing* karbonisasi 500°C dan ditahan selama 15 menit.

Komposit karbon yang dihasilkan kemudian dikarakterisasi meliputi: densitas, porositas, kekerasan, ketahanan aus, uji impak, dan struktur mikro menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM). Kemudian data hasil pengujian tersebut dianalisis, dan ditarik suatu kesimpulan.

1.3. Tujuan Penelitian

Pada praktiknya peneliti nantinya akan melakukan proses pembuatan dan karakterisasi komposit karbon dengan batasan pembahasan tertentu dengan tujuan sebagai berikut.

1. Membuat material komposit karbon berbahan baku BB/ABK ukuran 200 mesh dengan matriks *coal tar pitch*.
2. Menganalisis sifat komposit karbon berbahan baku BB/ABK ukuran 200 mesh dengan matriks *coal tar pitch* melalui beberapa karakterisasi.

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup dari penelitian yang akan dilakukan dibatasi pada beberapa hal. Komposit karbon dibuat dengan serbuk batu bara dan ABK ukuran 200 mesh dengan variasi fraksi massa BB:ABK 80:20, 70:30, 60:40 dan total fraksi keduanya 70%. Sedangkan resin yang digunakan yaitu *coal tar pitches*, dengan fraksi 30%. *Mixing* dilakukan pada temperatur 80-100°C selama \pm 10 menit.

Proses yang dilakukan untuk menghasilkan komposit yaitu *hot pressing* dengan tekanan sebesar 11 USton pada suhu 100°C ditahan selama 30 menit. Kemudian dilakukan proses *curing* karbonisasi 500°C dalam oven dan ditahan selama 15 menit.

Kemudian komposit yang dihasilkan dilakukan beberapa karakterisasi untuk mengetahui sifat-sifatnya, karakterisasi meliputi: densitas untuk mengetahui berat jenis dari komposit tersebut, porositas untuk mengetahui prosentase pori, kekerasan untuk mengetahui nilai kekerasan material komposit

menggunakan alat Uji Kekerasan Brinell, impak untuk mengetahui ketangguhan material, keausan untuk mengetahui ketahanan aus menggunakan metode Ogoshi, dan struktur mikro menggunakan *Scanning Electron Microscope* (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 : LANDASAN TEORI

Pada bab ini diuraikan tentang studi literatur yang berkaitan dengan penelitian skripsi ini.

BAB 3 : METODOLOGI PENELITIAN

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

BAB 4 : HASIL DAN PEMBAHASAN

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

BAB 5 : KESIMPULAN

Bab ini berisikan kesimpulan akhir berdasarkan hasil dan pembahasan penelitian ini

BAB 2 LANDASAN TEORI

2.1 Komposit

Komposit merupakan material yang dibuat dengan kombinasi dua atau lebih material yang berbeda yang digabung atau dicampur secara makroskopik untuk membentuk material yang bermanfaat, dengan syarat terjadi ikatan antara kedua material tersebut^[2]. Komposit terdiri dari dua material penyusun, yaitu matriks dan penguat (*reinforcement*). Matriks merupakan bahan yang umumnya dominan dalam pembentukan komposit, presentase kandungan matriks dalam komposit biasanya 50% atau lebih. Pemilihan matriks ini menjadi sangat penting karena dalam suatu komposit dibutuhkan sifat mekanis yang baik, sifat mampu proses yang baik, dan juga memiliki resistansi yang baik terhadap bahan kimia dan panas. Fungsi dari matriks pada komposit adalah^[7] :

- a) Mentransfer tegangan ke serat.
- b) Menginfiltrasi serat dan cepat membeku.
- c) Membentuk ikatan koheren, permukaan matriks/serat.
- d) Melindungi serat.
- e) Memisahkan serat.
- f) Melepas ikatan.
- g) Tetap stabil setelah proses manufaktur.

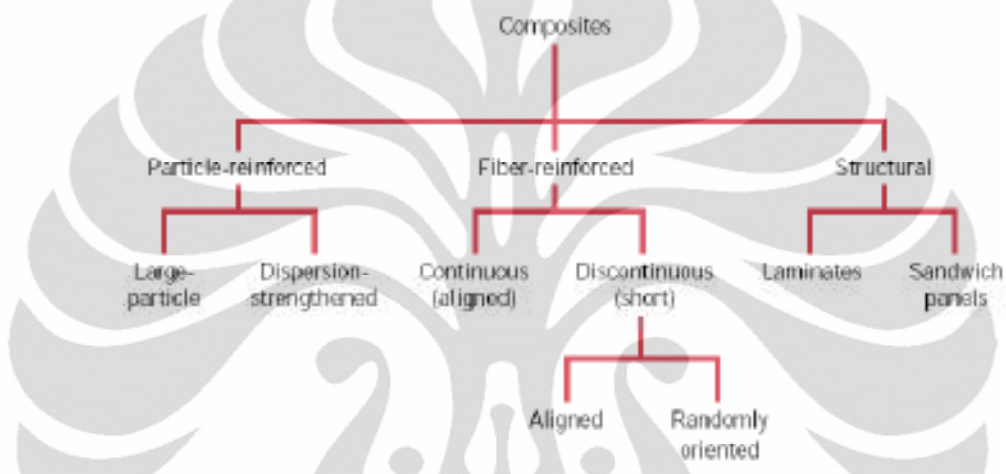
Sedangkan penguat dalam komposit berfungsi untuk^[8]:

- a) Meningkatkan sifat dari material komposit yang dihasilkan
- b) Meningkatkan kemampuan untuk mampu dibasahi dan ditempatkan pada arah pembebanan untuk meningkatkan sifat mekanisnya

Komposit banyak digunakan untuk aplikasi maju (*advance*) karena^[7]:

- a) Rasio kekuatan dengan berat tinggi (densitas rendah kekuatan tinggi)
- b) Ketahanan mulur (*creep*)
- c) Kekuatan tinggi pada suhu tinggi
- d) Ketangguhan tinggi

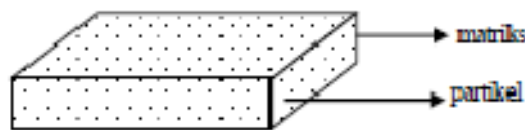
Berdasarkan proses pembuatan/asalnya, komposit dibedakan menjadi *natural*(alami) dan *artificial*(buatan). Komposit natural contohnya kayu dan tulang. Sedangkan komposit buatan merupakan komposit yang dibuat oleh manusia. Gambar 2.1 menunjukkan klasifikasi komposit buatan. Jika dilihat dari ukuran partikel, maka komposit karbon-karbon batubara-arang batok kelapa-*coal tar pitch* masuk dalam kategori *large particle reinforced* karena interaksi antara partikel dengan matriks tidak dalam skala atomik.



Gambar 2.1 Klasifikasi komposit buatan^[7]

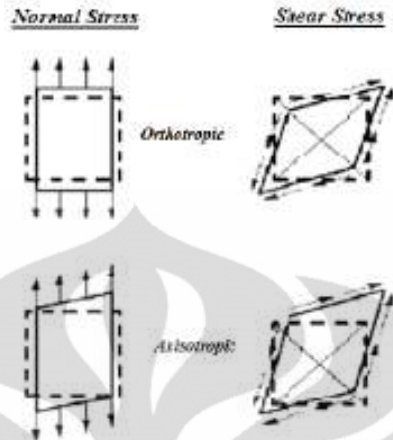
Berdasarkan sifat dari penguatnya komposit dibedakan menjadi dua, yaitu:

1. Komposit isotropik, merupakan komposit yang penguatnya memberikan efek penguatan yang sama untuk arah transversal dan longitudinal sehingga pengaruh tegangan dan regangan dari luar akan memiliki penguatan yang sama. Komposit isotropik ditunjukkan oleh Gambar 2.2 dibawah ini:



Gambar 2.2 komposit partikulat isotropik^[13]

2. Komposit anisotropik, merupakan komposit yang penguatnya memberikan efek penguatan yang berbeda untuk arah transversal dan longitudinal. Gambar 2.3 dibawah ini merupakan komposit anisotropik dengan berbagai arah penguatan :



Gambar 2.3 Arah penguatan komposit anisotropik^[13]

Jika dilihat dari sifat penguatnya maka komposit karbon-karbon batubara-arang batok kelapa-*coal tar pitch* masuk dalam kategori komposit isotropik. Sifat mekanis komposit dipengaruhi oleh beberapa faktor penting, diantaranya adalah^[9]:

1. Material penyusun

Sifat komposit akan ditentukan dari sifat material penyusunnya. Matriks dan penguat dalam penelitian ini yaitu karbon. Dimana matriks adalah *coal-tar pitch*, dan penguat yaitu batubara dan arang batok kelapa. Sifat dasar material penyusun ini akan menjadi sifat utama komposit karbon-karbon nantinya. Densitas serbuk batubara yang digunakan lebih besar daripada densitas arang batok kelapa. Sedang kekerasan batubara (komposit karbon-karbon batubara-*coal tar pitch*) yaitu 47 BHN dan arang batok kelapa (komposit karbon-karbon arang batok kelapa-*coal tar pitch*) yaitu 68 BHN^[1]. Unsur karbon sendiri memiliki densitas 2,25 gr/cm³. Sehingga sifat fisik mekanik komposit karbon-karbon yang dihasilkan pada penelitian akan tidak jauh berbeda dengan sifat fisik mekanik material penyusunnya tersebut.

2. Komposisi penyusun

Jumlah dari material penyusun akan mempengaruhi sifat yang dihasilkan dari komposit. Semakin banyak komposisi suatu material dalam komposit maka semakin besar material tersebut mendominasi sifat komposit. Komposisi antara matriks dan penguat, sebaiknya seimbang karena jika jumlah material penguat

lebih banyak dari matriks, maka sifat yang dihasilkan tidak mencapai nilai optimum. Pengaruh jumlah material terhadap sifat komposit, seperti modulus elastisitas, densitas, elongasi, kekuatan tarik, kekerasan dapat diprediksi dengan menggunakan *rule of mixture*. Rumus *rule of mixture*:

$$E_c = E_f V_f + E_m V_m \quad (2.1)$$

$$\rho_c = \frac{m_c}{V_c} = \frac{m_f + m_m}{V_f + V_m + V_v} = \frac{\rho_f V_f + \rho_m V_m}{V_f + V_m + V_m} = \frac{\rho_f V_f + \rho_m V_m}{1} \quad (2.2)$$

dimana, E_c = Modulus Elastisitas komposit [Pa]

E_f = Modulus Elastisitas penguat [Pa]

E_m = Modulus Elastisitas matriks [Pa]

V_c = Fraksi volume komposit [%]

V_f = Fraksi volume penguat [%]

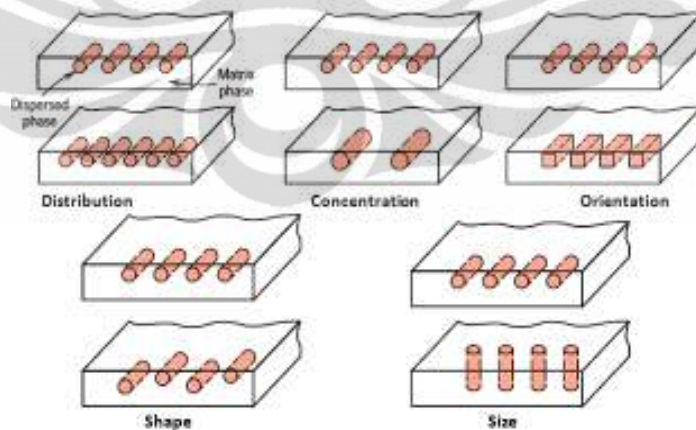
V_m = Fraksi volume matriks [%]

ρ_c = Densitas komposit

ρ_f = Densitas penguat

ρ_m = Densitas matriks

3. Bentuk fasa yang terdispersi



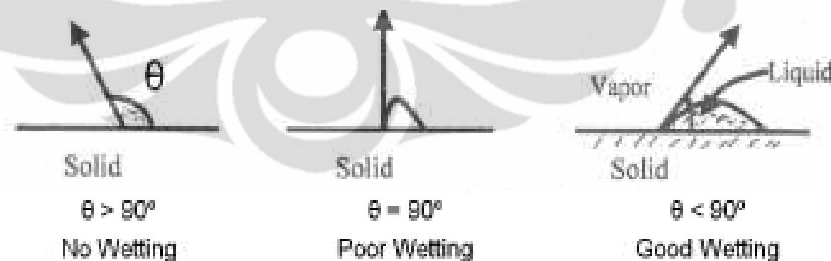
Gambar 2.4 Parameter dari fasa terdispersi^[11]

Bentuk penguat dalam matriks mempengaruhi sifat akhir komposit. Gambar 2.4 diatas menunjukkan berbagai bentuk fasa yang terdispersi dalam matriks komposit. Pengaruh dispersi fasa diantaranya:

1. Fasa yang terdistribusi secara acak akan memiliki sifat yang lebih baik. Semakin banyak fasa yang terdispersi dalam matriks, maka akan menghasilkan sifat mekanis yang lebih baik
2. Pada sistem komposit, penguat dengan orientasi yang searah dengan pembebanan akan mampu memberikan sifat mekanis yang lebih baik terhadap pembebanan tersebut.
3. Fasa yang memiliki bentuk silinder lebih baik karena tidak mempunyai tegangan sisa sehingga lebih tahan terhadap pembebanan.
4. Ukuran fasa yang kecil lebih baik karena mampu menahan dan mentransfer beban.

4. Daya Pembasahan

Daya Pembasahan adalah kemampuan untuk membasahi seluruh permukaan agar terjadinya suatu ikatan yang baik (kekuatan tinggi) dan juga untuk mengurangi jumlah porositas. Agar terjadi pembasahan yang baik, *contact angle* yang terjadi harus lebih kecil dari 90^0 , namun ketika *contact angle* antara matriks dan penguat lebih besar dari 90^0 maka perlu ditambahkan *wetting agent* untuk mengurangi tegangan atau energi permukaan (*surface tension*). Karena semakin tinggi *surface tension*, pembasahan antara grafit dengan epoxy akan menjadi semakin sulit. Gambar 2.5 dibawah ini menunjukkan berbagai *contact angle* dalam komposit :



Gambar 2.5 Hasil *wettability* komposit dengan *contact angle* ^[7]

Wettability dari permukaan padat terhadap permukaan cair (contoh adhesive) dapat diketahui berdasarkan persamaan Young ^[10] :

$$\gamma_{SV} = \gamma_{LV} \cos \theta + \gamma_{SL} \quad (2.3)$$

Ket: γ_{SV} = Solid vapour phase

γ_{LV} = Liquid vapour phase

γ_{SL} = Solid liquid phase

Pembasahan yang baik memerlukan *surface energy* (energi permukaan) dari *adherend* yaitu *reinforcement* lebih besar dari energi permukaan matriks, yang ditentukan dengan persamaan “*work of adhesion*” W_A , yaitu energi yang dibutuhkan untuk memisahkan dua material dan didefinisikan sebagai energi permukaan

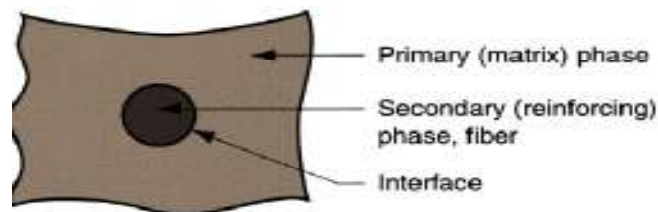
$$W_A = \gamma_{LV} + \gamma_{SV} - \gamma_{SL} \quad (2.4)$$

Dengan menggabungkan persamaan (2.5) dan (2.6) maka didapat persamaan *Young-Dupré*:

$$W_A = \gamma_{LV} (1 + \cos \theta) \quad (2.5)$$

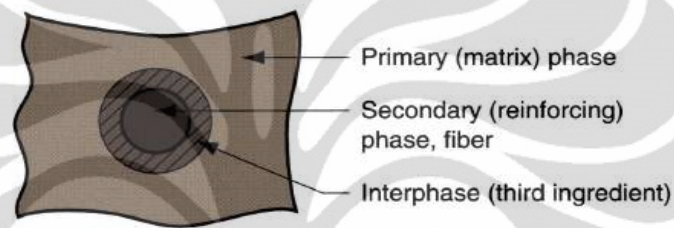
5. Ikatan antarmuka dan intarfasa

Ikatan antara penguat dan matriks memiliki peranan yang besar dalam penentuan sifat komposit. Hal ini berkaitan erat dengan fenomena antarmuka dan interfasa. Ikatan antarmuka adalah ikatan yang terbentuk antara dua fasa yang berbeda. Ikatan antarmuka berfungsi sebagai media transfer beban dari matriks dan penguat. Semakin luas bidang sentuh antara permukaan, semakin besar efek yang dihasilkan dari ikatan tersebut sehingga dapat meningkatkan sifat ikatan dari material komposit yang diinginkan. Ikatan antarmuka ini mempengaruhi kekuatan, kekakuan, ketahanan mulur, dan degradasi akibat lingkungan pada material komposit. Gambar 2.6 menjelaskan ikatan antarmuka antara matriks dengan penguat dalam komposit.



