



UNIVERSITAS INDONESIA

**PEMBUATAN KARBON AKTIF BERBAHAN DASAR
PETROLEUM COKE DENGAN METODA AKTIVASI KIMIAWI**

SKRIPSI

ANDRI MAULANA

0806367784

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM EKSTENSI TEKNIK KIMIA

UNIVERSITAS INDONESIA

DEPOK

JANUARI 2011

HALAMAN PERNYATAAN ORISINILITAS

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

Nama : Andri Maulana

NPM : 0806367784

Tanda Tangan :

Tanggal : 6 Januari 2011

LEMBAR PENGESAHAN

Skripsi diajukan oleh :

Nama : Andri Maulana
NPM : 0806367784
Program Studi : Teknik Kimia
Judul Skripsi : Pembuatan Karbon Aktif berbahan dasar *petroleum coke*
dengan metoda aktivasi kimiawi

Telah berhasil dipertahankan dihadapan dewan penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. Mahmud Sudibandriyo, Msc, PhD



(.....)

Penguji I : Prof.Dr.Ir.Widodo W.P, DEA



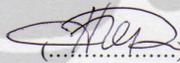
(.....)

Penguji II : Dr.rer.nat.Ir. Yuswan Muharam, MT



(.....)

Penguji III : Ir. Bambang Heru S, MT



(.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 7 Januari 2011

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

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

Nama : Andri Maulana
NPM : 0806367784
Program Studi : Teknik Kimia
Departemen : Teknik Kimia
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

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

“Pembuatan Karbon Aktif Berbahan Dasar *Petroleum Coke* Dengan Metoda Aktivasi Kimiawi”

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pengkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 6 Januari 2011

Yang menyatakan
(Andri Maulana)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	v
ABSTRAK.....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	7
1.3 Tujuan Penelitian.....	7
1.4 Batasan Masalah.....	7
1.5 Sistematika Penulisan.....	8
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	9
2.1 <i>Petroleum coke</i>	9
2.2 Karbon Aktif.....	11
2.2.1 Jenis-jenis karbon aktif.....	14
2.2.2 Proses produksi karbon aktif.....	15
2.2.3 Sifat fisis dan Kimia Karbon Aktif.....	19
2.2.4 Struktur pori Karbon Aktif.....	21
2.2.5 Faktor yang mempengaruhi Produksi Karbon Aktif.....	23
2.2.5.1 Bahan Baku.....	23
2.2.5.2 Temperatur.....	26
2.2.5.3 Waktu Aktivasi.....	26

2.3 Mekanisme dan skematis reaksi pembentukan pori dengan aktivasi KOH.....	26
2.4 Penentuan Luas Permukaan	28
2.4.1 Isoterm Adsorpsi	29
2.4.1.1 Isoterm Adsorpsi Langmuir	30
2.4.1.2 Isoterm Adsorpsi BET	34
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	36
3.1 Alur Penelitian	36
3.2 Prosedur Penelitian	36
3.2.1 Persiapan Alat dan Bahan Dasar.....	36
3.2.2 Preparasi	40
3.2.3 Aktivasi	40
3.2.4 Pendinginan	41
3.2.5 Pencucian	41
3.2.7 Pengeringan Sampel.....	41
3.2.8 Analisis luas area permukaan karbon aktif	42
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	43
4.1 Preparasi Petroleum Coke	43
4.2 Aktivasi Petroleum Coke	44
4.3 Produk Karbon Aktif.....	47
4.4 Hasil Karakteristik Luas Permukaan.....	50
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	55
DAFTAR PUSTAKA	xiii

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Penggunaan karbon aktif di negara-negara industri	2
Gambar 2.1 Petroleum Coke	9
Gambar 2.2 Pelat datar kisi heksagonal arang aktif	19
Gambar 2.3 Struktur kimia permukaan arang aktif non alkohol	20
Gambar 2.4 Tipe-tipe pori	22
Gambar 2.5 Distribusi pori yang berbeda berdasarkan bahan baku yang digunakan	23
Gambar 2.6 Skematis reaksi karbondengan aktivasi KOH	26
Gambar 2.7 <i>Width Activation</i>	27
Gambar 2.8 <i>Depth Activation</i>	27
Gambar 2.9 Lima kategori grafik kecenderungan adsorpsi isotherm.....	29
Gambar 2.10 Proses adsorpsi Isoterm BET.....	34
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian	37
Gambar 3.2 Protoype Reaktor Aktivasi.....	38
Gambar 3.3 Rancangan Penelitian.....	39
Gambar 3.4 Skema peralatan aktivasi karbon aktif.....	41
Gambar 4.1 <i>Petroleum Coke</i> sebelum dilakukan pemanasan awal	43
Gambar 4.2 Reaktor aktivasi	44
Gambar 4.3 Asap putih saat proses aktivasi	47
Gambar 4.4 Hasil arang aktif 3:1 pada temperatur 900 °C dan suhu 800 °C	48
Gambar 4.5 Hubungan pengaruh temperatur aktivasi terhadap persentase yield arang aktif yang dihasilkan.....	49
Gambar 4.6 Hubungan luas permukaan dengan temperatur pada hasil karbon Karbon aktif KOH : <i>Petroleum Coke</i> (0 :1)	52

Gambar 4.7 Hubungan luas permukaan dengan temperatur pada hasil karbon
Karbon aktif KOH : *Petroleum Coke* (1 :4) 53

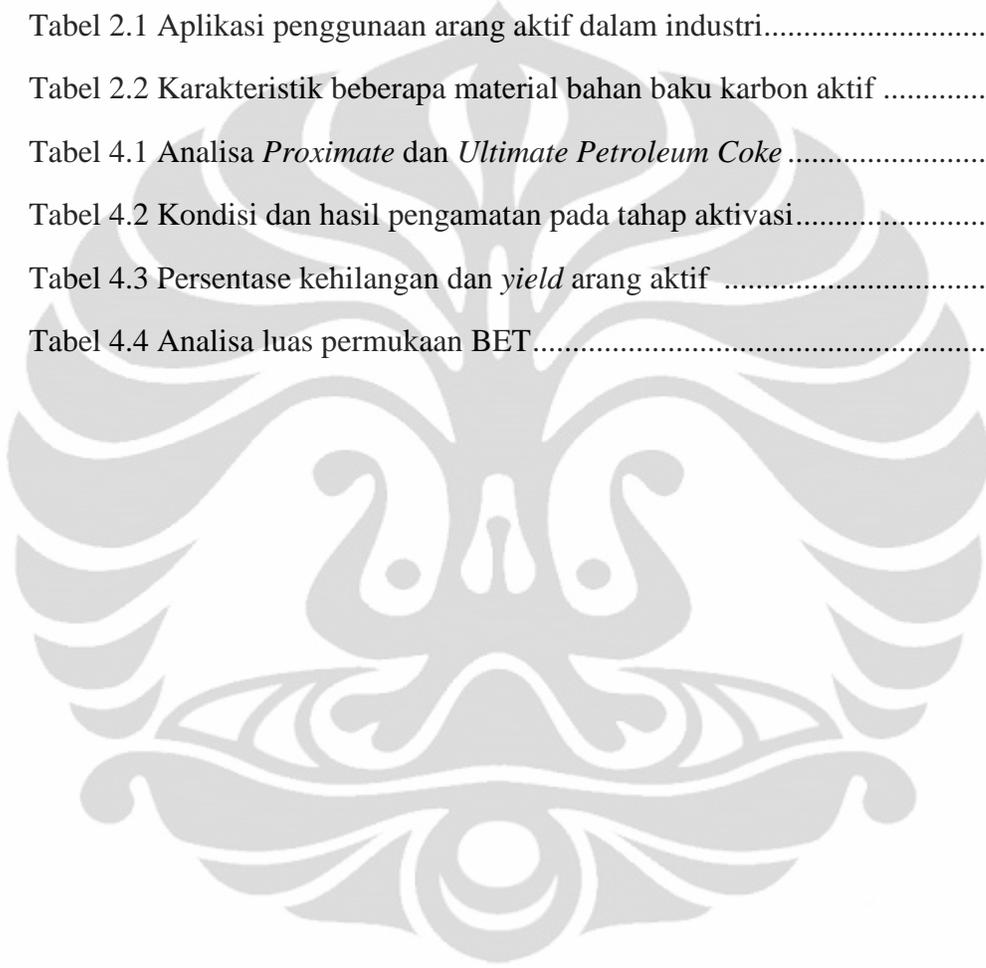
Gambar 4.8 Hubungan luas permukaan dengan temperatur pada hasil karbon
Karbon aktif KOH : *Petroleum Coke* (2 :1) 53

Gambar 4.9 Hubungan luas permukaan dengan temperatur pada hasil karbon
Karbon aktif KOH : *Petroleum Coke* (3 :1) 54



DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Perkembangan penelitian karbon aktif.....	3
Tabel 1.2 Komposisi rata-rata <i>petroleum coke</i>	5
Tabel 2.1 Aplikasi penggunaan arang aktif dalam industri.....	12
Tabel 2.2 Karakteristik beberapa material bahan baku karbon aktif	25
Tabel 4.1 Analisa <i>Proximate</i> dan <i>Ultimate Petroleum Coke</i>	44
Tabel 4.2 Kondisi dan hasil pengamatan pada tahap aktivasi.....	45
Tabel 4.3 Persentase kehilangan dan <i>yield</i> arang aktif	48
Tabel 4.4 Analisa luas permukaan BET.....	50



DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A HASIL ANALISA BET



ABSTRAK

Petroleum Coke hasil dari perengkahan thermal minyak bumi sebagai hasil samping reaksi pemutusan rantai yang terbentuk di dinding-dinding *furnace*, merupakan residu yang pemanfaatannya masih terbatas. Kandungan karbon yang cukup tinggi dalam *petroleum coke* bisa dimanfaatkan sebagai prekursor karbon aktif dengan terlebih dahulu diberikan perlakuan terhadap *petroleum coke* agar memiliki luas permukaan yang tinggi sehingga menghasilkan kapasitas adsorpsi yang tinggi pula. Pada penelitian ini dilakukan perlakuan dengan metoda aktivasi kimiawi menggunakan KOH sebagai *activated agent* dengan rasio KOH : *petroleum coke* adalah 0/1, 1/4, 3/1 dan 4/1 pada variasi temperatur 700, 800, dan 900 °C yang kemudian dilakukan analisa luas permukaan BET. Pada penelitian ini diperoleh arang aktif dengan hasil luas permukaan tertinggi pada variasi 3 : 1 pada temperatur 900 °C sebesar 29 m²/g.

Kata kunci : Arang aktif, *petroleum coke*, aktivasi kimiawi.

ABSTRACT

Petroleum Coke a result of thermal cracking of petroleum as a result of side chain termination reaction that forms in the walls of the furnace, is the residue and their utilization is still limited. A fairly high carbon content in petroleum coke can be used as a precursor of activated carbon with the first given for the treatment of petroleum coke has a high surface area resulting in a higher adsorption capacity. The this research use treatment with chemical activation method using KOH as activated agent with a ratio of KOH: petroleum coke is 0 : 1, 1 : 4, 3 : 1 and 4 : 1 on the temperature variation 700, 800, and 900 °C are then analyzed BET model surface area. In this study the activated carbon with highest surface area results in variations of 3: 1 at 900 °C for 29 m² / g.

