



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI KARAKTERISTIK KOMPOSIT KARBON
BATUBARA/ARANG BATOK KELAPA BERUKURAN 150 MESH
DENGAN Matriks *COAL TAR PITCH***

SKRIPSI

**AHMAD ZAZALI
0706268240**

**FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN METALURGI DAN MATERIAL
DEPOK
JUNI 2011**



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI KARAKTERISTIK KOMPOSIT KARBON
BATUBARA/ARANG BATOK KELAPA BERUKURAN 150 MESH
DENGAN Matriks *COAL TAR PITCH***

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

AHMAD ZAZALI
0706268240

**FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN METALURGI DAN MATERIAL
DEPOK
JUNI 2011**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Ahmad Zazali

NPM : 0706268240

Tanda Tangan :



Tanggal : Juni 2011

HALAMAN PENGESAHAN

Penelitian ini diajukan oleh :

Nama : Ahmad Zazali

NPM : 0706268240

Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material

Judul Penelitian : Studi Karakteristik Komposit Karbon Batubara/ Arang Batok
Kelapa Berukuran 150 Mesh Dengan Matriks *Coal Tar Pitch*

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

DEWAN PENGUJI

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

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

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

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

Ditetapkan di : Depok, Universitas Indonesia

Tanggal : Juni 2011

(.....)
(.....)
(.....)
(.....)

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi berjudul ” **Studi Karakteristik Komposit Karbon Batubara/Arang Batok Kelapa Berukuran 150 Mesh Dengan Matriks Coal Tar Pitch** ” ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Metalurgi dan Material pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Orang Tua dan Keluarga Saya yang senantiasa mendoakan saya dan selalu memberikan bantuan dukungan material dan moral;
- (2) Prof.Dr.Ir. Anne Zulfia Syahrial, M.Sc, selaku pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
- (3) Drs. Agus Edy Pramono, ST, M.Si selaku pembimbing lapangan yang telah banyak memberikan banyak bantuan dalam penyusunan skripsi ini. ;
- (4) Teman skripsi saya Ardianto dan Al Basri Amin yang selalu membantu saya dari awal penelitian sampai pembuatan skripsi ini;
- (5) Teman-teman Mahasiswa Teknik Metalurgi dan Material khususnya angkatan 2007;
- (6) Semua pihak yang telah membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata, saya berharap semoga Allah SWT membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu saya. Semoga skripsi ini dapat membawa manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi.

Depok, Juni 2011

Penulis

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

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

Nama : Ahmad Zazali
NPM : 0706268240
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Departemen : Teknik Metalurgi dan Material
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

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

**Studi Karakteristik Komposit Karbon Batubara/Arang Batok Kelapa
Berukuran 150 Mesh Dengan Matriks *Coal Tar Pitch***

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya tanpa meminta izin dari 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 : Juni 2011

Yang menyatakan



(Ahmad Zazali)

ABSTRAK

Nama : Ahmad Zazali

Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material

Judul : Studi Karakteristik Komposit Karbon Batubara/Arang Batok Kelapa Berukuran 150 Mesh Dengan Matriks *Coal Tar Pitch*

Komposit karbon adalah material komposit yang matriks dan penguatnya adalah karbon. Material ini biasanya digunakan pada berbagai aplikasi tertentu yang membutuhkan sifat mekanis yang baik dan mampu stabil pada suhu tinggi. Komposit karbon ini dibuat dengan material penyusun *coal tar pitch*, batubara(BB) dan arang batok kelapa(ABK). Dalam pembuatan komposit karbon ini akan divariasikan jumlah dari bahan penguat BB:ABK yaitu 60:40, 70:30, 80:20.

Proses pembuatan spesimen uji dilakukan dengan metode kompaksi serbuk panas dengan tekanan 78 Mpa, temperatur 100⁰C, waktu tahan 30 menit dan kemudian dikarbonisasi. Pengujian densitas dan porositas dilakukan untuk mengetahui kepadatan spesimen uji yang dihasilkan sedangkan pengujian kekerasan dan keausan bertujuan untuk mengetahui sifat mekanis spesimen uji.

Nilai densitas tertinggi dan persentase porositas terendah didapat pada saat komposisi BB:ABK 80:20 yaitu 1.53 gr/cm³ dan 32.14 %. Nilai kekerasan tertinggi dan laju keausan terendah terdapat pada saat komposisi BB:ABK 60:40 yaitu 38.54 BHN dan 0.05838 mm³/Nm.

Kata Kunci : komposit karbon, *coal tar pitch*, batubara, arang batok kelapa, kompaksi serbuk panas, karbonisasi, densitas, porositas, nilai kekerasan, laju keausan

ABSTRACT

Name : Ahmad Zazali
Majoring : Metallurgy and Materials Engineering
Title : Study of characteristic carbon composite coal/coconut shell charcoal mesh size 150 with coal tar pitch matrix

Carbon composite is kind of composite that using carbon as the matrix and reinforcement. This material is commonly used for applications which requires excellent mechanical properties and dimensional stability at high temperatures. Carbon composite consisting of coal tar pitch, coal, and coconut shell charcoal. Ratio between coal:coconut shell charcoal as reinforcement in the process of making this composite carbon is 60:40, 70:30, and 80:20.

Composite carbon are prepared by hot compaction method at pressure of 78 MPa, temperature of 100⁰C for half hour and then perform carbonization.

Porosity and density testing performed to determine the density of sample. Hardness and wear testing also performed to determine mechanical properties of specimens. Maximum density obtain was 1.53 gr/cm³ (ratio 80:20). Lower density value was 32.14 %(ratio 80:20). Maximum hardness was 38.54 BHN (ratio 60:40) which also have lowest wear rate value (0.05838 mm³/Nm).

Keyword: carbon composite, coal tar pitch, coal, coconut shell charcoal, hot compaction, carbonization, density, porosity, hardness , wear rate

DAFTAR ISI

Halaman Judul.....	i
Halaman Pernyataan Orisinalitas.....	ii
Halaman Pengesahan.....	iii
Kata Pengantar.....	iv
Lembar Persetujuan Publikasi Karya Ilmiah.....	v
Abstrak.....	vi
Abstract.....	vii
Daftar Isi.....	viii
Daftar Gambar.....	xi
Daftar Tabel.....	xiii
Daftar Lampiran.....	xiv
BAB 1. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Ruang Lingkup Penelitian.....	4
1.5 Sistematika Penulisan.....	4
BAB 2 DASAR TEORI.....	6
2.1 Material Komposit.....	6
2.2 Komposit Karbon.....	12

2.3 Material penyusun Komposit Karbon.....	17
2.3.1 Coal Tar Pitch.....	17
2.3.2 Batubara.....	19
2.3.3 Arang Batok Kelapa.....	21
2.4 Proses Kompaksi Serbuk.....	23
2.4.1 Pencampuran dan Pengadukan Partikel Serbuk.....	26
2.4.2 Kompaksi Serbuk.....	27
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	30
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	30
3.2 Alat Dan Bahan.....	31
3.2.1 Alat.....	31
3.2.2 Bahan.....	31
3.3 Prosedur Penelitian.....	33
3.3.1 Preparasi Sampel.....	33
3.3.1.1 Proses <i>Milling</i> Dan Pengayakan.....	33
3.3.1.2 Penimbangan.....	33
3.3.1.3 Pencampuran Bahan Baku.....	34
3.3.1.4 Pencetakan Panas (<i>Hot Pressing</i>).....	35
3.3.1.5 Karbonisasi.....	36
3.3.2 Karakterisasi Spesimen Uji.....	37

3.3.2.1 Pengujian densitas.....	37
3.3.2.2 Pengujian Porositas.....	39
3.3.2.3 Pengujian Kekerasan.....	39
3.3.2.4 Pengujian Keausan.....	39
3.3.2.5 Pengamatan SEM.....	40
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	42
4.1 Hasil Preparasi Sampel.....	42
4.1.1 Hasil Preparasi Bahan.....	42
4.1.2 Hasil Pencampuran.....	42
4.1.2 Hasil Pencetakan.....	43
4.1.3 Hasil Karbonisasi.....	45
4.2 Hasil Pengujian Spesimen Uji.....	45
4.2.1 Pengujian Densitas.....	45
4.2.2 Pengujian Porositas.....	49
4.2.3 Pengujian Kekerasan.....	51
4.2.4 Pengujian Keausan.....	53
4.2.5 Pengamatan SEM.....	56
BAB 5 KESIMPULAN.....	60
DAFTAR PUSTAKA.....	61
Lampiran.....	63

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Parameter Fasa Terdispersi dalam komposit.....	8
Gambar 2.2 Skema Ikatan Antarmuka.....	9
Gambar 2.3 Skema Ikatan Antarfasa.....	10
Gambar 2.4 <i>Contact Angle</i> yang terbentuk pada Komposit.....	11
Gambar 2.5 Energi permukaan.....	11
Gambar 2.6 Sifat mekanik dan densitas bahan pada tekanan pencetakan yang berbeda.....	14
Gambar 2.7 Grafik pengaruh temperatur sinter terhadap densitas komposit batubara / <i>coal tar pitch</i>	16
Gambar 2.8 Grafik pengaruh temperatur sinter terhadap porositas komposit batubara / <i>coal tar pitch</i>	16
Gambar 2.9 Skema umum proses produksi <i>coal tar pitch</i> dari batubara....	17
Gambar 2.10 Batubara jenis antrasit.....	21
Gambar 2.11 Arang Batok Kelapa.....	22
Gambar 2.12 Bentuk-bentuk partikel serbuk.....	24
Gambar 2.13. Mekanisme pencampuran serbuk.....	26
Gambar 2.14 kompaksi serbuk satu arah maupun dua arah.....	27
Gambar 2.15 Perilaku serbuk saat dikompaksi.....	29
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian.....	30
Gambar 3.2 (a) ilustrasi proses milling dan (b) alat pengayakan.....	33
Gambar 3.3 Timbangan digital	34

Gambar 3.4 Peralatan yang digunakan dalam pencampuran material.....	35
Gambar 3.5 (a) cetakan sampel dan (b) mesin kompaksi.....	36
Gambar 3.6 Hasil Uji TGA bahan batubara (BB), arang batok kelapa (ABK) dan <i>coal tar pitch</i>	37
Gambar 3.7. Peralatan yang dipakai untuk pengujian densitas dan porositas.....	38
Gambar 3.8. Ilustrasi uji keausan dengan metode Ogoshi.....	40
Gambar 3. 9. Peralatan pengujian SEM.....	41
Gambar 4.1. Sampel Hasil Pencampuran.....	43
Gambar 4.2. Sampel Hasil Pencetakan.....	44
Gambar 4.3 Pengaruh Komposisi BB:ABK Terhadap Densitas Komposit Karbon.....	46
Gambar 4.4 Perbandingan nilai kekerasan komposit penguat BB dan penguat ABK pada berbagai temperatur karbonisasi.....	48
Gambar 4.5 Pengaruh Komposisi BB:ABK Terhadap Porositas Komposit Karbon.....	50
Gambar 4.6 Pengaruh Komposisi BB:ABK Terhadap Kekerasan Komposit Karbon.....	52
Gambar 4.7 Pengaruh Komposisi BB:ABK Terhadap Laju Keausan Komposit Karbon.....	55
Gambar 4.7 pengaruh ratio komposisi BB:ABK terhadap ukuran partikel komposit.....	57
Gambar 4.8 Bentuk topografi struktur mikro komposit karbon dengan komposisi BB:ABK 60:40.....	58
Gambar 4.9 Bentuk topografi struktur mikro komposit karbon dengan komposisi BB:ABK 70:30.....	58

Gambar 4.10 Bentuk topografi struktur mikro komposit karbon dengan komposisi BB:ABK 80:20.....	58
---	----

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Sifat sampel hasil penelitian C.Blanco et al pada tekanan pencetakan yang berbeda.....	13
Tabel 2.2. Spesifikasi bahan penguat yang digunakan dalam penelitian GUO Ling-jun et al.....	15
Tabel 2.3 Sifat <i>coal tar pitch</i>	18
Table 3.1 Kandungan Unsur Dalam <i>Coal Tar Pitch</i>	32
Table 3.2 Kandungan Unsur-unsur Dalam Batubara.....	32
Table 3.3 Kandungan Unsur-unsur Dalam Arang Batok Kelapa.....	32
Tabel 3.4 Formulasi untuk sebuah sampel komposit.....	34
Tabel 4.1 Data Hasil Pengujian Densitas.....	46
Tabel 4.2 Data Hasil Pengujian Densitas Bahan BB Dan ABK	47
Tabel 4.3 Data Hasil Pengujian Porositas.....	49
Tabel 4.4 Data Hasil Pengujian kekerasan.....	52
Tabel 4.5 Data Hasil Pengujian keausan.....	54
Tabel 4.6 Data kuantitatif hasil pengamatan SEM	56

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Sertifikat Analisis CHNSO Batubara.....	63
Lampiran 2. Sertifikat Analisis CHNSO Arang Batok Kelapa.....	64
Lampiran 3. Sertifikat Analisis CHNSO <i>Coal Tar Pitch</i>	65
Lampiran 4 Perhitungan Densitas Komposit Dengan Hukum Campuran...	66
Lampiran 5 Gambar Pengamatan SEM komposisi BB:ABK 60:40.....	67
Lampiran 6 Gambar Pengamatan SEM komposisi BB:ABK 70:30.....	68
Lampiran 7 Gambar Pengamatan SEM komposisi BB:ABK 80:20.....	69

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi yang sangat pesat, memicu keinginan manusia untuk mendapatkan material dengan kombinasi sifat yang lebih baik yang tidak dapat dipenuhi oleh paduan logam konvensional, keramik ataupun bahan polimer. Sifat material yang lebih baik itu dapat diperoleh dengan mengkombinasikan beberapa material konvensional yang produknya dinamakan material komposit. Material komposit adalah material yang dibuat dari gabungan material penguat (*reinforcement*) dan matriks. Tujuan utama dari pembuatan material komposit adalah untuk mendapatkan material yang memiliki karakteristik unggul dari beberapa sifat-sifat material komponen penyusunnya^[1], seperti kekuatan yang tinggi, densitas yang rendah, ketahanan abrasi yang tinggi, dan dapat dipakai pada temperatur kerja yang tinggi, dan lain-lain. Selain itu, diharapkan juga material yang dihasilkan memiliki harga yang ekonomis. Dengan memilih kombinasi material penyusun yang tepat, pembuatan material komposit akan dapat menghasilkan suatu material komposit dengan kebutuhan sifat yang kita inginkan dan dapat bermanfaat tepat untuk sebuah aplikasi tertentu.

Salah satu material komposit yang sedang dikembangkan saat ini adalah komposit karbon. Komposit karbon adalah material komposit yang matriks dan penguatnya adalah karbon^[1]. Material ini biasanya digunakan pada aplikasi temperatur tinggi karena memiliki stabilitas termal yang sangat baik, aplikasi ini dipakai didasarkan oleh kombinasi sifat yang unik dari material komposit ini. Umumnya kelemahan dari komposit karbon ini adalah dibutuhkannya biaya yang tinggi untuk memproduksi material tersebut. Hal ini mengakibatkan aplikasi material ini sangat terbatas, biasanya hanya dipakai untuk aplikasi tertentu seperti untuk bahan rem pesawat terbang, rem mobil balap, hidung roket, dan sering dipakai pada industri militer^[2].

Proses yang paling umum digunakan untuk membuat material komposit karbon ini adalah proses *chemical vapour deposition* (CVD) menggunakan dekomposisi termal dari hidrokarbon dan *liquid impregnation* dari prekursor organik seperti resin atau *pitch*)^[3]. Proses ini membutuhkan biaya yang besar karena membutuhkan temperatur tinggi dan waktu yang tidak sedikit^[2]. Oleh karena komposit karbon memiliki banyak sifat unggul, maka pada penelitian ini akan dibuat komposit karbon berbahan dasar matriks prekursor dan *reinforcement* yang relatif murah dan mudah didapat serta menggunakan proses pabrikasi yang simpel, sehingga nantinya dapat dihasilkan material komposit karbon yang biaya produksinya murah.

Komposit karbon yang akan dibuat pada penelitian ini adalah komposit karbon berpenguat partikel. Bahan dasar pembuatannya adalah limbah batubara, arang batok kelapa, dan *coal tar pitch*. Pemilihan bahan-bahan dasar ini bersumber dari keinginan untuk mendapatkan material komposit karbon yang memiliki sifat-sifat yang baik, seperti densitas tinggi, kekerasan tinggi, ketahanan abrasi yang tinggi, dapat dipakai pada aplikasi temperatur tinggi, dan murah biaya produksinya.

Selain berdasarkan pada keinginan mendapatkan sifat material yang unggul, dasar pemilihan bahan baku pembuatan komposit ini adalah untuk optimalisasi manfaat material bahan baku, seperti arang batok kelapa yang pada dasarnya adalah limbah dari buah kelapa dapat ditingkatkan nilainya menjadi bahan dasar material baru yang memiliki sifat-sifat yang unggul. Bahan *coal tar pitch* adalah produk sampingan dari pembuatan batubara yang sering dipakai sebagai bahan dasar untuk pembuatan jalan aspal. *Coal tar pitch* memiliki sifat unggul yaitu dapat digunakan sebagai pengikat yang baik dalam pembuatan material komposit^[3]. Pemakaian *coal tar pitch* sebagai unsur penyusun berharap didapatkan material komposit karbon yang memiliki ikatan yang baik sehingga memiliki kerapatan yang tinggi dan kekuatan yang baik. Bahan baku lainnya adalah limbah batubara yang berbentuk partikel yang jumlahnya relatif melimpah. Dalam penelitian ini, limbah batubara dan arang batok kelapa akan menjadi fasa penguat (*reinforcement*) sehingga diharapkan material yang dihasilkan memiliki kekuatan, kekerasan dan ketahanan abrasi yang tinggi.

1.2 Perumusan Masalah

Mahalnya biaya produksi untuk menghasilkan komposit karbon dan keinginan untuk mengoptimalkan nilai dan fungsi dari bahan baku (*coal tar pitch*, batubara dan arang batok kelapa) mengilhami dilakukannya penelitian ini. Oleh karena itu, maka dipilihlah proses produksi yang simpel dan murah dan diharapkan dari penelitian ini dihasilkan material yang memiliki karakteristik yang unggul dan murah.

Pada Penelitian ini akan dibuat komposit karbon dengan bahan baku limbah batu bara dan arang batok kelapa dengan ukuran partikel *mesh* 150 dengan fraksi massa keduanya yaitu 70%, dengan variasi fraksi masing-masing 80:20, 70:30 dan 60:40 dan *coal tar pitch* (yang berbentuk padatan) dengan fraksi massa 30%. Pada penelitian ini *coal tar pitch* berperan sebagai matriks prekursor sedangkan batu bara dan arang batok kelapa sebagai partikel penguat

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik dari material komposit karbon dengan bahan baku *coal tar pitch*, limbah batu bara dan arang batok kelapa yang dibuat dengan metode *hot pressing* dan dikarbonisasi dalam dapur vakum. Sampel tersebut selanjutnya dikarakterisasi dengan beberapa pengujian seperti uji kekerasan, uji densitas dan uji porositas, uji keausan, dan pengamatan mikrostruktur dengan SEM. Hasil dari pengujian-pengujian yang dilakukan kemudian dianalisis.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Membuat material komposit karbon dengan prekursor matriks *coal tar pitch* dan penguat partikel limbah batu bara(BB) dan arang batok kelapa(ABK) menggunakan metode metalurgi serbuk(*hot pressing*).
2. Menganalisis pengaruh perbandingan komposisi partikel penguat BB:ABK (80:20 ; 70:30 ; 60:40) ukuran partikel 150 mesh terhadap sifat fisik(densitas dan porositas) dan sifat mekanis (kekerasan, keausan, dan ketangguhan) komposit tersebut.