Gambar 2.6 Ikatan Antarmuka^[7]

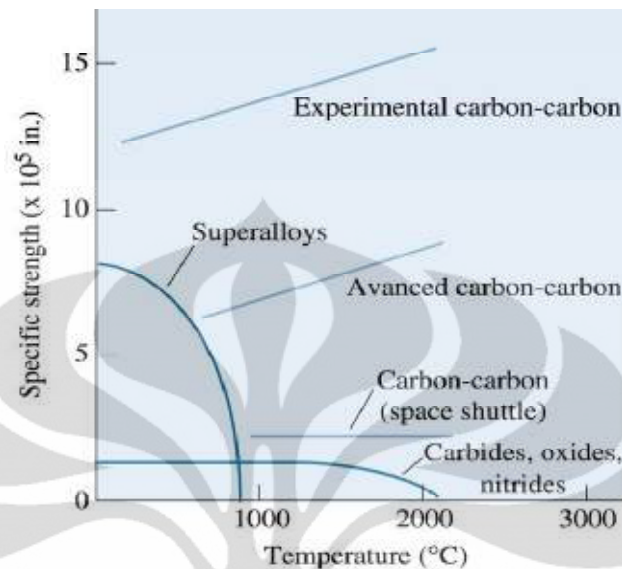
Sedangkan interfasa adalah sebuah fenomena dimana terbentuk sebuah lapisan fasa ketiga dalam suatu ikatan antarmuka. Interfasa dapat terbentuk apabila ikatan antarmuka dari konstituen penyusun sangat baik dan mampu berdifusi sehingga akan menciptakan daerah baru, yang biasa disebut fasa ketiga. Untuk mendapatkan ikatan interfasa dari dua material yang berbeda, maka dapat dilakukan dengan menambahkan suatu aditif. Fasa ketiga yang terbentuk akan memiliki sifat gabungan dari kedua fasa pembentuknya sehingga sangat berpengaruh terhadap sifat komposit yang terbentuk. Gambar 2.7 menunjukkan ikatan interfasa antara matriks dengan penguat dalam komposit:



Gambar 2.7 Ikatan Interfasa^[7]

2.2 Komposit Karbon-karbon

Komposit karbon-karbon merupakan salah satu jenis komposit yang memiliki matriks dan penguat sama-sama terbuat dari karbon, keistimewaan material komposit ini adalah tidak adanya masalah kecocokan (*compatibility*) antara penguat dan matriks, karena baik unsur penguat dan matriksnya adalah karbon. Fasa matriks karbon dapat dibentuk dengan pirolisis padatan, cairan, dan gas material organik.



Gambar 2.8 Perbandingan *spesifik strength* beberapa komposit karbon-karbon dengan material temperatur tinggi ^[8]

Komposit karbon-karbon dikenal karena kekuatannya yang tinggi dan pemuaian (ekspansi termal) yang rendah pada suhu lebih dari 2000 °C. Sebagai perbandingan, paduan-paduan super (*superalloys*) hanya sanggup menahan sampai sekitar 1000°C. Gambar 2.8 menunjukkan sifat berbagai komposit karbon dibandingkan dengan material *advanced* lain.

Jika diperhatikan pada Gambar 2.8, kekuatan komposit karbon-karbon bahkan meningkat seiring meningkatnya suhu, tidak seperti kekuatan material dan keramik yang akan menurun. Komposit karbon-karbon juga dikenal memiliki ketangguhan dan ketahanan abrasi dan korosi, serta memiliki daya hantar listrik dan kalor tinggi (untuk daya hantar kalor, Komposit karbon-karbon dinyatakan melebihi daya hantar kalor perak dan tembaga pada suhu yang tinggi, serta memiliki ketahanan terhadap kejutan termal (*thermal shock*) yang luar biasa tanpa mengalami retak atau berubah bentuk. Komposit karbon-karbon memiliki kinerja dan kesatuan struktur yang baik pada lingkungan yang non-oksidator, tetapi pada lingkungan oksidator komposit ini memerlukan lapisan perlindungan (*coating*) pada keadaan tertentu. Misalnya saja bila komposit karbon-karbon berada pada lingkungan udara pada suhu di atas 427 °C, maka material ini akan teroksidasi dengan segera dan terdegradasi. Oleh karena itu perlu diberikan perlindungan,

dalam hal ini lapisan penahan oksigen (*oxygen-barrier*), misalnya berupa silikon karbida. Selain itu, komposit karbon-karbon sangat mampu-kerja (*workable*), dan bisa dibentuk menjadi bentuk-bentuk yang rumit. Berikut beberapa sifat dari komposit karbon-karbon dengan bentuk serat penguat yang berbeda^[8]:

1. ringan (densitas rendah)
2. kekuatan tarik dan modulus baik pada suhu tinggi
3. daya hantar kalor tinggi (konduktivitas termal tinggi)
4. koefisien ekspansi termal rendah
5. potensi *shock* termal rendah
6. rasio kekuatan dan kekakuan terhadap berat yang tinggi

Komposit karbon-karbon memiliki banyak aplikasi pemakaian karena memiliki karakteristik yang baik, yaitu ringan, *high strength* (kuat), tahan terhadap temperatur yang sangat tinggi, *high performance*, dan karakteristik lainnya. Komposit karbon-karbon biasanya digunakan untuk *disc-type brakes* pada pesawat luar angkasa, *rotary engine seals*, *rocket motors*, *advance turbine engine components*, dan beberapa aplikasi yang menuntut ketahanan material terhadap temperatur dan tekanan tinggi^[8].

Komposit karbon-karbon umumnya berupa serat karbon yang tertanam dalam matriks karbon. Serat penguat dapat dibangun dalam berbagai susunan: serat acak, dua-direksional, tiga-direksional, dan multidireksional^[5], pemilihan susunan disesuaikan dengan aplikasi, dimana saat ini aplikasinya baru sebatas untuk keperluan militer dan luar angkasa. Karakteristik mikrostruktur dan sifat fisik matriks karbon bervariasi tergantung dari material dan metode fabrikasi yang digunakan^[5]. Kebanyakan serat berasal dari resin *polyacrylonitrile* (PAN), namun *petroleum pitch* juga banyak digunakan^[5].

2.3 Material

2.3.1 Serbuk Limbah Batubara

Batubara adalah batuan organik sedimen yang terbentuk dari akumulasi dan preservasi tumbuhan, biasanya pada lingkungan yang berair. Batubara adalah batuan yang mudah menyala dan mirip seperti minyak dan gas alam, batubara adalah satu dari tiga sumber bahan bakar fosil yang sangat penting^[12]. Batubara

yang digunakan pada penelitian ini memiliki kandungan karbon 72,31 %, dan kandungan-kandungan lain yang ditunjukkan oleh Tabel 2.1 dibawah ini:

Tabel 2.1 Kandungan unsur pada batubara

Parameter Analisis	Kandungan Unsur (%)				
	C	H	N	S	Oksigen
Kandungan	72,31	3,39	1,36	1,70	-
Standar Acuan	ASTM D. 5373	ASTM D. 5373	ASTM D. 5373	ASTM D. 4239	By Diff

2.3.2 Arang Batok Kelapa

Arang batok kelapa yang selama ini dikenal untuk memanggang makanan dapat ditingkatkan nilai ekonomisnya dengan menjadikannya karbon aktif dan briket arang tempurung. Dimana karbon aktif tersebut dapat dimanfaatkan untuk menjernihkan air, pemurnian gas, industri minuman, farmasi, katalisator, dan berbagai macam penggunaan lain. Selain *adding value* dengan cara tersebut, arang batok kelapa juga dapat ditingkatkan nilai ekonomisnya dengan menjadikannya sebagai penguat dalam pembuatan komposit karbon. Pembuatannya cukup sederhana, yaitu dengan membakar tempurung kelapa yang sudah dipotong-potong(dengan panjang sekitar 5-7 cm). Pemotongan tersebut dilakukan agar proses pembakaran berjalan optimal. Pada saat pembakaran di oven vakum harus dihindari terjadinya kebocoran. Karena kebocoran akan menyebabkan batok kelapa teroksidasi dan hanya menjadi abu. Arang batok kelapa sebanyak 100 gram dapat dihasilkan dari tempurung kelapa sebanyak 2,5 kg.

Pada penelitian kali ini arang batok kelapa digunakan sebagai salah satu penguat, selain karena faktor ekonomi juga karena kadar karbonnya yang tinggi, sekitar 99,27%. Arang batok kelapa yang digunakan memiliki kandungan seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.2 dibawah ini:

Tabel 2.2 Kandungan unsur pada arang batok kelapa

Parameter Analisis	Kandungan Unsur (%)					
	Abu	C	H	N	S	Oksigen
Kandungan	1,64	99,27	0,16	0,62	0,05	*
Standar Acuan	ASTM D. 3174	ASTM D. 5373	ASTM D. 5373	ASTM D. 5373	ASTM D. 4239	By Diff

2.3.3 Coal Tar Pitch

Pada penelitian ini *coal-tar pitch* dipilih sebagai matriks. *Coal-tar pitch* telah lama diketahui menjadi material *binder* (pengikat) yang sangat baik untuk menghasilkan komposit karbon-karbon. Murah, kadar karbon tinggi dan kemampuan untuk menghasilkan karbon dengan karakteristik struktur yang berbeda dan sifatnya menjadikan *coal tar pitch* menjadi pilihan pertama untuk prekursor matriks karbon pada komposit karbon-karbon^[21].

Coal-tar pitch merupakan suatu bentuk hidrokarbon aromatik^[5], yaitu produk turunan dari *coal tar*, mirip aspal yang berasal dari minyak bumi (residu penyulingan yang diperoleh dari penyulingan minyak mentah di bawah tekanan atmosfer atau produk turunan hasil pirolisis nafta) dan batubara. Pada umumnya *pitch* yang berasal dari batubara, lebih aromatik dibanding dengan *pitch* yang berasal dari minyak bumi^[24].

Pitch termasuk jenis *thermoplast* yang meleleh saat dipanaskan. Lelehan *pitch* dapat diputar membentuk serat *pitch*. Serat *pitch* harus dikarbonisasi dengan pemanasan pada suhu $\geq 1000^{\circ}\text{C}$ untuk membentuk serat karbon dan bentuknya harus tetap dijaga selama karbonisasi, sehingga mereka harus terlebih dahulu menjalani *infusibilization* (stabilisasi). *Infusibilization* adalah proses pembentukan *pitch* dapat dicairkan. Proses ini melibatkan oksidasi udara pada temperatur 50-400°C. Setelah karbonisasi pada temperature $\geq 1000^{\circ}\text{C}$ dalam suasana inert, grafitisasi adalah dilakukan pada temperature $\geq 2500^{\circ}\text{C}$, untuk mendapatkan modulus tinggi, konduktivitas termal tinggi, atau tahanan listrik yang rendah. Semakin tinggi suhu grafitisasi, grafit yang dihasilkan semakin banyak berbentuk serat. Serat karbon tipe *high-strength* terbentuk setelah karbonisasi sedangkan tipe *high-modulus* karbon terbentuk setelah grafitisasi. Jika *pitch* isotropik digunakan sebagai prekursor, metalurgi panas grafitisasi harus terus dilakukan sambil serat diregangkan. Proses ini sangat mahal, biasa disebut sebagai *stretch-graphitization*, membantu menentukan orientasi dalam serat. Sementara jika yang digunakan sebagai prekursor adalah *pitch* anisotropik, peregangan tidak diperlukan, karena *pitch* anisotropik memiliki orientasi inheren molekul^[23].

Pada penelitian ini, fraksi massa *coal-tar pitch* dipilih 30% karena merujuk pada penelitian Blanco(1999) fraksi massa 30% dapat dikompaksi dan

tidak terjadi deformasi saat karbonisasi. Jika dipilih diatas 30% akan terjadi deformasi, sedangkan jika dibawah 30% maka *itches* tidak cukup kuat untuk mengikat partikel^[4]. Tabel 2.3 dibawah ini dijelaskan sifat dari *coal tar pitch*.

Tabel 2.3 Sifat *coal tar pitch*^[22]

Sifat	Nilai
<i>Softening point</i> (°C)	116
<i>Glass transition temperature</i> (°C)	34
Mass % C	91,9
Mass % H	4,13
Mass % S	0,73
Mass % N	1,17
Mass % O	1,05
<i>Percent aromatic H</i> (NMR)	82
<i>Percent benzene insoluble</i>	32
<i>Mn(benzene soluble)</i>	460
<i>Percent quinoline insoluble</i>	12

2.4 Teori Metalurgi Serbuk

2.4.1 Karakteristik Serbuk

Karakteristik serbuk dipengaruhi oleh beberapa hal, diantaranya ukuran dan distribusi partikel, bentuk partikel, luas permukaan partikel, berat jenis serbuk, mampu alir, kompresibilitas, gesekan antar partikel dan komposisi kimia serbuk^[14]. Hal-hal tersebut dapat mempengaruhi sifat serbuk dari material yang akan dihasilkan dan tingkah laku serbuk material selama pemrosesan.

2.4.1.1 Ukuran dan Distribusi Partikel

Ukuran partikel dapat didefinisikan sebagai ukuran linear dari partikel oleh analisa ayak^[14]. Ukuran partikel ini akan sangat menentukan densitas serta porositas juga sifat mekanis dari material serbuk hasil kompaksi (bakalan). Untuk proses metalurgi serbuk, serbuk material yang sesuai umumnya berukuran antara 0,1 – 1000 μm . 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*)^[14]. Beberapa pengaruh ukuran partikel serbuk terhadap karakteristik serbuk, antara lain^[15]:

- Ukuran partikel yang halus sangat diperlukan untuk kompaksi serbuk yang keras atau getas, karena dengan semakin tingginya gesekan antarpartikel akan membantu meningkatkan kekuatan adhesi bakalan.
- Serbuk-serbuk yang kasar memiliki kepadatan yang seragam saat dilakukan kompaksi, tetapi luas permukaan kontak antarpartikel menjadi kecil yang mengakibatkan proses difusi saat proses karbonisasi kurang baik sehingga menyebabkan banyak pori dan menurunkan sifat mekanik produk.

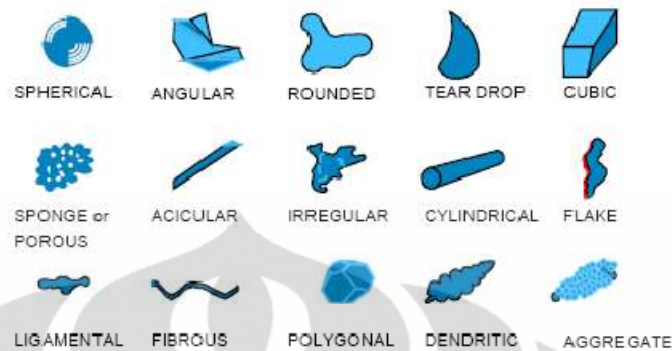
Distribusi ukuran partikel serbuk menyatakan penyebaran serbuk untuk ukuran tertentu dengan tujuan untuk menampilkan hasil pengukuran kerapatan maksimum suatu partikel. Distribusi ukuran partikel ini sangat menentukan kemampuan partikel dalam mengisi ruang kosong antarpartikel untuk mencapai volume terpadat dan pada akhirnya akan menentukan besarnya densitas, porositas serta kekuatan bakalan.

2.4.1.2 Bentuk Partikel Serbuk

Bentuk partikel serbuk sangat mempengaruhi sifat massa serbuk, yaitu efisiensi pemadatan (*packing efisiensi*), mampu alir (*flowability*) dan mampu tekan (*compressibility*). Berdasarkan standar ISO 3532, bentuk partikel serbuk dapat diklasifikasikan seperti pada Tabel 2.4 yang digambarkan pada Gambar 2.9.

Tabel 2.4 Klasifikasi partikel serbuk^[15]

Klasifikasi Partikel Serbuk	Bentuk Partikel Serbuk
<i>Acicular</i>	Jarum
<i>Angular</i>	Polihedral kasar dengan tepi tajam
<i>Dendritic</i>	Kristalin dan bercabang
<i>Fibrous</i>	Serabut yang beraturan atau tidak beraturan
<i>Flaky</i>	Serpihan
<i>Granular</i>	Tidak beraturan dan hampir bulat
<i>Irregular</i>	Tidak beraturan dan tidak memiliki simetri
<i>Nodular</i>	Bulat dan tidak beraturan
<i>Spheroidal</i>	Bulat



Gambar 2.9 Bentuk partikel serbuk^[16]

2.4.1.3 Luas Permukaan Partikel

Luas permukaan berhubungan erat dengan kontak antarpartikel yang dapat mempengaruhi proses difusi saat dilakukan proses karbonisasi. Jika luas permukaan partikel besar, kontak antarpartikel juga semakin besar sehingga akan meningkatkan mekanisme ikatan antarpartikel secara difusi saat proses karbonisasi. Sedangkan jika luas permukaan partikel kecil, kontak antarpartikel sedikit sehingga proses difusi saat proses karbonisasi juga kurang baik dan menyebabkan banyak pori.

2.4.1.4 Berat Jenis Serbuk

Berat jenis serbuk adalah tingkat kerapatan atau kepadatan dari serbuk. Terdapat istilah lain mengenai berat jenis dalam proses metalurgi serbuk, diantaranya:

- a) *Theoretical density*, yaitu berat jenis sesungguhnya dari material serbuk ketika material serbuk tersebut ditekan hingga menghasilkan serbuk tanpa pori^[14].
- b) *Green density*, yaitu berat jenis serbuk setelah serbuk mengalami penekanan kompaksi untuk proses pemanasan (*karbonisasi*)^[14].
- c) *Apperent density* atau *bulk density*, yaitu berat per satuan volume dari serbuk dalam keadaan bebas tanpa agitasi^[17].
- d) *Tap density*, yaitu berat jenis tertinggi yang dicapai dengan vibrasi tanpa aplikasi terkanan luar^[17].

Ketidakhomogenan berat jenis bakalan yang dihasilkan dari proses kompaksi seringkali terjadi sehingga dilakukan beberapa cara yang dapat mengurangi hal tersebut, seperti ^[14]:

- a) Memberi pelumas untuk mengurangi gesekan.
- b) Mengatur perbandingan dimensi cetakan antara tinggi dengan lebar rongga cetakan (L/D), semakin besar (L/D) maka distribusi akan semakin besar. Oleh karena itu, perbandingan (L/D) sebaiknya kecil sehingga distribusi serbuk akan homogen.
- c) Meningkatkan rasio penekanan kompaksi agar distribusi serbuk lebih baik.
- d) Menggunakan penekanan dua arah (*double punch*) agar berat jenis serbuk lebih homogen.
- e) Melakukan penekanan secara bertahap dimulai dari tekanan terendah kemudian ditingkatkan secara bertahap sampai titik optimum.