Key words : Activated carbon, petroleum coke, chemical activation

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

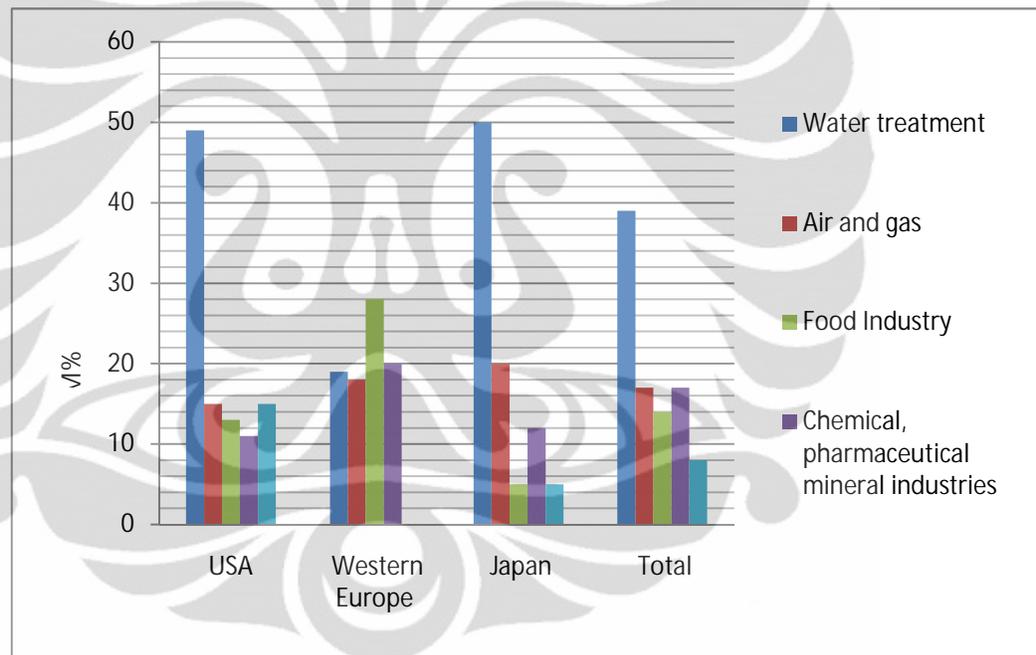
Sistem penyerapan atau sistem adsorpsi banyak sekali digunakan baik dalam kehidupan sehari-hari maupun dalam dunia industri. Dalam dunia industri sistem adsorpsi biasa digunakan pada sistem penyerapan limbah, sebagai katalis reaksi, gas storage (penyimpan gas), sistem pendingin, pemurnian gas alam dan lain-lain. Karbon aktif banyak digunakan sebagai adsorben pada aplikasi diatas karena memiliki luas permukaan yang sangat besar $1,95 \cdot 10^6 \text{ m}^2/\text{kg}$, dengan volume pori-pori nya $10,28 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{kg}$ dan diameter pori rata-rata $21,6 \text{ \AA}$, sehingga sangat memungkinkan untuk dapat menyerap adsorbat dalam jumlah yang banyak (Abrarridwan, 2009).

Aplikasi karbon aktif sebagai tempat penyimpanan gas alam (*adsorbed Natural gas*) membutuhkan tekanan sebesar 4 MPa (Manocha Satish, 2003) . Jika dibandingkan dengan *Compressed Natural Gas* (CNG) yang membutuhkan tekanan sekitar 25 MPa maka tekanan yang diperlukan pada ANG lebih rendah. Demikian dari sisi tekanan yang dibutuhkan penggunaan ANG lebih efisien dibandingkan CNG. Karbon aktif merupakan kandidat adsorbent yang sangat baik untuk keperluan penyimpanan gas dengan batu bara serta tempurung kelapa adalah bahan baku yang paling baik untuk pembuatannya (Teng, 1999). Dalam mengembangkan potensi aplikasi karbon aktif pada *Adsorbed Natural Gas* dibutuhkan data tentang penyerapan equilibrium dan kinetik, hal tersebut diperlukan sekali untuk mengidentifikasi adsorben yang terbaik dan tekanan pengisian yang optimum (Frere Marc G et al, 2002).

Aplikasi karbon aktif dalam bidang teknologi lingkungan misalnya sebagai adsorben adalah adsorpsi emisi gas CO_2 dari hasil pembakaran bahan bakar fosil pada kendaraan, pembangkit listrik, industri, dan lain-lain yang terakumulasi di

atmosfir akan mengakibatkan terjadinya pemanasan global. Adsorpsi adalah salah satu cara atau metoda yang paling efektif untuk memisahkan CO₂ yang dikeluarkan oleh hal-hal tersebut di atas (Saragih, 2008).

Selain aplikasi karbon aktif yang telah disebutkan di atas, juga terdapat beberapa aplikasi lainnya. Seperti ditunjukkan pada Gambar 1.1 bahwa negara-negara industri seperti Amerika Serikat, Eropa Barat, dan Jepang menggunakan karbon aktif paling besar untuk pengolahan air selanjutnya untuk industri makanan lalu untuk pemurnian udara dan gas serta industri obat dan lain-lain (Saragih, 2008).



Gambar 1.1 Penggunaan karbon aktif di Negara-Negara Industri (Saragih, 2008)

Pada tahun 2009, penelitian dengan metode aktivasi kimia berbahan dasar batu bara ombilin dan tempurung kelapa, pernah dilakukan di Laboratorium Teknologi Energi Berkelanjutan serta Laboratorium Rekayasa Reaksi Kimia dan Konversi Gas Alam, Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia. Penelitian ini dilakukan karbonisasi pada tempurung kelapa pada suhu 400⁰C dan proses

aktivasi karbon aktif oleh KOH pada variasi temperatur 700 °C sampai dengan 900 °C dengan mengalirkan gas inert N₂ pada laju alir 100 mL/menit dengan kenaikan temperatur 10 °C/menit, menghasilkan karbon aktif dari batu bara dengan luas permukaan tertinggi pada perbandingan KOH : batu bara = 4 : 1 dan temperatur aktivasi 900 °C, yaitu 2824 m²/gram. Sedangkan pada bahan baku tempurung kelapa, dengan temperatur aktivasi antara 700°C - 900°C, luas permukaan karbon aktif paling tinggi diperoleh dari proses aktivasi pada perbandingan KOH : tempurung kelapa = 4:1 pada temperatur 700°C yaitu sebesar 1056 m²/gram (Sudibandriyo M, 2009).

Perkembangan penelitian untuk meningkatkan daya adsorpsi karbon aktif dalam skala laboraturim dapat dilihat pada Tabel 1.1.

Tabel 1.1. Perkembangan Penelitian Karbon Aktif

No	Nama Jurnal	Proses	Hasil
1	<i>Production of activated Carbon from Palm-oil shell by pyrolysis and steam activation in a fixed bed reactor</i> [Vitidsant, 1999]	Pirolisis bahan baku dengan laju alir udara 0.72 ml/min selama 30 menit dengan menggunakan steam dengan temperatur 750°C selama 3 jam.	$\rho_{\text{bulk}} = 0.505 \text{ g/cm}^3$. <i>Surface area</i> = 669,75 m ² /g.
2	<i>Production and characterization of Activated Carbon from pine wastes gasified in a pilot reactor</i> [Garcia, 2002]	Pencampuran bahan baku dengan KOH (rasio berat alkali/char = 4:1). Dialiri gas N ₂ 4 l:min dengan temperatur bervariasi dari 725 sampai 800 °C selama 1 jam.	Volume mikropori = 0,678 cm ³ /g. <i>Surface area</i> = 1908 m ² /g.
3	<i>Preparation and Examination of Activated Carbon from Date Pits Impregnated with KOH</i> [Banat, 2003].	Dengan mencampur 30 wt% KOH dan kemudian dipanaskan sampai temperatur 600 °C selama 2 jam.	<i>Surface area</i> adalah 470 m ² /gr

Tabel 1.1 (Lanjutan)

3	<i>Understanding chemical reaction between carbon and NaOH and KOH</i> [Lillo, 2003]	Bahan baku dicampur dengan NaOH (NaOH:C=3:1) dengan laju pemanasan adalah 5 ⁰ C/menit sampai 760 ⁰ C. Dengan dialiri N ₂ , CO ₂ dan steam (laju steam adalah 40, 100 dan 500 ml/min)	Hasil terbaik : dialiri N ₂ 500 ml/min = 2193 m ² /g. Hasil paling jelek : dialiri CO ₂ = 36 m ² /g
4	<i>Activated carbon from Moringa husks and pods</i> [McConnachie, 1996]	Dipanaskan dengan dialiri steam (2ml/min) dan besar laju pemanasan adalah 20 ⁰ C/min, temperatur akhir bervariasi dari 500 ⁰ C sampai 800 ⁰ C selama 1 atau 2 jam.	<i>Surface area</i> untuk 800 ⁰ C =713 m ² /gram.
5	<i>Activated carbon from Bamboo – Technology Development towards Commercialisation</i> [Baksi, 2006].	Dicampur asam fosfat (H ₃ PO ₄), Zinc Klorid (ZnCl ₂) di <i>fluidized bed reactor</i> pada 900 – 1100 ⁰ C dengan adanya steam atau CO ₂ .	<i>Surface area</i> rata-rata adalah 1250 m ² /gram.
6	<i>High-Porosity Carbons Prepared from Bituminous Coal with Potassium Hydroxide Activation</i> [Teng, 1999]	Dilakukan karbonisasi di <i>horizontal cylindrical furnace</i> (60-mm i.d.) dengan atmosfer N ₂ (100 mL/min) dan laju pemanasan (v) = 30 ⁰ C.min dari temperatur ruang sampai 500-1000 ⁰ C selama 0 – 3 jam	KOH/coal = 4,25:1 dengan 800 ⁰ C selama 1 jam mendapat <i>surface area</i> = 3000 m ² /gr.

Tabel 1.1 (Lanjutan)

7	<i>Preparation of Activated Carbon from Bituminous Coals with CO₂ Activation I. Effects of Oxygen Content in Raw Coals</i> [Teng, 1996].	Pirolisis dengan aliran CO ₂ /N ₂ dipanaskan dengan laju pemanasan 30 ⁰ C/min dari temperatur ke <i>maximum heat treatment</i> yaitu 800-950 ⁰ C. Kemudian dilakukan gasifikasi dengan aliran CO ₂ pada temperatur <i>maximum heat treatment</i> .	Hasil yang terbaik adalah 658 m ² /g
8	<i>Effect of Two-Stages Process on the preparation and Characterization of Porous Carbon Composite from Rice Husk by Phosporic Acid Activation</i> [Kennedy, 2004].	<i>Precarbonized</i> karbon dengan dicampur dengan 250 g yang mengandung 85% berat H ₃ PO ₄ . Rasio H ₃ PO ₄ : coal = 4,2 : 1 pada 85 ⁰ C selama 4 jam. Lalu dikeringkan dengan kondisi <i>vacuum</i> pada 110 ⁰ C selama 24 jam dan diaktivasi dengan atmosfer N ₂ (v=100mL/min) dan laju pemanasan = 5 ⁰ C/mn. Temperatur yang digunakan adalah 700, 800, 900 ⁰ C selama I jam lalu didinginkan.	Surface area T = 900 ⁰ C adalah 438,9 m ² /gr.