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup dari penelitian yang akan dilakukan dibatasi pada beberapa hal, yaitu :

1. Komposit karbon dibuat dengan partikel penguat limbah batu bara dan arang batok kelapa ukuran 150# dengan variasi fraksi 80:20, 70:30, 60:40 dan total fraksi keduanya 70%. Sedangkan matriks yang digunakan yaitu *coal tar pitch*, dengan fraksi 30%. *Mixing* dilakukan pada temperatur 80-100°C selama \pm 15 menit.
2. Proses yang dilakukan untuk menghasilkan komposit yaitu *hot pressing* dengan tekanan sebesar 11 USon atau 78 Mpa dan suhu 100°C ditahan selama 30 menit. Kemudian dilakukan proses karbonisasi pada suhu 500-550°C dalam oven dan ditahan selama 15 menit.
3. Kemudian komposit yang dihasilkan selanjutnya dikarakterisasi dengan beberapa pengujian, yaitu :
 - a. uji densitas
 - b. uji porositas
 - c. uji kekerasan
 - d. uji keausan
 - e. pengamatan mikrostruktur dengan SEM

1.5 Sistematika Penulisan

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

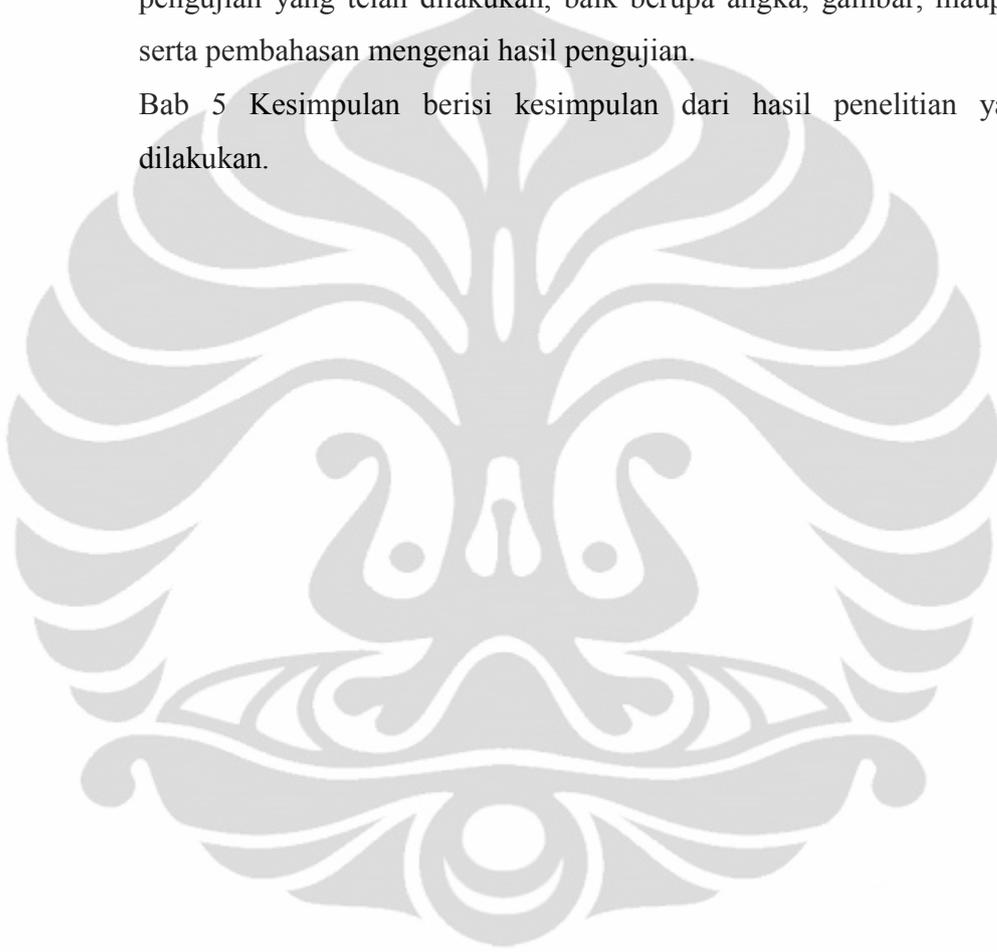
Bab 1 Pendahuluan, berisi mengenai latar belakang penelitian, tujuan penelitian, ruang lingkup penelitian, dan sistematika penulisan.

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

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

Bab 4 Hasil dan Pembahasan, berisi pengolahan data yang didapat dari hasil pengujian yang telah dilakukan, baik berupa angka, gambar, maupun grafik serta pembahasan mengenai hasil pengujian.

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



BAB 2

DASAR TEORI

2.1 Material Komposit

Material komposit didefinisikan sebagai gabungan dua atau lebih material dalam skala makroskopis sehingga dihasilkan material baru dengan karakteristik yang berbeda dari material penyusunnya. Material komposit ini dibuat bertujuan untuk mendapatkan sifat material yang lebih unggul dari material penyusunnya, seperti peningkatan sifat mekanik (kekuatan, kekerasan, ketangguhan), perbaikan sifat fisik (densitas dan porositas), optimalisasi sifat thermal (ekspansi *thermal*, konduktivitas *thermal*, pelunakan dan titik leleh) dan lain-lain^[1].

Pada suatu campuran komposit, perlu dilakukan sebuah hipotesis awal mengenai sifat dari material komposit yang diinginkan sesuai dengan aplikasinya. Dari hipotesis tersebut, dapat diprediksi material bahan baku apa yang dapat digunakan sebagai konstituen penyusun material komposit yang diinginkan. Sebagai contoh, diinginkan sebuah komposit dengan sifat mekanis yang baik dan juga sifat konduktivitas yang baik. Dalam pembuatannya maka dapat digunakan material polimer yang memiliki sifat mekanis yang baik, tetapi sifat konduktivitasnya kurang baik. Sifat konduktivitas ini dapat ditingkatkan dengan penambahan penguat karbon. Namun, penambahan penguat karbon ini dapat menurunkan sifat mekanis dari material komposit yang dihasilkan karena sifatnya yang getas. Oleh karena itu, dibutuhkan komposisi bahan dasar yang tepat untuk mendapatkan sifat mekanis dan konduktivitas yang optimal^[3].

Material komposit terdiri dari 2 bagian utama yaitu^[4]:

- a. Matriks berfungsi sebagai pengikat dan biasanya menjadi bagian terbesar dalam penyusunan material komposit ini. Pemilihan matriks ini menjadi sangat penting karena dalam suatu komposit dibutuhkan sifat mekanis yang baik, sifat mampuproses yang baik, dan juga memiliki resistansi yang baik terhadap bahan kimia dan panas. Fungsi dari matrik pada komposit adalah^[5]:
 - Mentransfer tegangan ke serat.
 - Menginfiltrasi serat dan mempercepat pembekuan.

- Membentuk ikatan koheren, permukaan matrik/serat.
- Melindungi serat partikel terhadap serangan kimia, seperti korosi dan dapat melindungi dari kerusakan mekanik, seperti aus
- Memisahkan serat.
- Melepas ikatan.
- Membuat komposit tetap stabil setelah proses manufaktur.
- Matriks dapat juga menentukan karakteristik komposit seperti sifat keuletannya, kekuatan impaknya, dll. Contoh untuk persyaratan ketangguhan yang lebih tinggi, bisa dipilih komposit dengan matriks berbasis thermoplastik.

b. *Filler* (pengisi), berfungsi sebagai penguat dalam komposit untuk meningkatkan sifat dari material komposit yang dihasilkan dan memiliki kemampuan untuk ditempatkan pada arah pembebanan untuk meningkatkan sifat mekanisnya^[1]. Bahan *filler* komposit memiliki berbagai macam bentuk, seperti serat, partikel, serpihan, atau juga dapat berbentuk yang lain^[6].

Dari hasil gabungan antara matriks dan filler/ penguat diharapkan akan mendapatkan suatu material baru yang memiliki sifat tertentu yang lebih baik. Sifat dari sebuah material komposit dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain:

1. Jumlah material yang digunakan

Jumlah dari material penyusun akan mempengaruhi sifat yang dihasilkan dari 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 dan densitas, dapat diprediksi dengan menggunakan *rule of mixture*^[1].

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

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

Keterangan : E_c = Modulus elastisitas komposit [Pa]

E_f = Modulus elastisitas penguat [Pa]

E_m = Modulus elastisitas matriks [Pa]

V_c = Volum komposit [%]

V_f = Volum penguat [%]

V_m = Volum matriks [%]

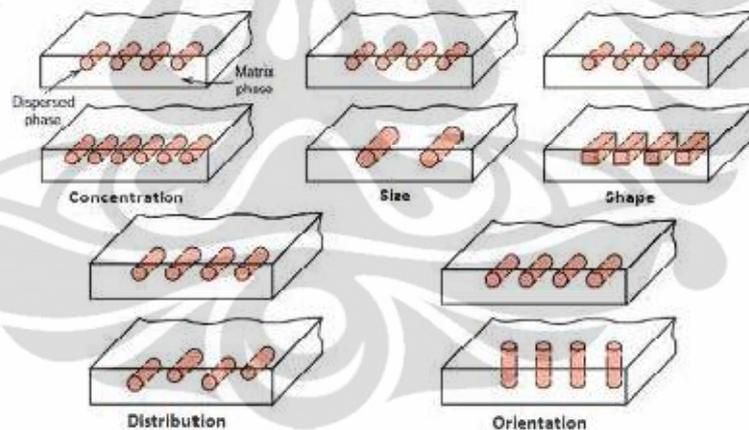
R_c = Densitas komposit [gr/cm^3]

R_f = Densitas penguat [gr/cm^3]

R_m = Densitas matriks [gr/cm^3]

2. Fasa yang terdispersi

Fasa yang terdispersi dalam matriks juga mempengaruhi sifat komposit yang dihasilkan. Fasa yang terdispersi meliputi distribusi, konsentrasi, orientasi, ukuran maupun bentuk dari fasa^[3], seperti yang terlihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Parameter Fasa Terdispersi^[1]

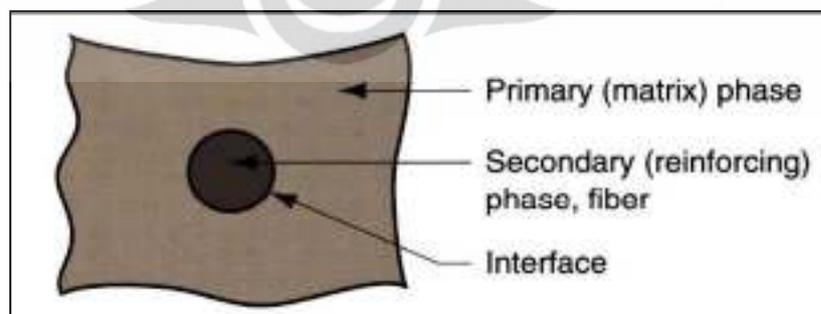
Pengaruh parameter fasa terdispersi, antara lain :

- 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

- Pada sistem komposit, penguat dengan orientasi yang searah dengan pembebanan akan mampu memberikan sifat mekanis yang lebih baik terhadap pembebanan tersebut.
- Fasa yang memiliki bentuk silinder lebih baik karena tidak mempunyai tegangan sisa, sehingga lebih tahan terhadap pembebanan.
- Ukuran fasa yang kecil lebih baik karena mampu menahan dan mentransfer beban.

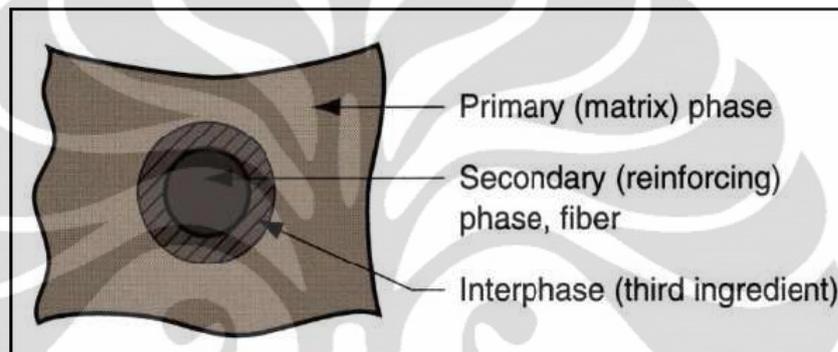
3. Ikatan Antara Matriks dan Penguat

Pencampuran antara matriks dan penguat tidak akan sempurna tanpa adanya ikatan yang terbentuk diantara keduanya. Ikatan ini memiliki peranan yang sangat penting dalam penentuan sifat akhir dari komposit. Ikatan ini terbagi menjadi dua jenis yaitu ikatan antarmuka dan ikatan antarfasa. 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 meningkatkan sifat ikatan dari material komposit yang diinginkan. Ikatan antarmuka ini mempengaruhi kekuatan, kekakuan, ketahanan fleksural, dan degradasi akibat lingkungan pada material komposit. Ikatan antarmuka mempunyai sifat fisik dan mekanik yang unik dan tidak merupakan sifat masing-masing matriks maupun penguatnya. Ikatan antarmuka biasanya diusahakan '*zero thickness*' dan mempunyai ikatan yang sangat bagus^[3]. Skema ikatan antarmuka dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Skema Ikatan Antarmuka^[3]

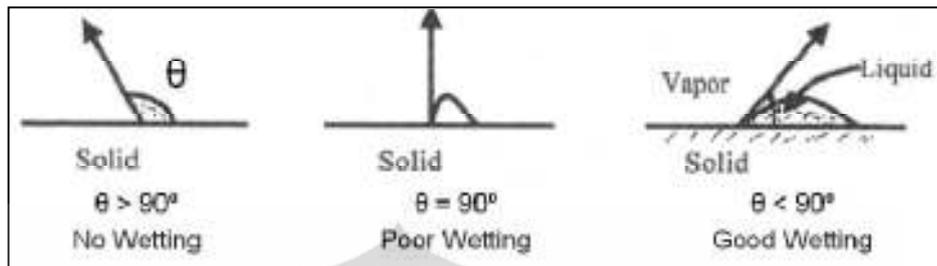
Sedangkan ikatan antarfasa adalah sebuah ikatan dimana terbentuk sebuah lapisan fasa ketiga dalam suatu ikatan antarmuka. Antarfasa dapat terbentuk apabila ikatan antarmuka dari konstituen penyusun terjadi sangat baik dan mampu berdifusi untuk menciptakan fasa yang ketiga. Aditif juga dapat ditambahkan untuk menciptakan ikatan antarfasa ini. Fasa ketiga ini memiliki sifat gabungan dari kedua fasa konstituen pembentuknya sehingga sangat berpengaruh terhadap sifat komposit yang terbentuk^[3]. Skema ikatan antarfasa dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Skema Ikatan Antarfasa^[3]

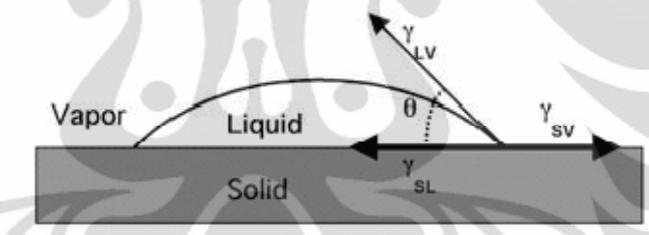
2.5.4 Daya Pembasahan

Wettability merupakan kemampuan suatu matriks untuk membasahi seluruh permukaan *reinforced* agar terjadinya suatu ikatan yang baik. Untuk melihat sifat kemampubasahan yang dihasilkan dapat dilihat melalui sudut kontak (*contact angle*) dari pembasahan tersebut. Apabila terlihat sudut kontak di bawah 90^0 , maka kemampubasahan dari ikatan antarmuka tersebut dapat dikatakan baik, sedangkan pembasahan tidak akan terjadi apabila sudut kontak lebih dari sudut 90^0 dan agar terjadi pembasahan diperlukan suatu *wetting agent* ^[3]. Pembentukan sudut kontak dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Contact Angle yang terbentuk pada Komposit^[3]

Pembasahan dipengaruhi oleh besar energi permukaan yang terbentuk, skema pembasahan dapat terlihat pada Gambar 2.5. Agar dapat terjadi pembasahan yang baik, energi permukaan yang terjadi pada penguat harus lebih besar dari energi permukaan pada matriks. Energi permukaan ini dapat dihitung dengan menggunakan persamaan Young – Dupré^[7]:



Gambar 2.5 Energi permukaan^[7]

$$WA = \gamma_{LV} + \gamma_{SV} - \gamma_{SL} \dots\dots\dots(2.3)$$

$$\gamma_{SV} = \gamma_{LV} \cos\theta + \gamma_{SL} \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan : WA = *Work of Adhesion*

γ_{SV} = Energi Permukaan *Solid – Vapor*

γ_{LV} = Energi Permukaan *Liquid - Vapor*

γ_{SL} = Energi Permukaan *Solid – Liquid*

θ = *contact angle*

Dengan mensubstitusi persamaan (2.4) ke dalam persamaan (2.3), maka didapat persamaan :

$$WA = \gamma_{LV} (1 + \cos \theta) \dots\dots\dots(2.5)$$

2.2 Komposit Karbon

Komposit karbon adalah material komposit yang matriks dan penguatnya adalah karbon^[1]. Material ini biasanya digunakan pada aplikasi struktural dalam kondisi lingkungan temperatur tinggi. Hal ini disebabkan material ini memiliki kekuatan yang relatif tinggi dan dapat mempertahankan kekuatan ini pada temperatur tinggi pada kisaran temperatur lebih dari 1500 °C, selain itu material ini juga digunakan pada aplikasi yang membutuhkan material dengan densitas yang rendah dan ketahanan aus yang tinggi seperti pada bantalan rem balap^[2,8].

Kelemahan dari pembuatan komposit karbon ini adalah dibutuhkan biaya yang tinggi untuk memproduksi material tersebut. Hal ini mengakibatkan aplikasi material ini terbatas, umumnya hanya dipakai untuk aplikasi tertentu seperti untuk bahan rem pesawat terbang, rem mobil balap, hidung roket, dan sering dipakai pada industri militer. Selain proses produksi yang mahal, kelemahan lain dari komposit karbon ini adalah material ini rentan terhadap reaksi dengan oksigen pada suhu diatas 450°C. Untuk aplikasi diatas temperatur 450°C, komposit ini perlu dilindungi terhadap oksidasi. Oleh karena itu studi tentang perlindungan oksidasi komposit karbon adalah sama pentingnya dengan pengembangan komposit sendiri. Untuk system proteksi dari oksidasi, dapat dilakukan dengan penambahan inhibitor seperti B, Si, Zr atau unsur lainnya atau dengan pelapisan lapisan keramik di permukaan^[8].

Proses yang paling umum digunakan untuk membuat material komposit karbon ini adalah proses *chemical vapour deposition* (CVD) menggunakan dekomposisi termal dari hidrokarbon dan *liquid impregnation* dari prekursor organik seperti resin atau *pitch*^[2]. Proses ini membutuhkan biaya yang besar karena membutuhkan temperatur tinggi dan waktu yang tidak sedikit^[2].

Pada penelitian yang dilakukan oleh C. Blanco et al telah dibuat komposit karbon dengan matriks *coal tar pitch* berupa *commercial pitch* (BI5) dan penguat

butiran grafit (GR). Penelitian ini memvariasikan persentase *coal tar pitch* yang berbeda-beda 15, 30, 40 dan 50 %wt yang kemudian dibentuk pada suhu 40°C, tekanan 40 MPa dan suhu karbonisasi 1000°C. Hasilnya, pada sampel yang dibuat dengan persentase *coal tar pitch* 40 % wt dan 50% wt terjadi deformasi selama karbonisasi dan sampel dengan 15 dan 30 %wt pitch tidak terjadi deformasi dan bentuknya tetap setelah karbonisasi. Namun demikian, persentase Pitch 15 % wt. tidak cukup untuk mengikat partikel grafit. Pada persentase pitch 30% wt, sampel pelet yang dihasilkan sangat padat dan tidak ada deformasi terlihat^[2].