2.4.1.5 Mampu Alir Serbuk (*flowability*)

Mampu alir merupakan karakteristik yang menggambarkan sifat alir serbuk dan kemampuan memenuhi ruang cetak ^[14]. Pada umumnya, faktor-faktor yang mengurangi gesekan antarpartikel atau meningkatkan berat jenis (*apparent density*), seperti partikel bulat dan halus akan meningkatkan mampu alir serbuk ^[15].

2.4.1.6 Kompresibilitas

Kompresibilitas adalah perbandingan volume serbuk mula-mula dengan volume benda yang ditekan yang nilainya berbeda-beda tergantung distribusi ukuran serbuk dan bentuk serbuknya ^[14]. Serbuk yang memiliki bentuk lebih teratur, lebih halus dan sedikit porositas antarpartikel akan memiliki mampu tekan dan *green density* yang lebih tinggi dibandingkan serbuk yang kasar.

2.4.1.7 Gesekan Antar Partikel

Nilai gaya gesek antarpartikel serbuk merupakan hal yang menentukan keberhasilan pencampuran dan pengadukan serbuk.

Gaya gesek antar partikel serbuk dipengaruhi oleh ^[14]:

- Efisiensi Pencampuran Serbuk

Pencampuran dan pengadukan tergantung aliran partikel ketika melewati partikel yang lainnya dalam satu campuran. Gaya gesek antarpartikel serbuk yang tinggi akan membuat pencampuran dan pengadukan lebih sulit. Gaya gesek tersebut dapat diminimalkan dengan memperbaiki ukuran dan bentuk partikel.

- Pelumasan Terhadap Serbuk

Pelumas berfungsi untuk mengurangi keausan peralatan, mengurangi gesekan antarserbuk dan mengurangi gesekan antara serbuk dengan dinding cetakan.

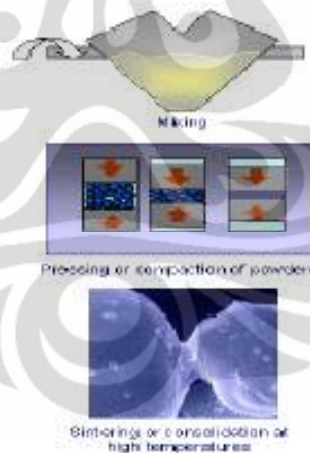
%pelumasan yang tinggi akan mengakibatkan berat bakalan tinggi.

2. 4. 2 Tahapan Proses Metalurgi Serbuk

Tahapan dalam proses metalurgi serbuk, meliputi:

1. Pencampuran (*blending/mixing*)
2. Penekanan (*compaction/pressing*)
3. Pemanasan (*carbonization*)

Tahapan tersebut, secara singkat dapat dilihat pada Gambar 2.10 di bawah ini.



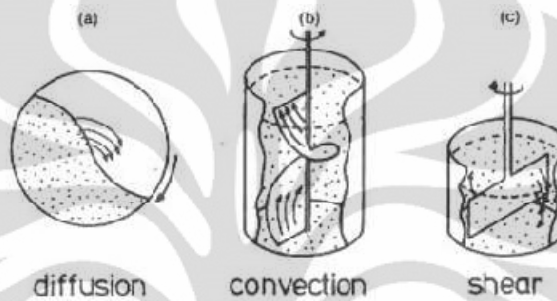
Gambar 2.10 Tahapan proses metalurgi serbuk^[18]

2.4.2.1 Pencampuran (*blending/mixing*)

Pencampuran dan pengadukan partikel serbuk adalah proses bercampurnya serbuk secara sempurna dengan masing-masing besaran komposisi guna menghasilkan serbuk yang homogen^[6]. Mekanisme yang terjadi selama proses pencampuran serbuk tergantung dari metoda pencampuran yang digunakan, yaitu [14].

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

Mekanisme pencampuran dan pengadukan serbuk dapat diilustrasikan pada Gambar 2.11



Gambar 2.11 Mekanisme pencampuran dan pengadukan serbuk ^[14]

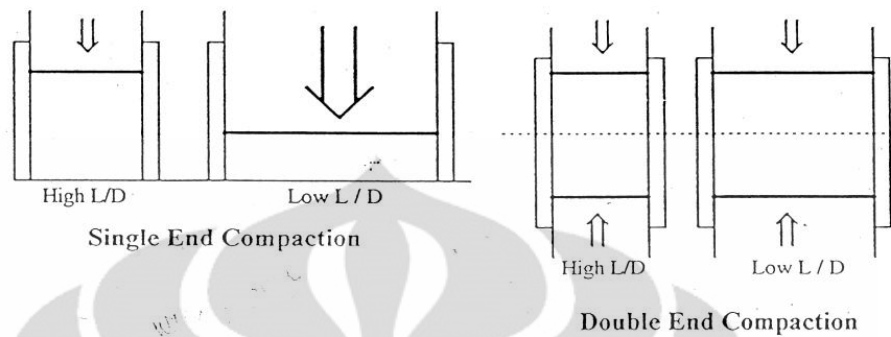
Dampak negatif pengadukan dan pencampuran terhadap serbuk, diantaranya ^[14]:

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

2.4.2.2 Penekanan (*compaction/pressing*)

Kompaksi adalah suatu proses pembentukan atau pemampatan terhadap serbuk murni, paduan atau campuran dari berbagai jenis serbuk sehingga mempunyai bentuk tertentu dan mempunyai kekuatan yang cukup untuk mengalami proses selanjutnya ^[14]. Peningkatan penekanan akan menghasilkan penurunan porositas. Kompaksi dapat dilakukan melalui *cold compaction* dan *hot pressing* baik dengan penekanan satu arah (*single end compaction*) ataupun penekanan dua arah (*double end punch*). Pada umumnya, *cold compaction* digunakan untuk serbuk yang mudah teroksidasi, sedangkan *hot pressing* dilakukan untuk serbuk yang tidak mudah teroksidasi. Pada penekanan satu arah, penekan (*punch*) bagian atas bergerak ke bawah, sedangkan pada penekanan dua arah terdapat dua *punch*, yaitu *punch* atas dan *punch* bawah yang bergerak secara

bersamaan dengan arah berlawanan. Penekanan satu arah maupun dua arah dapat dilihat pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12 Jenis kompaksi/penekanan

Pada saat kompaksi, terdapat beberapa tahapan yang terjadi pada serbuk, yaitu ^[14]:

a. Penataulangan partikel serbuk (*rearrangement*)

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

b. Deformasi elastis partikel serbuk

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

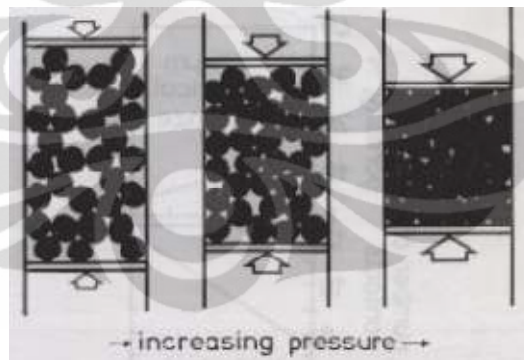
c. Deformasi plastis partikel serbuk

Deformasi plastis merupakan bagian terpenting dari mekanisme pemadatan selama kompaksi berlangsung. Pada tahap ini, semakin tinggi tekanan

kompaksi yang diberikan menyebabkan meningkatnya derajat deformasi plastis dan pemadatan yang terjadi. Ada beberapa faktor yang menentukan deformasi plastis, antara lain kekerasan dan perpindahan tegangan antarpartikel yang berdekatan dan terjadi peningkatan nilai kekerasan.

d. Penghancuran partikel serbuk

Setelah serbuk mengalami deformasi plastis, serbuk mengalami *mechanical interlocking* (antarbutir saling mengunci). Mekanisme ini disebut ikatan *cold weld*, yaitu ikatan antara dua permukaan butiran material yang bersih yang ditimbulkan oleh gaya kohesi, tidak ada peleburan atau pengaruh panas. Pada umumnya permukaan serbuk akan teroksidasi, namun dibawah permukaan oksida terdapat permukaan yang bersih. Oleh karena itu, diperlukan pemecahan lapisan oksida sebelum terjadi *cold weld*. Ketika serbuk ditekan, berat jenis serbuk naik, porositas menurun karena rongga berkurang. Selain itu, serbuk juga mengalami distribusi berat jenis yang tidak merata, pada bagian atas (dekat *punch*) berat jenis serbuk lebih besar dibandingkan pada bagian tengah. Perilaku serbuk saat kompaksi seiring dengan meningkatnya tekanan kompaksi ditunjukkan pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13 Perilaku serbuk saat kompaksi ^[17]

2.4.2.3 Pemanasan (*carbonization/consolidation*)

Proses karbonisasi merupakan proses pemanasan, dengan atau tanpa aplikasi tekanan sehingga partikel akan saling berikatan secara kimia menjadi struktur yang kohern ^[19]. Proses karbonisasi biasanya akan diikuti dengan adanya peningkatan sifat mekanik jika dibandingkan dengan material hasil kompaksi yang belum melalui proses karbonisasi. Hal ini diakibatkan oleh penyatuan dari partikel-partikel tersebut sehingga dapat meningkatkan densitas produk atau biasa

disebut proses densifikasi (pemadatan) ^[20]. Proses karbonisasi juga dapat mempengaruhi banyak hal seperti yang disebutkan pada Tabel 2.5 di bawah ini

Tabel 2.5 Pengaruh proses karbonisasi ^[17]

Perubahan dengan Peningkatan Proses Karbonisasi	Pengaruh
Penurunan ukuran partikel	Proses karbonisasi lebih cepat Biaya lebih mahal Tingkat kelarutan pengotor lebih tinggi Peningkatan bahaya akibat panas
Peningkatan waktu karbonisasi	Biaya lebih mahal Pertumbuhan butir dan pengkasaran Mengurangi produktivitas
Peningkatan temperatur	<i>Shrinkage</i> yang terjadi lebih besar Pertumbuhan butir Biaya lebih mahal Kepresisian rendah Sifat semakin baik Keterbatasan dapur Pengkasaran pori
Peningkatan <i>green density</i>	<i>Shrinkage</i> yang terjadi lebih kecil Poros lebih kecil Densitas akhir tinggi Dimensi seragam
Penambahan paduan dan zat aditif	Kekuatan lebih tinggi Masalah kehomogenan Temperatur karbonisasi lebih tinggi

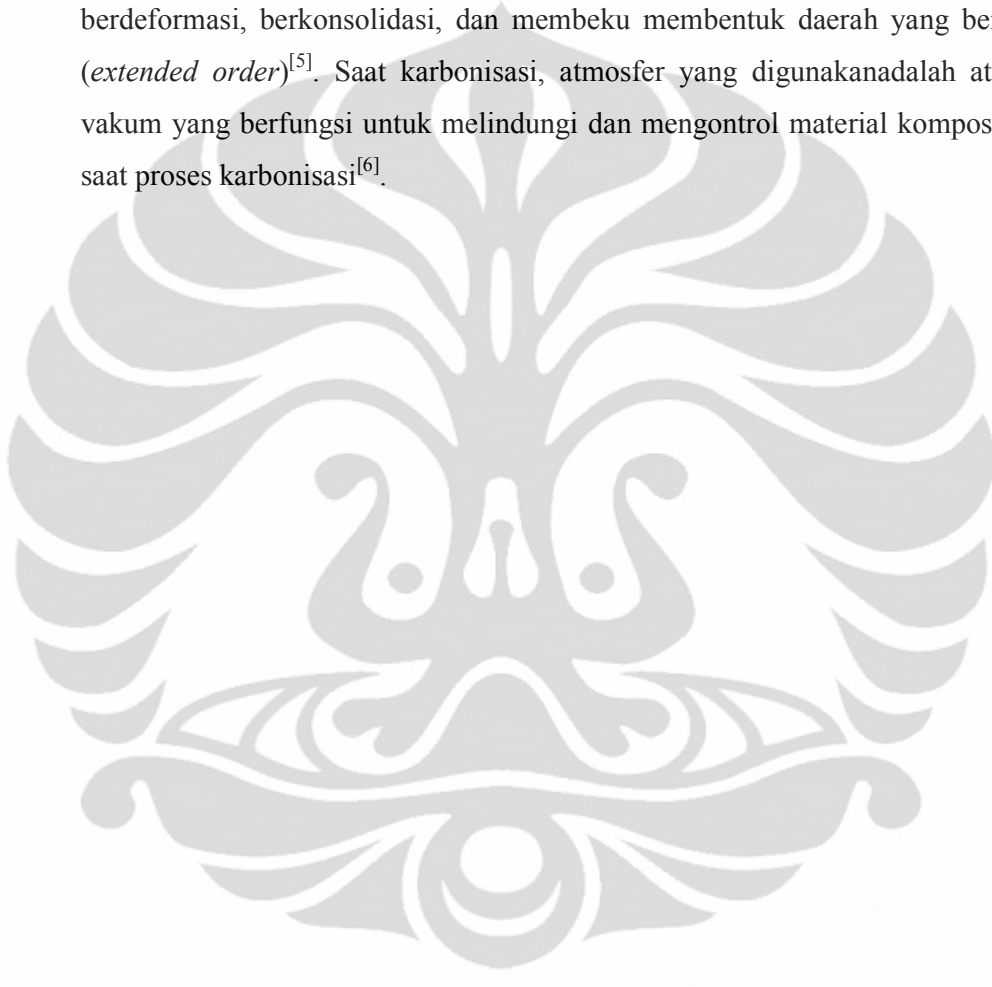
❖ Atmosfer Karbonisasi

Gas-gas yang tidak diinginkan dalam atmosfer karbonisasi tidak hanya dapat bereaksi pada permukaan bakalan tetapi juga dapat berpenetrasi ke struktur pori dan bereaksi ke dalam bakalan. Oleh sebab itu, digunakanlah atmosfer karbonisasi yang bertujuan untuk mengontrol reaksi-reaksi kimia (melindungi material dari oksidasi yang terjadi antara bakalan dengan lingkungannya selama proses karbonisasi berlangsung^[20].

Atmosfer yang dapat digunakan untuk melindungi bakalan, diantaranya hidrogen, amonia, gas *inert*, nitrogen, vakum dan gas alam. Atmosfer hidrogen digunakan karena mampu untuk mereduksi oksida dan menghasilkan atmosfer dekarburisasi untuk material *ferrous*. Atmosfer vakum seringkali digunakan karena prosesnya bersih dan kontrol atmosfer cukup mudah. Sedangkan alasan menggunakan

gas-gas *inert* seperti argon, helium dan nitrogen karena gas tersebut tidak bereaksi dengan bakalan^[17].

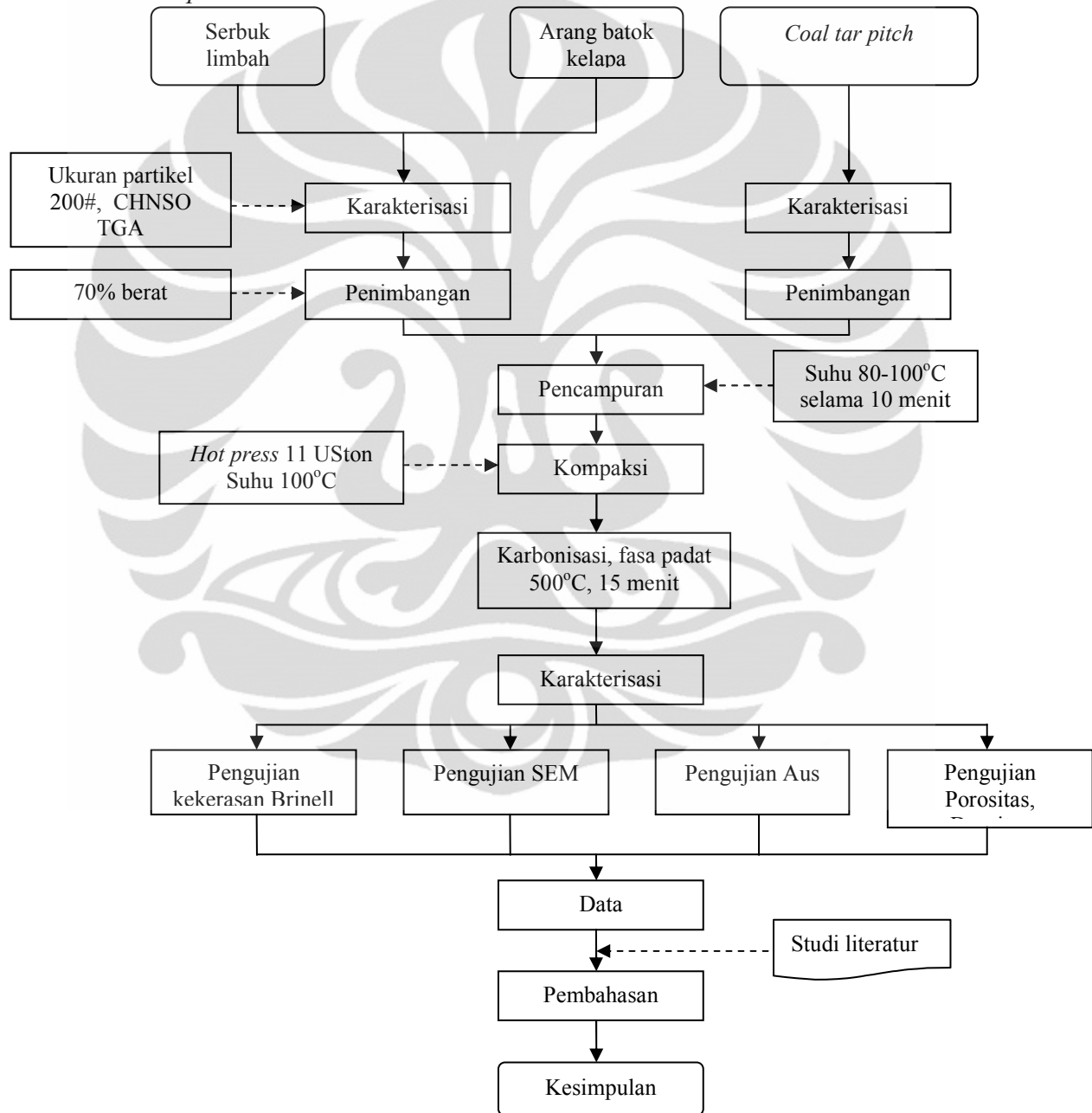
Pada penelitian kali ini, suhu karbonisasi yang dicapai pada penelitian yaitu 500°C (selama 15 menit). Pada suhu diatas 400 °C (750 °F), *mesophase spheres* terbentuk dalam cairan *pitch* isotropik. Bola mesophase tersebut berdeformasi, berkonsolidasi, dan membeku membentuk daerah yang beraturan (*extended order*)^[5]. Saat karbonisasi, atmosfer yang digunakan adalah atmosfer vakum yang berfungsi untuk melindungi dan mengontrol material komposit pada saat proses karbonisasi^[6].



BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Gambar 3.1 merupakan diagram alir penelitian komposit karbon BB-ABK-coal tar pitch.



Gambar 3.1 Diagram alir proses persiapan dan pembuatan sampel komposit karbon

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

- a) *Beaker Glass*
- b) Timbangan digital
- c) Kompor listrik
- d) Panci kecil
- f) Pengaduk
- g) Cetakan silinder
- h) Mesin penggiling/pengguncang
- i) Oven vakum
- j) Alat uji aus metode *Ogoshi*
- k) *Scanning Electron Microscope*
- l) *Brinell Testing Machine*

3.2.2 Bahan

Untuk setiap komposisi sampel dibutuhkan 30 gram hasil pencampuran penguat batubara dan arang batok kelapa (70% fraksi massa) serta martiks *coal tar pitch* 30% fraksi massa. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

a. Serbuk limbah batubara (ukuran 200 mesh)

Batubara yang digunakan pada penelitian ini berasal dari limbah yang dihasilkan saat pengolahan batubara. Limbah batubara tersebut memiliki kandungan seperti ditunjukkan oleh Tabel 3.1

Tabel 3.1 Kandungan unsur pada batubara

Parameter Analisis	Kandungan Unsur (%)				Oksigen
	C	H	N	S	
Kandungan	72,31	3,39	1,36	1,70	*
Standar Acuan	ASTM D. 5373	ASTM D. 5373	ASTM D. 5373	ASTM D. 4239	By Diff

b. Arang batok kelapa (ukuran 200 mesh)

Arang batok kelapa yang digunakan pada penelitian ini memiliki kandungan seperti ditunjukkan oleh Tabel 3.2

Tabel 3.2 Kandungan unsur pada arang batok kelapa

Parameter Analisis	Kandungan Unsur (%)					
	Abu	C	H	N	S	Oksigen
Kandungan	1,64	99,27	0,16	0,62	0,05	*
Standar Acuan	ASTM D. 3174	ASTM D. 5373	ASTM D. 5373	ASTM D. 5373	ASTM D. 4239	By Diff

c. Coal-tar pitch

Coal tar pitch yang digunakan pada penelitian ini memiliki kandungan seperti ditunjukkan oleh Tabel 3.3

Tabel 3.3 Kandungan unsur pada *coal tar pitch*

Parameter Analisis	Kandungan Unsur (%)					
	Abu	C	H	N	S	Oksigen
Kandungan	2,14	84,99	5,91	1,32	0,61	5,03
Standar Acuan	ASTM D. 3174	ASTM D. 5373	ASTM D. 5373	ASTM D. 5373	ASTM D. 4239	By Diff

d. Aquades

Aquades diperlukan untuk melakukan pengujian densitas dan porositas. Dipilihnya aquades karena kandungan mineralnya yang minimum. Jika menggunakan air ledeng biasa dikhawatirkan nilai densitas dan porositas sampel tidak sesuai karena pengaruh mineral-mineral tersebut.

3.3 Preparasi Sampel

3.3.1. Persiapan Bahan Baku

Tahap persiapan terutama dilakukan pada bahan penguat(*reinforced*), yaitu batubara dan arang batok kelapa. Persiapan meliputi dua tahapan yaitu penggilingan dan pengayakan. Alat yang digunakan pada proses ini adalah *ball mill* (Gambar 3.2) dan mesin pengguncang yang di atasnya tersusun beberapa *sieve number* (Gambar 3.3). Penggilingan dan pengayakan dilakukan di Jurusan Mesin Politeknik Negeri Jakarta.

Kedua proses ini bertujuan mendapatkan material batubara dengan ukuran partikel 200 mesh. Penggilingan dan pengayakan ini hanya dilakukan pada material batubara dan arang batok kelapa, dan tidak dilakukan pada material *coal tar pitch*(matriks) karena bentuknya yang *semi solid* dan plastis, sehingga tidak memungkinkan untuk dilakukan proses penggilingan dan pengayakan.

Ketiga bahan baku tersebut juga dikarakterisasi menggunakan *Thermo Gravimetri Analysis* (TGA) dan karakterisasi kandungan unsur. TGA bertujuan untuk mengetahui pada temperature berapa proses karbonisasi terjadi dan karakterisasi kandungan unsur bertujuan terutama untuk mengetahui kadar karbon dalam material. Gambar 3.2 merupakan ilustrasi proses penggilingan dengan ball mill, dan Gambar 3.3 merupakan gambar mesin pengguncang dalam proses pengayakan.



Gambar 3.2 Ilustrasi proses *ball mill*



Gambar 3.3 Mesin pengguncang pada proses pengayakan

3.4. Pembuatan Komposit Karbon Batu Bara-Arang Batok Kelapa-*Coal Tar*

Pitch

3.4.1. Penimbangan

Penimbangan dilakukan di Jurusan Mesin Politeknik Negeri Jakarta dengan timbangan digital (Gambar 3.4). Berat satu sample yaitu 30 gram. Komposisi sampel disesuaikan menurut perbandingan fraksi massa, dimana fraksi penguat (batubara dan arang batok kelapa) yaitu 70% dan matriks *coal tar pitch* 30%. Fraksi penguat dibuat bervariasi dengan perbandingan BB:ABK yaitu 80:20, 70:30, dan 60:40. Formulasi untuk sebuah sample ditunjukkan pada Tabel 3.4 dibawah ini:

Tabel 3.4 Formulasi untuk sebuah sampel komposit

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	



Gambar 3.4 Timbangan digital

3.4.2. Proses Pencampuran

Proses pencampuran (*mixing*) dilakukan diatas suatu plat/panci (Gambar 3.5) dengan suhu 80-100°C selama \pm 10 menit. Panas diperoleh dari kompor listrik. Proses *mixing* bertujuan agar partikel-partikel bahan baku tercampur secara homogen dan merata. Proses pengadukan dilakukan secara manual dengan menggunakan tangan.

Tahapan dari proses pencampuran pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Siapkan bahan-bahan
2. Bersihkan panci dan pengaduk
3. Nyalakan kompor listrik lalu letakkan panci yang telah dibersihkan sebelumnya di atas kompor listrik tersebut.
4. Siapkan *coal tar pitch* (yang telah ditimbang) masukkan ke dalam panci. Tunggu hingga *coal tar pitch* mencair.
5. Masukkan serbuk batubara dan arang batok kelapa ke dalam panci (Gambar 3.5) yang berisi *coal tar pitch* yang telah mencair tersebut secara perlahan dan diaduk dengan menggunakan pengaduk.
6. Aduk campuran antara batubara, arang batok kelapa dan *coal tar pitch* tersebut hingga merata seluruhnya (kurang lebih waktu pengadukan selama 10 menit)
7. Masukkan campuran batubara dan *coal tar pitch* tersebut ke dalam *dies* silinder untuk selanjutnya dilakukan proses kompaksi



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

3.4.3. Proses Kompaksi

Komposit karbon yang akan dibuat pada penelitian ini dicetak dengan menggunakan cetakan yang terbuat dari *carbon tool steel* dengan ukuran diameter 4 x 4 cm seperti pada Gambar 3.7. Kompaksi dilakukan pada tekanan 11 US ton atau sekitar 77,9 MPa pada suhu 100°C selama 30 menit. Tahapan – tahapan dalam proses kompaksi ini yaitu:

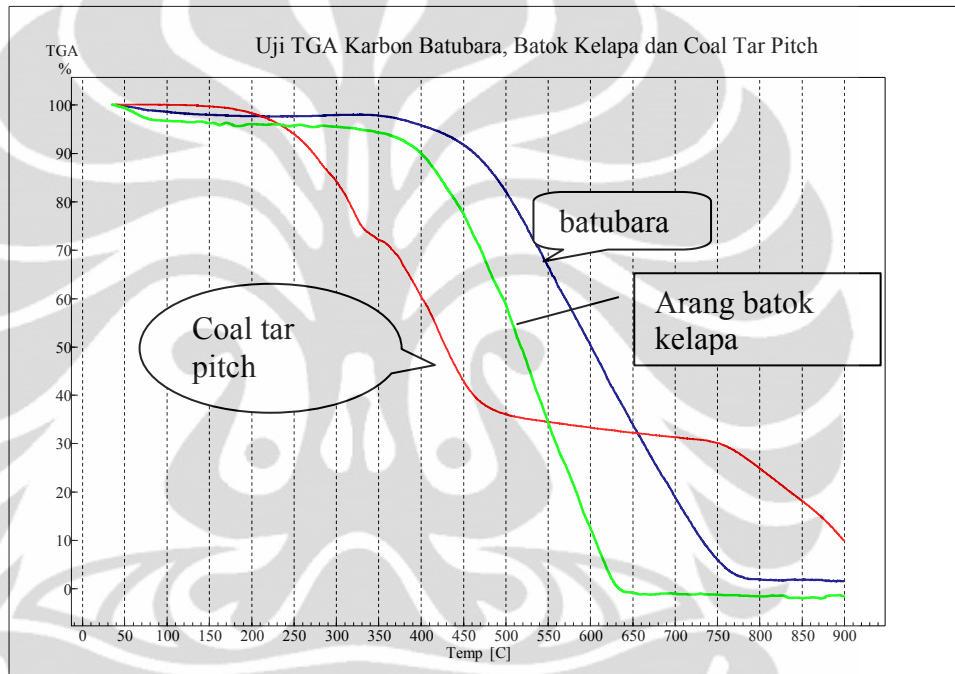
1. Masukkan campuran kedalam cetakan.
2. Kemudian masukan penekan kedalam cetakan, lalu letakan cetakan di mesin kompaksi.
3. Letakkan *heater* sedemikian rupa sehingga menutupi/mengelilingi cetakan dan sambungkan cetakan dengan *thermocouple* untuk mengontrol suhu.
4. Lakukan penekanan secara bertahap hingga mencapai tekanan 11 US ton atau sekitar 77,9 MPa menggunakan mesin kompaksi (Gambar 3.6).
5. Nyalakan *heater* (*setting* pada suhu 100°C)
6. Lalu ditahan selama sekitar 30 menit.
7. Keluarkan sampel yang hasil kompaksi dari cetakan.
8. Sampel siap untuk dilakukan karbonisasi (*curing*)



Gambar 3.6 Cetakan(kiri), Mesin Kompaksi(kanan)

3.4.4. Proses Karbonisasi

Proses karbonisasi (*curing*) dilakukan dengan menggunakan dapur *vacuum*. Proses ini dilakukan di Jurusan Mesin Politeknik Negeri Jakarta. Temperatur karbonisasi yaitu 500°C dan ditahan selama 15 menit. Dari hasil TGA seperti ditunjukkan oleh Gambar 3.7 dibawah, dapat disimpulkan bahwa temperatur karbonisasi optimum terjadi pada suhu 450-500°C.



Gambar 3.7 Hasil karakterisasi *Thermo Gravimetri Analysis* (TGA)

Tahapan dari proses karbonisasi yang dilakukan ialah sebagai berikut:

1. Menyiapkan sampel sebanyak 24 buah untuk sekali proses karbonisasi
2. Letakkan sampel tersebut dalam wadah yang tersedia dan dimasukkan ke dalam dapur *vacuum* (Gambar 3.8).
3. Vakumkan tabung dengan mengeluarkan udara melalui pompa selama kurang lebih 30 menit, dan setting dapur *vacuum* pada suhu 500°C.
4. Nyalakan dapur dan *heat up* sampai 500°C, dapur otomatis akan *off* setelah temperatur 500°C tercapai. Biarkan sampel didalam dapur selama kurang lebih 24 jam sampai suhunya turun mendekati suhu ruang.

5. Tutup *input* dan *output* gas nitrogen pada dapur saat temperatur karbonisasi telah tercapai sehingga gas terperangkap.
6. Keluarkan sampel dari dalam dapur (setelah temperatur di dalam dapur mencapai temperatur kamar).
7. Sampel yang telah mengalami proses karbonisasi(*curing*) siap untuk dikarakterisasi.



Gambar 3.8 Dapur untuk proses karbonisasi

3.5 Karakterisasi Sampel

3.5.1 Pengujian Densitas

Pengujian dilakukan di Jurusan Mesin, Politeknik Negeri Jakarta dengan menggunakan prinsip Archimedes, dimana massa di udara akan berbeda dengan massa di dalam air akibat adanya gaya ke atas dari sampel. Pengujian ini didasarkan pada standar pengujian ASTM D792. Adapun prosedur dari pengujian densitas adalah sebagai berikut :

1. Sampel ditimbang pada temperatur ruang ($25 \pm 20^{\circ}\text{C}$) sehingga diperoleh massa kering dari sampel

2. Kemudian sampel dicelupkan dalam *beaker glass* berisi air. Pencelupan ini harus dilakukan hingga seluruh permukaan sampel berada di tengah – tengah *beaker glass*, tidak boleh menyentuh dasar dan pinggir dari *beaker glass*, seperti yang terlihat pada Gambar 3.9 dibawah ini :



Gambar 3.9 Penimbangan sampel di dalam air

Setelah diperoleh massa dari sampel, baik yang di udara maupun di dalam air, maka dapat dilakukan perhitungan rapat massa atau densitas dari sampel dengan menggunakan persamaan berikut :

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

dimana, $\rho = \text{bulk density (gr/cm}^3\text{)}$

A = massa sampel kering (gr)

B = massa sampel tergantung dalam air (gr)

$\rho \text{ air} = \text{rapat massa air (0,9775 gr/cm}^3\text{)}$

3.5.2 Pengujian Porositas

Porositas merupakan rongga atau pori – pori yang terbentuk akibat adanya udara yang terperangkap dalam material. Pori – pori akan mempengaruhi performa dari komposit karbon. Pada penelitian kali ini, pengujian porositas mengacu pada

pengujian yang dilakukan di Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dan Batubara (TEKMIRA), dimana nilai porositas dihitung menggunakan rumus :

$$\text{Porositas (\%)} = 1 - \frac{\text{densitas hasil pengujian}}{\text{densitas karbon}} \times 100\% \quad (3.2)$$

Diketahui karbon memiliki nilai densitas 2,25 gr/cm³. Densitas hasil pengujian merupakan nilai densitas dari masing-masing sampel yang diuji. Dari rumus tersebut dapat dilihat bahwa prosentase porositas akan berbanding terbalik dengan densitas.

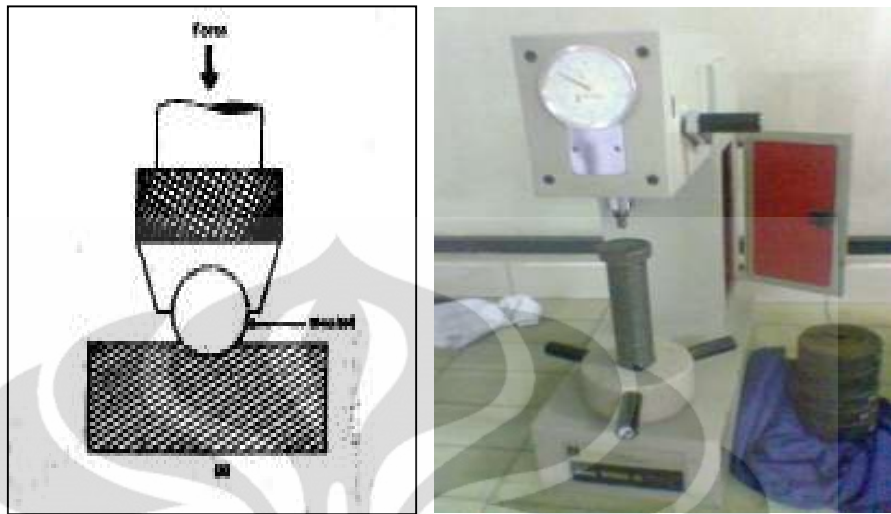
3.5.3 Pengujian Kekerasan

Pengujian dilakukan di Departemen Metalurgi dan Material FTUI. Metode pengujian dilakukan dengan kekerasan makro yaitu metode Brinell (Standar ASTM E 10). Indentor memakai bola baja yang diperkeras (*hardened steel ball*) dengan beban 31,25 kg, diameter indentor 3,2 mm dan waktu indentasi 10 detik. Metode Brinell dipilih karena indentornya cukup lebar dibanding metode lain, dengan indentor lebar ini hasil penjeakan diharapkan dapat merepresentasikan sifat komposit karbon keseluruhan, bukan matriknya saja atau penguatnya saja. Gambar 3.10 menunjukkan skematis prinsip indentasi dan alat uji kekerasan Brinell.