Arang aktif bisa juga dibuat dari *petroleum coke* (*pet coke*) yang terbentuk sebagai hasil samping dari perengkahan thermal minyak bumi. *Petroleum coke* ini memiliki komposisi karbon yang cukup besar sehingga memungkinkan untuk dimanfaatkan sebagai komoditi karbon aktif. *Petroleum coke* ini biasanya terdeposisi sedikit demi sedikit dan akhirnya akan terakumulasi pada dinding-dinding furnace dan *transfer line* (pipa transfer). Akumulasi berlebih *petroleum coke* ini dapat mengganggu operasi perengkahan thermal dan memberikan masalah lingkungan. *Petroleum coke* ini memiliki kandungan karbon yang cukup tinggi namun memiliki kandungan sulfur yang relatif tinggi pula.

Tabel 1.2 Komposisi rata-rata *petroleum coke* (Theresia, 2002)

Parameter	Nilai (% berat)
Kadar air	0.01
Kadar zat terbang	5,71
Kadar abu	0,32
Kadar karbon padat	94
Kadar fosfor	0,5

Observasi tentang pembuatan karbon aktif dengan berbahan dasar *petroleum coke* dari residu *petroleum refinery* telah dilakukan dengan mempergunakan KOH sebagai *active agent* pada temperatur aktivasi 600 °C sampai dengan temperatur 800 °C dengan waktu aktivasi pada 1 jam sampai 3 jam. Observasi ini menghasilkan karbon aktif dengan luas permukaan paling besar 2500 m²/g dan volume pori lebih dari 1,5 cm³/g. (Mendez Manoel, 2006). Selama ini pemanfaatan *petroleum coke* sebagai bahan dasar karbon aktif di Indonesia masih minim, kebanyakan pemanfaatannya masih terbatas sebagai elektroda atau anoda pada industri pengecoran logam. Ketersediaan *petroleum coke* cukup melimpah mengingat Indonesia memiliki industri-industri migas atau petrokimia yang menghasilkan *petroleum coke* sebagai pruduk samping.

Konsumsi karbon aktif dunia semakin meningkat setiap tahunnya, misalkan pada tahun 2007 mencapai 300.000 ton/tahun. Sedangkan negara besar seperti Amerika kebutuhan perkapitanya mencapai 0,4 kg per tahun dan Jepang berkisar 0,2 kg per tahun. Hal ini berdampak pada harga karbon aktif yang semakin kompetitif. Di pasaran dalam negeri harga karbon aktif antara Rp. 6.500/kg sampai Rp. 15.000/kg tergantung pada kualitasnya. Bahkan di pasaran internasional karbon aktif dengan bilangan *iodine* lebih besar dari 1.000 m²/gram dapat mencapai 20 dolar Amerika per kilonya.

Pada penelitian ini akan digunakan *petroleum coke* hasil dari perengkahan thermal material petroleum dari industri petrokimia dan KOH akan digunakan

sebagai *activated agent* dalam pembuatan karbon aktif berbahan dasar *petroleum coke*. Dari beberapa observasi yang telah diamati diatas terlihat bahwa proses aktivasi dengan menggunakan KOH bisa menghasilkan karbon aktif dengan luas permukaan yang cukup tinggi. Selain itu aktivasi dengan menggunakan KOH dengan tanpa kehadiran oksigen akan memberikan reaksi pembakaran yang terkontrol (Sudibandriyo M, 2009).

1.2 Perumusan Masalah

1. *Petroleum Coke* yang dihasilkan dari perengkahan thermal minyak bumi di Indonesia penggunaannya masih sangat terbatas berpotensi untuk dikembangkan menjadi produk *activated carbon* namun penelitian yang komprehensif mengenai hal ini belum dilakukan di Indonesia.
2. Penggunaan *Petroleum Coke* perlu dilakukan melalui penghilangan dari pengotor dan proses aktivasi terlebih dahulu untuk menaikkan luas permukaanya.

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian karbon aktif dari *petroleum coke* ini bertujuan untuk memanfaatkan potensi *petroleum coke* sebagai karbon aktif melalui optimalisasi proses aktivasi dengan KOH untuk menghasilkan *activated carbon* dengan luas permukaan yang besar.

1.4 Batasan Masalah

Penelitian karbon aktif dari *petroleum coke* ini difokuskan pada hal-hal sebagai berikut :

1. Karbon aktif yang akan digunakan adalah karbon aktif yang berbahan baku *petroleum coke*.
2. Pembuatan karbon aktif :
 - Karbon aktif dibuat dalam bentuk granul dengan ukuran mesh 10 x 20

- Proses aktivasi dilakukan dengan aktivasi kimiawi pada temperatur antara 700°C , 800°C dan 900°C dengan menggunakan KOH sebagai *activated agent* dengan memvariasikan rasio KOH : *Petroleum Coke* adalah 0:1, 1:4, 2:1 dan 3:1 selama satu jam.
3. Karakteristik *specific surface area* karbon aktif yang dihasilkan dihitung dengan menggunakan *BET model*.

1.5 Sistematika Penulisan

BAB I PENDAHULUAN

Berisi latar belakang sebagai dasar penelitian dilakukan, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Berisi landasan teori umum yang digunakan untuk menjelaskan masalah yang dibahas.

BAB III METODE PENELITIAN

Berisi tentang metode penelitian serta langkah-langkah yang dilakukan dalam menjalankan penelitian untuk mencapai tujuan.

BAB 4 HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Bagian ini berisi mengenai hasil penelitian selama proses penelitian dan pembahasan.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Baian ini berisi mengenai kesimpulan akhir yang didapatkan selama penelitian dan saran yang mungkin pada penelitian selanjutnya.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Petroleum Coke*

Petroleum Coke atau sering disebut juga *pet coke* merupakan residu padatan yang terbentuk dari proses dekomposisi thermal dan polimerisasi *heavy liquid hydrocarbon* yang diperoleh dari *petroleum material*. *Petroleum coke* ini berupa padatan hitam yang memiliki komposisi karbon yang cukup tinggi. Reaksi pembentukan *petroleum coke* merupakan reaksi yang sangat kompleks dengan reaksi *multi-step*. Densitas ruah dari *petroleum coke* adalah antara 650 kg/m^3 sampai dengan 1300 kg/m^3 .



Gambar 2.1 *Petroleum Coke*

Kebanyakan *petroleum coke* dihasilkan sebagai bahan yang keras, *porous* dengan matrik *polycrystalline carbon*. *Petroleum coke* dapat yang dihasilkan dari residu proses destilasi disebut dengan *petroleum sponge coke*, sedangkan *coke* yang terbentuk dari proses *thermal cracking* pada temperatur dan tekanan yang tinggi ($485 - 505 \text{ }^{\circ}\text{C}$ pada 400 Kpa) dikenal dengan *petroleum premium coke*, . Penggunaan *petroleum coke* pada umumnya digunakan sebagai bahan pembuatan

elektroda untuk digunakan dalam *electrical furnace*, pembuatan *anode* untuk *cell electrolytic* di pabrik alumina, digunakan sebagai sumber karbon di dalam pembuatan elemen phosphor, calcium carbide, silica carbide, dan dalam pembuatan *graphite*. *Petroleum coke* tipe *premium* lebih disukai karena ia memiliki *electrical resistivity*, dan *coefficient thermal expansion* yang lebih rendah sehingga tidak mudah berubah bentuk dan tidak boros pemakainnya.

Petroleum Coke terbentuk dari dua reaksi dasar yaitu *dealkylation* dan dehidrogenasi (Onder dan Bagdoyan, 1993).

Dealkylation – Ketika senyawa dengan berat molekul yang tinggi seperti aspal atau resin berada pada temperatur tinggi dalam *coker unit*. Residu karbon yang dihasilkan memiliki struktur yang tidak beraturan dan berikatan silang (*cross linked*). Hal ini ditunjukkan dengan perbedaan yang signifikan antara komposisi rasio hidrogen yang diukur dari umpan resin/aspal dibandingkan dengan *petroleum coke* yang terbentuk. Rasio karbon terhadap hidrogen bertambah dari range 8-10 pada bagian umpan dan 20 – 24 pada bagian *petroleum coke*. Karakter amorf, disertai dengan konsentrasi *impurities* yang tinggi, *petroleum coke* yang terbentuk dari senyawa resin/aspal tidak cocok untuk penggunaan yang khusus.

Dehydrogenation – Mekanisme reaksi yang terjadi bergantung pada dehidrogenasi *heavy oil* yang diikuti dengan kondensasi radikal bebas untuk membentuk senyawa dengan bobot molekul yang tinggi dengan komposisi rasio karbon dan hidrogen yang tinggi. *Petroleum coke* yang terbentuk memiliki struktur ikatan silang yang lebih sedikit dan struktur *crystalline* yang lebih tinggi dibandingkan dengan *petroleum coke* dari aspal atau resin. *Petroleum coke* ini terbentuk dari *feedstocks* seperti *thermal cracker tars*, *catalytic cracker slurry* atau *decant oil*, dimana memiliki komponen aromatik yang tinggi dan rendah dalam kandungan resin dan aspal, *petroleum coke* ini memiliki tingkatan premium dan cocok untuk kalsinasi dan *graphitization*.

Jenis – jenis *petroleum coke* :

- “ **Sponge coke** dihasilkan dari *high resin asphaltene feedstock*. Karena adanya impurities dan low electrical conductivity, sponge coke tidak cocok untuk pembuatan anoda. Penampakan fisis sponge coke adalah mengandung pori yang kecil yang dipisahkan oleh dinding yang tebal.
- “ **Shot Coke** dihasilkan dari *low-resin asphaltene feedstock* dan setelah kalsinasi dan grafitisasi dapat menghasilkan anoda dengan kualitas yang memuaskan. Pori-pori yang elipsoidal terdistribusi secara merata. Pori-porinya undirectional dan ketika dipotong melintang minor diameter, struktur coke terlihat jelas.
- “ **Needle coke** dihasilkan dari *highly aromatic thermal tar* atau *decanted oil feedstocks*. Pada penampakannya, pori-pori yang undirectional adalah sangat kecil (*very slender*), berbentuk eliptical, dan dihubungkan pada major diameter. Coke dengan sekelilingnya hampa yang mudah pecah dan setelah pecah membentuk serpihan (*splintery*) atau sebagian berbentuk jarum.

2.2 Karbon Aktif

Karbon aktif merupakan salah satu adsorben yang paling sering digunakan pada proses adsorpsi. Hal ini disebabkan karena karbon aktif mempunyai daya adsorpsi dan luas permukaan yang lebih baik dibandingkan adsorben lainnya (Walas 1990). Karbon aktif yang baik haruslah memiliki luas permukaan yang besar sehingga daya adsorpsinya juga akan besar (Sudibandriyo, 2003). Karbon aktif merupakan bahan yang multifungsi dimana hampir sebagian besar telah dipakai penggunaannya oleh berbagai macam jenis industri. Aplikasi terhadap penggunaan karbon aktif dapat dilihat dari tabel dibawah ini:

Tabel.2.1 Aplikasi penggunaan karbon aktif dalam industri.