Pada penelitian yang dilakukan C. Blanco et al tentang pemilihan tekanan cetakan optimal, sampel pelet disusun dengan pitch 30%wt dan grafit 70%wt , dan dicetak dengan diberikan masing-masing tekanan 20, 40, 80, 120 dan 160 MPa. Optimalisasi tekanan saat pencetakan dilihat dengan mengukur jumlah porositas sampel pelet yang dihasilkan dan kekuatan mekanik sampel yang dikarbonisasi. Hasilnya yaitu porositas sampel pelet menurun dengan meningkatnya tekanan saat pencetakan, nilainya porositasnya bervariasi dari 14,9% vol untuk tekanan 20 MPa menjadi 1,5 dan 1,2 untuk 120 dan 160 MPa, datanya dapat dilihat pada Tabel 2.1 di bawah ini^[2].

Tabel 2.1 Sifat sampel pelet pada tekanan pencetakan yang berbeda^[2]

Pressure ^a	Porosity ^b	ΔV^c
20	14.9	-2.5
40	7.0	-4.7
80	3.1	-1.3
120	1.5	+3.1
160	1.2	+4.2

^a Moulding pressure (MPa).

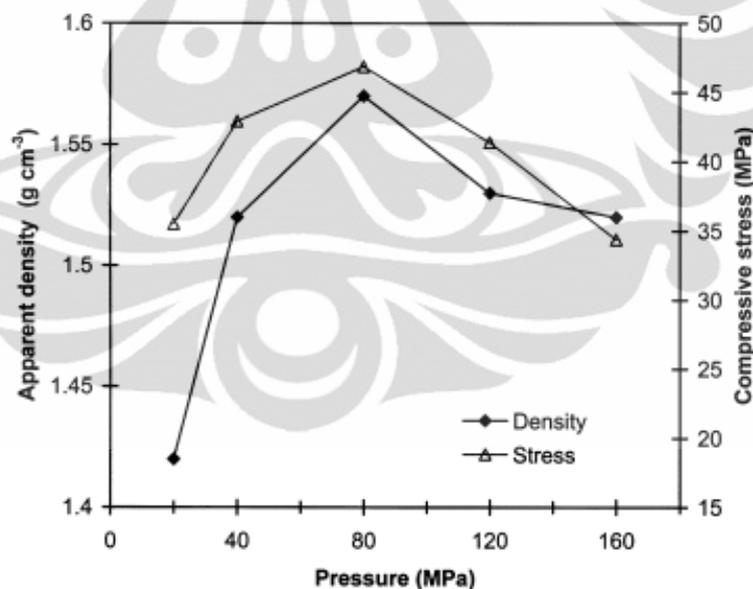
^b Open porosity of green pellets (vol.%).

^c Volume change on carbonisation (%).

Tabel 2.1 juga menunjukkan variasi volume sampel pelet setelah karbonisasi yang mencerminkan penyusutan atau pengembangan dari sampel pelet. Sampel menyusut ketika dicetak dengan tekanan kurang dari 80 MPa dan mengembang

ketika dicetak dengan tekanan yang tinggi. Hasil ini dapat dikaitkan dengan jumlah porositas yang rendah dari sampel pelet yang diperoleh dengan tekanan yang lebih tinggi (120 dan 160 MPa). Selama proses karbonisasi, senyawa *volatile* yang terdapat pada *coal tar pitch* akan keluar. Ketika porositas bahan yang dihasilkan rendah akibat tekanan pencetakan yang lebih tinggi, senyawa *volatile* akan berusaha untuk keluar, sehingga akan ada tegangan dan ekspansi pada bahan sehingga akan terjadi pengembangan pada sampel^[2].

Fakta lain hasil penelitian C. Blanco et al pada Gambar 2.6, densitas dan kekuatan tekan sampel pelet akan meningkat seiring peningkatan tekanan, dimana mencapai nilai maksimum pada tekanan 80 MPa dan mengalami penurunan untuk tekanan yang lebih tinggi^[2]. Selain tekanan, peningkatan kekuatan tekan ini sangat dipengaruhi oleh kuantitas matriks dan penguat yang digunakan. Jika jumlah persentase penguat dan matriks berada pada kisaran yang tepat maka akan didapat peningkatan kekuatan yang besar^[8].



Gambar. 2.6 Sifat mekanik dan densitas bahan pada tekanan pencetakan yang berbeda^[2]

Pada penelitian lainnya yang dilakukan GUO Ling-jun et al, komposit karbon yang dibuat akan dibandingkan pengaruh dari 3 jenis penguat partikel yang memiliki

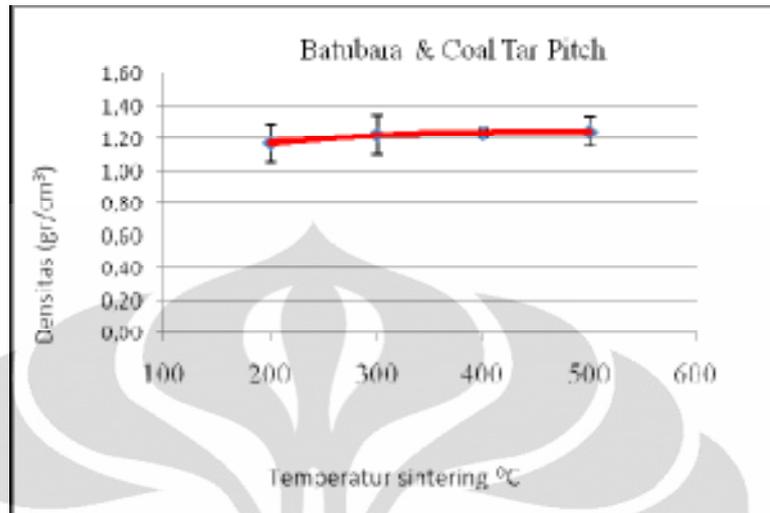
bahan yang berbeda-beda, yaitu *pitch coke 1*, *pitch coke 2*, dan *metallurgical coke*. Pada variasi tiga bahan ini akan diamati nilai densitas setelah tahapan proses dilakukan. tahapan proses pembuatan sampel ini dengan bahan dicampur, dipadatkan dan kemudian di grafitisasi. Setelah dilakukan proses grafitisasi, komposit dengan penguat *metallurgical coke* memiliki nilai densitas terkecil karena di dalamnya lebih banyak terdapat bahan yang mungkin dapat menguap ketika proses grafitisasi, seperti abu, sulfur, dll. Spesifikasi kandungan bahan-bahan yang dapat menguap saat proses grafitisasi dapat dilihat pada tabel 2.2. Hal itulah yang menyebabkan banyaknya ruang dalam spesimen yang dihasilkan dan menyebabkan nilai densitas spesimen dengan penguat metalurgi coke kecil^[9].

Tabel 2.2. Spesifikasi bahan penguat yang digunakan dalam penelitian GUO Ling-jun et al^[9].

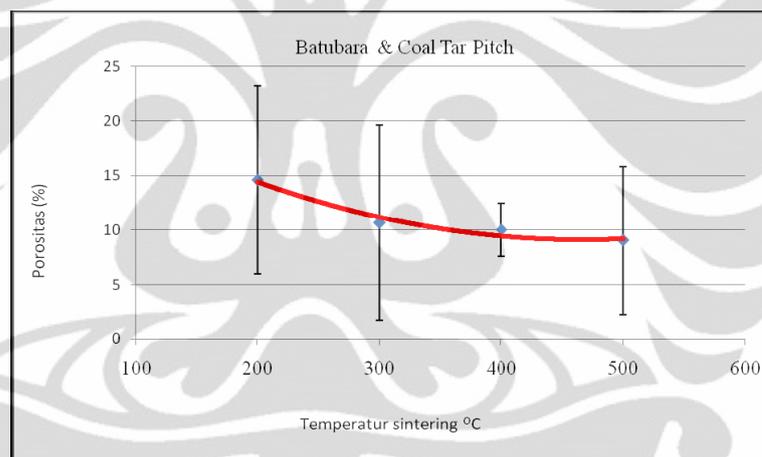
Category of cokes	Volatile w/%	Ash w/%	Sulfur w/%	Moisture w/%	True density $\rho/g.cm^{-3}$
No.1 pitch coke	0.7–1.0	0.05–0.15	≤ 0.25	0.1–0.15	2.13
No.2 pitch coke	0.52	0.21	0.20	≤ 1.0	1.96
Metallurgical coke	≤ 1.2	≤ 12.5	≤ 0.6	≤ 1.0	1.90

Pada dasarnya, komposit karbon memiliki nilai densitas sekitar 1.6-2.0 gm/cm³ yang jauh lebih rendah dibandingkan logam dan keramik dan jumlah mikroporositas yang tersebar merata, namun nilai ini dapat sangat bervariasi. Variasi densitas komposit ini sangat dipengaruhi jenis dan jumlah penguat serta matriks yang digunakan dan temperatur karbonisasi^[8].

Hasil penelitian yang dilakukan Adidjaya Chandra N. yang menggunakan *coal tar pitch* dan batubara sebagai bahan dasar pembuatan komposit karbon dengan variasi temperatur sinter yang dilakukan dimulai dari 200⁰C, 300⁰C, 400⁰C dan 500⁰C diperoleh bahwa densitas tertinggi dan porositas terendah dicapai pada temperatur karbonisasi 500⁰C dapat dilihat pada Gambar 2.7 dan 2.8^[10]. Didapatnya jumlah porositas yang rendah ketika temperatur karbonisasi 500⁰C, disebabkan oleh semakin banyaknya senyawa-senyawa yang menguap dan meninggalkan poros pada saat spesimen dikarbonisasi.



Gambar 2.7 Grafik pengaruh temperatur sinter terhadap densitas komposit batubara / coal tar pitch^[10]



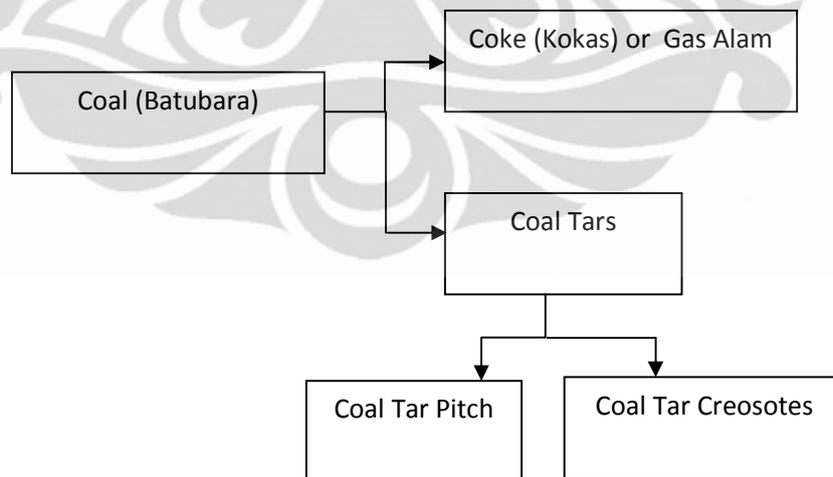
Gambar 2.8 Grafik pengaruh temperatur sinter terhadap porositas komposit batubara / coal tar pitch^[10]

Pada Gambar 2.7 dan 2.8 hasil penelitian di atas menunjukkan bahwa pada saat dicapai densitas tertinggi, maka akan didapat kepadatan komposit yang tinggi pula/porositasnya rendah.

2.3 Material Penyusun Komposit Karbon

2.3.1 Coal Tar Pitch

Coal tar pitch adalah hasil sampingan dari proses distilasi/ pengolahan panas *coal tar*, dimana produk utamanya adalah *coal tar creosote*^[11]. *Coal tar pitch* adalah bahan yang sering digunakan sebagai prekursor untuk serat karbon pada komposit karbon. *Pitch* sendiri sebenarnya dapat berasal dari residu hasil distilasi minyak mentah di bawah tekanan atmosfer dan juga bisa diperoleh dari residu hasil distilasi batubara. Kandungan senyawa dari *Coal tar pitch* sangat bervariasi tergantung pada kondisi distilasi, termasuk waktu dan suhu. Jumlah senyawa yang terkandung dalam *coal tar pitch* ada diperkirakan berjumlah ribuan. Panampakan visual dari *Coal tar pitch* adalah mengkilat, berwarna coklat tua kehitaman dan di dalamnya mengandung hidrokarbon aromatik polisiklik, metil, turunan polimetil, dan senyawa heteronuklir^[12]. *Coal tar pitch* termasuk jenis *thermoplast* yang akan meleleh saat dipanaskan. Lelehan *Coal tar pitch* ini dapat dibentuk menjadi serat *pitch* dengan proses karbonisasi pada suhu $\geq 1000^{\circ}\text{C}$ untuk membentuk serat karbon^[13]. Skema proses pembuatan coal tar pitch dapat dilihat pada Gambar 2.9 di bawah ini.



Gambar 2.9 Skema umum proses produksi *coal tar pitch* dari batubara^[12]

Sifat fisik dan kimia dari *Coal tar pitch* dan *Coal tar* juga memiliki kesamaan, hanya saja ketersediaan data tentang sifat keduanya masih sangat terbatas. *Coal tar pitch* mengandung senyawa volatile, yaitu senyawa yang dilepaskan ketika *coal tar pitch* dipanaskan/dikarbonisasi. Komponen penyusun *Coal tar pitch* tidak dapat disajikan dengan jelas tergantung pada kondisi lapangan memperolehnya. *Coal tar pitch* adalah campuran kompleks yang mengandung variabel komposisi yang terdiri dari senyawa aromatik (turunan dari zat batubara). Oleh karena sumber, sifat kimia, dan komposisi dari bahan ini sangat berbeda-beda, tidak mungkin untuk menyebutkan semua bahan yang terkandung dalam *coal tar pitch* dengan rumus kimia tunggal ataupun struktur^[12]. Sifat-sifat *coal tar pitch* ditunjukkan pada Tabel 2.3 di bawah ini:

Tabel 2.3 Sifat *coal tar pitch*^[14]

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

Untuk aplikasi, *coal tar pitch* biasanya digunakan sebagai aspal untuk jalan raya. Secara fisik *coal tar pitch* berupa cairan semi-padat memiliki kadar karbon di atas 90% dan mengandung zat-zat yang mudah menguap sebesar 3 sampai 6%^[15].

Coal tar pitch pada dasarnya adalah produk sampingan dari pembuatan *coal tar*. Dimana, *Coal tar* adalah hasil sampingan juga dari karbonisasi batubara bituminous saat membuat kokas dan gas alam. Satu ton batubara akan menghasilkan 8,8 galon *coal tar*. Sifat dari *coal tar*, yaitu mudah terbakar dan nilai *specific gravity* 1.18–1.23. Sifat *coal tar* lainnya yaitu larut dalam eter, benzen, karbon disulfida,

kloroform, larut sebagian dalam alkohol, aseton, metanol, dan benzene dan hanya larut sedikit dalam air. Secara fisik *coal tar* adalah cairan kental atau semipadatan yang berwarna hitam atau coklat tua dengan bau bau seperti naftalena. *Coal tar* adalah kombinasi kompleks dari hidrokarbon aromatik polisiklik, fenol, heterosiklik oksigen, sulfur, dan senyawa nitrogen^[12].

Coal tar pitch memiliki komposisi yang hampir sama dengan *coal tar creosote*. Berdasarkan American Wood Preserver's Association 1988 *Coal tar creosote* adalah produk distilasi dari *coal tar*. *Coal tar creosote* ini diproduksi dari hasil sampingan saat proses karbonisasi batubara bituminous pada temperatur tinggi. *Coal tar creosote* ini terdiri dari hidrokarbon aromatik berbentuk cair dan padat yang mengandung beberapa asam tar dan basa tar. *Coal tar creosote* bersifat lebih berat dari air dan memiliki titik didih yang terus-menerus mulai dari 200⁰C^[12].

2.3.2 Batubara

Batubara adalah batuan sedimen organik yang terbentuk dari akumulasi tumbuhan yang berumur ratusan tahun, biasanya pada lingkungan rawa-rawa. Ketika sisa-sisa tanaman mati dan jatuh ke dalam rawa air maka rawa melindunginya dari pembusukan. Dalam perairan rawa biasanya kandungan oksigen sedikit, yang mana kurangnya oksigen tersebut memungkinkan sisa-sisa tanaman untuk bertahan dan membuat terakumulasinya sisa tanaman tersebut menjadi batu^[16].

Batubara adalah batuan yang mudah terbakar dan salah satu dari tiga bahan bakar fosil paling penting selain minyak dan gas alam. Aplikasi batubara yang paling sering ditemukan adalah sebagai bahan bakar pembangkit tenaga listrik. Berdasarkan komposisi dan sifat batubara dibagi menjadi beberapa tingkat sesuai dengan tingkat metamorfosis organik yang terjadi^[16], yaitu :

1. Batubara Peat

Batubara ini memiliki kandungan karbon kurang dari 60% dan memiliki kadar air di atas 75% serta nilai kalori yang paling rendah.

2. Lignit

Lignit adalah batubara yang terbentuk dalam waktu yang tidak cukup lama dan kadang-kadang berisi struktur tanaman yang masih bisa dikenali. Batubara lignit biasanya berwarna coklat kehitaman. batubara ini memiliki nilai kalor kurang dari 8300 BTU perpon. Batubara ini mengandung air 35-75% dari beratnya. Mengandung karbon antara 60 dan 70% dan bebas dry ash. Di Eropa, Australia dan Inggris beberapa lignit disebut "*brown coal*".

3. Sub Bituminous

Sub bituminous adalah batubara lignit yang telah mengalami tingkat peningkatan metamorfosis organik. Metamorfosis ini didorong dari adanya suplai oksigen dan hidrogen dalam batubara. batubara ini mengandung karbon yang lebih tinggi (71 sampai 77% dan bebas dry ash). Sub bituminous batubara memiliki nilai kalor antara 8300 dan 13000 BTU per pon. Atas dasar nilai kalor itu batubara ini dibagi menjadi sub bitumen A, sub bitumen B dan sub bitumen C.

4. Bituminous

Batubara bituminous adalah batubara yang paling berlimpah. 50 persen dari batubara yang diproduksi di Amerika Serikat adalah jenis batubara bituminous ini. Batubara ini terbentuk ketika sub bituminous mengalami peningkatan metamorfosis organik. Bituminous memiliki kandungan karbon antara 77 dan 87% dan bebas dry ash dan juga memiliki *heating value* yang jauh lebih tinggi dari batubara lignit atau subbituminous. Berdasarkan kandungan senyawa *volatile* yang terdapat di dalamnya, bituminous dibagi menjadi bituminous *volatile* rendah, bituminous *volatile* sedang dan

bituminous *voletile* tinggi. Batubara bituminous sering disebut sebagai "batubara lunak", Namun penetapan ini adalah istilah ini tak ada hubungannya dengan kekerasan batu.