Hasil penekanan adalah jejak berbentuk lingkaran bulat, yang harus dihitung diameternya dibawah mikroskop khusus pengukur jejak. Pengukuran nilai kekerasan suatu material diberikan oleh rumus:

$$\text{BHN} = \frac{2P}{(\pi D)(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (3.3)$$

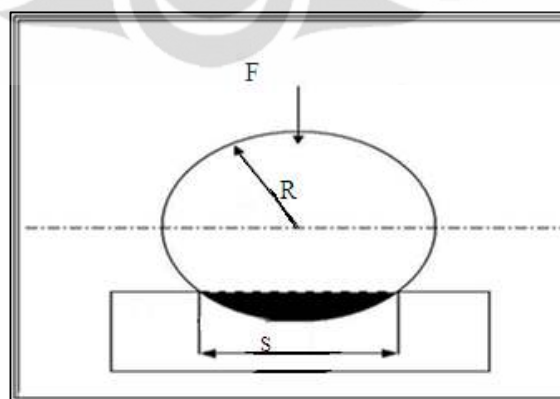
dimana :
P adalah beban (Kg)
D diameter indentor (mm)
d diameter jejak (mm).



Gambar 3.10 Skematis prinsip indentasi dengan metode *Brinell(kiri)*, dan alat uji *Brinell* di DTMM FTUI

3.4.4 Pengujian Keausan

Pengujian keausan dilakukan dengan metode Ogoshi dimana benda uji memperoleh beban gesek dari cincin yang berputar (*revolving disc*). Pembebanan gesek ini akan menghasilkan kontak antar permukaan yang berulang-ulang yang pada akhirnya akan mengambil sebagian material pada permukaan benda uji. Besarnya jejak permukaan dari material tergesek itulah yang dijadikan dasar penentuan tingkat keausan pada material. Ilustrasi skematis dari kontak permukaan antara *revolving disc* dan benda uji diberikan oleh Gambar 3.11.



Gambar 3.11 Skematis prinsip pengujian aus

dimana: R adalah jari-jari disc (mm),
S adalah rata-rata penampang menyilang celah abrasi (mm²)
L adalah jarak luncur (m)
F adalah gaya normal (N)

dapat diturunkan besarnya volume material yang terabrasi (W) :

$$W = \frac{2\pi RS}{LF} \quad (3.4)$$

Dimana parameter jarak luncur(x) yang dikenakan yaitu 600 m dan jari jari cincin putar 30 mm. Jejak yang didapat dari percobaan dilihat menggunakan mikroskop optik ukur untuk mengukur lebar celah abrasi. Gambar 3.12 merupakan gambar alat uji aus metode Ogoshi.



Gambar 3.12 Alat uji aus metode Ogoshi

3.4.5 Pengamatan Struktur Mikro

Pengujian dilakukan dengan alat *Scanning Electron Microscope* (SEM) di Departemen Metalurgi dan Material FTUI. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui struktur mikro sampel komposit karbon. Sebelum dilakukan pengujian maka sampel dipotong ukuran maksimal 1 cm³ agar dapat masuk kedalam *chamber* SEM. Pengujian ini dilakukan untuk mengidentifikasi porositas dan butir sampel komposit karbon.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakteristik Bahan Baku

4.1.1 Distribusi Serbuk Limbah Batubara(BB) dan Arang Batok Kelapa(ABK)

Pada penelitian kali ini, serbuk BB dan ABK yang digunakan berukuran 200 mesh. Untuk mendapatkannya, BB dan ABK yang awalnya berbentuk padatan (bongkahan) digiling dan diayak. Agar proses pembuatan spesimen uji optimum, maka distribusi ukuran partikel hasil pengayakan dan bentuk partikel serbuk BB dan ABK perlu diketahui. Oleh karena itu, dilakukanlah karakterisasi dengan mikroskop elektron (SEM) pada beberapa bagian serbuk. Ukuran serbuk limbah BB, dan ABK hasil pengamatan SEM ditunjukkan pada Tabel 4.1 dan 4.2 dibawah ini:

Tabel 4.1 Ukuran serbuk BB

Titik	Ukuran(μm)
1	76,76
2	78,38
3	69,57
4	74,63
5	65,29
6	61,78
Rata-rata	71,07

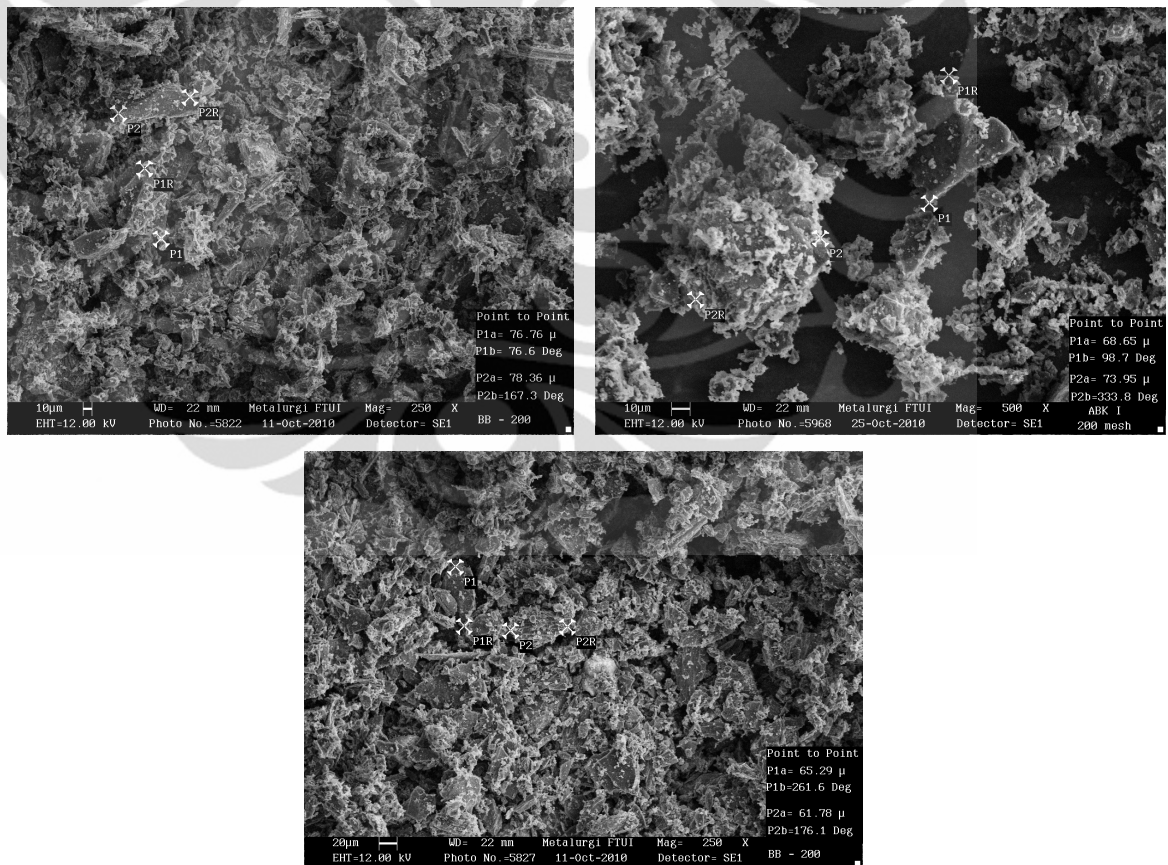
Tabel 4.2 Ukuran serbuk ABK

Titik	Ukuran(μm)
1	75,07
2	75,33
3	68,65
4	73,95
5	72,64
6	69,54
Rata-rata	72,53

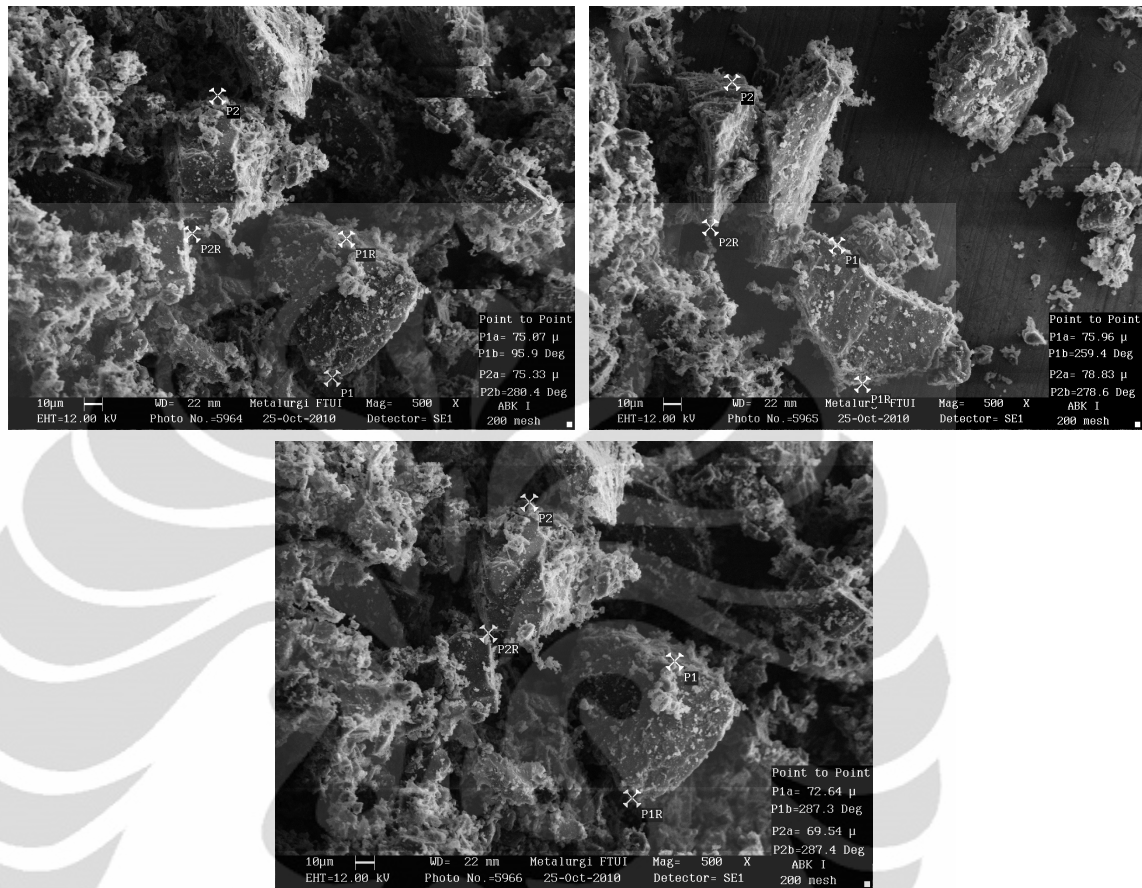
Dari hasil pengamatan SEM diatas dapat disimpulkan bahwa nilai rata-rata ukuran serbuk BB yaitu 71,07 μm dan ABK 72,53 μm . Jika dilihat secara visual pada

Gambar 4.1 dan 4.2, distribusi serbuk BB dan ABK yang dominan memiliki ukuran yang lebih kecil dibandingkan dengan serbuk yang diukur atau bisa dikatakan ukuran partikel yang besar lebih sedikit dibanding ukuran partikel yang kecil.

Menurut literatur^[25], ukuran 200 mesh setara dengan 73,7 μm . Meskipun mungkin diameter kawat pada literatur dengan yang digunakan saat penelitian berbeda, namun perbedaan tersebut tidaklah terlalu besar. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa hasil pengayakan untuk mendapatkan ukuran serbuk BB dan ABK kurang dari atau sama dengan 200 mesh (73,7 μm) telah tercapai (karena rata-rata ukuran serbuk BB dan ABK masing-masing 71,07 μm dan 72,53 μm). Hal ini baik, karena ukuran serbuk yang kecil akan meningkatkan kepadatan suatu material. Gambar 4.1 dan 4.2 dibawah ini menunjukkan foto SEM BB dan ABK. Dari gambar dapat dilihat bahwa bentuk serbuk BB dan ABK yaitu *angular*.



Gambar 4.1 Hasil pengamatan SEM serbuk BB ukuran 200 mesh (Perbesaran 500X)



Gambar 4.2 Hasil pengamatan SEM serbuk ABK ukuran 200 mesh (Perbesaran 500X)

4.2 Hasil Preparasi dan Pembuatan Sampel Komposit Karbon

Sebelum dilakukan pembuatan dan karakterisasi spesimen, maka bahan-bahan untuk pembuatan komposit karbon harus dipreparasi terlebih dahulu. Preparasi ini akan berpengaruh terhadap keberhasilan pembuatan spesimen uji. Preparasi serbuk BB dan ABK meliputi penggilingan dan pengayakan (karakterisasi ukuran), karakterisasi kandungan unsur bahan (C,H,N,S,O), dan karakterisasi *Thermo Gravimetri Analysis* (TGA). Hal yang sama juga dilakukan untuk *coal tar pitch*, hanya penggilingan dan pengayakan yang tidak dilakukan karena bentuk *coal tar pitch* yang *semi solid* dan plastis. Bentuk awal BB dan ABK berupa bongkahan. Setelah dilakukan penggilingan dan pengayakan, BB dan ABK akan berbentuk serbuk dengan ukuran tertentu. Serbuk tersebut lalu ditimbang sesuai kebutuhan

(penghitungan fraksi massa). Setelah itu dilakukan proses pembuatan sampel yang meliputi: pencampuran (*mixing*), pencetakan panas (*hot pressing*), serta karbonisasi. Kemudian spesimen uji yang diperoleh dikarakterisasi.

Tahapan proses tersebut harus diperhatikan dengan baik. Hal ini agar sifat komposit karbon yang dihasilkan baik pula, karena parameter proses berperan penting dalam menentukan keberhasilan pembuatan komposit karbon yang memiliki karakterisasi yang optimum.

4.2.1 Hasil Pencampuran Bahan Penyusun

Setelah preparasi dan penimbangan selesai dilakukan, maka proses selanjutnya adalah pencampuran (*mixing*). Proses pencampuran dipengaruhi oleh beberapa variabel antara lain suhu, waktu, dan kecepatan pengadukan. Pada penelitian kali ini, waktu pencampuran bahan yaitu 10 menit dan suhu 80-100°C.

Hasil dari pencampuran antara serbuk BB, ABK dan *coal tar pitch* berupa serbuk berwarna hitam. Hal ini dikarenakan BB dan ABK yang merupakan bahan yang dominan (70%) berwujud serbuk. Bahan yang lain, yaitu *coal tar pitch* berbentuk lelehan (pada suhu tinggi) dan padatan pada suhu ruang. Selain berperan sebagai matriks prekursor, *coal tar pitch* juga berfungsi sebagai pengikat antar partikel BB (*binder*). Pada proses pencampuran, *coal tar pitch* dimasukkan pertama kali kedalam plat/panci pemanas dan dilelehkan terlebih dahulu. Setelah meleleh, serbuk BB dan ABK dicampurkan secara perlahan sembari diaduk (manual). Serbuk penguat (BB dan ABK) harus dimasukkan segera setelah *coal tar pitch* meleleh. Hal ini untuk menghindari penguapan yang berlebihan. Yang mana ini akan mengurangi % komposisi dari *coal tar pitch* yang dicampur.

Hal lain yang perlu diperhatikan adalah proses pengadukan. Saat serbuk BB dan ABK dicampur dengan *coal tar pitch* cair, proses pengadukan harus terus dilakukan. Sehingga pencampuran benar-benar merata. Proses pengadukan ini juga berfungsi agar tidak terdapat serbuk BB atau ABK yang menggumpal saat dicampur dengan *coal tar pitch*. Penggumpalan ini harus dihindari karena dapat menjadi porositas pada material komposit BB-ABK-*coal tar pitch*.

4.2.2 Hasil Pencetakan Spesimen Uji

Setelah proses pencampuran selesai, maka proses selanjutnya yaitu pencetakan sampel. Bakalan hasil *mixing* dimasukkan dalam cetakan berdiameter dalam 40 mm dan diratakan, kemudian di *hot pressing* dengan tekanan sebesar 11 USton (77,9 MPa) pada suhu 100°C selama 30 menit.

Spesimen uji pada penelitian kali ini berjumlah 24 buah (8 buah untuk tiap perbandingan). Dari pengamatan visual specimen uji hasil kompaksi, terdapat beberapa bagian yang retak, kebanyakan di tepi. Retak tersebut dikarenakan saat *hot pressing* dilakukan, banyak *coal tar pitch* yang meluber keluar cetakan. Hal ini dikarenakan sifat mampu alir *coal tar pitch* yang tinggi sehingga mudah melewati gap yang dihasilkan antara cetakan dan penekan. Berkurangnya massa *coal tar pitch* yang merupakan binder menyebabkan rapuhnya ikatan antara serbuk BB dan ABK di beberapa bagian tertentu yang menyebabkan keretakan tersebut. Selain itu, ketebalan sampel yang dihasilkan juga bervariasi, sekitar 10-20 mm. Ketebalan yang berbeda tersebut juga disebabkan karena pengaruh berkurangnya massa *coal tar pitch*.

Hal yang perlu diperhatikan pada rangkaian proses penekanan yaitu kecepatan penuangan dan kontrol tekanan pada mesin press. Kecepatan penuangan sebaiknya dilakukan dengan konstan dan perlahan untuk menghindari terjadinya segregasi. Tekanan pada mesin press harus dijaga pada angka 11 USton agar proses penekanan berjalan optimal.