No.	Pemakai	Kegunaan	Jenis/ Mesh
1.	Industri obat dan makanan	Menyaring, penghilangan bau dan rasa	8×30
2.	Minuman keras dan ringan	Penghilangan warna, bau pada minuman	4×8, 4×12
3.	Kimia perminyakan	Penyulingan bahan mentah	4×8, 4×12
4.	Pembersih air	Penghilangan warna, bau penghilangan resin	8×30
5.	Budi daya udang	Pemurnian, penghilangan ammonia, nitrit, penol, dan logam berat	4×8, 4×12
6.	Industri gula	Penghilangan zat-zat warna, menyerap proses penyaringan menjadi lebih sempurna	4×8, 4×12
7.	Pelarut yang digunakan kembali	Penarikan kembali berbagai pelarut	4×8, 4×12, 8×30
8.	Pemurnian gas	Menghilangkan sulfur, gas beracun, bau busuk asap.	4×8, 4×12
9.	Katalisator	Reaksi katalisator pengangkut vinil khlorida, vinil asetat	4×8, 4×30
10.	Pengolahan pupuk	Pemurnian, penghilangan bau	8×30

Sumber : Abrarridwan (2009)

Karbon aktif adalah senyawa karbon yang telah ditingkatkan daya adsorpsinya dengan proses aktivasi. Pada proses aktivasi ini terjadi penghilangan hidrogen, gas-gas dan air dari permukaan karbon sehingga terjadi perubahan fisik pada permukaanya. Aktivasi ini terjadi karena terbentuknya gugus aktif akibat adanya

interaksi radikal bebas pada permukaan karbon dengan atom-atom seperti oksigen dan nitrogen. Pada proses aktivasi juga terbentuk pori-pori baru karena adanya pengikisan atom karbon melalui oksidasi atau pemanasan.

Karbon aktif terdiri dari 87-97 % karbon dan sisanya berupa hidrogen, oksigen, sulfur dan nitrogen serta senyawa-senyawa lain yang terbentuk dari proses pembuatan. Volume pori-pori karbon aktif biasanya lebih besar dari 0,2 cm³/gram dan bahkan terkadang melebihi 1 cm³/gram. Luas permukaan internal karbon aktif yang telah diteliti umumnya lebih besar dari 500 m²/gram dan bisa mencapai 1908 m²/gram.

Karbon aktif dapat dibuat dari berbagai macam bahan dasar yang mengandung karbon. Yang biasa dipakai sebagai bahan dasar karbon aktif antara lain batu bara, tempurung kelapa sawit, *petroleum coke*, limbah pinus, dan kayu. Perubahan bahan dasar juga mempunyai efek terhadap kapasitas adsorpsi dan kinetik dari karbon aktif. Bahan dasar yang digunakan memberikan pengaruh terhadap struktur pori-pori besar dari karbon aktif yang dapat dilihat dari *Scanning Electron Micrographs (SEM)*. Karbon aktif yang berbahan dasar dari kayu mempunyai struktur pori-pori besar yang jauh lebih teratur dibandingkan karbon aktif berbahan dasar batu bara. Ada 3 kriteria bahan dasar yang dapat dibuat sebagai karbon aktif, yaitu :

- Bahan dasar harus mengandung karbon
- Pengotor pada bahan dasar harus dijaga seminimal mungkin
- Bahan dasar harus mempunyai kualitas yang konstan

Konsentrasi pengotor yang serendah mungkin sangatlah penting karena setelah proses aktivasi juga akan terbentuk senyawa-senyawa pengotor tersebut dengan konsentrasi yang lebih tinggi. Pada karbon aktif juga terdapat pengotor berupa logam. Hal ini menjadi perhatian khusus dalam tahap *leaching* sehingga bisa masuk dan mengkontaminasi ke dalam air, reaksi permukaan katalitik, dan

racun terhadap aktivasi biologi yang menggantungkan pada kolom karbon aktif granular atau *Granular Activated Carbon (GAC)*.

2.2.1 Jenis-jenis Karbon aktif

Karbon aktif dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis sebagai berikut :

- Karbon aktif granul
Jenis ini berbentuk butiran atau pellet, biasanya digunakan untuk proses pada fluida phase gas yang berfungsi untuk memperoleh kembali pelarut, pemisahan dan pemurnian gas. Karbon aktif granul diperoleh dari bahan baku yang memiliki struktur keras seperti tempurung kelapa, tulang dan batu bara. Ukuran partikel dari granul karbon aktif berbeda-beda tergantung pada aplikasinya. Untuk aplikasi adsorpsi phase gas ukuran granul yang sering digunakan adalah 4 x 8 mesh sampai 10 x 20 mesh dan untuk bentuk pellet memiliki ukuran partikel 4 mm – 6 mm.
- Karbon aktif powder
Karbon aktif powder umumnya diproduksi dari bahan kayu dalam bentuk serbuk gergaji, ampas pembuatan kertas atau dari bahan baku yang mempunyai densitas kecil dan struktur yang lemah. Jenis ini memiliki ukuran rata-rata 15 μm – 25 μm . Industri besar menggunakan karbon aktif powder untuk penghilangan warna pada proses pembuaatan makanan. Belakangan karbon aktif powder digunakan pada *water treatment* untuk air minum dan air limbah. Biasanya karbon aktif powder digunakan dalam fase cair yang berfungsi untuk memindahkan zat-zat pengganggu yang menyebabkan warna dan bau yang tidak diharapkan.
- Karbon aktif *molecular sieves*
Aplikasi utama dari karbon aktif *molecular sieve* adalah pemisahan nitrogen dan oksigen dalam udara. Karbon aktif *molecular sieve* merupakan suatu material yang menarik sebagai model karbon aktif sejak memiliki ukuran mikropori yang seragam dan kecil.

- Karbon aktif fiber

Karbon aktif fiber memiliki ukuran yang lebih kecil dari karbon aktif powder. Sebagian besar karbon aktif fiber memiliki diameter antara 7 μm – 15 μm . Aplikasi karbon aktif fiber dapat ditemukan dalam bidang perlakuan udara seperti penangkapan larutan.

Menurut proses oksidasi karbon aktif yang dihasilkan terdiri dari dua jenis, yaitu :

1. L-karbon (L-AC)

Karbon aktif yang dibuat dengan oksidasi pada suhu 300°C – 400°C (570°-750°F) dengan menggunakan udara atau oksidasi kimia. L-AC sangat cocok dalam mengadsorpsi ion terlarut dari logam berat basa seperti Pb^{2+} , Cu^{2+} , Cd^{2+} , Hg^{2+} . Karakter permukaannya yang bersifat asam akan berinteraksi dengan logam basa. Regenerasi dari L-AC dapat dilakukan menggunakan asam atau garam seperti NaCl yang hampir sama perlakuannya pada pertukaran ion.

2. H-karbon (H-AC)

Karbon aktif yang dihasilkan dari proses pemasakan pada suhu 800°-1000°C (1470°-1830°F) kemudian didinginkan pada atmosfer inersial. H-AC memiliki permukaan yang bersifat basa sehingga tidak efektif dalam mengadsorpsi logam berat alkali pada suatu larutan air tetapi sangat lebih efisien dalam mengadsorpsi kimia organik, partikulat hidrofobik, dan senyawa kimia yang mempunyai kelarutan yang rendah dalam air. Akan tetapi H-AC dapat dimodifikasi dengan menaikkan angka asiditas. Permukaan yang netral akan mengakibatkan tidak efektifnya dalam mereduksi dan mengadsorpsi kimia organik sehingga efektif mengadsorpsi ion logam berat dengan kompleks khelat zat organik alami maupun sintetik dengan menetralkannya.

2.2.2 Proses produksi karbon aktif

Secara umum, proses pembuatan karbon aktif terdiri dari proses karbonisasi pirolitik bahan dasar serta proses aktivasi. Selama proses karbonisasi, komponen

yang mudah menguap akan terlepas dan karbon mulai membentuk struktur pori-pori dimana proses pembentukan pori-pori ini akan ditingkatkan pada proses aktivasi. Pada proses aktivasi, terjadi pembentukan pori-pori yang masih tertutup dan peningkatan ukuran pori-pori yang masih tertutup dan peningkatan ukuran pori-pori kecil yang telah terbentuk (Sontheimer, 1985). Proses pembuatan karbon aktif terdiri dari tiga tahap yaitu :

- 1) Dehidrasi : proses penghilangan air, bahan baku dipanaskan samapai temperatur 170°C .
- 2) Karbonisasi : pemecahan bahan-bahan organik menjadi karbon. Temperatur di atas 170°C akan menghasilkan CO, CO_2 dan asam asetat. Pada temperatur 275°C , dekomposisi menghasilkan tar, methanol dan hasil sampingan lainnya. Pembentukan karbon terjadi pada temperature $400 - 600^{\circ}\text{C}$.
- 3) Aktivasi : dekomposisi tar dan perluasan pori-pori. Dapat dilakukan dengan uap air, CO_2 atau bahan kimia tertentu sebagai aktivator.

Suatu karbon dengan kapasitas penyerapan yang besar dapat dibuat dengan cara aktivasi bahan karbon di bawah kondisi yang memungkinkan bahan-bahan pengaktif bereaksi dengan karbon, atau dapat dibuat dengan cara bahan karbon dikarbonisasi sesudah penambahan bahan pengaktif yang dapat membatasi pembentukan tar. Bahan pengaktif mempengaruhi proses pirolisis sehingga pembentukan tar dibatasi sampai tingkat minimum dan jumlah fase cairnya juga menjadi lebih sedikit daripada jumlahnya dalam karbonisasi normal. Dengan demikian hasil karbon (atom C) dalam produk bahan karbon bertambah. Lebih jauh , suhu yang dibutuhkan untuk pirolisis juga lebih rendah. Karbonisasi dibawah kondisi demikian menghasilkan produk yang setelah penghilangan bahan pengaktif, mempunyai sifat aktif yang baik.

Salah satu faktor penting dalam aktivasi kimia adalah tingkat impregnasi (*degree of impregnation*), ini adalah perbandingan berat antara garam pengaktif anhydrous dengan bahan kering mula-mula. Pengaruh tingkat perendaman pada

porositas produk yang dihasilkan terlihat dari kenyataan bahwa volume garam dalam karbon sama dengan volume pori-pori yang dibebaskan oleh ekstraksinya. Jika tingkat impregnasi ditambah lebih jauh, jumlah diameter pori yang lebih besar bertambah dan volume yang lebih kecil berkurang.

Proses pembentukan karbon aktif dibedakan menjadi 2, yaitu metode langsung dan tidak langsung. Pada metode langsung, bahan dasar dibentuk sesuai ukuran yang diinginkan kemudian akan melalui proses karbonisasi serta aktivasi, lalu produk yang didapatkan kemudian disaring. Metode langsung ini biasa dipakai untuk karbon aktif yang berbahan dasar tempurung kelapa, batu bara yang relatif padat, dan bahan dasar lainnya yang digunakan untuk membuat karbon aktif yang berbentuk serbuk atau *Powdered Activated Carbon (PAC)*. Metode tidak langsung digunakan untuk karbon aktif yang berbahan dasar batu bara muda, *peat*, serta *petrol coke*. Untuk karbon aktif dengan bahan dasar seperti ini diperlukan proses *reconstitution* dan *pretreatment* selain proses-proses pada metode langsung diatas. Pada karbon yang berbahan dasar batu bara muda, diperlukan proses *pretreatment* untuk mengontrol kehilangan pori-pori kecil selama proses karbonisasi yang disebabkan kerana adanya *swelling* dan *softening* dari batu bara tersebut (Sontheimer, 1985).

Pada proses produksi karbon aktif, proses aktivasi merupakan proses yang terpenting karena proses ini sangat menentukan sekali terhadap kualitas karbon aktif yang dihasilkan baik luas permukaan maupun daya adsorpsinya. Pada prakteknya, karbon aktif diproduksi baik dengan aktivasi kimiawi maupun aktivasi fisis.