5. Antrasit

Antrasit merupakan batubara dengan peringkat tertinggi. Ia memiliki kandungan karbon lebih dari 87% dengan kadar air kurang dari 8%. Batubara antrasit umumnya memiliki nilai kalor tertinggi per ton. Antrasit dibagi menjadi semi-antrasit, antrasit dan meta-antrasit berdasarkan kadar karbon. Antrasit sering disebut sebagai "batubara keras", namun istilah ini tak ada hubungannya dengan kekerasan batu. Contoh gambar batubara jenis antrasit dapat dilihat pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Batubara Jenis Antrasit^[16]

2.3.3 Arang Batok Kelapa

Arang batok kelapa selama ini lebih sering kita kenal sebagai bahan bakar untuk pemanggangan ikan atau makanan lain. Dibalik kehitaman arang tempurung kelapa itu, ternyata terdapat banyak sekali manfaat yang belum dioptimalkan. Arang batok kelapa dapat ditingkatkan nilai ekonomisnya dengan menjadikannya karbon aktif dan briket arang tempurung. Karbon aktif mempunyai daya serap/adsorpsi yang tinggi terhadap bahan yang berbentuk larutan atau uap sehingga dapat digunakan

sebagai filter untuk menjernihkan air, pemurnian gas, industri minuman, farmasi, katalisator, dan berbagai macam penggunaan lain. Pada aplikasi lain, pemanfaatan arang sebagai briket dapat digunakan sebagai bahan bakar murah. Selain aplikasi di atas, arang batok kelapa dapat digunakan sebagai penguat dalam pembuatan komposit karbon^[17].

Cara membuat arang batok kelapa ini bisa dilakukan dengan metode sederhana menggunakan pembakaran batok kelapa di dalam drum dan di vakum, selain itu juga bisa dilakukan dengan pembakaran langsung di dalam oven vakum. Dalam pembuatan ABK ini, dari 100 persen tempurung kelapa yang dibakar hanya dihasilkan kurang dari 30 persen dari berat tempurung kelapa sebelum dibakar. Selain itu, untuk mendapatkan arang yang berkualitas baik, kering, bersih, bahan tempurung kelapa yang digunakan harus tempurung kelapa yang tua^[17]. Pada Gambar 2.11 di bawah ini adalah arang batok kelapa yang masih berbentuk bongkahan.



Gambar 2.11 Arang Batok Kelapa

Produk arang yang dihasilkan dari pembakaran pada suhu tinggi ini merupakan suatu padatan berpori yang mengandung 85-95% karbon. Ketika pembakaran dalam suhu tinggi berlangsung, diusahakan agar tidak terjadi kebocoran udara didalam ruang pembakaran sehingga hanya terjadi proses karbonisasi dan tidak teroksidasi yang dapat menyebabkan bahan awal menjadi abu^[17].

2.4 Proses Kompaksi Serbuk

Proses kompaksi serbuk merupakan mekanisme proses yang dilakukan untuk mengkonversi serbuk menjadi komponen produk dengan dilakukan penekanan/kompaksi^[1]. Untuk mendapatkan hasil yang bisa lebih optimal, proses ini dapat dimodifikasi dengan penambahan panas. Proses ini memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan proses lain dalam menghasilkan produk. Serbuk didefinisikan sebagai suatu padatan yang memiliki dimensi ukuran lebih kecil dari 1 mm^[18]. Karakteristik awal serbuk sangat mempengaruhi kemampuan serbuk untuk dikompaksi. Karakteristik dasar serbuk tersebut meliputi ukuran serbuk, distribusi ukuran serbuk, bentuk serbuk, berat jenis serbuk, mampu alir (*flowability*), dan mampu tekan (*compressibility*)^[18]. Berikut ini merupakan karakteristik serbuk:

1. Ukuran dan Distribusi Partikel Serbuk

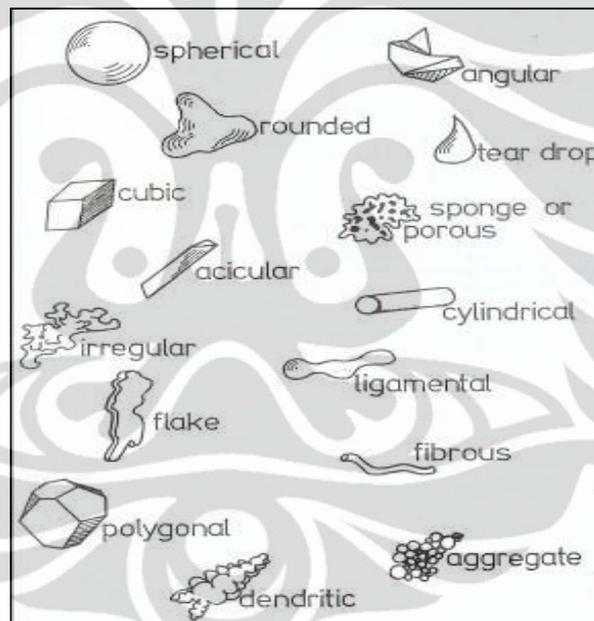
Ukuran partikel ini dapat didefinisikan sebagai ukuran linier partikel oleh analisa ayak^[19]. Ukuran partikel akan sangat berpengaruh terhadap porositas dan densitas bakalan serta sifat mekanisnya. Ukuran partikel juga akan menentukan stabilitas dimensi, pelepasan gas yang terperangkap dan karakteristik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

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

2. Bentuk Partikel Serbuk

Bentuk partikel serbuk merupakan faktor penting yang mempengaruhi sifat massa serbuk, seperti efisiensi pemadatan (*packing efficiency*), mampu alir

(*flowability*), dan mampu tekan (*compressibility*). Bentuk partikel dapat memberikan informasi mengenai proses fabrikasi serbuk dan membantu menjelaskan karakteristik proses. Berbagai bentuk partikel dari serbuk dapat dilihat pada Gambar 2.12. Bentuk partikel serbuk akan mempengaruhi luas permukaan serbuk dan gesekan antarpartikel serbuk. Hal ini akan mempengaruhi perpindahan serbuk ketika dilakukan penekanan pada saat proses kompaksi. Peningkatan luas permukaan partikel (semakin kecil ukuran partikel, semakin tidak beraturan bentuk partikel, semakin kasar permukaan partikel) akan meningkatkan reaktivitas kimia serbuk. Hal tersebut juga akan meningkatkan penyerapan gas dan uap air dari lingkungan sehingga akan terbentuk oksida-oksida pada permukaan partikel yang dapat mengganggu proses kompaksi [20].



Gambar 2.12 Bentuk-bentuk partikel serbuk [20]

3. Berat Jenis Serbuk

Berat jenis serbuk biasa dinyatakan dalam satuan gram/cm^3 . Dalam proses metalurgi serbuk terdapat beberapa istilah mengenai berat jenis serbuk, yakni [5]:

a. *Apparent density* atau *bulk density* didefinisikan sebagai berat per satuan volume dari serbuk lepas.

b. *Tap density* didefinisikan sebagai berat jenis tertinggi yang dicapai dengan variasi tanpa aplikasi tekanan luar.

c. *Green density* didefinisikan sebagai berat jenis serbuk setelah serbuk mengalami penekanan kompaksi untuk proses pemanasan (*sintering*).

d. *Theoretical density* didefinisikan sebagai berat jenis sesungguhnya dari material serbuk ketika material serbuk tersebut ditekan hingga menghasilkan serbuk tanpa pori.

4. Mampu Alir (*Flowability*) Serbuk

Mampu alir serbuk merupakan karakteristik yang menggambarkan sifat alir serbuk dan kemampuan serbuk untuk memenuhi ruang cetakan. Karakteristik serbuk seperti berat jenis (*apparent density*) seringkali dihubungkan dengan gesekan antar partikel. Pada umumnya faktor-faktor yang mengurangi gesekan antarpartikel atau meningkatkan berat jenis (*apparent density*), seperti partikel bulat dan halus, akan meningkatkan mampu alir serbuk^[18].

5. Mampu Tekan (*Compressibility*)

Mampu tekan serbuk merupakan perbandingan volume serbuk mula-mula dengan volume benda yang ditekan yang nilainya berbeda-beda tergantung distribusi ukuran serbuk dan bentuk butirnya. Besarnya mampu tekan serbuk dapat dipengaruhi oleh efek gesekan antarpartikel. Serbuk yang memiliki bentuk lebih teratur, lebih halus, dan sedikit porositas antarpartikel akan memiliki mampu tekan dan *green density* yang lebih tinggi dibandingkan serbuk yang kasar^[18].

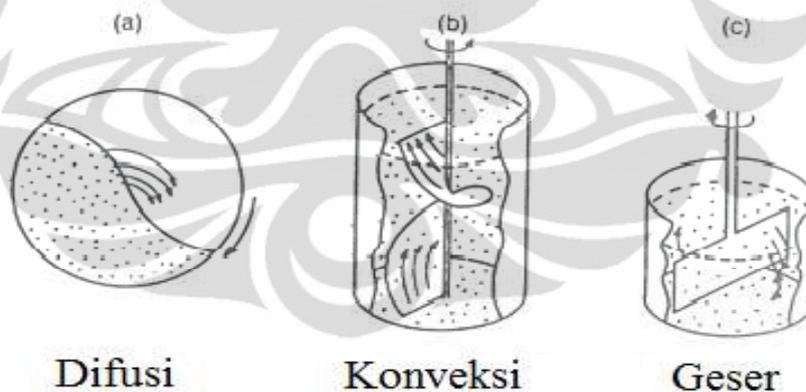
Secara garis besar, ada beberapa tahapan dalam proses kompaksi serbuk, yaitu:

1. Pencampuran (*mixing*)
2. Kompaksi (*compaction/pressing*)

2.4.1. Pencampuran dan Pengadukan Partikel Serbuk

Pencampuran dan pengadukan partikel serbuk didefinisikan sebagai proses bercampurnya serbuk secara sempurna dengan masing-masing besaran komposisi guna menghasilkan serbuk yang homogen^[21]. Dalam pencampuran dan pengadukan serbuk, variabel yang berpengaruh adalah jenis material, ukuran partikel, jenis pengadukan, ukuran pengaduk, dan waktu pengadukan. Nilai gaya gesek antar partikel serbuk merupakan hal yang menentukan keberhasilan pencampuran dan pengadukan serbuk. Mekanisme dari pencampuran serbuk dibagi menjadi 3 jenis yaitu difusi, konveksi dan geser^[19]. Ilustrasi mekanisme pencampuran serbuk dapat dilihat pada Gambar 2.13.

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



Gambar 2.13. Mekanisme pencampuran serbuk^[19].

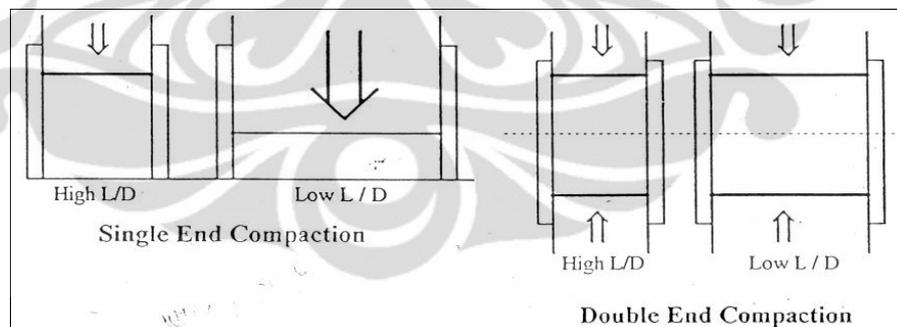
Dampak negatif pengadukan dan pencampuran terhadap serbuk, diantaranya^[19]:

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

2.4.2. Kompaksi Serbuk

Kompaksi Serbuk 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 ^[19]. Peningkatan tekanan akan menghasilkan penurunan porositas. Ketika tekanan kompaksi dinaikkan, maka jumlah partikel yang mengalami deformasi plastis akan meningkat ^[22]. Dengan tekanan yang cukup tinggi, seluruh partikel akan mengalami *work (strain) hardening* dan akan menyebabkan jumlah porositas menjadi berkurang ^[5].

Kompaksi dapat dilakukan melalui *cold compaction* dan *hot pressing* baik dengan tekanan satu arah (*single end compaction*) ataupun tekanan 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 tekanan satu arah, penekan (*punch*) bagian atas bergerak ke bawah, sedangkan pada tekanan 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 2.14.



Gambar 2.14 kompaksi serbuk satu arah maupun dua arah^[22]

Pada saat kompaksi, terdapat beberapa tahapan yang terjadi pada serbuk ^[19], yaitu :

1. Penataulangan Partikel Serbuk (*Rearrangement*)

Pada saat dimulai penekanan, serbuk mulai mengalami penyesuaian letak pada tempat-tempat yang lebih luas atau dengan kata lain belum terjadi deformasi pada partikel serbuk tersebut. Pergerakan dan pengaturan kembali partikel-partikel serbuk akibat adanya penekanan menyebabkan partikel serbuk tersusun lebih rata.

Gerakan penyusunan kembali partikel ini dibatasi oleh adanya gaya gesek antar partikel, atau antara partikel dengan permukaan cetakan, permukaan penekan dan inti. Pergerakan partikel cenderung terjadi di dalam massa serbuk pada tekanan yang relatif rendah sehingga kecepatan penekanan yang rendah akan memberikan kesempatan pada partikel untuk membentuk susunan yang terpadat.

2. Deformasi Elastis Partikel Serbuk

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

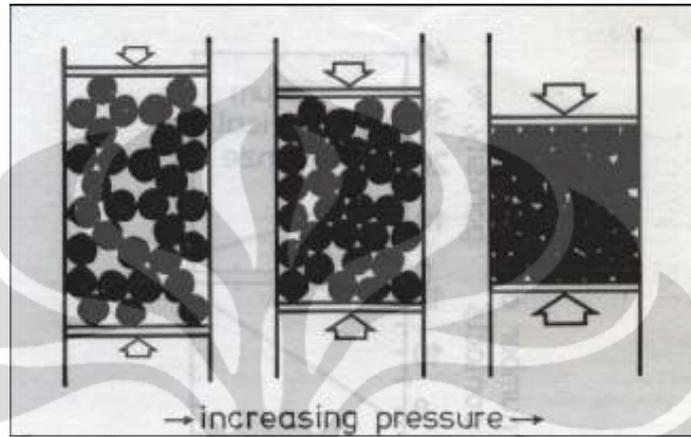
3. Deformasi Plastis Partikel Serbuk

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

4. Penghancuran Partikel Serbuk

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

merata, pada bagian atas (dekat *punch*) berat jenis serbuk lebih besar dibandingkan pada bagian tengah. Gambar 2.15 mengilustrasikan perilaku dari serbuk ketika sedang dilakukan kompaksi.

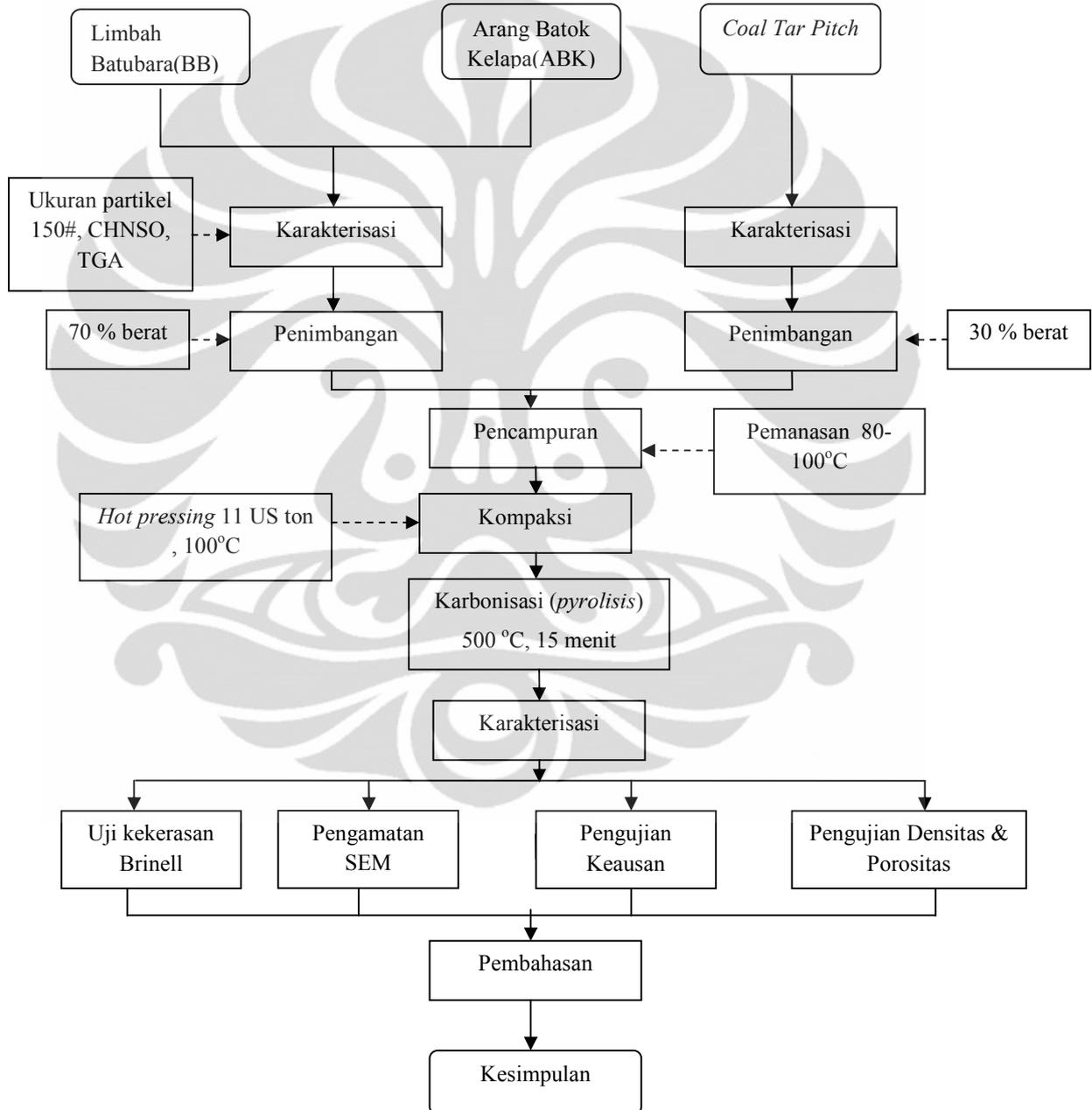


Gambar 2.15 Perilaku serbuk saat dikompaksi ^[21]

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Di bawah ini adalah diagram alir penelitian yang dilakukan untuk membuat komposit karbon berbahan dasar *coal tar pitch*, batubara, dan arang batok kelapa



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.2 Alat & Bahan

3.2.1. Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

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

3.2.2. Bahan

Dalam penelitian ini terdapat tiga bahan utama yang digunakan, yaitu *coal tar pitch*, partikel batubara dan arang batok kelapa.

3.2.2.1 *Coal tar pitch*

Coal tar pitch yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari residu hasil pengolahan batubara saat pembuatan kokas. Kandungan unsur-unsur dalam *coal tar pitch* ini terdapat dalam Tabel 3.1:

Table 3.1 Kandungan Unsur Dalam *Coal Tar Pitch*

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

3.2.2.2 Partikel batubara(BB) ukuran mesh 150#

Batubara yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari residu hasil pengolahan batubara. Kandungan unsur-unsur yang terdapat dalam batubara yang digunakan ini terdapat pada Tabel 3.2.

Table 3.2 Kandungan Unsur-unsur Dalam Batubara

Jenis Karbon	Analisis Unsur, % massa					<i>Ash</i>
	C	H	N	S	O	% massa
Batu Bara (BB)	72.31	3.39	1.36	1.70		

3.2.2.3 Partikel Arang batok kelapa (ABK) ukuran mesh 150#

Partikel arang batok kelapa yang digunakan dalam penelitian ini merupakan hasil pembakaran dari tempurung/batok kelapa. Kandungan unsur-unsur dalam arang batok kelapa(ABK) ini terdapat dalam Tabel 3.3.