4.2.3 Hasil Karbonisasi

Proses karbonisasi dilakukan pada suhu 500°C dengan waktu tahan selama 15 menit. Suhu tersebut dipilih karena sesuai grafik hasil TGA (Gambar 3.2), transformasi optimum bahan baku menjadi karbon terjadi pada kisaran suhu tersebut. Dalam proses karbonisasi, tabung dibuat vakum dengan memompa udara keluar dari tabung, ini untuk melindungi atau mengontrol material komposit pada saat proses karbonisasi^[8]. Setelah dilakukan proses karbonisasi, sampel terlihat kering dan menghasilkan suara nyaring jika diketuk (dengan tangan). Pada beberapa sampel

ditemukan adanya retak. Retak tersebut bukan disebabkan karena proses karbonisasi, melainkan terjadi karena proses sebelumnya (pencetakan). Sampel komposit karbon BB-ABK-*coal tar pitch* ditunjukkan pada gambar 4.3 dibawah ini :



Gambar 4.3 Sampel hasil pencetakan

4.3 Karakterisasi Komposit karbon

4.3.1 Pengujian Densitas

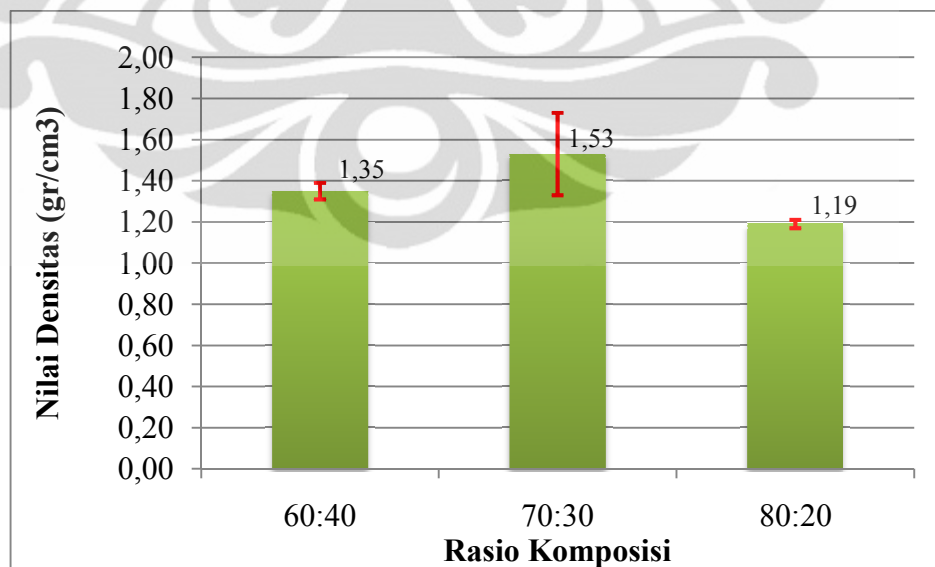
Pengujian densitas bertujuan untuk mengetahui massa jenis komposit karbon yang telah dibuat. Variabel pada penelitian ini adalah perbandingan komposisi serbuk BB dan ABK, dimana BB:ABK yaitu 60:40, 70:30, dan 80:20. Menurut hukum campuran untuk material isotropik^[7], densitas komposit karbon akan berada pada daerah antara *upper bound* dan *lower bound*. Namun hukum campuran sulit untuk diaplikasikan karena pada penelitian yang digunakan adalah fraksi massa. Sebenarnya fraksi massa tersebut dapat dikonversi menjadi fraksi volume untuk digunakan pada formula hukum campuran, Namun, sulit untuk menghitung fraksi volume karena penguat adalah serbuk. Selain itu, nilai densitas pasti masing-masing bahan (dari literatur) tidak diketahui.

Aplikasi komposit karbon pada penelitian kali ini belum diketahui. Namun, diharapkan komposit karbon yang dihasilkan memiliki densitas yang optimum namun memiliki kekuatan yang tinggi (*strength to weight ratio*), sehingga sifat mekanis yang dihasilkan juga baik. Tabel 4.3 dibawah ini menunjukkan hasil pengujian densitas.

Tabel 4.3 Pengaruh komposisi terhadap densitas komposit karbon

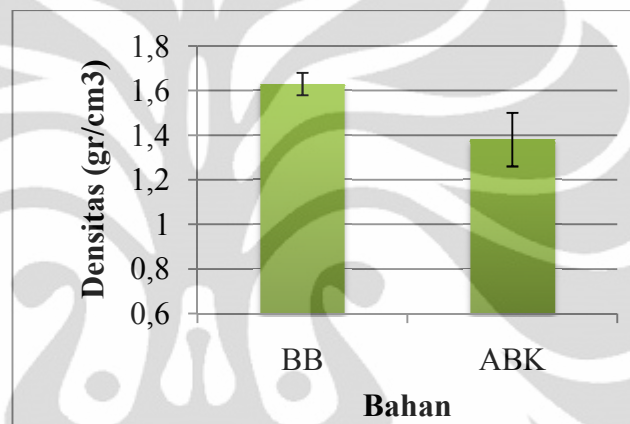
Perbandingan BB:ABK	Nilai Densitas (gr/cm ³)	Rata-rata Densitas (gr/cm ³)	Standar Deviasi
60 : 40	1,33	1,35	0,04
	1,34		
	1,39		
	1,37		
	1,30		
70 : 30	1,39	1,53	0,2
	1,36		
	1,87		
	1,51		
	1,53		
80 : 20	1,16	1,19	0,02
	1,20		
	1,21		
	1,16		
	1,19		

Tabel 4.3 diatas menunjukkan bahwa pada rasio komposisi BB:ABK 60:40,70:30, dan 80,30 densitas rata-rata komposit karbon berturut-turut 1,35, 1,53, dan 1.19 gr/cm³. Untuk memperjelas pengaruh komposisi BB dan ABK pada densitas komposit karbon,maka data-data diatas diolah menjadi Gambar 4.4 dibawah ini.



Gambar 4.4 Grafik pengaruh komposisi terhadap densitas komposit karbon

Gambar 4.4 secara lebih jelas memperlihatkan terjadinya peningkatan densitas pada rasio komposisi BB:ABK 60:40 ke 70:30 kemudian turun lagi pada rasio 80:20. Terjadinya peningkatan densitas dari rasio 60:40 ke 70:30 disebabkan karena meningkatnya komposisi BB. Makin tinggi komposisi BB makin tinggi pula densitas komposit karbon yang dihasilkan. Hal ini karena BB memiliki densitas yang lebih tinggi dari ABK. Berdasarkan perhitungan menggunakan *picnometer*, diketahui densitas BB yaitu $1,658 \text{ gr/cm}^3$, dan densitas ABK yaitu $1,437 \text{ gr/cm}^3$. Gambar 4.5 menunjukkan perbandingan densitas BB dan ABK.



Gambar 4.5 Grafik perbandingan densitas BB dan ABK

Selain itu, jika merujuk pada hasil pengamatan SEM setelah pengayakan (Tabel 4.1 dan 4.2) diketahui bahwa BB yang digunakan memiliki ukuran butir yang lebih kecil dari ABK. Sehingga semakin banyak komposisi BB, komposit karbon akan semakin padat karena kontak permukaan permukaan antar partikel semakin besar dan menyebabkan kerapatannya semakin besar pula. Sehingga densitas semakin meningkat seiring peningkatan komposisi BB.

Terjadinya penurunan nilai densitas pada rasio 80:20 kemungkinan disebabkan karena pengaruh *coal tar pitch* yang meluber pada saat kompaksi. Makin banyak *coal tar pitch* yang meluber, maka makin banyak porositas pada komposit karbon. Seperti diketahui, *coal tar pitch* merupakan pengikat (*binder*) untuk komposit karbon. Semakin berkurangnya *coal tar pitch*, serbuk BB dan ABK tidak dapat

berikatan secara optimum. Jika porositas semakin banyak maka densitas komposit karbon akan semakin kecil.

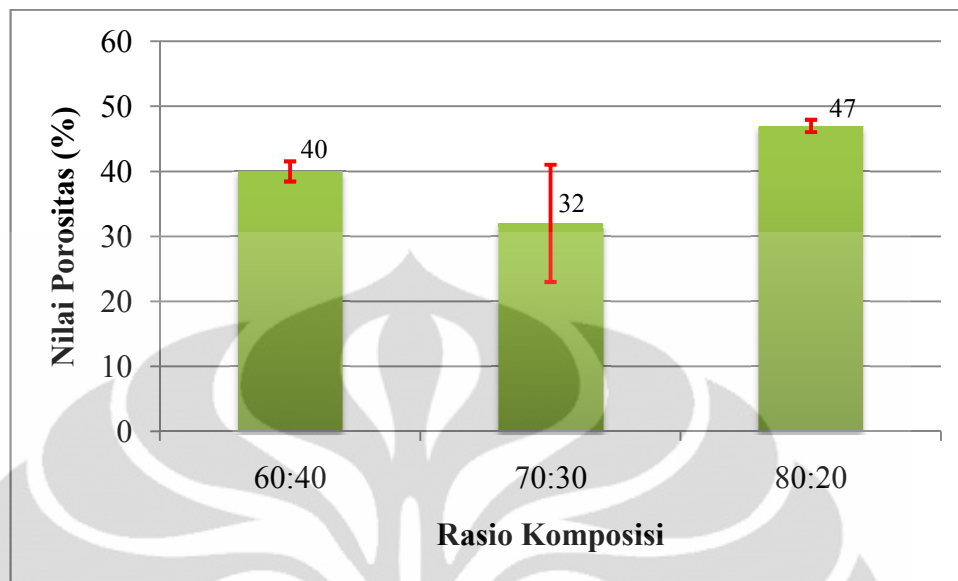
4.3.2 Pengujian Porositas

Porositas merupakan salah satu parameter yang menentukan sifat mekanis komposit karbon. Makin sedikit porositas, maka sifat mekanis komposit karbon akan semakin baik. Pengujian porositas yang dilakukan sesuai dengan pengujian yang dilakukan di Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dan Batubara (TEKMIRA), dan menghasilkan data-data seperti pada Tabel 4.4 berikut ini.

Tabel 4.4 Pengaruh komposisi terhadap porositas komposit karbon

Perbandingan BB:ABK	Nilai Porositas (%)	Rata-rata Porositas (%)	Standar Deviasi
60 : 40	40,85	40	1,5559
	40,36		
	38,19		
	39,17		
	42,24		
70 : 30	38,19	32	9,01
	39,66		
	16,90		
	32,88		
	32,11		
80 : 20	48,29	47	0,94
	46,46		
	46,43		
	48,29		
	46,93		

Tabel 4.4 diatas menunjukkan bahwa pada rasio komposisi BB:ABK 60:40,70:30, dan 80,30 porositas rata-rata komposit karbon berturut-turut 40% , 32% , dan 47%. Pengaruh komposisi BB dan ABK terhadap porositas komposit karbon ditunjukkan pada Gambar 4.6 dibawah ini.



Gambar 4.6 Grafik pengaruh komposisi terhadap porositas komposit karbon

Pada Gambar 4.6 diketahui bahwa porositas komposit karbon mengalami fluktuasi. Porositas tertinggi yaitu pada rasio komposisi BB:ABK 80:20. Sedangkan pada rasio komposisi BB:ABK 60:40 ke 70:30 terjadi penurunan nilai porositas dari 40% ke 32% kemudian mencapai nilai porositas tertinggi pada rasio BB:ABK 80:20 yaitu 47%. Terjadinya penurunan nilai porositas dari rasio 60:40 ke 70:30 disebabkan karena meningkatnya komposisi BB. Makin tinggi komposisi BB, maka komposit karbon akan memiliki densitas yang makin besar (densitas BB yaitu $1,658 \text{ gr/cm}^3$, dan densitas ABK yaitu $1,437 \text{ gr/cm}^3$), itu artinya komposit karbon semakin padat. Sehingga hanya menyisakan sedikit porositas.

Selain itu, jika merujuk pada hasil pengamatan SEM setelah pengayakan (tabel 4.1 dan 4.2) diketahui bahwa BB memiliki ukuran butir yang lebih kecil dari ABK. Sehingga semakin banyak komposisi BB, komposit karbon akan semakin padat karena kontak permukaan permukaan antar partikel semakin besar dan menyebabkan kerapatannya semakin besar pula. Sehingga porositas semakin berkurang seiring peningkatan komposisi BB.

Pada rasio BB:ABK 80:20 terjadi kenaikan porositas sebesar 8% dari rasio sebelumnya. Kenaikan tersebut disebabkan karena hal yang sama yang terjadi pada hasil pengujian densitas, yaitu pengaruh *coal tar pitch* yang meluber pada saat

kompaksi. Kompaksi panas dilakukan pada suhu 100°C, suhu tersebut sudah cukup untuk mencairkan *coal tar pitch*, yang kemudian meluber melalui celah antara *dies* dan penekan. *Coal tar pitch* (merupakan pengikat untuk komposit karbon) yang meluber ini menyebabkan berkurangnya ikatan antarmuka serbuk BB dan ABK. Berkurangnya ikatan antarmuka tersebut menyebabkan terjadinya porositas pada komposit karbon.

Secara keseluruhan, porositas komposit karbon yang dihasilkan cukup besar. Porositas yang besar tersebut akan berpengaruh terhadap sifat mekanis yang dihasilkan komposit karbon. Dimana makin besar porositas maka kekuatan komposit karbon akan semakin rendah.

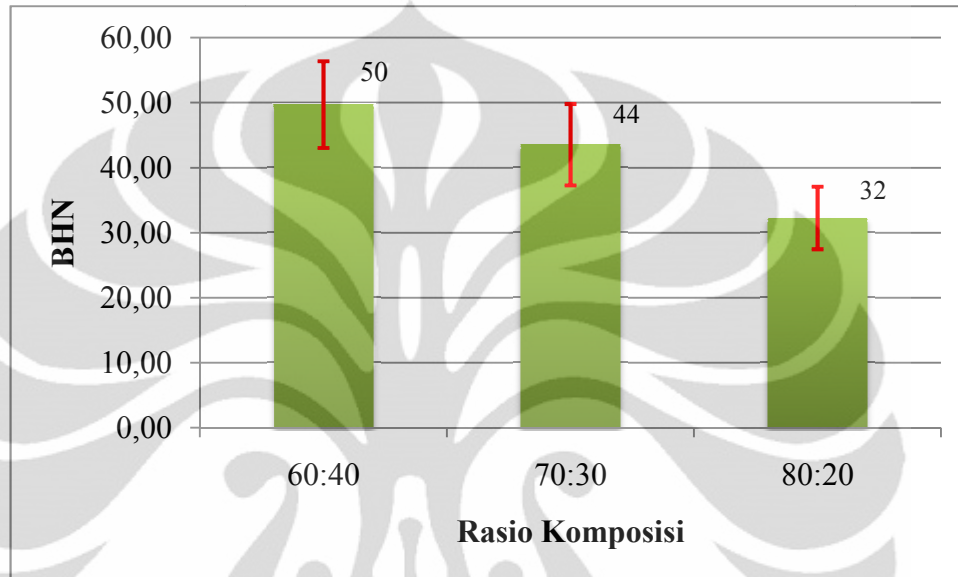
4.3.3 Pengujian Kekerasan

Salah satu pengujian mekanis yang dilakukan pada sampel komposit karbon adalah pengujian kekerasan. Pengujian kekerasan bertujuan untuk mengetahui ketahanan komposit karbon terhadap beban indentasi. Kekerasan dilakukan dengan alat uji Brinell, dengan beban 31,25 kg. Pengujian kekerasan sesuai dengan ASTM E 10 menghasilkan data-data seperti ditunjukkan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Pengaruh komposisi terhadap kekerasan komposit karbon

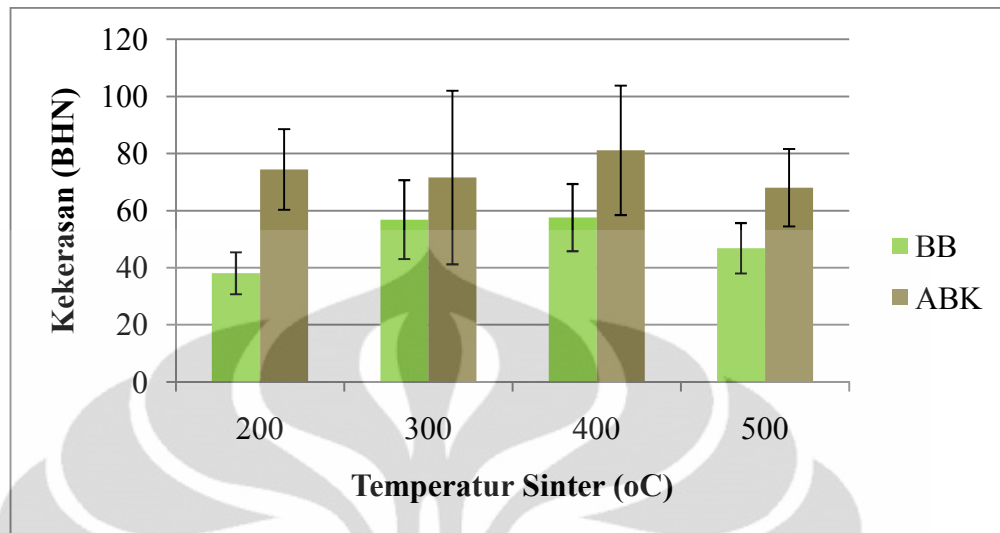
Perbandingan BB:ABK	Nilai Kekerasan (BHN)	Rata-rata Kekerasan (BHN)	Standar Deviasi
60 : 40	48,13	50	6,76
	61,18		
	48,13		
	48,13		
	43,09		
70 : 30	43,09	44	6,26
	54,08		
	38,79		
	43,09		
	38,79		
80 : 20	35,09	32	4,81
	31,88		
	26,62		
	29,08		
	38,79		

Tabel 4.5 diatas memperlihatkan bahwa pada rasio komposisi BB:ABK 60:40, 70:30, dan 80:20 nilai kekerasan berturut-turut sebesar 49,73 BHN, 43,57 BHN, dan 32,29 BHN. Untuk memperlihatkan tren penurunan kekerasan maka disajikan Gambar 4.7 dibawah ini.