- Aktivasi Kimiawi

Aktivasi kimiawi digunakan untuk bahan dasar yang mengandung selulosa dan menggabungkan antara tahap karbonisasi dan tahap aktivasi. Zat kimia yang dapat mendehidrasi seperti seng (II) klorida ($ZnCl_2$) atau *phosphoric acid* (H_3PO_4) ditambahkan ke bahan dasar pada temperatur yang telah dinaikkan. Produk ini

kemudian dipanaskan secara pirolisis sehingga menyebabkan degradasi selulosa. Kemudian produk tersebut didinginkan dan *activating reagent* kemudian diekstrak. Karbon aktif yang diproduksi dengan cara ini adalah karbon aktif serbuk dengan densitas rendah, tanpa proses *treatment* yang khusus, mempunyai proporsi pori-pori kecil yang rendah, sehingga membuat kurang cocok digunakan pada proses penghilangan *micropollutants* dan zat-zat yang menyebabkan bau tidak sedap. Masalah yang timbul jika menggunakan H_3PO_4 sebagai zat kimia yang dapat mendehidrasi adalah diperlukannya proses tambahan yaitu *leaching* ion phosphate dari karbon. Aktivasi kimiawi ini bertujuan mengurangi pembentukan pengotor dan produk samping dengan cara merendam bahan mentah (contoh : kayu) dalam senyawa aktivasi kimiawi (contoh : asam sulfat). Dengan menggunakan KOH sebagai *activated agent* tanpa kehadiran oksigen maka akan mengontrol reaksi pembakaran karbon melalui reaksi pembakaran karbon sebagai berikut (Teng, 1999; Garcia, 2002; Lillo, 2003) :



Pada proses tersebut, karbon bereaksi dengan *oxidizing agent* dan menghasilkan karbon dioksida yang berdifusi pada permukaan karbon. *Amorphous carbon* yang menghalangi pori bereaksi pada tahap oksidasi awal dan sebagai hasilnya *closed pore* akan terbuka. Selanjutnya reaksi akan berlanjut dengan mengikis dinding karbon untuk membentuk pori-pori baru. Pada reaksi di atas terjadi evolusi air dan H_2 , evolusi air dan H_2 ini dikarenakan KOH yang bersifat sebagai *dehydrating agent*. Selain itu juga pada temperatur tinggi akan terbentuk senyawa padatan potassium karbonat yang bersifat non-volatil.

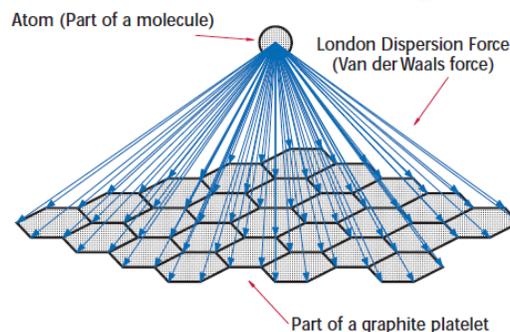
- Aktivasi fisis

Aktivasi fisis biasa digunakan untuk memproduksi karbon aktif yang akan digunakan untuk *water treatment* dan prosesnya adalah endotermis. Proses endotermis ini melibatkan kontak antara *activating agent* berfasa gas, biasanya *steam*, walaupun CO₂ dan air juga terkadang digunakan. Dengan arang pada temperatur 850 – 1000 °C. Pada proses ini seringkali terjadi reduksi dari ukuran adsorben yang disebabkan karena kelebihan oksidasi termal selama gas pengoksidasi berdifusi ke dalam karbon yang teraktivasi.

2.2.3 Sifat Fisis dan Struktur Kimia Karbon Aktif

Karbon berada dalam tiga bentuk alotropi. Salah satu diantaranya adalah bentuk amorph, yang seringkali disebut sebagai kokas, *charcoal* dan lain-lain. Dua yang lainnya adalah bentuk kristal, yang dikenal sebagai kristal intan berlian dalam system kubus, dan bentuk *graphite* dalam suatu sistem heksagonal.

Karbon aktif mempunyai bentuk yang amorf yang terdiri dari pelat-pelat datar di mana atom-atom karbonnya tersusun dan terikat secara kovalen dalam kisi heksagonal yang secara acak berorientasi dengan karbon yang tidak terorganisir. Hal tersebut telah dibuktikan dengan penelitian sinar-X yang menunjukkan adanya bentuk-bentuk kristalin yang sangat kecil dengan struktur seperti grafit. Perbedaan antara struktur karbon aktif dan *graphite* adalah ketebalan lapisan (*microcrystalline*) dan persilangan rantai karbon, dimana pada karbon aktif ada 2-3 kali dan 10-14 kali untuk *graphite*.



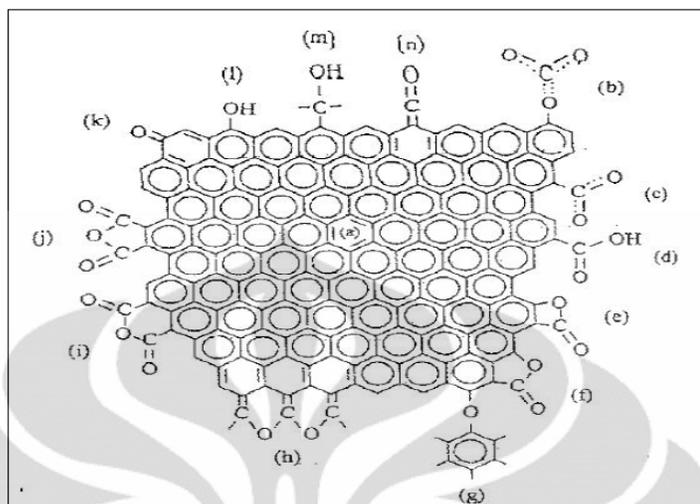
Gambar 2.2 Pelat datar kisi heksagonal karbon aktif (Goyal,2005)

Daerah kristalin memiliki ketebalan 0,7 – 1,1 nm, jauh lebih kecil dari grafit. Hal ini menunjukkan adanya 3 atau 4 lapisan atom karbon dengan kurang lebih terisi 20-30 heksagon di tiap lapisannya. Rongga antara kristal-kristal karbon diisi oleh karbon-karbon *amorf* yang berikatan secara tiga dimensi dengan atom-atom lainnya terutama oksigen. Susunan karbon yang tidak teratur ini diselingi oleh retakan-retakan dan celah yang disebut pori dan kebanyakan berbentuk silindris.

Selain mengandung karbon, karbon aktif juga mengandung sejumlah kecil hydrogen dan oksigen yang secara kimiawi terikat dalam berbagai gugus fungsi seperti karbonil, karboksil, fenol, lakton, quinon dan gugus-gugus eter. Oksida-oksida permukaan tersebut seringkali berasal dari bahan bakunya, atau dapat pula terbentuk akibat reaksi dengan udara maupun uap air. Oksida-oksida tersebut biasanya bersifat asam sehingga menurun ke karbon aktifnya.

Selektifitas karbon aktif untuk adsorpsi tergantung pada struktur permukaan kimianya yang sebanding dengan distribusi ukuran pori karbon aktif (Nurul`ain, 2009). Biasanya, permukaan adsorptif dari karbon aktif mendekati netral menyebabkan adsorpsi untuk senyawa ionik dan polar kurang teradsorb dengan kuat dibandingkan dengan molekul organik. Komposisi kimia dari material bahan baku akan mempengaruhi struktur kimia permukaan dari karbon aktif.

Gugus fungsional dibentuk selama proses aktivasi oleh interaksi radikal bebas pada permukaan karbon dengan atom-atom seperti oksigen dan nitrogen. Gugus fungsional ini membentuk permukaan karbon aktif reaktif secara kimiawi dan mempengaruhi sifat adsorbsinya. Ilustrasi struktur kimia karbon aktif dengan gugus fungsionalnya dapat dilihat pada Gambar 2.3.

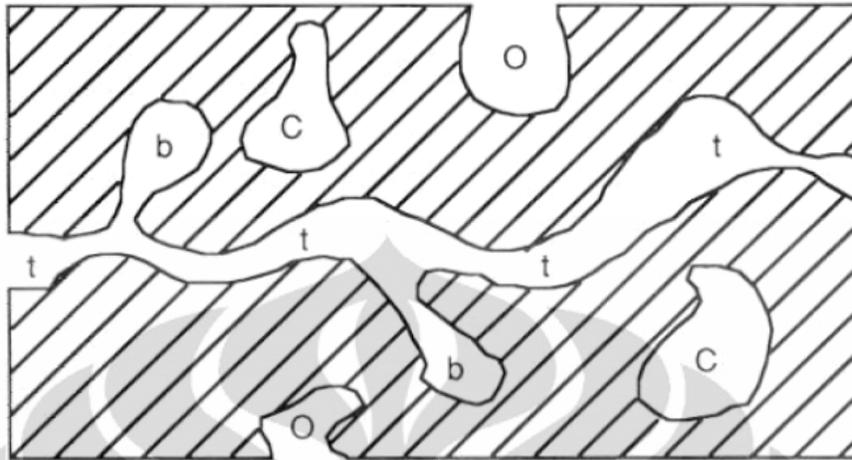


Gambar 2.3 Struktur kimia permukaan Karbon Aktif : (a) aromatic;(b) dan (c) carboxyl-carbonates;(d) asam karboksilat (e) lactone (4 cincin);(f) lactone (5 cincin); (g) ether; (h) cyclic ether;(i) cyclic anhydride (5 cincin); (j) cyclic anhydride (6 cincin); (k) quinone; (l) phenol; (m) alkohol; dan (n) ketene (Nurul`ain, 2009).

2.2.4 Struktur Pori karbon aktif

Pore berasal dari bahasa Yunani yang berarti jalan lintasan (Marsh, 1989). Dalam karbon aktif pori memiliki definisi yaitu tingkat kekosongan (*void class*) yang menghubungkan lapisan terluar dari permukaan karbon aktif dan akan memperkenankan fluida masuk, keluar, atau melewati karbon aktif. Marsh`s (1989) mengklaim bahwa menurut literatur ilmiah untuk padatan *porous* pori terbuka (*open pore*) dan pori tertutup (*close pore*) akan terbentuk terlebih dahulu dimana pori ini tidak saling terhubung satu sama lain.

Ada juga yang dinamakan dengan *transport pore* dimana gradient konsentrasi akan terjadi selama kondisi tunak ketika fluida melewati material karbon aktif. Selain itu ada juga *blind pore* dimana pori ini terhubung dengan *transport pore* dikarenakan oleh pembukaan tunggal dan karenanya fluida akan mengalir menjadi tidak tunak (Nurul`ain, 2009). Contoh dari jenis-jenis pori yang berbeda ditunjukkan secara skematis pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Tipe - tipe pori (Nurul`ain,2009) O-Open pores; C-Closed Pores; t – Transport pores; b – Blind pores.