Table 3.3 Kandungan Unsur-unsur Dalam Arang Batok Kelapa

Jenis Karbon	Analisis Unsur, % massa					<i>Ash</i>
	C	H	N	S	O	% massa
Arang Batok Kelapa(ABK)	99.27	0.16	0.62	0.05		1.64

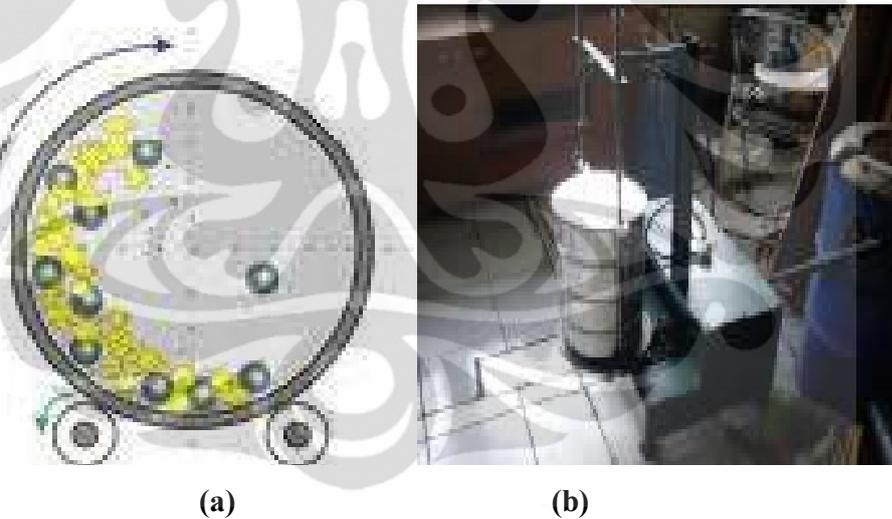
3.3. Prosedur Penelitian

Agar penelitian ini mendapatkan hasil yang optimum, terdapat beberapa prosedur penelitian yang harus dilakukan agar penelitian berjalan dengan baik. Prosedur tersebut dimulai dari preparasi sampel sampai dengan karakterisasi spesimen uji.

3.3.1 Preparasi Sampel

3.3.1.1 Proses *Milling* dan Pengayakan

Bahan baku batubara dan arang batok kelapa yang berupa bongkahan akan diperkecil ukurannya dengan proses milling menggunakan *ball mill*. Melalui proses ini, batubara dan arang batok kelapa dapat dihaluskan menjadi partikel yang halus. Setelah melalui proses *milling* dalam waktu yang cukup lama, maka hasil tersebut akan diayak menggunakan mesin ayakan untuk mendapatkan ukuran partikel yang homogen 150 mesh.



Gambar 3.2 (a) ilustrasi proses milling dan (b) alat pengayakan

3.3.1.2 Penimbangan

Masing-masing material penyusun yaitu *coal tar pitch*, batubata, dan arang batok kelapa akan dilakukan penimbangan terlebih dahulu berdasarkan komposisi dan massa yang telah ditentukan sebelumnya. Dalam pembuatan sebuah sampel diperlukan 30 gram bahan. Perbandingan massa matriks (*coal tar pitch*) dengan

partikel penguat (batubara dan arang batok kelapa) 70:30 dengan tiga variasi komposisi BB:ABK yaitu 60:40, 70:30 dan 80:20. Bahan yang ditimbang masing-masing berasal dari perhitungan formula yang hasilnya terdapat pada Tabel 3.4. Penimbangan dilakukan di atas timbangan digital yang memiliki tingkat presisi yang cukup baik.



Gambar 3.3 Timbangan digital

Tabel 3.4 Formulasi untuk sebuah sampel komposit

BB:ABK	Massa (gram)			
	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	

3.3.1.3 Pencampuran Bahan Baku

Setelah semua material penyusun ditimbang berdasarkan komposisi massanya masing-masing, kemudian akan dilakukan proses pencampuran. Tahap pencampuran ini adalah tahap yang paling penting karena proses ini menentukan pendistribusian

bahan baku merata atau tidak. Dengan proses pencampuran yang baik, diharapkan bahan-bahan penyusun material komposit dapat terdistribusi secara merata pada setiap bagian. Proses pencampuran dilakukan dengan menggunakan peralatan berupa panci, alat pengaduk dan kompor sepaerti yang terlihat pada Gambar 3.4



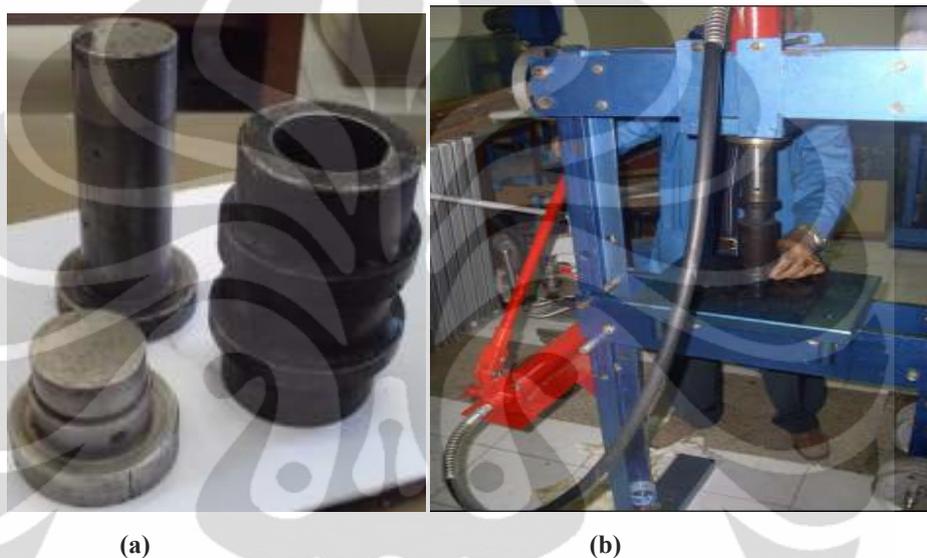
Gambar 3.4 Peralatan yang digunakan dalam pencampuran material

Proses pencampuran yang dipakai dalam penelitian ini adalah hot mixing. Dalam proses ini, *coal tar pitch* dipanaskan hingga meleleh dan mengalir di dalam sebuah panci kecil dengan menggunakan kompor listrik ($\pm 100\text{ }^{\circ}\text{C}$), setelah itu ditambahkan batubara dan arang batok kelapa yang telah dicampur terlebih dahulu tanpa panas. Kemudian campuran ketiga bahan baku tersebut terus diaduk sambil dipanaskan selama $\pm 10\text{-}15$ menit untuk mendapatkan campuran yang merata.

3.3.1.4 Pencetakan Panas (*Hot Pressing*)

Bahan baku yang telah dicampur merata dengan *hot mixing* dimasukkan kedalam cetakan. Setelah itu cetakan ditutup dan ditekan menggunakan mesin *press* hidrolik dengan beban 11 U.S ton (setara dengan 9.98 *metric ton*/78 MPa.), sambil dipanaskan menggunakan *heater* yang ditempatkan di sekeliling cetakan pada temperatur $\pm 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ yang berlangsung selama 30 menit. Setelah itu sampel dikeluarkan dari cetakan. Pada saat proses pencetakan, parameter tekanan dan temperatur harus dijaga agar tetap konstan. Tekanan sebesar 11 U.S ton dijaga agar konstan dengan cara manual, dimana setiap kali tekanan mulai turun akan dinaikkan

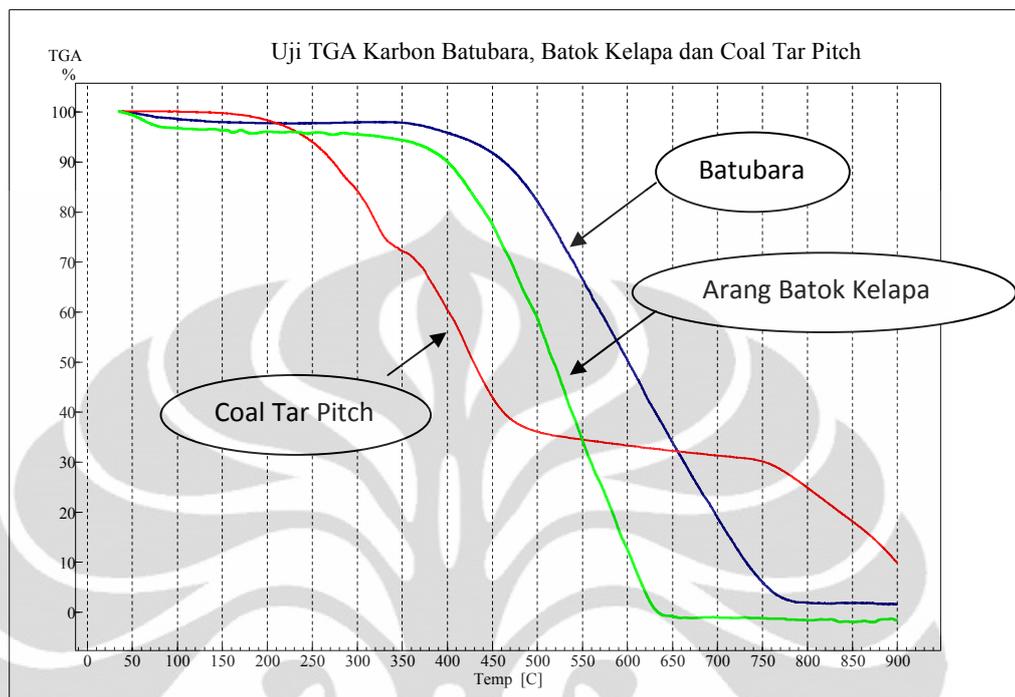
kembali menjadi 11 U.S. ton, sedangkan temperatur secara otomatis diatur oleh *thermocouple* yang diselipkan di bawah cetakan, dimana saat temperatur yang terdeteksi oleh *thermocouple* telah melebihi 100 °C aliran listrik ke *heater* akan diputus, dan jika temperatur turun dibawah 100 °C maka *heater* akan menyala kembali secara otomatis. Waktu pencetakan spesimen uji ini berlangsung ± 30 menit. Alat pencetakan dan mesin kompaksi dapat terlihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 (a) cetakan sampel dan (b) mesin kompaksi

3.3.1.5 Karbonisasi

Sampel yang telah didapat dari proses *hot pressing* selanjutnya akan dikarbonisasi pada temperatur 500-550 °C dalam suatu dapur vakum sederhana (*low vacuum*) dengan tekanan(P) = -10 s/d -15cmHg. Tujuan proses karbonisasi ini adalah untuk mengubah prekursor matriks *coal tar pitch*, batubara dan arang batok kelapa menjadi karbon. Pemilihan temperatur ini berdasarkan data hasil uji TGA *coal tar pitch*, batubara, dan arang batok kelapa. Hasil uji TGA dapat dilihat pada Gambar 3.6, dimana transformasi menjadi karbon terjadi sekitar temperatur 500-550°C.



Gambar 3.6 Hasil Uji TGA bahan batubara (BB), arang batok kelapa (ABK) dan *coal tar pitch*.

Karbonisasi dilakukan di dapur vakum sederhana dengan penggunaan waktu ± 1 jam untuk mencapai temperatur 500-550 °C, setelah itu ditahan ± 15 menit. Selanjutnya spesimen uji akan dikeluarkan dari dapur jika telah kembali ke temperatur ruang (± 35 °C).

3.3.2 Karakterisasi Spesimen Uji

Setelah dihasilkan spesimen uji maka tahap selanjutnya yaitu karakterisasi sifat-sifat spesimen. Ada beberapa pengujian yang akan dilakukan, antara lain:

3.3.2.1 Pengujian Densitas

Pengujian densitas ini dilakukan untuk mengetahui massa jenis dari spesimen uji yang dihasilkan. Densitas memiliki peranan yang penting karena semakin besar densitas, maka semakin padat spesimen uji tersebut. Pengujian densitas akan dilakukan berdasarkan ASTM D 792 (*Density and Specific Gravity (Relative Density)*)

of Plastics by Displacement). Proses pengukuran akan dilakukan dengan prinsip perbandingan massa sampel di udara dengan massa sampel di dalam air. Semakin besar perbandingannya, maka semakin besar pula densitas dari spesimen uji yang dihitung. Prosedur pengukuran densitas yang dilakukan didalam penelitian adalah :

- a. Timbang massa sampel di udara dengan timbangan digital (A)
- b. Siapkan *beaker glass* berisi air dan sebuah gantungan penimbang
- c. Timbang massa sampel didalam air pada gantungan penimbang dengan timbangan digital (B), seperti terlihat pada Gambar 3.7

Dari kedua hasil penimbangan tersebut, maka kerapatan massa sampel bisa diperoleh dengan menggunakan persamaan:

$$\rho_{\text{spesimen}} = [A/(A-B)] * \rho_{\text{air}} \dots\dots\dots(3.1)$$

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

A = Massa spesimen di udara (gr)

B = Massa spesimen di dalam air (gr)

ρ_{air} = Massa jenis air ($0,9775 \text{ g}/\text{cm}^3$)

(catatan : massa jenis air untuk setiap temperatur tidak sama)

Di bawah ini adalah peralatan yang digunakan selama pengujian densitas



Gambar 3.7. Peralatan yang dipakai untuk pengujian densitas

3.3.2.2 .Pengujian Porositas

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

$$\text{Porositas} = \left(1 - \left(\frac{\text{bulkdensity}}{\text{theoreticaldensity}} \right) \right) \times 100\% \dots \dots \dots (3.2)$$

Dimana, *bulk density* adalah densitas hasil pengujian sampel komposit karbon, sedangkan *theoretical density* adalah densitas teoritis dari karbon, yaitu 2,25 gr/cm³.

3.3.2.3 Pengujian Kekerasan

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

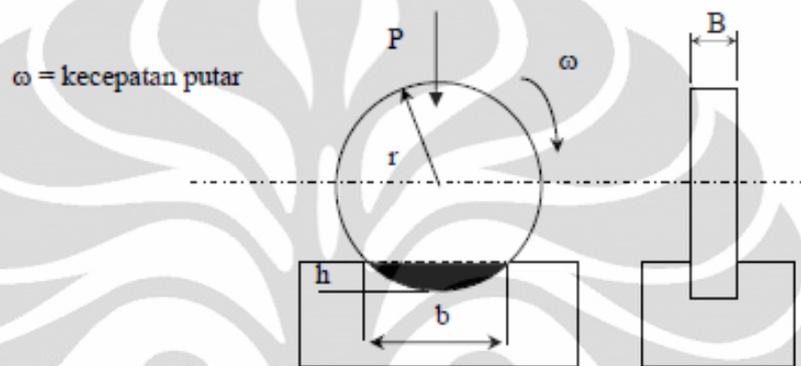
$$HB = \frac{2P}{[\pi D][D - \sqrt{D^2 - d^2}]} \dots \dots \dots (3.3)$$

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

3.3.2.4 Pengujian Keausan

Dalam penelitian ini pengujian keausan dilakukan dengan metode Ogoshi. Pada pengujian ini spesimen diberikan beban gesek dari suatu cakram yang berputar,

dimana pembebanan gesek ini akan menghasilkan kontak antar permukaan yang berulang-ulang sehingga menyebabkan terlepasnya partikel pada permukaan spesimen. Tingkat keausan material ditentukan dari dimensi jejak yang dihasilkan akibat terlepasnya partikel dari permukaan spesimen. Semakin besar dan dalam jejak keausan maka semakin tinggi volume material yang terlepas dari spesimen. Ilustrasi proses pengujian keausan dapat dilihat dari Gambar 3.8 di bawah ini.



Gambar 3.8. Ilustrasi uji keausan dengan metode Ogoshi

Laju keausan dihitung dengan menggunakan persamaan:

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

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

3.3.2.5 Pengamatan SEM

Pengamatan SEM ini dilakukan untuk mengamati struktur ikatan antar partikel dan matriks dari spesimen uji komposit karbon yang dihasilkan. Pengamatan dilakukan untuk melihat porositas, distribusi partikel penguat (batubara dan arang batok kelapa) dan interaksi partikel penguat dengan matriks. Peralatan yang digunakan untuk pengamatan SEM dapat terlihat pada Gambar 3.9 di bawah ini.



Gambar 3.9. Peralatan pengujian SEM.



BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Preparasi Sampel

Sebelum dilakukan proses pengujian karakterisasi spesimen uji, ada beberapa tahapan preparasi spesimen uji yang dilakukan. Tahapan ini sangat mempengaruhi keberhasilan proses pembuatan spesimen uji yang dilakukan. Tahapan tersebut antara lain, preparasi bahan (*coal tar pitch*, batubara(BB), dan arang batok kelapa(ABK)), proses pencampuran bahan penyusun (*mixing*), proses pencetakan sampel uji/proses kompaksi serbuk, dan proses karbonisasi. Tahapan-tahapan ini memegang peranan penting karena parameter proses sangat mempengaruhi sifat-sifat bahan yang dihasilkan.

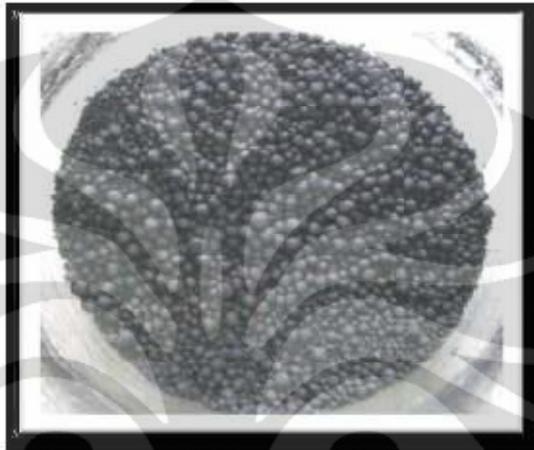
4.1.1 Hasil Preparasi Bahan

Preparasi bahan batubara dan arang batok kelapa terdiri dari beberapa proses, yaitu penggilingan(*milling*), pengayakan dan penimbangan. Tujuan utama dari preparasi batubara dan arang batok kelapa ini adalah untuk mereduksi ukuran partikel batubara menjadi partikel batubara yang seragam berukuran 150 mesh dan kemudian ditimbang berdasarkan persentase berat yang telah dihitung. Preparasi bahan *coal tar pitch* terdiri dari proses penghancuran bongkahan *coal tar pitch* dan penimbangan. Hasil penimbangan bahan yaitu massa *coal tar pitch* 9 gram dan massa BB:ABK 21 gram, dengan variasi persentase massa komposisi BB:ABK, yaitu 80:20, 70:30, dan 60:40.

4.1.2 Hasil Pencampuran

Setelah preparasi bahan (*coal tar pitch*, batubara (BB)dan arang batok kelapa(ABK)) selesai dilakukan, proses selanjutnya adalah pencampuran bahan penyusun (*mixing*). Proses pencampuran dari bahan penyusun tersebut bertujuan untuk mendapatkan bakalan spesimen uji yang homogen dan siap untuk dicetak. Proses pencampuran dilakukan pertama-tama dengan melelehkan *coal tar pitch* pada

wadah yang telah dipanaskan dan kemudian ditambahkan campuran batubara dan arang batok kelapa yang telah terlebih dahulu dicampurkan sambil terus-menerus diaduk. Sampel hasil proses pencampuran dapat terlihat pada Gambar 4.1 di bawah ini



Gambar 4.1. Sampel Hasil Pencampuran

Pada saat pencampuran *coal tar pitch* dan campuran batubara dan arang batok kelapa. Ada beberapa hal yang harus diperhatikan diantaranya waktu pencampuran $\pm 10-15$ menit dan proses pengadukan yang terus-menerus dilakukan. Parameter waktu harus diperhatikan agar proses pencampuran optimal dan *coal tar pitch* tidak banyak yang menguap sedangkan proses pengadukan yang harus dilakukan terus-menerus bertujuan untuk menjaga agar pencampuran benar-benar terjadi secara merata. Selain itu, proses pengadukan ini juga berfungsi agar tidak terjadi penggumpalan bahan. Penggumpalan ini harus dihindari karena nantinya akan menyebabkan porositas pada material komposit karbon yang dihasilkan. Hasil akhir proses pencampuran bahan penyusun yaitu berupa material serbuk.