Gambar 4.7 Grafik pengaruh komposisi terhadap kekerasan komposit karbon

Dari Gambar 4.7 diatas, diketahui bahwa nilai kekerasan komposit karbon menunjukkan tren menurun. Nilai kekerasan tertinggi sampai terendah berturut-turut yaitu pada rasio komposisi BB:ABK 60:40, 70:30, dan 80:20. Penurunan kekerasan tersebut disebabkan karena komposisi ABK yang semakin berkurang. ABK memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan dengan BB. Berdasarkan penelitian sebelumnya oleh Agus Edi Pramono^[26], kekerasan ABK yaitu 68 BHN dan BB 47 BHN. Sehingga, semakin berkurangnya komposisi ABK maka semakin kecil nilai kekerasan yang ditunjukkan komposit karbon. Gambar 4.8 dibawah ini menunjukkan perbandingan kekerasan BB dan ABK pada berbagai temperatur karbonisasi.



Gambar 4.8 Grafik perbandingan kekerasan BB dan ABK pada berbagai temperatur karbonisasi

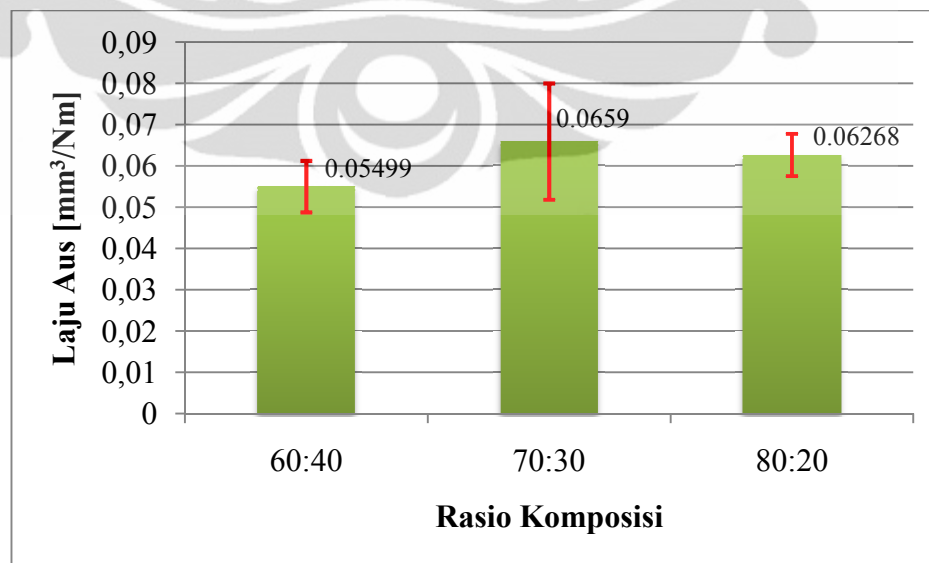
4.3.4 Pengujian Keausan

Pengujian keausan dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui ketahanan komposit karbon terhadap gesekan (friksi) dari luar. Ketahanan aus merupakan sifat penting yang harus dimiliki oleh komposit karbon. Hal ini berkaitan dengan salah satu aplikasi komposit karbon erat hubungannya dengan gesekan, seperti untuk kanvas rem^[8]. Pengujian keausan dilakukan dengan metode Ogoshi, dan menghasilkan data-data seperti ditunjukkan pada Tabel 4.6 dibawah ini.

Tabel 4.6 Pengaruh komposisi terhadap ketahanan aus komposit karbon

Perbandingan BB:ABK	Nilai Laju Keausan (mm^3/Nm)	Rata-rata Laju Keausan (mm^3/Nm)	Standar Deviasi
60 : 40	0,05921	0,055	0,00625
	0,05877		
	0,06059		
	0,04803		
	0,04836		
70 : 30	0,05555	0,066	0,01408
	0,06387		
	0,04987		
	0,07693		
	0,08330		
80 : 20	0,07060	0,063	0,00512
	0,05957		
	0,06067		
	0,06477		
	0,05777		

Tabel 4.6 menunjukkan bahwa pada rasio komposisi BB:ABK 60:40, 70:30, dan 80:20 laju keausan berturut-turut 0,055, 0,066, dan 0,063 mm^3/Nm . Laju keausan menunjukkan tren fluktuatif seperti ditunjukkan pada Gambar 4.9 dibawah ini.



Gambar 4.9 Grafik pengaruh komposisi terhadap laju aus komposit karbon

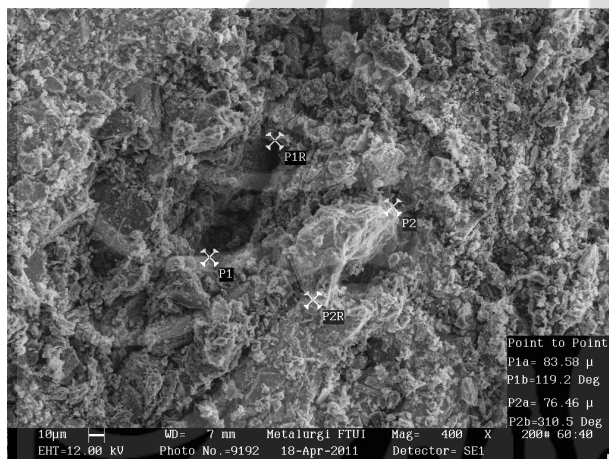
Dari rasio komposisi BB:ABK 60:40 ke 70:30 laju keausan komposit karbon meningkat, kemudian turun kembali pada rasio 80:20. Laju keausan berbanding terbalik dengan ketahanan aus. Makin tinggi laju keausan maka ketahanan aus semakin rendah. Dari Gambar 4.9 diketahui laju keausan terendah terjadi pada rasio komposisi BB:ABK 60:40, artinya pada rasio tersebut ketahanan aus komposit karbon paling tinggi dibanding rasio yang lain. Kemudian pada rasio 70:30 ketahanan aus menurun, dan meningkat lagi pada rasio 80:20.

Penurunan ketahanan aus dari rasio 60:40 ke 70:30 disebabkan karena berkurangnya komposisi ABK. Ketahanan aus sebanding dengan kekerasan. Makin tinggi kekerasan maka ketahanan aus semakin tinggi pula. Seperti disebutkan sebelumnya, ABK memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan dengan BB (kekerasan ABK yaitu 68 BHN dan BB 47 BHN). Makin banyak komposisi ABK, maka komposit karbon semakin keras dan semakin tahan aus. Namun, pada rasio komposisi BB:ABK 80:20 laju keausan kembali menurun (ketahanan aus meningkat), semestinya pada rasio tersebut terjadi penurunan ketahanan aus karena komposisi ABK yang berkurang.

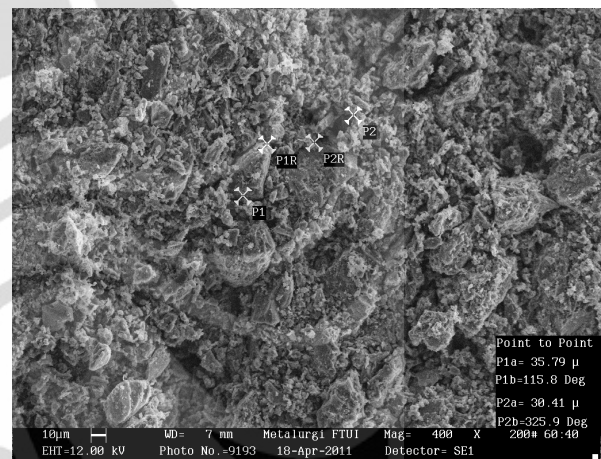
Ketidaksesuaian tersebut kemungkinan disebabkan karena *coal tar pitch* yang meluber pada saat kompaksi. Semakin banyak *coal tar pitch* yang meluber maka ikatan antarmuka BB dan ABK semakin berkurang, itu artinya kepadatan komposit karbon akan semakin berkurang. Kepadatan sebanding dengan kekerasan dan ketahanan aus. Semakin padat suatu komposit karbon maka kekerasan dan ketahanan ausnya akan semakin meningkat, begitu pula sebaliknya. *Coal tar pitch* yang meluber pada komposit karbon dengan rasio komposisi BB:ABK 80:20 lebih sedikit dibandingkan pada rasio komposisi 70:30, hal ini menyebabkan peningkatan kepadatan dan menaikkan nilai ketahanan aus (menurunkan laju keausan) komposit karbon pada rasio BB:ABK 80.

4.3.5 Hasil Pengamatan SEM

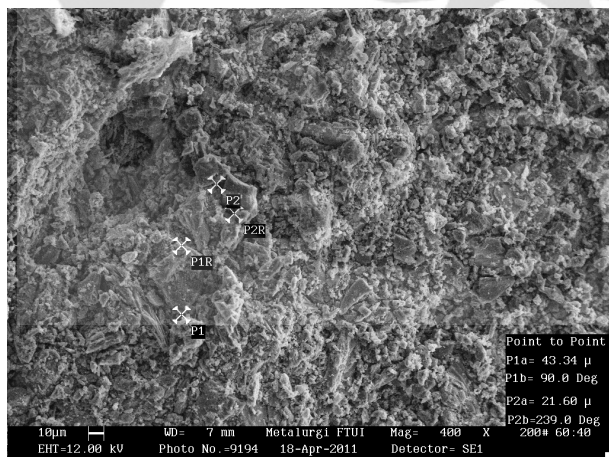
Pengamatan SEM bertujuan untuk mengetahui ukuran butir dan porositas setelah proses karbonisasi. Masing-masing rasio komposisi BB:ABK diambil 5 foto, dimana masing-masing foto diukur lebar salah satu butir dan porositasnya. Dari pengamatan SEM dengan perbesaran 400X diperoleh Gambar 4.10, 4.11 dan 4.12 dibawah ini.



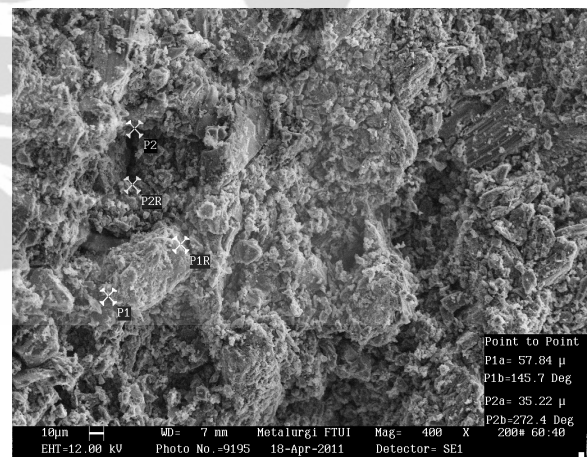
(a)



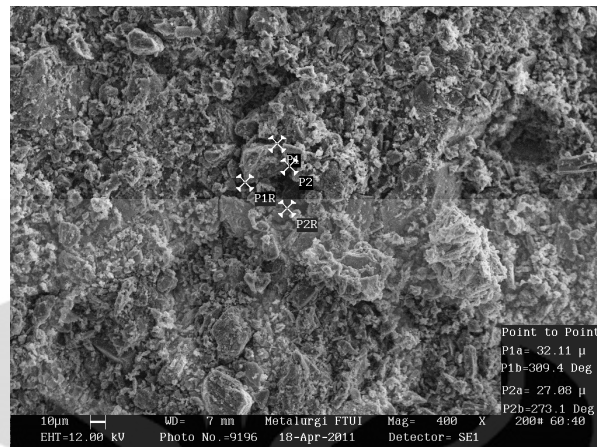
(b)



(c)

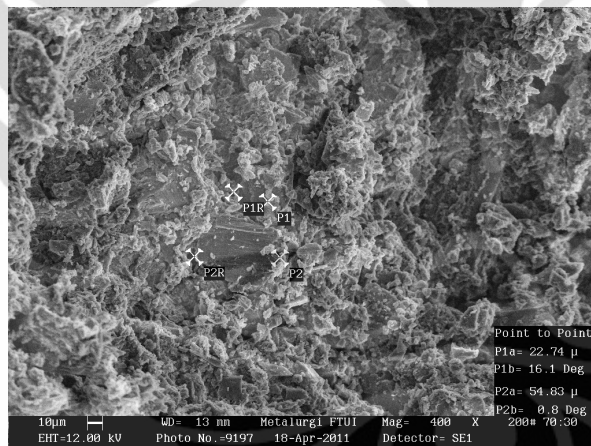


(d)

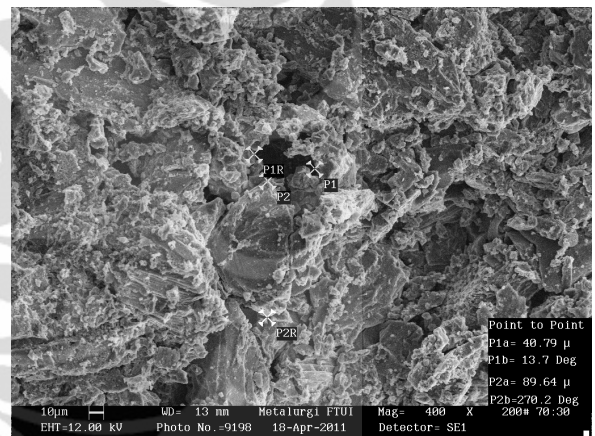


(e)

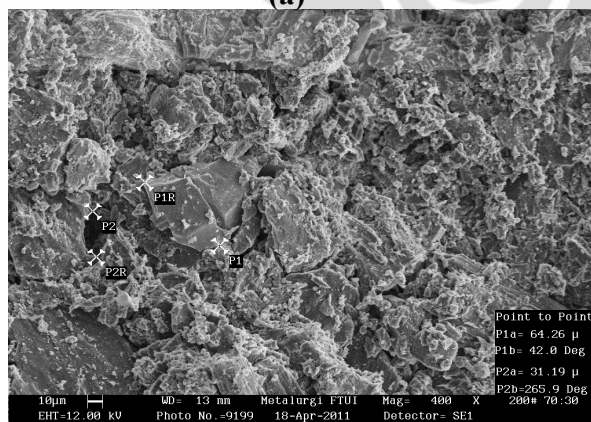
Gambar 4.10 Hasil pengamatan SEM komposit karbon rasio komposisi BB:ABK 60:40 (Perbesaran 400X)



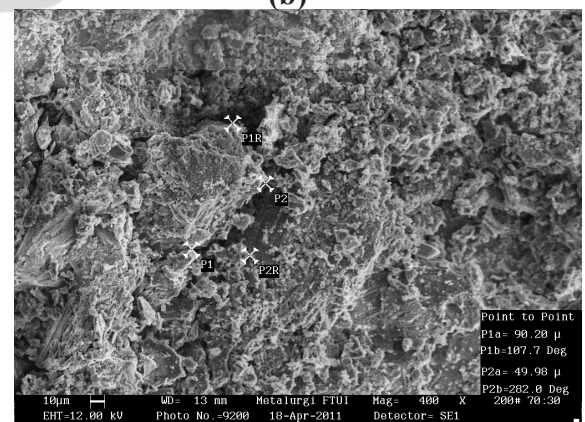
(a)



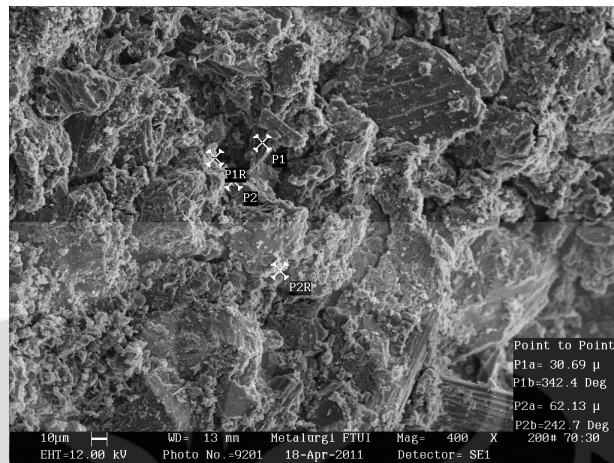
(b)



(c)

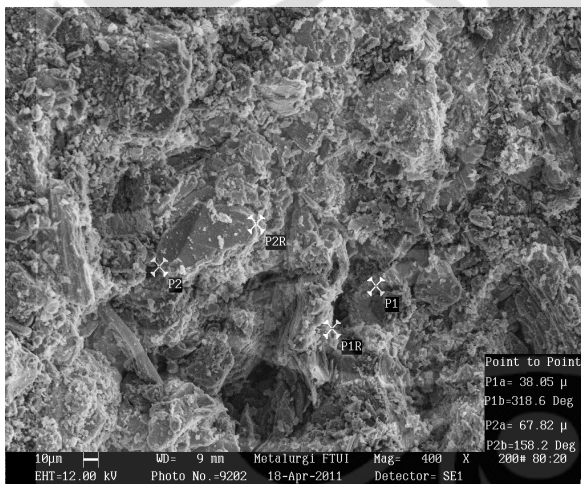


(d)

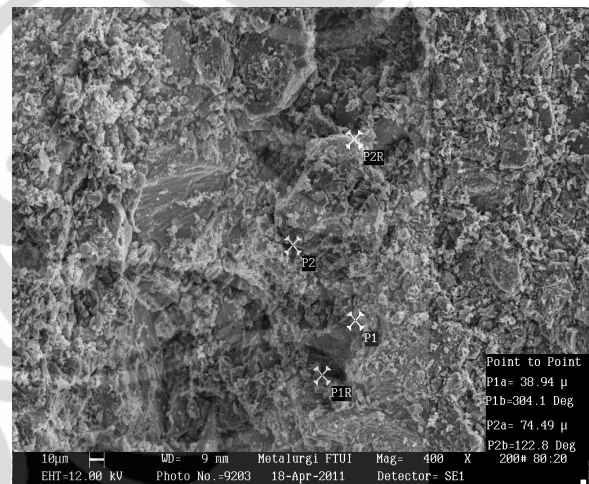


(e)