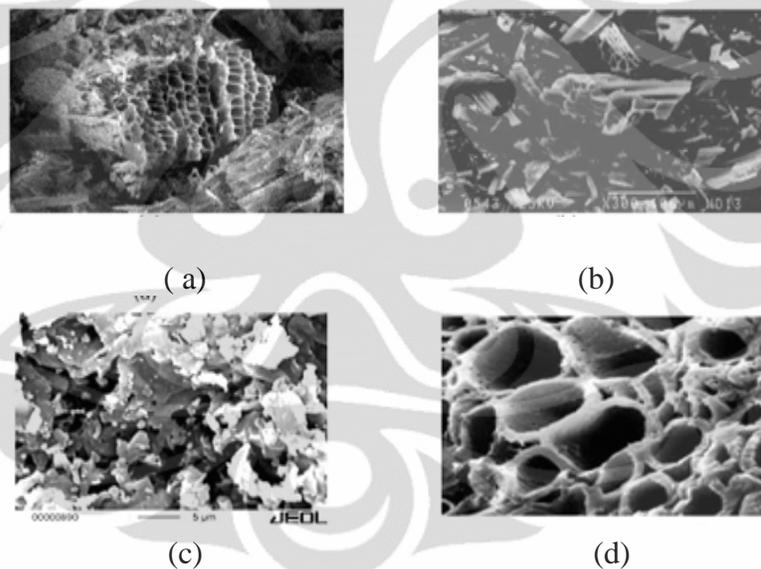
Ukuran pori yang berbeda akan mempengaruhi kapasitas molekul dalam bentuk dan ukuran yang berbeda dan hal ini merupakan kriteria pemilihan karbon yang digunakan untuk penggunaan secara spesifik. Porositas diklasifikasikan oleh IUPAC menjadi tiga grup yang berbeda (Goyal, 2005) :

- *Micropores* dengan lebar jari-jari kurang dari 2 nm
- *Mesopores* dengan lebar jari-jari antara 2 dan 50 nm.
- *Macropores* dengan lebar jari-jari lebih dari 50 nm

Micropores terbentuk di dalam lapisan antara karbon aktif dengan lebar antara 0,34 – 0,8 nm dengan ukuran volume pori 0,15 cm³/g sampai dengan 0,70 cm³/g. Dengan luas area spesifik terdistribusi sebanyak 95% pada karbon aktif. *Micropores* memberikan pengaruh yang paling signifikan dalam adsorpsi gas, sedang *macropores* dan *mesopores* selain dalam proses adsorpsi memegang peranan penting dalam mentransportasikan fluida ke dalam *micropores*. Energi adsorpsi dalam *micropore* dibandingkan dengan ukuran pori lainnya memiliki energy yang paling besar, hal ini dikarenakan molekul adsorbat yang masuk ke dalam *micropore* hampir menyeluruh ditutupi oleh dinding-dinding pori, mengakibatkan interaksi adsorbat dengan dinding pori yang besar bila dibandingkan dengan *mesopore* atau *macropore*. *Mesopores* sering juga disebut *transitional pores*, dengan lebar jari-jari 2 – 50 nm, dengan ukuran volume pori antara 0,1 dan 0,2 cm³/g. *Mesopores* terdistribusi tidak lebih dari

5% dari luas total karbon. *Macropores* tidak terlalu berperan dalam proses adsorpsi dikarenakan kontribusi terhadap luas permukaan karbon aktif tidak lebih dari 0,5 m²/g dengan ukuran volume pori antara 0,2 sampai 0,4 cm³/g.

Distribusi pori dalam karbon aktif dapat terbentuk bervariasi secara signifikan tergantung dari bahan baku yang digunakan. Distribusi dari ukuran pori akan mengakibatkan efisiensi dan selektifitas dari proses adsorpsi. Molekul organik kecil dengan kelarutan yang rendah yang pada umumnya berukuran pada range 0,6 – 0,8 nm dan dapat diadsorb di dalam *micropores* sedangkan senyawa seperti molekul zat warna dan asam yang memiliki dimensi 1,5 sampai 3 nm akan teradsorpsi di *mesopores*. Gambar 2.5 menunjukkan distribusi pori berdasarkan bahan baku yang digunakan.



Gambar 2.5 Distribusi pori yang berbeda berdasarkan bahan baku yang digunakan (a) batu bara ; (b) kayu ; (c) sekam padi ; (d) tempurung kelapa.

(<http://www.yahoo.com/images/activated carbon>)

2.2.5 Faktor yang Mempengaruhi Produksi Karbon Aktif

2.2.5.1 Bahan baku

Pada umumnya material yang kaya akan karbon yang tidak melebur pada saat tahap karbonisasi dapat digunakan sebagai material bahan baku pembuatan karbon

aktif (Nurul`ain, 2009). Pemilihan bahan baku untuk membentuk *porous carbon* memiliki beberapa faktor pertimbangan. Faktor-faktor itu adalah :

- Kandungan karbon yang tinggi
- Memiliki kandungan inorganik yang rendah (Contohnya : kadar abu)
- Memiliki densitas yang tinggi dan cukup kandungan *volatile*
- Ketersediaan bahan baku
- Memiliki potensi untuk diaktivasi
- Murah
- Tidak terdegradasi dalam penyimpanan (*storage*).

Sebanyak 45 % material lignicellulosic digunakan sebagai material bahan baku pembuatan karbon aktif. Kandungan bahan inorganik yang rendah sangatlah penting untuk menghasilkan karbon aktif yang memiliki kadar abu yang rendah. Kadar abu akan mempengaruhi kualitas karbon aktif sebagai adsorben, abu dapat berupa oksida-oksida logam yang terdiri dari mineral yang tidak dapat menguap pada proses pengabuan. Penambahan aktivator akan mengurangi kadar abu, penurunan kadar abu disebabkan faktor activator asam yang dapat melarutkan logam dan oksida logam (Chang, 2005). Bahan baku lainnya yang biasa digunakan adalah tempurung kelapa dimana tempurung kelapa memiliki densitas yang cukup tinggi, kekerasan dan kandungan *volatile* yang cukup untuk menghasilkan *hard granular activated carbon*. Pada Tabel 2.1, menunjukan beberapa karakteristik bahan baku yang dapat digunakan sebagai bahan baku karbon aktif .

Tabel 2.2 Karakteristik beberapa material bahan baku karbon aktif

Raw Material	Carbon (%)	Volatile (%)	Density (Kg/m ³)	Ash (%)	Texture of AC
Softwood	40 - 45	55 - 60	0,4 – 0,5	0,3 – 1,1	Soft, large pore volume
Hardwood	40 - 42	55 - 60	0,55 – 0,8	0,3 – 1,2	Soft, large pore volume
Lignin	35 - 40	58 - 60	0,3 – 0,4	-	Soft, large pore volume
Nut Shell	40 - 45	55 - 60	1,4	0,5 – 0,6	Hard, large multi pore volume
Lignite	55 - 70	25 - 40	1,0 – 1,35	5 - 6	Hard, small pore volume
Soft coal	65 - 80	25 - 30	1,25 – 1,50	2,12	Medium hard, medium micropore volume
Petroleum Petroleum coke	70 - 85	15 - 20	1,35	0,5 – 0,7	Medium hard, medium micropore volume
Semi hard coal	70 - 75	1 - 15	1,45	5 - 15	Hard large pore volume
Hard Coal	85 - 95	5 - 10	1,5 – 2,0	2,15	Hard large pore volume

Sumber : Nurul ain (2009)

Karbon aktif berbahan baku *petroleum coke* memiliki kandungan karbon dan densitas yang cukup tinggi serta kandungan abu yang rendah. Dibandingkan karbon aktif yang berbahan dasar kayu, karbon aktif berbahan baku *petroleum coke* memiliki struktur yang lebih keras (*rigid*) dibandingkan struktur kayu yang relatif lebih rapuh.

Selain itu tekstur permukaannya tidak kalah dibandingkan dengan karbon aktif dari batu bara.

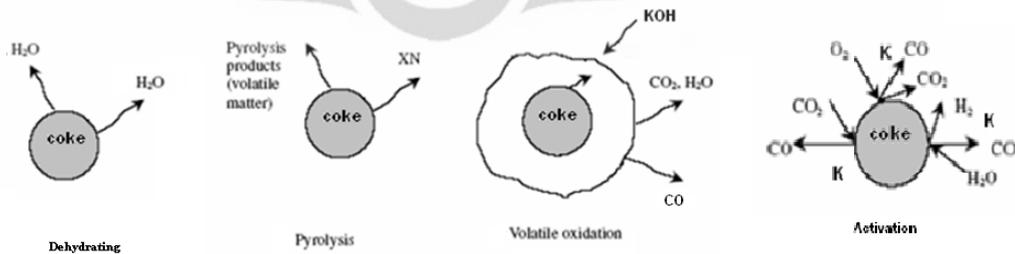
2.2.5.2 Temperatur

Temperatur, khususnya pada temperatur aktivasi akan mempengaruhi karakteristik karbon aktif yang dihasilkan. Pada umumnya karbon aktif komersial diaktivasi pada temperatur di atas $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ dengan injeksi atmosfer steam atau CO_2 . Peningkatan temperatur aktivasi akan mereduksi *yield* dari karbon aktif. Fenomena ini juga akan menyebabkan penurunan kandungan senyawa *volatile* dan meningkatkan karbon padat (*fixed carbon*) seiring kenaikan temperatur aktivasi. Kenaikan temperatur aktivasi juga akan meningkatkan luas permukaan BET karbon aktif yang dihasilkan, hal ini dikarenakan terbentuknya pori baru seiring terlepasnya senyawa *volatile* pada karbon aktif.

2.2.5.3 Waktu Aktivasi

Selain temperatur waktu aktivasi juga akan mempengaruhi karakteristik karbon aktif yang dihasilkan. Seiring dengan kenaikan waktu aktivasi persentasi *yield* menurun dan luas permukaan BET meningkat. Hasil ini dimungkinkan karena terlepasnya material inorganik yang terkandung pada bahan baku.

2.3 Mekanisme dan Skematis Reaksi Pembentukan Pori dengan Aktivasi KOH



Gambar 2.6 Skematis reaksi karbon dengan aktivasi KOH

Mekanisme reaksi :

- “ Pengeringan (*Dehydrating*) pada temp rendah.

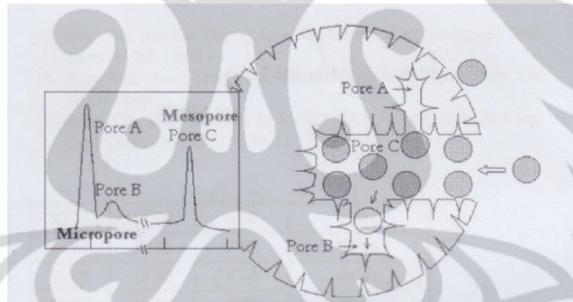


- “ Pyrolysis (devolatilisasi) dimulai pada temp. menengah

Pelepasan *volatile matter* dan tar. Senyawa *volatile* ini akan cenderung tidak stabil dan akan teroksidasi dengan KOH.

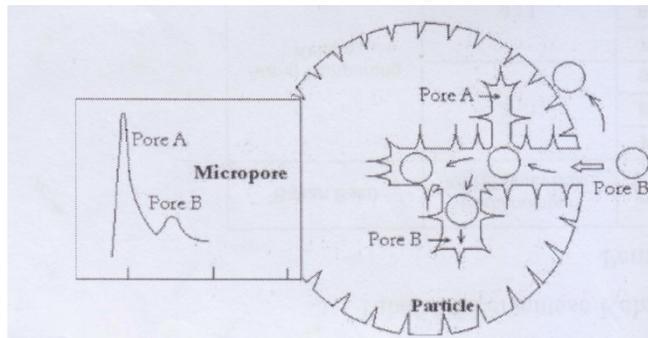
- “ Aktivasi pada temperatur tinggi.

Pada saat proses aktivasi interaksi karbon dengan KOH akan membentuk pori-pori baru dimana proses pembentukan pori terbagi menjadi dua mekanisme reaksi aktivasi, yaitu *width activation* dan *depth activation* (Xiao dong, 2006).



Gambar 2.7 *Width Activation* (Xiao dong, 2006)

Pada reaksi *width activation* menghasilkan pembentukan struktur pori *micropore*, sedangkan *depth activation* menghasilkan pembentukan struktur pori *mesopore* dan *macropore*.