4.1.3 Hasil Pencetakan

Setelah proses pencampuran selesai dilakukan, maka proses selanjutnya adalah pencetakan. Proses ini menggunakan teknik *hot pressing* yang merupakan salah satu dari metode *compression molding*. Hasil pencampuran yang telah selesai,

dimasukkan ke dalam cetakan berbentuk silinder yang terbuat dari logam dengan berdiameter 40 mm, dan siap untuk dicetak. Sebelum dilakukan pencetakan, Bakalan yang telah dimasukkan ke dalam cetakan dilakukan pemerataan, agar spesimen uni yang dihasilkan memiliki permukaan yang rata. Pada penelitian ini dibuat 24 buah spesimen uji dengan variasi seperti yang dijelaskan pada bab 3.4 sebelumnya. Pencetakan spesimen uji ini menggunakan tekanan sebesar 78 MPa, temperatur sebesar 100°C, dan selama 30 menit. Hasilnya dihasilkan sampel berbentuk silinder dengan diameter 40mm, seperti terlihat pada Gambar 4.2 di bawah ini.



Gambar 4.2. Sampel Hasil Pencetakan

Berdasarkan pengamatan visual terhadap sampel-sampel yang dihasilkan di atas, umumnya terlihat bahwa sampel yang dihasilkan dalam keadaan baik dan terdapat beberapa retak pada sebagian permukaan sampel. Hanya saja ketebalan sampel yang dihasilkan memiliki ketebalan yang agak sedikit berbeda-beda, yaitu 1.0-2.0 cm. Adanya perbedaan ketebalan yang dihasilkan, dikarenakan adanya bahan *coal tar pitch* yang hilang saat proses kompaksi dilakukan. Saat proses kompaksi, terlihat adanya bahan *coal tar pitch* yang keluar dari celah antara dies silinder dan penekannya. Hal itu disebabkan sifat mampu alir *coal tar pitch* yang sangat tinggi, adanya tekanan yang tinggi dan terdapat sedikit celah antara dies dan penekan. Dari kejadian ini, mungkin terdapat pengaruh pada hasil karakterisasi yang akan

dilakukan, karena pada dasarnya komposisi bahan *coal tar pitch* yang digunakan sudah berkurang.

4.2.3 Hasil Karbonisasi

Proses karbonisasi dilakukan pada keseluruhan sampel material komposit karbon yang dibuat. Proses ini dilakukan pada dapur vakum ($P = -10$ s/d -15 cmHg), pada temperatur 550 °C dengan waktu tahan ± 15 menit. Setelah dilakukan proses karbonisasi, sampel terlihat lebih kering dan ada beberapa sampel yang mengalami retak. Sampel yang mengalami retak ini tidak digunakan dan diganti dengan sampel yang baru.

4.2 Hasil Pengujian Spesimen Uji

4.2.1 Pengujian Densitas

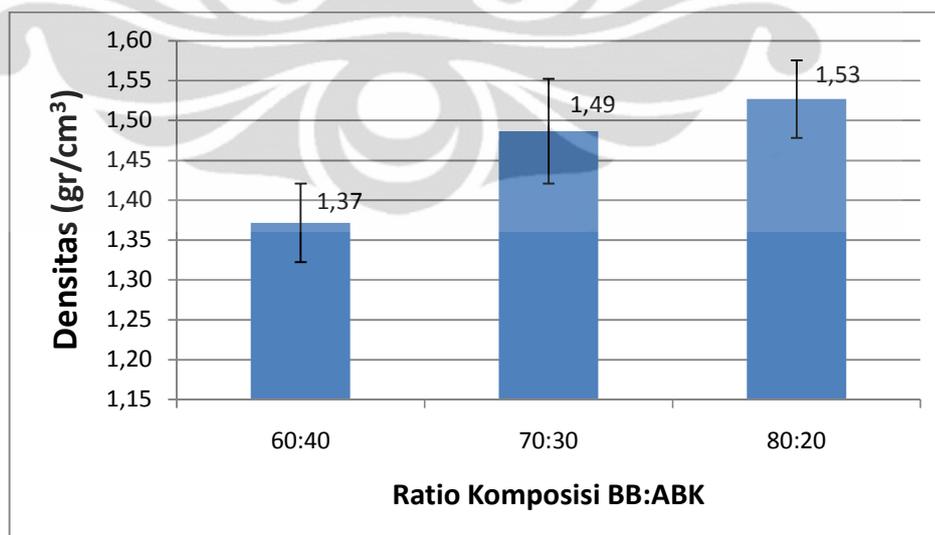
Pengujian densitas yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui bobot komposit pada besaran volume tertentu, dari komposit karbon yang dibuat. Pada penelitian ini komposit karbon dibuat dari partikel BB dan ABK yang memiliki ukuran partikel 150 mesh dengan memvariasikan komposisi bahan BB dan ABK. Dengan penggunaan partikel BB dan ABK yang kecil dan seragam diharapkan partikel BB dan ABK dapat saling mengisi rongga pori atau *void* yang terdapat pada komposit karbon yang dibuat, sehingga diharapkan nantinya diperoleh komposit karbon dengan densitas yang tinggi.

Pada penelitian ini diharapkan komposit karbon memiliki densitas yang tinggi. Hal ini didasarkan pada aplikasi komposit karbon yang biasanya dipakai pada aplikasi yang membutuhkan sifat mekanis yang tinggi, seperti kanvas rem kendaraan dan industri militer, dimana diketahui biasanya sifat mekanis sangat dipengaruhi oleh densitas bahan.

Tabel 4.1 Data Hasil Pengujian Densitas

Ratio komposisi	densitas(gr/cm^3)	rata-rata densitas(gr/cm^3)	standar deviasi
60:40	1.36	1.37	0.05
	1.36		
	1.46		
	1.33		
	1.35		
70:30	1.55	1.49	0.07
	1.45		
	1.54		
	1.50		
	1.39		
80:20	1.49	1.53	0.05
	1.55		
	1.54		
	1.47		
	1.59		

Tabel 4.1 di atas merupakan hasil pengujian densitas yang telah dilakukan pada spesimen uji komposit karbon dengan variasi ratio komposisi BB:ABK

**Gambar 4.3** Pengaruh Komposisi BB:ABK Terhadap Densitas Komposit Karbon

Pada tabel 4.1 dapat dilihat pada ratio komposisi BB:ABK 60:40 densitas rata-ratanya 1.37 gr/cm^3 , pada ratio komposisi BB:ABK 70:30 densitas rata-ratanya 1.49 gr/cm^3 , sedangkan ratio komposisi BB:ABK 80:20 densitas rata-ratanya 1.53 gr/cm^3 . Gambar 4.3 memperlihatkan terjadinya tren peningkatan densitas pada ratio komposisi BB:ABK 60:40 sampai 80:20. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh banyaknya komposisi BB pada ratio 80:20 yaitu 80% dibandingkan BB pada ratio 60:40, dimana pada pengukuran densitas pada masing-masing bahan BB dan ABK, diketahui bahwa BB memiliki densitas yang lebih tinggi dari ABK. Tabel 4.2 adalah hasil pengujian densitas masing-masing bahan BB dan ABK.

Tabel 4.2 Data Hasil Pengujian Densitas Bahan BB Dan ABK

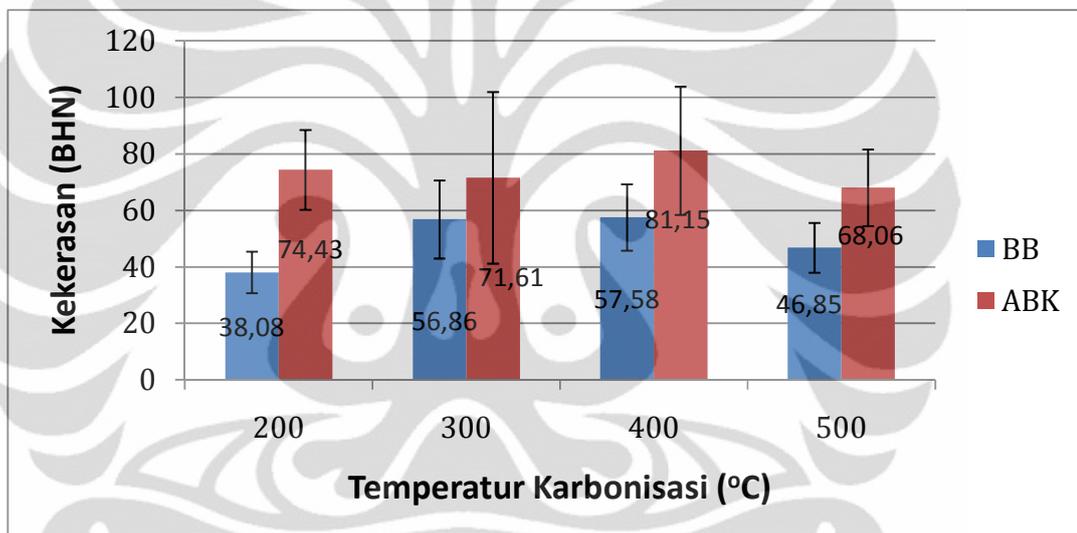
No	Densitas (gr/cm^3)	
	BB	ABK
1	1,604	1,289
2	1,576	1,461
3	1,635	1,478
4	1,692	1,214
5	1,658	1,437
rata-rata	1,633	1,3758

Dari hasil pengujian masing-masing bahan ini, dapat dijelaskan bahwa dengan meningkatnya ratio BB yang ada dalam campuran maka akan meningkatkan densitas komposit karbon yang dihasilkan, seperti pada Gambar 4.3.

Selain disebabkan oleh fakta bahwa densitas BB daripada ABK, terjadinya tren peningkatan densitas pada saat ratio komposisi BB yang lebih tinggi, disebabkan oleh tingginya porositas pada bahan dasar ABKnya. Tingginya porositas ini disebabkan oleh pembuatan ABK yang dilakukan dengan karbonisasi, dimana diketahui karbonisasi menyebabkan bahan akan memiliki pori yang besar akibat kosongnya bagian dalam partikel saat terjadi penguapan senyawa-senyawa *volatile* yang terdapat di dalam bahan. Sehingga pada saat kandungan ABK tinggi, bahan

ABK akan memakai volume yang besar pada komposit karbon dan menyebabkan densitas bahan rendah.

Faktor lainnya yang mempengaruhi tren peningkatan densitas saat komposisi ratio ABK lebih rendah yaitu sifat kekerasan partikel penyusunnya. Pada penelitian sebelumnya diketahui komposit karbon dengan penguat ABK memiliki kekerasan yang lebih tinggi daripada komposit karbon dengan penguat BB, jadi disimpulkan bahwa ABK memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi daripada BB^[23]. Pada gambar 4.4 di bawah ini adalah grafik data pengujian kekerasan komposit karbon dengan penguat BB dan ABK dengan variasi temperatur karbonisasi.



Gambar 4.4 Perbandingan nilai kekerasan komposit penguat BB dan penguat ABK pada berbagai temperatur karbonisasi^[23]

Sifat ABK yang lebih keras menyebabkan saat proses kompaksi akan sulit terdeformasi dibandingkan partikel BB, sehingga akan menghambat proses pemadatan saat kompaksi. Oleh karena itu, ketika jumlah partikel ABK yang ditambahkan lebih banyak maka komposit karbon yang dibuat akan sulit untuk dipadatkan sehingga memiliki volume yang lebih besar. Volume komposit karbon yang lebih besar ini akan menyebabkan nilai densitas semakin kecil. Secara keseluruhan, nilai densitas komposit karbon yang dihasilkan masih cukup rendah jika dibandingkan dengan komposit karbon yang umumnya yang memiliki densitas antara 1,8–2,0 g/cm³^[8]

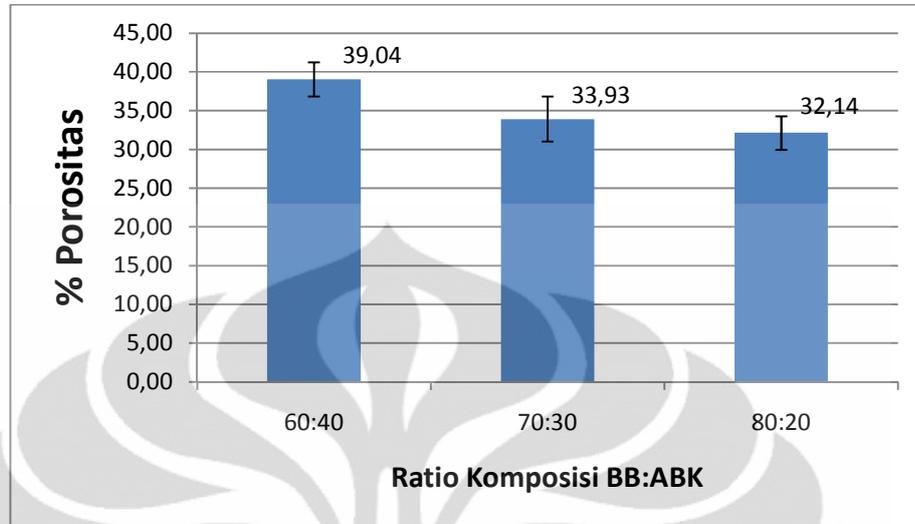
4.2.2 Pengujian Porositas

Dalam suatu aplikasi yang membutuhkan sifat mekanis yang baik, kehadiran porositas didalam komposit karbon sangat tidak diinginkan. Terbentuknya porositas ini berhubungan erat dengan proses pembuatan komposit karbon, seperti proses *mixing*, tekanan kompaksi dan proses karbonisasi. Selain itu porositas komposit karbon juga dipengaruhi oleh sifat-sifat bahan penyusun pembuatan komposit karbon ini. Dengan penggunaan *coal tar pitch* pada penelitian ini yang berperan sebagai pengikat diharapkan partikel BB dan ABK dapat saling berikatan dengan baik sehingga dihasilkan komposit karbon dengan porositas yang rendah.

Tabel 4.3 Data Hasil Pengujian Porositas

Ratio Komposisi	Porositas(%volume)	rata-rata porositas (%volume)	standar deviasi
60:40	39.61	39.04	2.19
	39.69		
	35.22		
	40.78		
	39.92		
70:30	31.31	33.93	2.92
	35.50		
	31.38		
	33.31		
	38.15		
80:20	33.83	32.14	2.16
	31.31		
	31.75		
	34.63		
	29.17		

Tabel 4.3 di atas merupakan hasil pengujian porositas yang telah dilakukan pada spesimen uji komposit karbon dengan variasi ratio komposisi BB:ABK



Gambar 4.5 Pengaruh Komposisi BB:ABK Terhadap Porositas Komposit Karbon

Pada penelitian pembuatan komposit karbon ini, hadirnya porositas tidak dapat dihindari. Berdasarkan data pada Tabel 4.3, dapat dilihat pada ratio komposisi BB:ABK 60:40 porositas rata-rata adalah 39.04 %volume, pada ratio komposisi BB:ABK 70:30 porositas rata-rata adalah 33.93 %volume, sedangkan ratio komposisi BB:ABK 80:20 porositas rata-rata adalah 32.14 %volume.

Pada Gambar 4.5 dapat dilihat adanya tren penurunan persentase porositas pada ratio komposisi BB:ABK 60:40 sampai 80:20. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh sifat kekerasan partikel penyusun BB dan ABK yang berbeda-beda. Pada penelitian sebelumnya diketahui komposit karbon dengan penguat ABK memiliki kekerasan yang lebih tinggi daripada komposit karbon dengan penguat BB, jadi disimpulkan bahwa ABK memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi daripada BB^[23]. Sifat ABK yang lebih keras menyebabkan saat proses kompaksi partikel ABK akan sulit terdeformasi dibandingkan partikel BB, sehingga akan menghambat proses pemadatan saat kompaksi dan menyebabkan porositas. Oleh karena itu, ketika jumlah partikel ABK yang ditambahkan pada komposit karbon lebih sedikit, maka komposit karbon yang dibuat akan lebih mudah untuk dipadatkan sehingga memiliki porositas yang kecil.

Selain dipengaruhi oleh fakta bahwa partikel ABK yang lebih keras dan sulit dideformasi daripada BB, tren penurunan porositas disebabkan oleh proses perlakuan yang didapat oleh ABK saat pembuatannya. ABK dibuat dari bahan dasar batok kelapa yang dikarbonisasi, dimana proses karbonisasi ini bertujuan untuk membuat partikel ABK yang memiliki kandungan karbon yang tinggi. Selain mendapatkan ABK dengan kadar karbon yang tinggi, efek dari proses karbonisasi ini adalah didapatnya material ABK yang memiliki porositas yang tinggi. Porositas ini disebabkan pada saat karbonisasi, terjadi penguapan senyawa-senyawa *volatile* yang terdapat pada ABK yang meninggalkan rongga penyebab porositas pada material ABK. Oleh karena itu, pada saat jumlah persentase pemakaian ABK pada komposit karbon tinggi maka akan dihasilkan komposit karbon dengan porositas yang lebih tinggi pula seperti terlihat pada ratio komposisi BB:ABK 60:40 yang memiliki porositas sebesar 39.04 %volume.

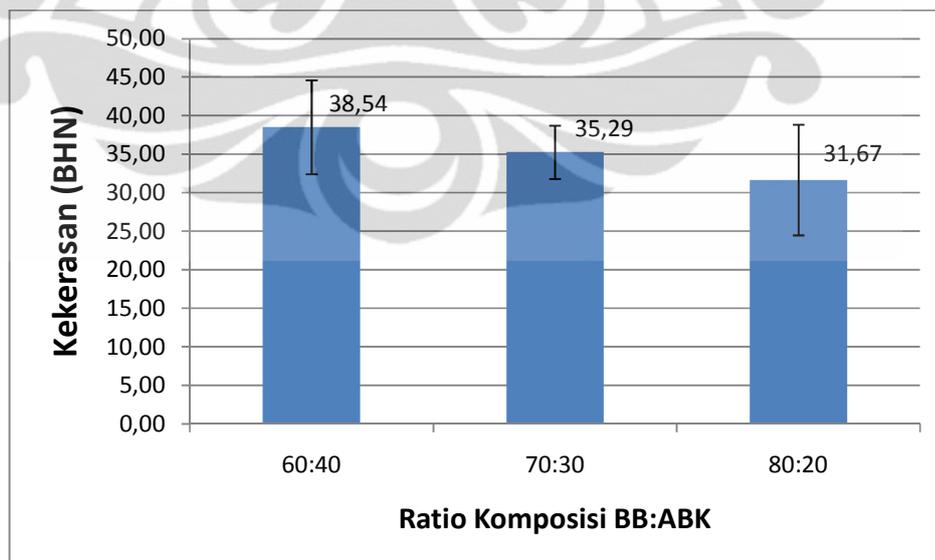
4.2.3 Pengujian Kekerasan

Komposit karbon sering diaplikasikan pada aplikasi yang membutuhkan sifat mekanis yang baik, seperti kanvas rem kendaraan dan industri militer. Salah satu sifat mekanis yang diinginkan dalam aplikasi ini adalah kekerasan yang baik. Pada umumnya kekerasan merupakan fungsi dari kekuatan ikatan partikel bahan^[1]. Untuk mendapatkan suatu material dengan nilai kekerasan yang baik, ada beberapa faktor yang mempengaruhi, seperti proses pembuatan dan bahan dasar pembuatannya. Dalam penelitian ini dibuat suatu material komposit karbon yang diharapkan memiliki nilai kekerasan yang baik.