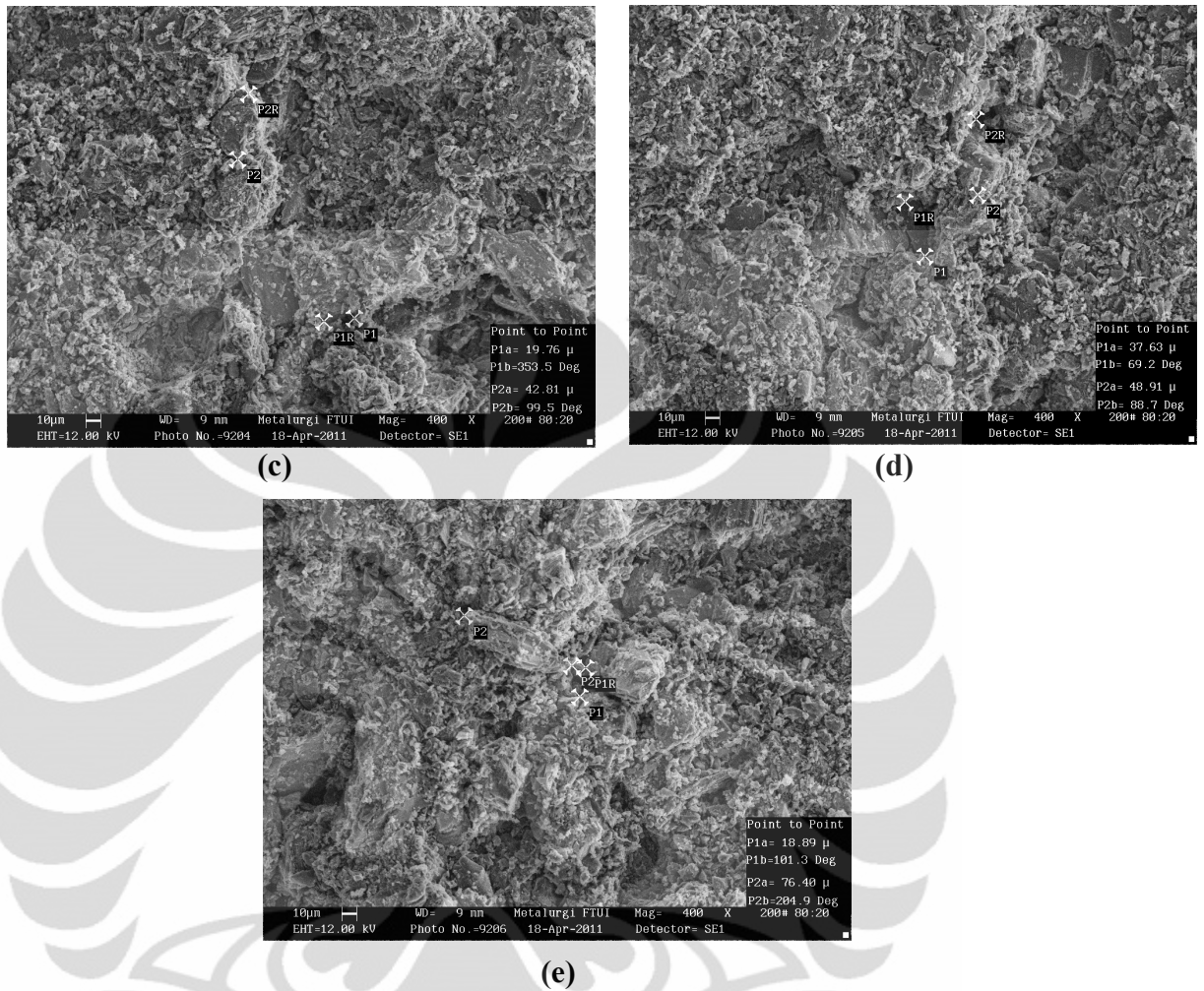
Gambar 4.11 Hasil pengamatan SEM komposit karbon rasio komposisi BB:ABK 70:30 (Perbesaran 400X)



(a)



(b)



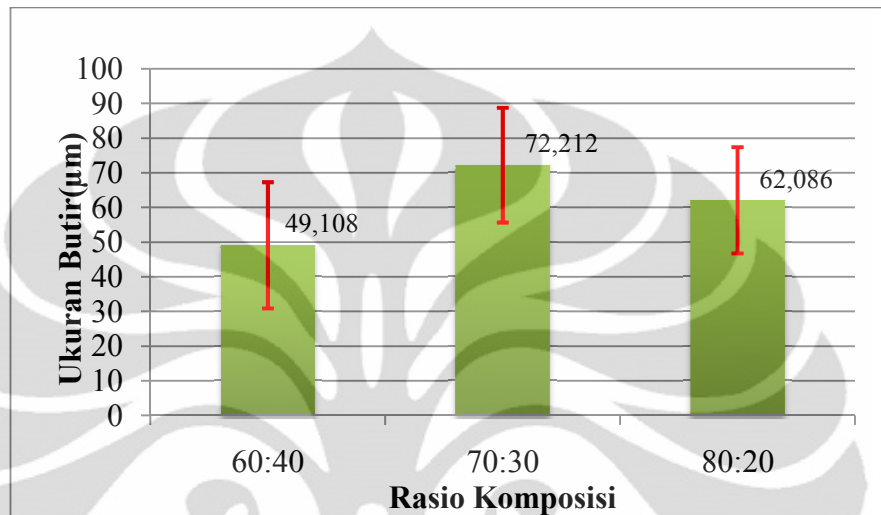
Gambar 4.12 Hasil pengamatan SEM komposit karbon rasio komposisi BB:ABK 80:20 (Perbesaran 400X)

Ringkasan ukuran butir setelah karbonisasi (dari Gambar 4.10 sampai 4.12) disajikan dalam Tabel 4.7 dibawah ini.

Tabel 4.7 Ukuran serbuk butir setelah karbonisasi

Data SEM	Ukuran Serbuk (μm)		
	60:40	70:30	80:20
a	76,46	54,83	67,82
b	35,79	89,64	74,49
c	43,34	64,26	42,81
d	57,84	90,20	48,91
e	32,11	62,13	76,40
Rata-rata	49,11	72,21	62,09

Dari Tabel 4.7 diatas diketahui bahwa rata-rata ukuran serbuk hasil pengamatan SEM untuk rasio komposisi BB:ABK 60:40, 70:30, dan 80:20 berturut-turut berukuran 49,11, 72,21, dan 62,09 μm . Untuk menunjukkan tren yang fluktuatif dari pengamatan SEM disajikan Gambar 4.11 seperti dibawah ini.



Gambar 4.13 Grafik ukuran butir setelah karbonisasi

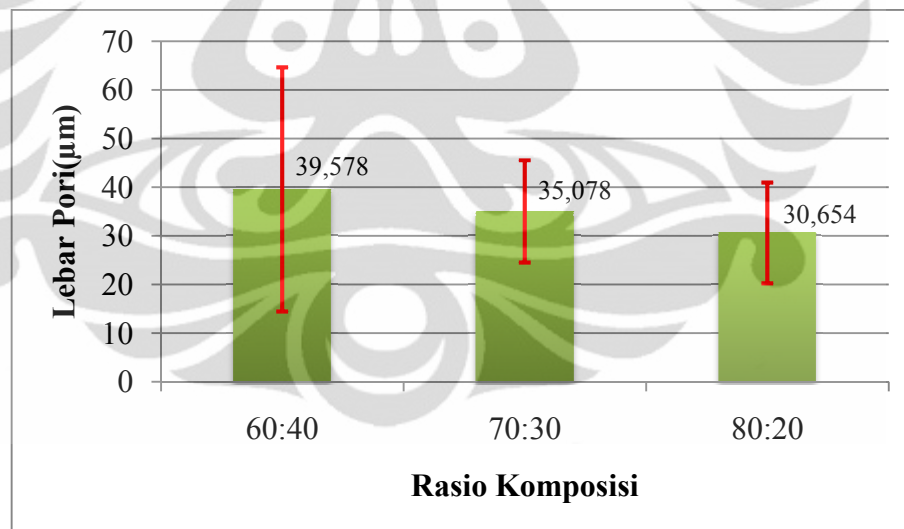
Dari Gambar 4.13 diatas, dapat dilihat bahwa terjadi peningkatan ukuran butir dari rasio komposisi BB:ABK 60:40 ke 70:30, lalu terjadi penurunan pada rasio 80:20. Jika dari ketiga rasio komposisi diatas dirata-ratakan lagi, maka diperoleh rata-rata ukuran serbuk sebesar 61,14 μm . Ukuran partikel tersebut bernilai lebih kecil dari hasil ayakan (sebelum karbonisasi) yang ditunjukkan pada tabel 4.1 dan 4.2 (BB 71,07 μm dan ABK 72,53 μm). Ukuran butir setelah karbonisasi lebih kecil karena saat karbonisasi berlangsung terjadi densifikasi (pemadatan) akibat penyatuan dari partikel-partikel serbuk.

Dari hasil pengamatan SEM dapat dilihat bahwa lebar *void* (porositas) berkurang seiring meningkatnya komposisi BB. Hal ini disebabkan karena, BB memiliki densitas yang lebih besar daripada ABK. Sehingga semakin tinggi komposisi BB maka semakin besar densitas komposit karbon, atau komposit karbon semakin padat sehingga porositas berkurang. Selain itu, jika merujuk pada hasil pengamatan SEM setelah pengayakan (Tabel 4.1 dan 4.2) diketahui bahwa BB memiliki ukuran butir yang lebih kecil dari ABK. Sehingga semakin banyak

komposisi BB, komposit karbon akan semakin padat karena kontak permukaan permukaan antar partikel semakin besar dan menyebabkan kerapatannya semakin besar pula. Sehingga porositas semakin berkurang seiring peningkatan komposisi BB. Tabel 4.8 dibawah ini menunjukkan lebar porositas pada rasio komposisi BB:ABK 60:40, 70:30, dan 80:20. Tren penurunan lebar porositas ditunjukkan pada Gambar 4.14.

Tabel 4.8 Lebar *void* setelah karbonisasi

Data SEM	Lebar Porositas (μm)		
	60:40	70:30	80:20
a	83,58	22,74	38,05
b	30,41	40,79	38,94
c	21,60	31,19	19,76
d	35,22	49,98	37,63
e	27,08	30,69	18,89
Rata-rata	39,578	35,078	30,654



Gambar 4.14 Grafik lebar *void* setelah karbonisasi

BAB 5

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil data dan pembahasan pada bab 4 maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Variasi rasio komposisi BB:ABK mempengaruhi nilai densitas, porositas, kekerasan dan ketahanan aus komposit karbon BB-ABK-*coal tar pitch*.
2. Densitas komposit karbon BB-ABK-*coal tar* meningkat dari rasio komposisi BB:ABK 60:40 (1,35 gr/cm³) ke 70:30 (1,53 gr/cm³), dan menurun pada rasio komposisi 80:20 (1.19 gr/cm³). Densitas tertinggi dimiliki oleh sampel dengan rasio komposisi BB:ABK 70:30.
3. Porositas komposit karbon BB-ABK-*coal tar pitch* menurun dari rasio komposisi BB:ABK 60:40 (40%) ke rasio komposisi 70:30 (32%), dan meningkat pada rasio komposisi 80:20 (47%). Porositas terendah dimiliki oleh sampel dengan rasio komposisi BB:ABK 70:30.
4. Kekerasan komposit karbon BB-ABK-*coal tar pitch* menurun dari rasio komposisi BB:ABK 60:40 (49,73 BHN) ke rasio komposisi 80:20 (32,29 BHN). Kekerasan tertinggi dimiliki oleh sampel dengan rasio komposisi BB:ABK 60:40.
5. Laju keausan komposit karbon BB-ABK-*coal tar pitch* cenderung meningkat pada rasio komposisi BB:ABK 60:40 (0,055 mm³/Nm) ke rasio komposisi 70:30 (0,066 mm³/Nm), dan menurun pada rasio komposisi 80:20 (0,063 mm³/Nm) meskipun tidak signifikan. Laju keausan terendah dimiliki oleh sampel dengan rasio komposisi BB:ABK 60:40.
6. Meningkatnya komposisi BB akan menyebabkan kenaikan pada nilai densitas, dan menurunkan prosentase porositas. Sedangkan meningkatnya komposisi ABK akan meningkatkan nilai kekerasan dan ketahanan aus.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Nugraha, Adidjaya Chandra. *Skripsi: Pengaruh Temperatur Sinter Terhadap Karakteristik Komposit Batubara – Coal Tar Pitch*. Departemen Teknik Metalurgi dan Material FTUI. Depok: 2010.
- [2] Widyastuti, dkk. *Kompaktibilitas Komposit Isotropik Al/Al₂O₃ Dengan Variabel Waktu Tahan Sinter*. Makara Science vol 12. 2008
- [3] Callister, William D. *Materials Science and Engineering* (2007) page 606. John Wiley & Sons.
- [4] R, C Blanco, et al. *Pitch-based carbon composites with granular reinforcement for frictional applications*. Pergamon Journal. 1999.
- [5] ASM Metals Handbook Volume 21: *Composites*. (USA: ASM International, 1990)
- [6] ASM Handbook Volume 7, *Powder Metallurgy Technologies and Applications* (USA: ASM International, 1990)
- [7] Anne Zulfia. *Diktat Kuliah Material Komposit*. Departemen Teknik Metalurgi dan Material. 2009.
- [8] Anne Zulfia. *Diktat Kuliah Teknologi Komposit*. Departemen Teknik Metalurgi dan Material. 2011.
- [9] Kurniawan Rio. *Skripsi: Pengaruh penambahan polyanilin terhadap karakterisasi komposit epoxy resin + grafit eaf + carbon black sebagai material pelat bipolar untuk polymer electrolyte membrane fuel cell*, Departemen Teknik Metalurgi dan Material. 2009.
- [10] D.F. Caulfield et al., *Wood Thermoplastic Composites Handbook of Wood Chemistry and Wood Composite*, Chap 13 (Taylor and Francis, 2005), hlm 4-5
- [11] Briand Rand, *Graphite structure, properties and manufacture*, Briand Rand, University of Pretoria
- [12] www.geology.com/coal diakses pada tanggal 5 Juni 2011 pukul 00.07

- [13] Lestari, Fransiska Pramuji. *Skripsi : Pengaruh Temperatur Sinter dan Fraksi Volume Penguat Al_2O_3 Terhadap Karakteristik Komposit Laminat Hibrid Al/SiC-Al/ Al_2O_3 Produk Metalurgi Serbuk*, Departemen Teknik Metalurgi dan Material. 2008.
- [14] David Chandrwan dan Myrna Ariati, *Metalurgi serbuk, Teori dan Aplikasi* Jilid 1. Depok. 1999
- [15] Erhard Klar, *Powder Metallurgy: Application, Advantages, and Limitation* (Ohio: American Society for Metals, 1983)
- [16] Froyen. L., and Verlinden. B., 1994. *Aluminium Matrix Composite Materials*. Talat 1402. Belgium. European Aluminium Associations (EAA)
- [17] Randal M. German, *Powder Metallurgy Science* (USA: Metal Powder Industries Federation, 1984)
- [18] http://www.imi.cnrc-nrc.gc.ca/.../poudres_english.gif (diunduh pada 30 Mei 2011 pukul 19.09)
- [19] Randall M. German, *Sintering Theory and Practice* (New York: John Wiley&Son, Inc., 1996)
- [20] Fritz V. Lenel, *Powder Metallurgy, Principles and Application*. New Jersey: Princeton, 1980
- [21] Manocha L.M. et al. *Carbon/carbon composites with heat-treated pitches I. Effect of treatment in air on the physical characteristics of coal tar pitches and the carbon matrix derived therefrom*. Pergamon Journal. 2000
- [22] K. Kawamura, M. Ono, and K. Okazaki, *Carbon*30(3), 429-434 (1992)
- [23] R. MORRELL, *Matrix Materials National Physical Laboratory* (Teddington, UK)
- [24] Deborah D.L.Chung, *Carbon Fiber Composite* (1992)
- [25] www.wovenwire.com/reference/particle-size.htm diakses pada tanggal 9 Juni 2011 pukul 19.45
- [26] Pramono, Agus Edi. *Penelitian Disertasi: Rekayasa dan Karakterisasi Material Komposit Karbon Karbon Berbasis Limbah Organik*, Departemen Teknik Metalurgi dan Material. 2010.

Sertifikat Analisis CHNSO Batubara

Lampiran 12



F-40013A

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

SERTIFIKAT ANALISIS
(CERTIFICATE OF ANALYSIS)

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

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

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

Jenis contoh /
Type of Sample : AB

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

Asal contoh
Origin of sample : -

Jumlah contoh /
Amount of sample : 1 (satu)

Nomor Laboratorium /
Laboratory Number : 3489 / 2009

Contoh diterima tanggal /
Sample received on : 10 Juli 2009

Waktu pelaksanaan pengujian /
Date of testing : 10 Juli 2009

HASIL ANALISIS / ANALYSIS RESULT :

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


Manajer Teknis
Lab Batubara


N. Teti Sumiati
NIP. 100011640

1 dari 1

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

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

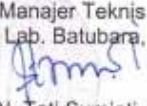
Contoh diterima tanggal / Sample received on : 6 Agustus 2009

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			
ULTIMATE :				
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 Sumlanti, 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) 5030483 Faksimile : (022) 6003373 e-mail : lab_ui@tekMIRA.esdm.go.id

**SERTIFIKAT ANALISIS
 (CERTIFICATE OF ANALYSIS)**

Terakreditasi No. LP-051-1/DN tgl. 19 Juni 2009

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

Dibuat untuk / Certified for : Agus Ecy 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.
 N/P. 100011540

1 dari 1

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

Tabel 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
60:40:00	9.0	12.6	8.4	30
70:30:00		14.7	6.3	
80:20:00		16.8	4.2	

Hasil pengukuran densitas BB, ABK dan Pitch

No	Densitas (gr/cm ³)		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
rata-rata	1,633	1,3758	1,01988

Perhitungan densitas komposit dengan hukum campuran

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