Gambar 2.8 *Depth Activation* (Xiao dong, 2006)

Reaksi pada *width activation* :



Reaksi pada *depth activation* :



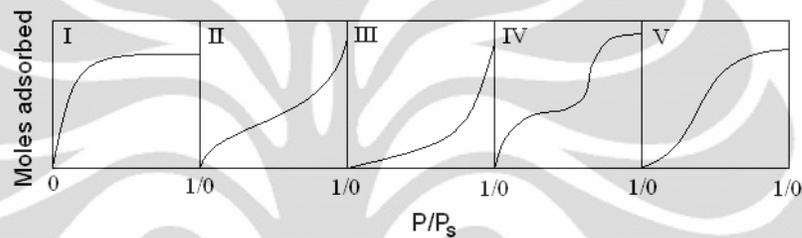
2.4 Penentuan Luas Permukaan

Pada umumnya, semakin besar luas area spesifik *adsorbent*, maka akan semakin tinggi kapasitas adsorpsinya. Kebanyakan karbon aktif komersial memiliki luas permukaan spesifik berada dalam range 600 – 1200 m²/g. Volume pori membatasi ukuran molekul yang bisa diadsorb sedangkan luas permukaan membatasi jumlah material yang dapat diadsorb. Kapasitas adsorpsi dari adsorbent berkaitan dengan luas permukaan internal dan volume pori.

Luas permukaan spesifik (m²/g) *porous carbon* pada umumnya diukur dengan adsorpsi gas menggunakan persamaan teori Brunauer-Emmett-Teller. Pengukuran porositas didasarkan pada interpretasi isotherm adsorpsi (seperti N₂ pada suhu 77 K). Nitrogen memiliki titik didih 77 K merupakan adsorptif yang sering digunakan, walaupun sebagian ada juga yang menggunakan argon pada temperatur 77 K.

2.4.1 Isoterm Adsorpsi

Pemahaman mengenai luas permukaan dan porositas dari suatu material dapat dicapai dengan memahami isoterm adsorpsinya. Ketika kuantitas dari adsorbat (bahan yang dijerap) pada permukaan material dapat diukur dalam kisaran tekanan relatif yang lebar pada suhu konstan maka akan menghasilkan sebuah isotherm. Menurut Brunauer, isotherm yang dihasilkan oleh suatu material dengan adsorbat tertentu memiliki bentuk yang unik dan biasanya dapat dikategorikan pada salah satu dari lima kategori isotermis sebagai berikut.



Gambar 2.9 Lima kategori grafik kecenderungan adsorpsi isotherm (Schmeig, 2009)

- Tipe 1 \Rightarrow Jenis ini memiliki ciri khas kenaikan yang curam pada tekanan yang relatif rendah dan garis kestabilan yang tegas. Kenaikan yang curam mengindikasikan adanya mikropori (diameter < 2 nm) pada adsorben yang digunakan dan garis kestabilan mengindikasikan tanda luas permukaan eksternal adsorben relatif kecil. Tipe ini disebut juga *Langmuir isotherm* menggambarkan adsorpsi satu lapis (*monolayer*) dan biasanya diperoleh dari adsorben karbon aktif dan zeolit *molecular sieve*.
- Tipe 2 dan 3 \Rightarrow Isoterm yang hanya terjadi pada adsorben yang memiliki ukuran pori dengan rentang yang cukup besar. Pada sistem ini terdapat deret kontinu dengan kenaikan pemuatan dari *monolayer* menjadi *multilayer* dan selanjutnya menjadi kondensasi kapiler. Kenaikan kapasitas pada tekanan tinggi dikarenakan terjadinya kondensasi kapiler di dalam pori yang menaikkan diameter ketika tekanan dinaikkan.

- Tipe 4 \Rightarrow pembentukan dua permukaan *layer*, di atas bidang permukaan atau di dinding pori, yang sangat jauh lebih lebar dibandingkan dengan diameter molekul sorbat.
- Tipe 5 \Rightarrow Isoterm ini tidak umum dijumpai, namun kemungkinan di dalamnya mengandung banyak pori *mesopore*.

2.4.1.1 Isoterm adsorpsi Langmuir

Model adsorpsi langmuir merupakan model yang paling umum digunakan untuk menentukan jumlah adsorbat yang diadsorp sebagai fungsi tekanan parsial atau konsentrasi pada temperatur tertentu. Model ini mengasumsikan adsorpsi gas ideal pada permukaan ideal. Gas diasumsikan mengikat pada beberapa bagian berbeda pada permukaan padatan dan proses adsorpsi diperlakukan sebagai reaksi dimana molekul gas A_g bereaksi dengan bagian yang kosong, S , untuk menghasilkan dan mengadsorp kompleks A_{ad} .



Isoterm ini berdasar asumsi bahwa:

- Adsorben mempunyai permukaan yang homogen dan hanya dapat mengadsorpsi satu molekul adsorbat untuk setiap molekul adsorbennya. Tidak ada interaksi antara molekul-molekul yang terserap.
- Semua proses adsorpsi dilakukan dengan mekanisme yang sama.
- Hanya terbentuk satu lapisan tunggal saat adsorpsi maksimum.

Lebih jauh, ia menggambarkan proses adsorpsi sebagai penyatuan dua aksi yang berlawanan, kondensasi molekul dari fase gas menjadi permukaan lapisan, dan evaporasi molekul dari permukaan lapisan menjadi bentuk gas kembali. Ketika adsorpsi pertama kali, setiap molekul bertumbukkan dengan permukaan dan membentuk lapisan. Tapi pada proses selanjutnya hanya permukaan yang belum terlapsi yang dapat mengadsorpsi molekul. Hasilnya adalah laju inisial dari kondensasi molekul pada permukaan adalah paling tinggi dan merosot sebagaimana

area yang tersedia untuk adsorpsi berkurang. Di sisi lain, molekul yang teradsorpsi pada permukaan padat, oleh agitasi termal, terlepas dari permukaan dan pergi sebagai gas.

Dalam pendekatan kinetik, kesetimbangan di asumsikan berjalan dinamis dimana laju molekul dari fasa gas ketika mengenai permukaan padatan dan terkondensasi dalam *bare sites* sebanding dengan laju molekul ter-evaporasi dari *occupied sites*. Dengan kata lain, laju adsorpsi sebanding dengan laju desorpsi. Jika pada saat dalam berbagai tekanan (p) fraksi gas dalam situs yang ditempati (*occupied sites*) adalah θ , dan fraksi dari situs kosong (*bare sites*) adalah θ_0 (sehingga $\theta + \theta_0 = 1$) maka laju dari kondensasi (adsorpsi) adalah :

$$r_{ads} = k_a p (1 - \theta) \quad (2.1)$$

Dimana p adalah besarnya tekanan dan k adalah konstanta hasil dari teori kinetik gas $k = \frac{1}{4} n \bar{v}$; a adalah koefisien kondensasi dari molekul yang bertubrukan yang terkondensasi di atas permukaan.

Evaporasi (desorpsi) dari molekul yang teradsorpsi dari permukaan adalah hal yang esensial dalam proses aktivasi dimana energy aktivasi, E , untuk desorpsi mungkin diidentifikasi $-\Delta H$ (panas desorpsi). Laju evaporasi r_{des} dapat ditulis dengan

$$r_{des} = \theta v_e \quad (2.2)$$

Dimana θ adalah jumlah molekul yang teradsorpsi per unit area dari permukaan jaid θ menunjukkan jumlah molekul yang teradsorpsi, dan v adalah frekuensi osilasi dari molekul yang tegak lurus terhadap permukaan dan berhubungan dengan frekuensi gerakan vibrasi dari atom atau molekul dari adsorben. Dengan demikian, pada kesetimbangan, $r_{ads} = r_{des}$.

$$\theta = \theta v_e \quad (2.3)$$

$$(1 - \theta) = \theta v_e \quad (2.4)$$

Sehingga

$$\frac{\theta}{\theta} = \frac{\dots}{\dots} = \dots \quad (2.5)$$

dimana

$$= \frac{\dots}{\dots} = \dots \quad (2.6)$$

atau

$$\theta = \frac{\dots}{\dots} \quad (2.7)$$

Fraaksi θ dari permukaan yang tertutupi dapat juga ditulis sebagai rasio dari volume gas (v) atau uap yang diadsorb pada tekanan p dan V_m , volume dari adsorbs yang dibutuhkan untuk membentuk lapisan *monomolecular layer*. Dengan demikian persamaan 2.7 dapat juga ditulis dengan :

$$\frac{\dots}{\dots} = \frac{\dots}{\dots} \quad (2.8)$$

$$= \frac{\dots}{\dots} \quad (2.9)$$

Hubungan diatas menunjukkan bahwa V cenderung memotong (*asimtot*) terhadap V_m . Hubungan 2.8 dikenal juga sebagai persamaan isotherm Langmuir. θ dapat ditulis juga dama n/n_m sehingga persamaan 2.8 sekarang menjadi :

$$\frac{\dots}{\dots} = \frac{\dots}{\dots} \quad (2.10)$$

Dimana n adalah jumlah mol yang diadsorbsi per gram dari adsorben dan n_m adalah kapasitas *monolayer* dalam mol.

Sama halnya juga dengan θ yang bisa ditunjukkan dalam bentuk jumlah adsorbsi dalam gram sebagai x/x_m sehingga

$$\frac{\dots}{\dots} = \frac{\dots}{\dots} \quad (2.11)$$

Dimana x dalam gram adalah jumlah yang diadsorpsi per gram adsorbent, dan x_m adalah kapasitas *monolayeri dalam gram*.

Persamaan 2.9 di limit dengan dua batasan. Pada tekanan yang rendah nilai dari bp kurang dari nilai satuan. Pada awal proses adsorpsi tereduksi ke dalam bentuk pendekatan

$$= \quad (2.12)$$

Yang menggambarkan proporsi antara jumlah yang diadsorb dan tekanan yang berkesetimbangan.

Pada tekanan yang tinggi $Kp \gg 1$, persamaan 2.9 menjadi

$$= \quad (2.13)$$

Hal ini menggambarkan pada tekanan yang lebih tinggi adsorpsi *independent* karena tekanan telah mencapai nilai tertinggi sebanding dengan nilai V_m , volume yang dibutuhkan untuk menutupi permukaan oleh *monolayer*.

Penyusunan persamaa 2.19 memberikan garis linear dalam bentuk persamaan

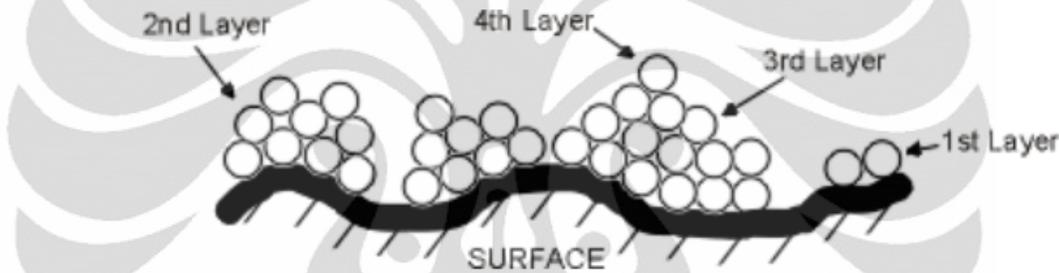
$$- = - + - \quad (2.14)$$

Slope dari garis linear memberikan nilai V_m sedangkan nilai b dapat diperoleh dari nilai intersep. Nilai V_m dapat digunakan untuk mengkalkulasi luas permukaan dari *adsorbent*. Persamaan Langmuir hanya sesuai jika zat yang diserap membentuk lapisan tunggal (*monolayer*) pada permukaan adsorben. Kedua isoterm ini tidak cocok lagi pada tekanan yang lebih tinggi, karena lapisan adsorbat yang terserap tidak lagi berbentuk lapisan tunggal, tetapi menjadi lapisan multi molekuler (Goyal, 2005, p-78).