Tabel 4.4 Data Hasil Pengujian kekerasan

Ratio Komposisi	Kekerasan (BHN)	Kekerasan Rata-rata(BHN)	Standar Deviasi
60:40	38.79	38.54	6.09
	38.79		
	48.13		
	31.88		
	35.09		
70:30	35.09	35.29	3.46
	38.79		
	38.79		
	31.88		
	31.88		
80:20	38.79	31.67	7.17
	24.45		
	24.45		
	31.88		
	38.79		

Tabel 4.4 di atas merupakan hasil pengujian kekerasan yang telah dilakukan pada spesimen uji komposit karbon dengan variasi ratio komposisi BB:ABK

**Gambar 4.6** Pengaruh Komposisi BB:ABK Terhadap Kekerasan Komposit Karbon

Pada spesimen uji komposit karbon yang dibuat ini, nilai kekerasan yang dihasilkan relatif rendah. Berdasarkan data pada Tabel 4.4, dapat dilihat pada ratio komposisi BB:ABK 60:40 memiliki nilai kekerasan rata-ratanya adalah 38.54 BHN, pada ratio komposisi BB:ABK 70:30 nilai kekerasan rata-ratanya adalah 35.29 BHN, sedangkan ratio komposisi BB:ABK 80:20 nilai kekerasan rata-ratanya adalah 31.67 BHN.

Dari Gambar 4.6 dapat dilihat adanya tren penurunan nilai kekerasan pada ratio komposisi BB:ABK 60:40 sampai 80:20. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh sifat kekerasan partikel penyusun BB dan ABK yang pada dasarnya berbeda-beda. Pada penelitian sebelumnya diketahui komposit karbon dengan penguat ABK memiliki kekerasan yang lebih tinggi daripada komposit karbon dengan penguat BB (Gambar 4.4), jadi dapat disimpulkan bahwa ABK memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi daripada BB^[23]. Sifat ABK yang lebih keras ini menyebabkan komposit karbon dengan kandungan ABK yang lebih banyak memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi dari komposit karbon dengan kandungan ABK yang lebih sedikit. Selain itu, dari hasil pengujian kekerasan ini, dapat dilihat bahwa nilai densitas yang telah diukur sebelumnya tidak terlalu berpengaruh terhadap nilai kekerasan yang dihasilkan.

Secara umum, dari pengujian kekerasan ini terlihat adanya tren penurunan nilai kekerasan ketika jumlah kandungan BB menjadi lebih tinggi atau ketika kandungan partikel ABK menjadi lebih rendah. Nilai kekerasan tertinggi terdapat pada saat ratio komposisi BB:ABK 60:40 yaitu 38.54 BHN dan terendah pada BB:ABK 80:20 yaitu 31.67 BHN.

4.2.4 Pengujian Keausan

Salah satu aplikasi umum dari komposit karbon adalah untuk kanvas rem kendaraan. Pada aplikasi untuk kanvas rem kendaraan ini dibutuhkan sifat ketahanan aus yang baik pada material yang digunakan. Ketahanan aus adalah nilai yang didapat

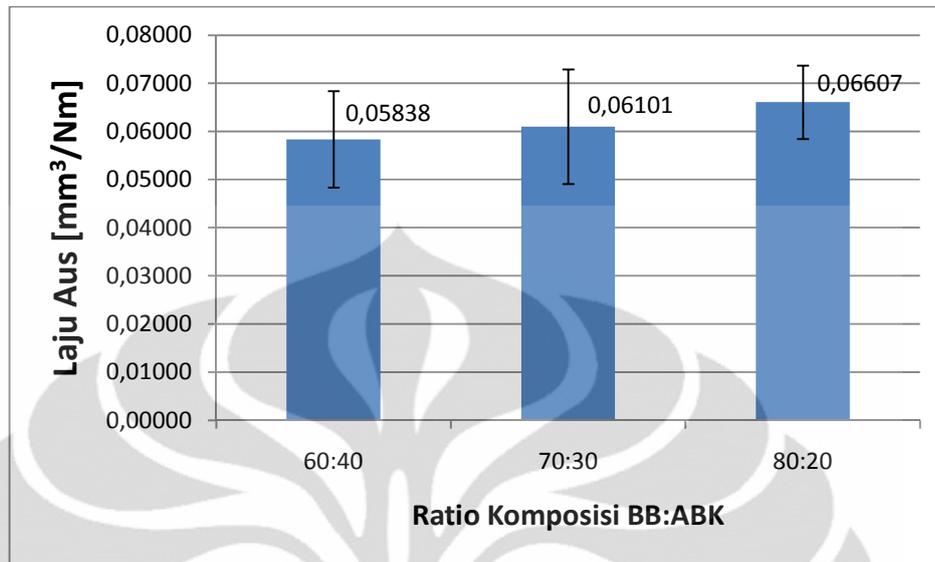
dari pengujian tertentu yang menggambarkan seberapa tahan material tersebut terhadap abrasi yang diberikan. Nilai tingkat keausan material ditentukan dari dimensi jejak yang dihasilkan akibat terlepasnya partikel dari permukaan spesimen karena terabrasi, dimana semakin kecil jejak yang ditinggalkan pada material yang diabrasi, maka semakin tinggi ketahanan aus material tersebut.

Untuk mendapatkan suatu material dengan suatu material dengan ketahanan aus yang baik, terdapat beberapa faktor yang mempengaruhinya, seperti tahapan proses pembuatan dalam pembuatannya dan bahan dasar pembuatannya. Dalam penelitian ini dibuat suatu material komposit karbon yang diharapkan memiliki nilai laju keausan yang rendah/tahan aus sehingga diharapkan dapat diaplikasikan pada aplikasi yang membutuhkan sifat ketahanan aus tinggi seperti untuk kanvas rem kendaraan.

Tabel 4.5 Data Hasil Pengujian keausan

Ratio Komposisi	Laju Keausan (mm ³ /Nm)	rata-rata Laju Keausan (mm ³ /Nm)	standar deviasi
60:40	0.06275	0.05838	0.01003
	0.06855		
	0.05269		
	0.06416		
	0.04373		
70:30	0.05760	0.06101	0.01191
	0.04508		
	0.07399		
	0.05669		
	0.07171		
80:20	0.07376	0.06607	0.00762
	0.06238		
	0.06898		
	0.05464		
	0.07058		

Tabel 4.5 di atas merupakan hasil pengujian keausan yang telah dilakukan pada spesimen uji komposit karbon dengan variasi ratio komposisi BB:ABK



Gambar 4.7 Pengaruh Komposisi BB:ABK Terhadap Laju Keausan Komposit Karbon

Pada spesimen uji komposit karbon yang diuji, laju keausan yang dihasilkan relatif tinggi. Berdasarkan data pada Tabel 4.5, dapat dilihat pada ratio komposisi BB:ABK 60:40 memiliki nilai laju keausan rata-ratanya adalah 0.05838 mm³/Nm, pada ratio komposisi BB:ABK 70:30 nilai laju keausan rata-ratanya adalah 0.06101 mm³/Nm, sedangkan ratio komposisi BB:ABK 80:20 nilai laju keausan rata-ratanya adalah 0.06607 mm³/Nm.

Pada pengujian keausan ini, nilai laju keausan yang didapat berkaitan erat dengan nilai kekerasan sebelumnya. Dari Gambar 4.7 dapat dilihat adanya tren kenaikan laju keausan pada ratio komposisi BB:ABK 60:40 sampai 80:20. Nilai ini berbanding terbalik dengan nilai kekerasan sampel yang ada, karena pada dasarnya semakin tidak keras material maka semakin mudah terabrasi atau semakin memiliki laju keausan yang tinggi. Nilai laju aus yang mengalami kenaikan pada ratio komposisi BB:ABK 60:40 sampai 80:20 disebabkan oleh sifat ketahanan aus partikel penyusun BB dan ABK yang pada dasarnya berbeda-beda. Pada penelitian sebelumnya diketahui komposit karbon dengan penguat ABK memiliki kekerasan yang lebih tinggi/laju keausan yang rendah daripada komposit karbon dengan penguat BB, jadi dapat disimpulkan bahwa ABK memiliki nilai laju keausan yang lebih

rendah daripada BB^[23]. Sifat ABK yang memiliki laju keausan yang rendah ini menyebabkan komposit karbon dengan kandungan ABK yang lebih banyak memiliki nilai laju keausan yang lebih rendah dari komposit karbon dengan kandungan ABK yang lebih sedikit. Seperti yang terlihat ketika kandungan BB:ABK 60:40 laju keausan lebih rendah daripada ketika kandungan BB:ABK 80:20.

Secara umum, dari pengujian keausan komposit karbon ini terlihat adanya tren kenaikan nilai laju keausan ketika jumlah kandungan BB menjadi lebih tinggi atau ketika kandungan partikel ABK menjadi lebih rendah. Nilai laju keausan tertinggi terdapat pada saat ratio komposisi BB:ABK 80:20 yaitu 0.06607 mm³/Nm dan terendah pada BB:ABK 60:40 yaitu 0.05838 mm³/Nm.

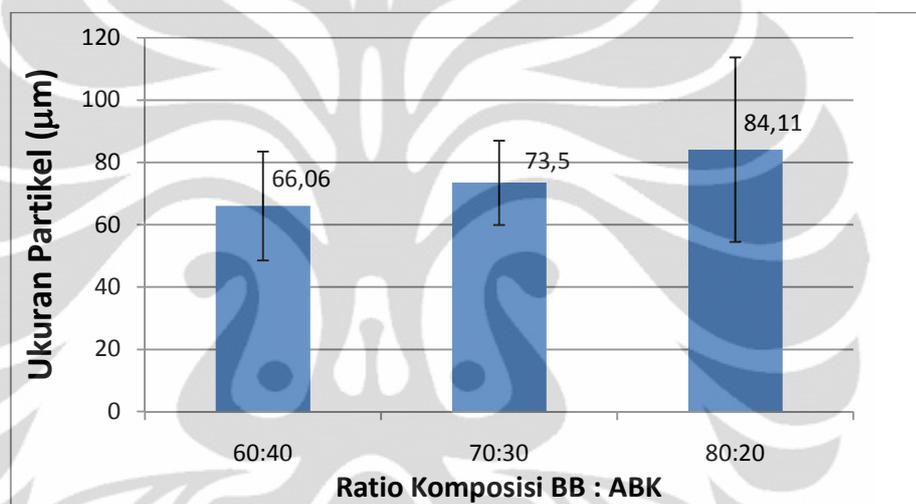
4.2.5 Pengamatan SEM

Pengamatan SEM ini dilakukan untuk mengamati kondisi ikatan antarpartikel dan matriks dari spesimen uji komposit karbon yang dihasilkan. Dengan pengamatan ini, dapat dilihat ukuran rongga pori yang terbentuk, distribusi partikel penguat dan interaksi partikel penguat dengan matriks.

Tabel 4.6 . Data kuantitatif hasil pengamatan SEM

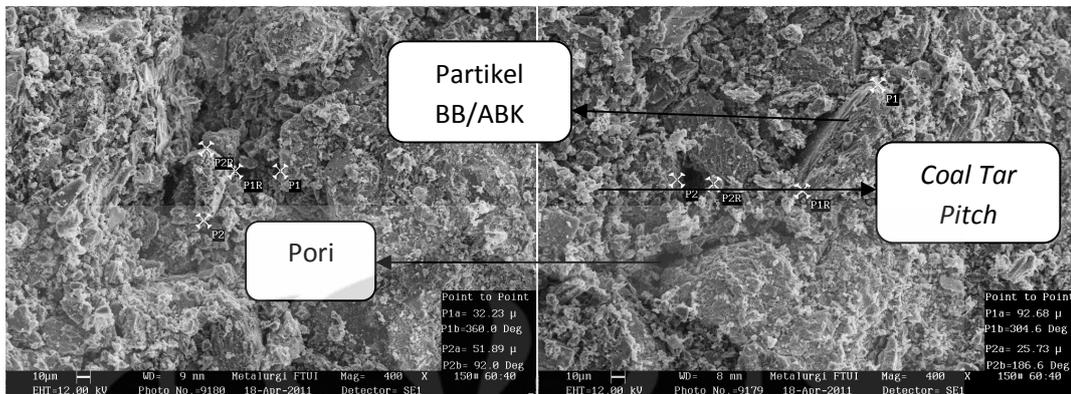
Ratio Komposisi	ukuran partikel(μm)	rata-rata ukuran partikel (μm)	standar deviasi
60:40	49.1	66.06	17.47
	65.67		
	92.68		
	51.89		
	70.94		
70:30	89.57	73.5	13.52
	67.78		
	61.96		
	86.46		
	61.73		
80:20	44.23	84.11	29.64
	83.49		
	88.13		
	77.46		
	127.26		

Dari data dalam Tabel 4.6 di atas dapat dilihat bahwa ukuran partikel rata-rata yang terbaca dari foto SEM memiliki nilai 66,06 μm sampai 84,11 μm . Hal ini menunjukkan bahwa ukuran partikel ini memiliki nilai lebih kecil dari ukuran mesh yang digunakan untuk menyaring partikel yaitu 150 mesh yang setara dengan 104 μm ^[24]. Namun jika dicermati angka-angka yang didapat pada setiap ukuran partikel yang tercantum dalam Tabel 4.6, besar ukuran partikel yang ada memiliki ukuran yang sangat bervariasi, tetapi secara keseluruhan besar ukuran partikel tersebut berada pada angka di bawah 104 μm .

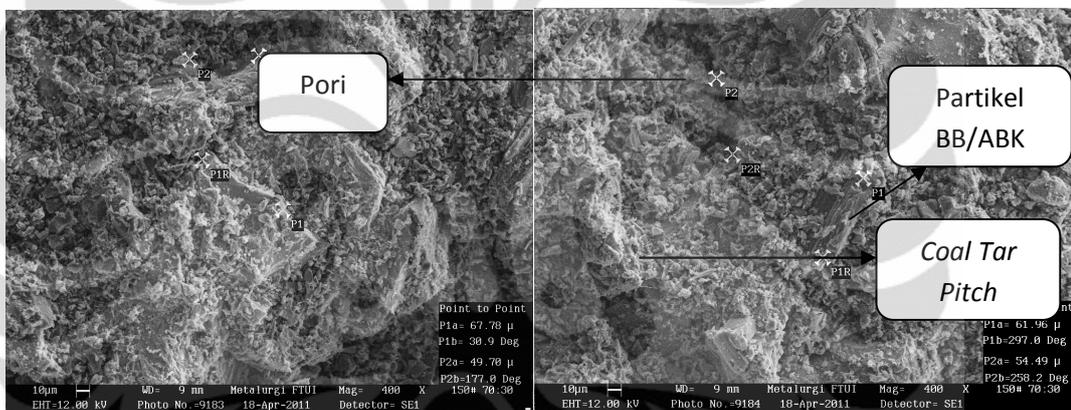


Gambar 4.8 pengaruh ratio komposisi BB:ABK terhadap ukuran partikel komposit

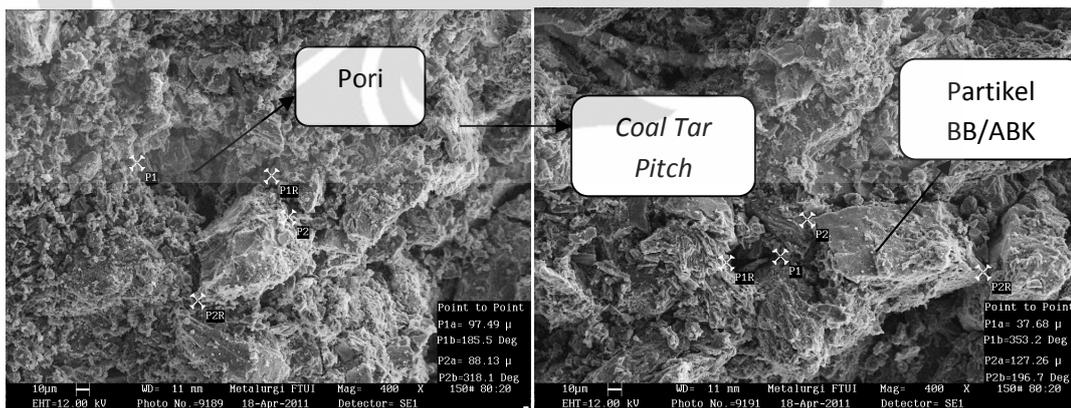
Gambar 4.8 di atas adalah hasil pengamatan SEM yang menunjukkan pengaruh ratio komposisi BB:ABK terhadap ukuran partikel yang ada. Pada gambar ini, dapat dilihat dengan semakin meningkatnya kandungan BB/menurunnya kandungan ABK, komposit karbon yang dihasilkan menunjukkan kecenderungan pembesaran ukuran partikel partikel. Adanya tren kenaikan ukuran partikel secara umum disebabkan oleh penambahan endapan karbon padat dari matriks *coal tar pitch* pada partikel penguat BB dan ABK, sehingga pada sebagian ukuran partikel yang terbaca memiliki ukuran partikel yang lebih besar. Di samping disebabkan oleh penambahan endapan karbon pada partikel, perbesaran ukuran partikel disebabkan oleh terjadinya pemuaihan dari komposit karbon setelah dilakukan proses karbonisasi.



Gambar 4.9 Bentuk topografi struktur mikro komposit karbon dengan komposisi BB:ABK 60:40

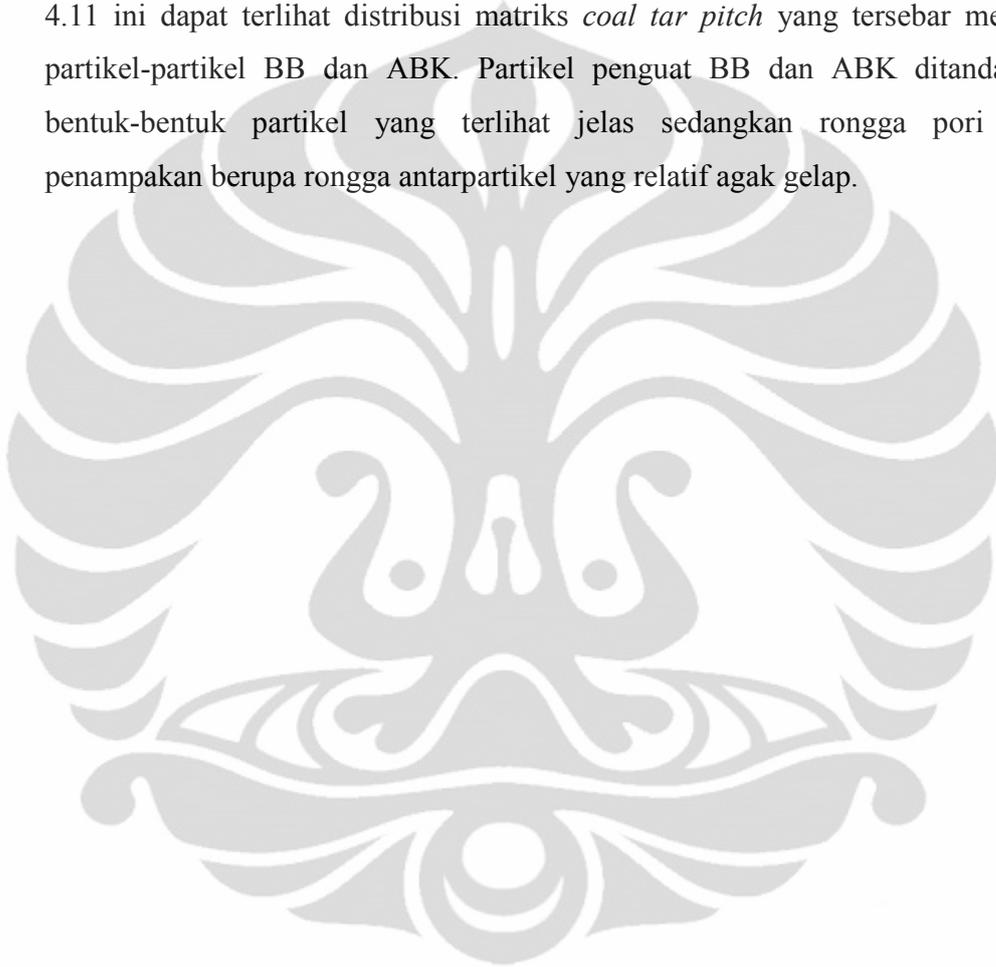


Gambar 4.10 Bentuk topografi struktur mikro komposit karbon dengan komposisi BB:ABK 70:30



Gambar 4.11 Bentuk topografi struktur mikro komposit karbon dengan komposisi BB:ABK 80:20

Gambar 4.9, 4.10, dan 4.11 di atas adalah gambar topografi struktur mikro dari komposit karbon dengan penguat BB dan ABK. Dalam foto mikro hasil pengamatan SEM ini dapat terlihat rongga/ pori yang ada, distribusi dan bentuk partikel penguat BB dan ABK yang tidak beraturan. Dalam Gambar 4.9, 4.10, dan 4.11 ini dapat terlihat distribusi matriks *coal tar pitch* yang tersebar menyelimuti partikel-partikel BB dan ABK. Partikel penguat BB dan ABK ditandai dengan bentuk-bentuk partikel yang terlihat jelas sedangkan rongga pori memiliki penampakan berupa rongga antarpartikel yang relatif agak gelap.



BAB 5

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka didapatkan beberapa kesimpulan, antara lain:

1. Meningkatnya kandungan BB/menurunnya kandungan ABK dalam komposit karbon, secara umum akan berpengaruh terhadap peningkatan densitas, penurunan porositas, penurunan nilai kekerasan dan peningkatan laju keausan.
2. Komposit karbon dengan nilai densitas tertinggi dan porositas terendah terdapat pada persentase BB:ABK 80:20. Nilai densitas tertinggi yaitu 1.53 gr/cm³ dan persentase porositas terendah yaitu 32.14 %.
3. Komposit karbon dengan nilai kekerasan tertinggi dan laju keausan terendah terdapat pada persentase BB:ABK 60:40. Nilai kekerasan tertinggi yaitu 38.54 BHN dan laju keausan terendah yaitu 0.05838 mm³/Nm

DAFTAR PUSTAKA

1. Callister Jr., William D. 2007. *Material Science and Engineering : An introduction, 7th ed.* Jhon Wiley & Sons, Inc.
2. Blanco, C., Santamaría, R., Bermejo, J. & Menéndez, R. (2000a). *Pitch based carbon composites with granular reinforcements for frictional applications.* Carbon, 38, 1043–1051.
3. Rawlings, R. D and F. L. Mathew. 1994. *Composites Materials: Engineering and Science.* Chapman & Hall.
4. Anne Zulfia. *Diklat Kuliah Material Komposit. Departemen Teknik Metalurgi dan Material.* 2009.
5. German. Randall M., *Powder Metallurgy Science.* (New Jersey: Metal Powder Industries Federation, 1984).
6. ASM International Committee. *Composites.* ASM Handbook Vol. 21. 2001.
7. Taylor and Francis. *Wood Thermoplastic Composites Handbook of Wood Chemistry and Wood Composite.* D.F. Caulfield et al. 2005.
8. Department of Materials Science, Sardar Patel University, Vallabh Vidyanagar 388 120, India, *High performance carbon-carbon composites, Sadhana* Vol. 28, Parts 1 & 2, February/April 2003, pp. 349–358.
9. Ling-jun, GUO, LI He-jun*, LI Ke-zhi, WANG Chuang. 2008. Effect of granular reinforcements on the properties of pitch-based carbon composites, *New Carbon Materials*, 2008, 23(1): 51–57.
10. Nugraha, Adidjaya Chandra. 2010. Skripsi : *Pengaruh Temperatur Sinter Terhadap Karakteristik Komposit Batubara – Coal Tar Pitch.* Departemen Teknik Metalurgi dan Material Universitas Indonesia.
11. IUPAC Recommendations 1995, Recommended Terminology For The Description Of Carbon As a Solid, *Pure & Appl. Chem.*, Vol. 67, No. 3, pp. 473-506.
12. <http://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp85-c4.pdf>, diakses pada tanggal 21 mei jam 13.00

13. R. MORRELL, *Matrix Materials National Physical Laboratory* (Teddington, UK)
14. K. Kawamura, M. Ono, and K. Okazaki, *Carbon*30(3), 429-434 (1992)
15. John A. Vaccari, George S. Brady, Henry Clauser *Materials Handbook - Fifteenth Edition 15thEdition* (John Wiley & Sons, Inc., 2003)
16. <http://geology.com/rocks/coal.shtml>, diakses pada tanggal 21 May 2011 jam 13:07
17. <http://coconutboard.nic.in/charcoal.htm>, diakses pada tanggal 04 Juni 2011 jam 19:03
18. Klar, Enhard. *Powder Metallurgy Application, Advantages Limitation*, (Ohio : American Society For Metals, 1983).
19. David Chandrwan dan Myrna Ariati, *Metalurgi serbuk*, Teori dan Aplikasi Jilid 1. Depok. 1999
20. Froyen. L., and Verlinden. B., 1994. *Aluminium Matrix Composite Materials*. Talat 1402. Belgium. European Aluminium Associations (EAA)
21. ASM Handbook Volume 7, *Powder Metallurgy Technologies and Applications* (USA: ASM International, 1990)
22. R. L. Hewitt, W. Wallace dan M. C. Demalherbe, *Plastic Deformation in Metal Powder Compaction* (Powder Met, 1971, vol 17, hal. 1-12)
23. Pramono, Agus Edy, 2010. *Rekayasa dan Karakterisasi Material Komposit Karbon Karbon Berbasis Limbah Organik*. Fakultas Teknik Program Studi Departemen Teknik Metalurgi dan Material
24. <http://www.wovenwire.com/reference/particle-size.htm>, diakses pada tanggal 07 Juni 2010 jam 11.30am

Lampiran 1

Sertifikat Analisis CHNSO Batubara

F.40015A



Laboratorium Pengujian tekMIRA

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

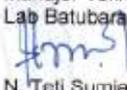
SERTIFIKAT ANALISIS (CERTIFICATE OF ANALYSIS)

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 Depck) 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 / 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

Lampiran 2

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

1 dari 1

Manajer Teknis
 Lab. Batubara,

N. Teti Sumiati, S.Si.
 NIP. 100011640

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

Notes These analysis result are only valid for the tested samples

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

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

Universitas Indonesia

Lampiran 3

Sertifikat Analisis CHNSO *Coal Tar Pitch*

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

**SERTIFIKAT ANALISIS
 (CERTIFICATE OF ANALYSIS)**
 Terakreditasi No. LP-051-IDN tgl. 19 Juni 2009

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

Dibuat untuk / Certified for : Agus Edy Pramono NPM 0805040120
 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

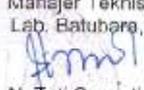
Contoh diterima tanggal / Sample received on : 6 Agustus 2009

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	0.81	%	adb	ASTM D.4239
OXYGEN	5.03	%	adb	By Diff

1 dari 1

Manajer Teknis
 Lab. Batubara,

 N. Teti Sumiati, S.Si.
 NIP. 100011640

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

Universitas Indonesia

Lampiran 4

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

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

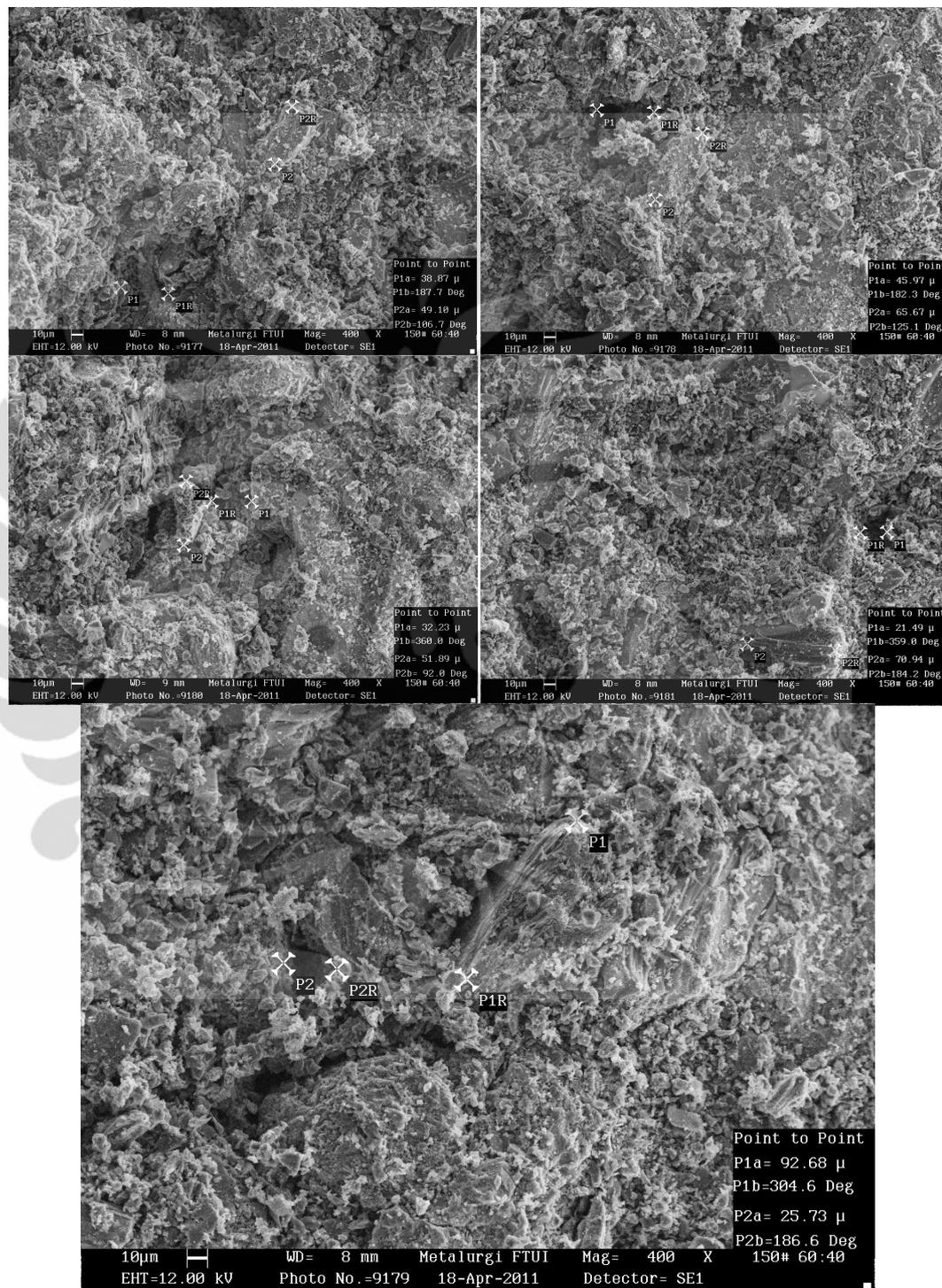
Hasil pengukuran densitas BB, ABK dan Pitch

No	Densitas (gr/cm 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

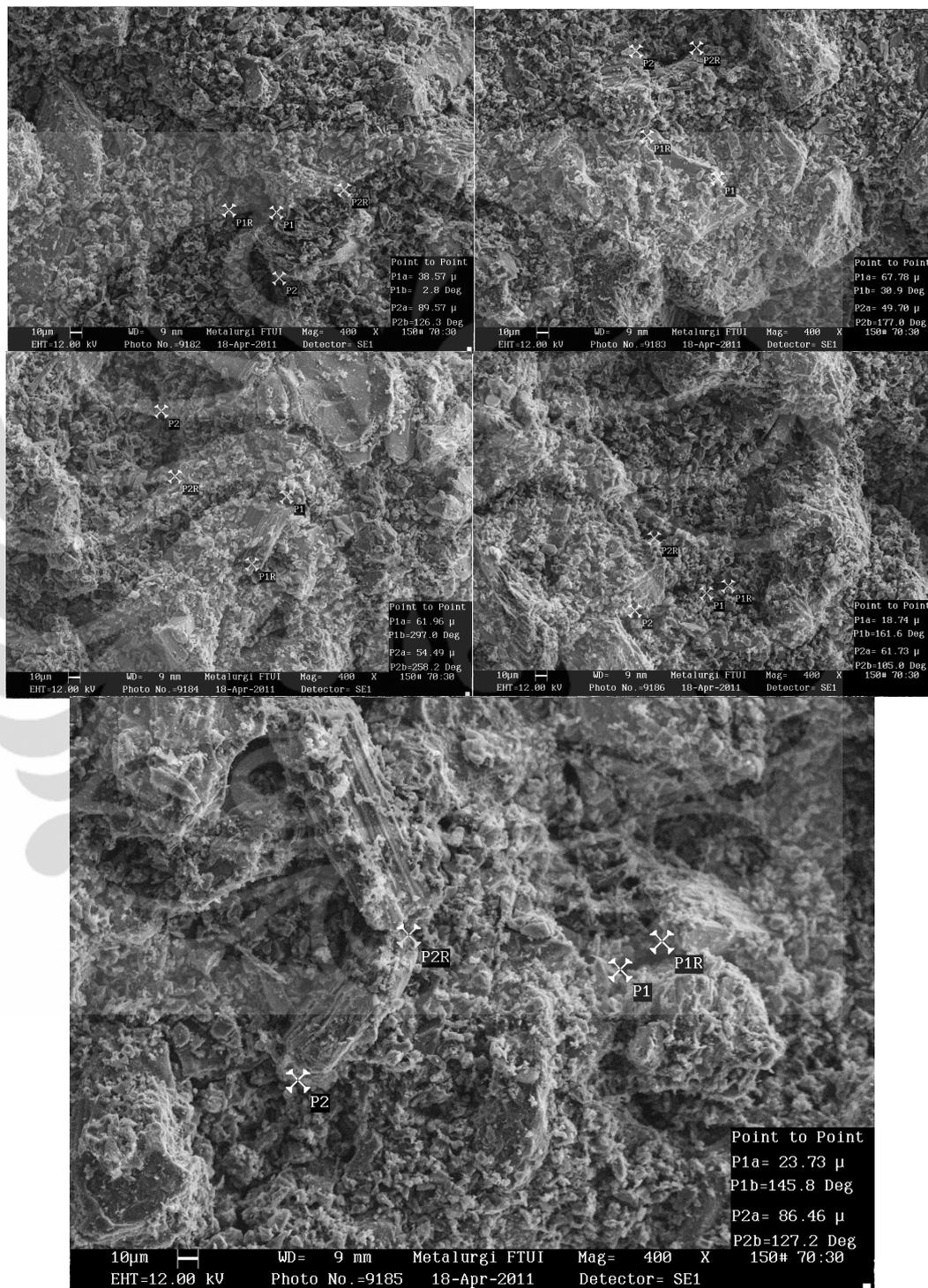
BB:ABK	Bahan						Densitas komposit (gr/cm ³)
	Pitch		BB		ABK		
	volume (cm ³)	fraksi volume	volume (cm ³)	fraksi volume	volume (cm ³)	fraksi volume	
60:40	8,82	0,39	7,58	0,34	6,11	0,27	1,32
70:30	8,82	0,39	9,00	0,40	4,58	0,20	1,34
80:20	8,82	0,40	10,29	0,46	3,05	0,14	1,35

Lampiran 5



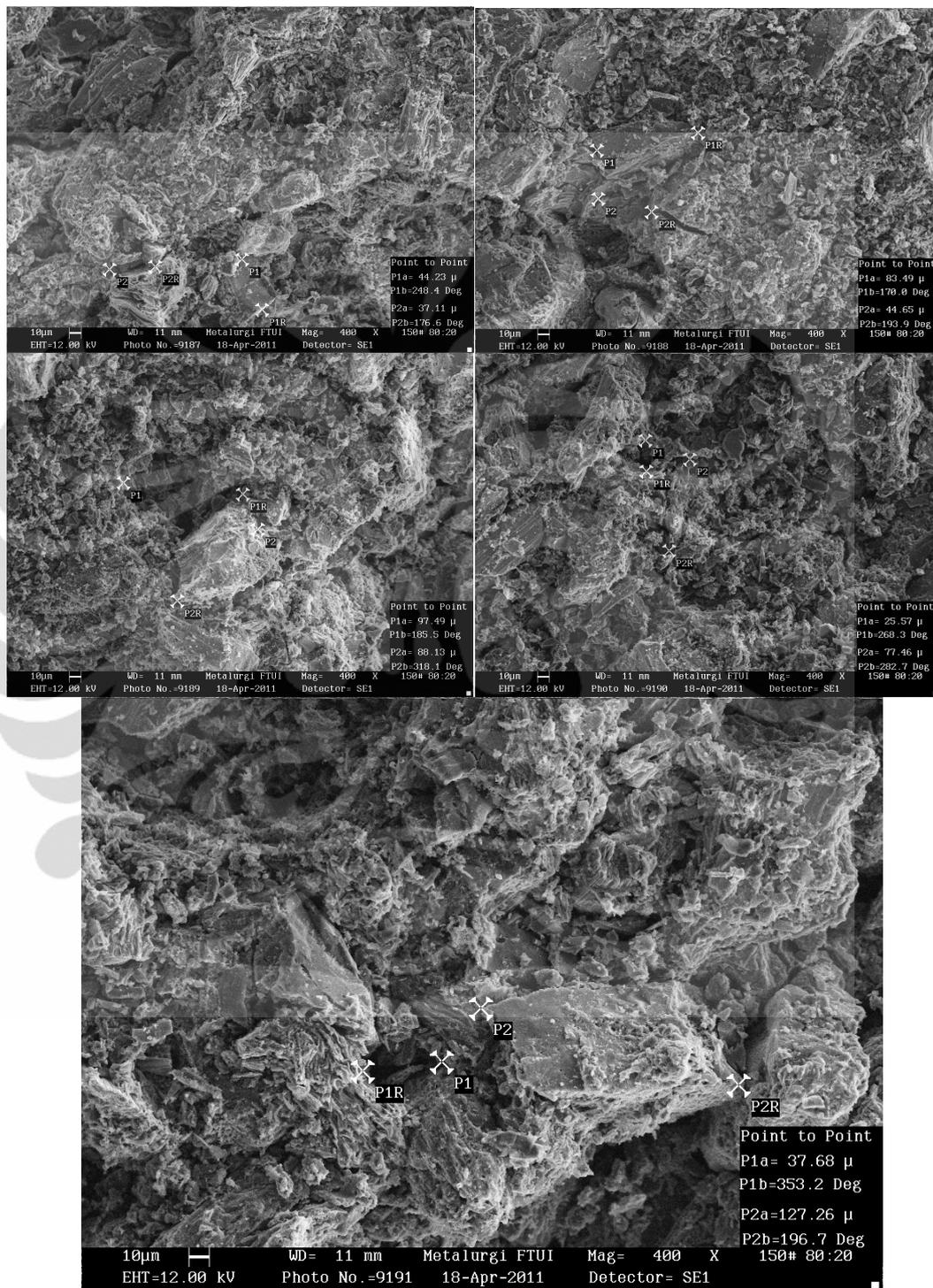
Gambar Pengamatan SEM komposisi BB:ABK 60:40

Lampiran 6



Gambar Pengamatan SEM komposisi BB:ABK 70:30

Lampiran 7



Gambar Pengamatan SEM komposisi BB:ABK 80:20