2.4.1.2 Isoterm adsorpsi BET

BET adalah aturan untuk adsorpsi fisika oleh molekul-molekul gas pada suatu permukaan padat. Isoterm BET dikemukakan oleh Stephen Brunauer, Paul Hugh Emmett, dan Edward Teller. Konsep dari teori ini adalah pengembangan dari teori Langmuir yang digunakan untuk adsorpsi molecular monolayer, menjadi teori adsorpsi molekular multilayer dengan hipotesa sebagai berikut:

- Molekul gas yang teradsorp secara fisik pada permukaan solid pada banyak lapisan.
- Tanpa adanya interaksi antar tiap lapisan adsorpsi



Gambar 2.10 Proses adsorpsi isotherm BET (Schmeig, 2009)

Lapis pertama dari molekul-molekul teradsorpsi dapat dibentuk, seperti pada teori Langmuir. Sekarang, adsorpsi juga dapat terjadi di atas material yang telah teradsorpsi. Interaksi vertikal terjadi antara molekul-molekul pada lapis pertama dan permukaan kosong, lapis kedua dan lapis pertama, dan seterusnya, tetapi interaksi ke samping diabaikan. Pada lapis teratas, situasi mendekati hubungan antara gas dan kondensat cairnya. Jadi, persamaan untuk isoterm BET adalah:

$$\frac{v}{v_m} = \frac{cP}{(1 - P)} + \frac{c-1}{c} P \quad (2.15)$$

dimana:

v = volume gas diserap (0°C , 76 cmHg)

P = tekanan dari gas

P_o = tekanan uap jenuh gas diserap pada temperatur T

v_m = volume gas diserap (0°C , 76 cmHg), diadsorpsi saat permukaan tertutup oleh lapisan unimolekular

c = konstanta

Dengan memplot $\frac{p}{p_o} \left(\frac{1}{p} - \frac{1}{p_o} \right)$ terhadap $\frac{p}{p_o}$ akan menghasilkan garis lurus dengan *slope* yang sebanding dengan $\frac{c}{V_m}$ dan intersep $\frac{1}{V_m}$. Dari slope dan intersep maka akan diperoleh dua konstanta V_m dan c . Volume dari gas yang dibutuhkan untuk membentuk *monolayer* digunakan untuk menghitung luas area spesifik dari *adsorbent* dengan terlebih dahulu mengetahui luas molekular (a_m) yang merupakan luas rata-rata *adsorbate* yang ditempati oleh molekul dalam lapisan *monolayer*. Persamaan BET dapat ditulis juga sebagai :

$$\frac{p}{p_o} \left(\frac{1}{p} - \frac{1}{p_o} \right) = \frac{c}{V_m} \frac{p}{p_o} + \frac{1}{V_m} \quad (2.16)$$

Dimana n merupakan jumlah mol yang diadsorb pada tekanan p dan n_m adalah kapasitas *monolayer* dalam moles.

Luas permukaan spesifik dapat dihitung dengan menggunakan hubungan :

$$S_{\text{BET}} = a_m \cdot N \cdot V_m \quad (2.17)$$

Dimana N adalah bilangan Avogadro. Jika *monolayer* ditunjukkan dengan gas yang diadsorb per gram dari *adsorbent*, dan a_m ditunjukkan dalam nm^2 per molekul, maka

$$S_{\text{BET}} = \frac{V_m \cdot N \cdot a_m}{10^{-21}} \quad (2.18)$$

Kapasitas *monolayer* dapat juga ditunjukkan dalam gram *adsorbate* x_m per gram dari *adsorbent*, lalu luas area spesifik dihitung dengan :

$$S_{\text{BET}} = \frac{x_m \cdot M}{10^{-21}} \quad (2.19)$$

Dimana M adalah massa molekular dari *adsorbate* dan n_m merupakan jumlah mol (Goyal, 2005. p-85).

BAB 3

METODE PENELITIAN

Dalam bab ini akan dibahas diagram alir proses penelitian, peralatan dan bahan yang akan digunakan, variable penelitian, prosedur penelitian. Penelitian dilakukan di Laboratorium Teknologi Energi Berkelanjutan serta Laboratorium Rekayasa Reaksi Kimia dan Konversi Gas, Alam, Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

3.1 Alur Penelitian

Penelitian ini dilakukan seperti diagram alir proses yang dapat dilihat pada Gambar 3.1. Prosedur penelitian ini mengacu pada penelitian sebelumnya yang pernah dilakukan. Untuk langkah-langkah yang lebih jelas dan lebih detail dapat dijelaskan pada bagian prosedur penelitian.

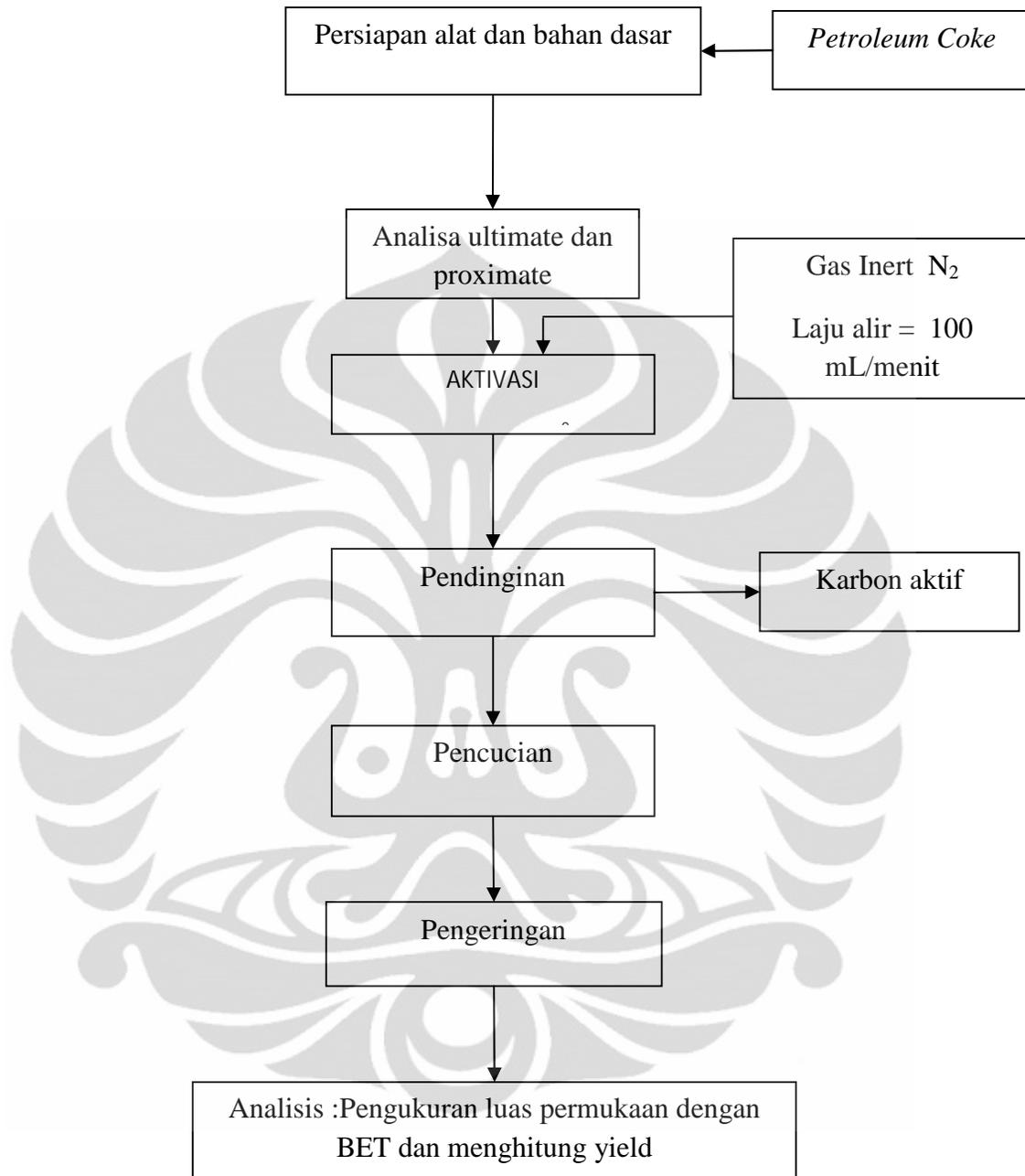
3.2 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian ini terdiri dari beberapa tahap yaitu persiapan alat dan bahan dasar, proses pengarangan, dan aktivasi, pendinginan, pencucian, pengeringan sampel serta analisis hasil karbon aktif.

3.2.1 Persiapan Alat dan Bahan Dasar

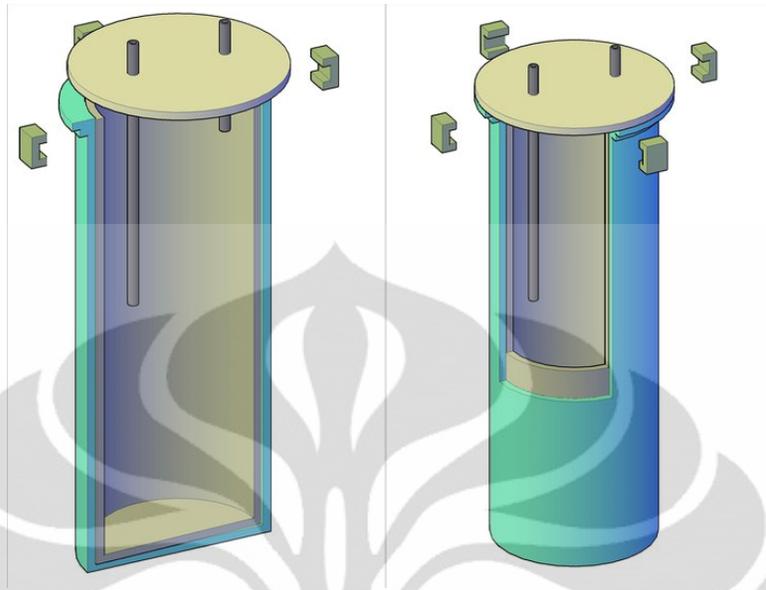
Adapun alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah :

1. Tabung gas N₂
2. Reaktor keramik kapasitas 100 gram
3. *Magnetic stirrer*
4. Pengontrol suhu dan laju alir pada reactor
5. Autosorb 6B produksi Quantrachrome
6. Inkubator
7. Timbangan
8. *Furnace / Oven*
9. Cawan Keramik
10. *Beaker Glass*
11. Gelas ukur
12. Spatula



Gambar 3.1 Diagram alir Penelitian

Reaktor aktivasi yang digunakan adalah reaktor yang terbuat dari bahan *stainless steel* yang diselubungi oleh keramik konduktor yang dilengkapi dengan pipa aliran gas masuk dan keluar nitrogen, reaktor ini memiliki kapasitas sebanyak 100 gram.



Gambar 3.2 Prototype Reaktor Aktivasi

Sementara itu, bahan-bahan yang perlu dipersiapkan antara lain :

1. *Petroleum Coke*

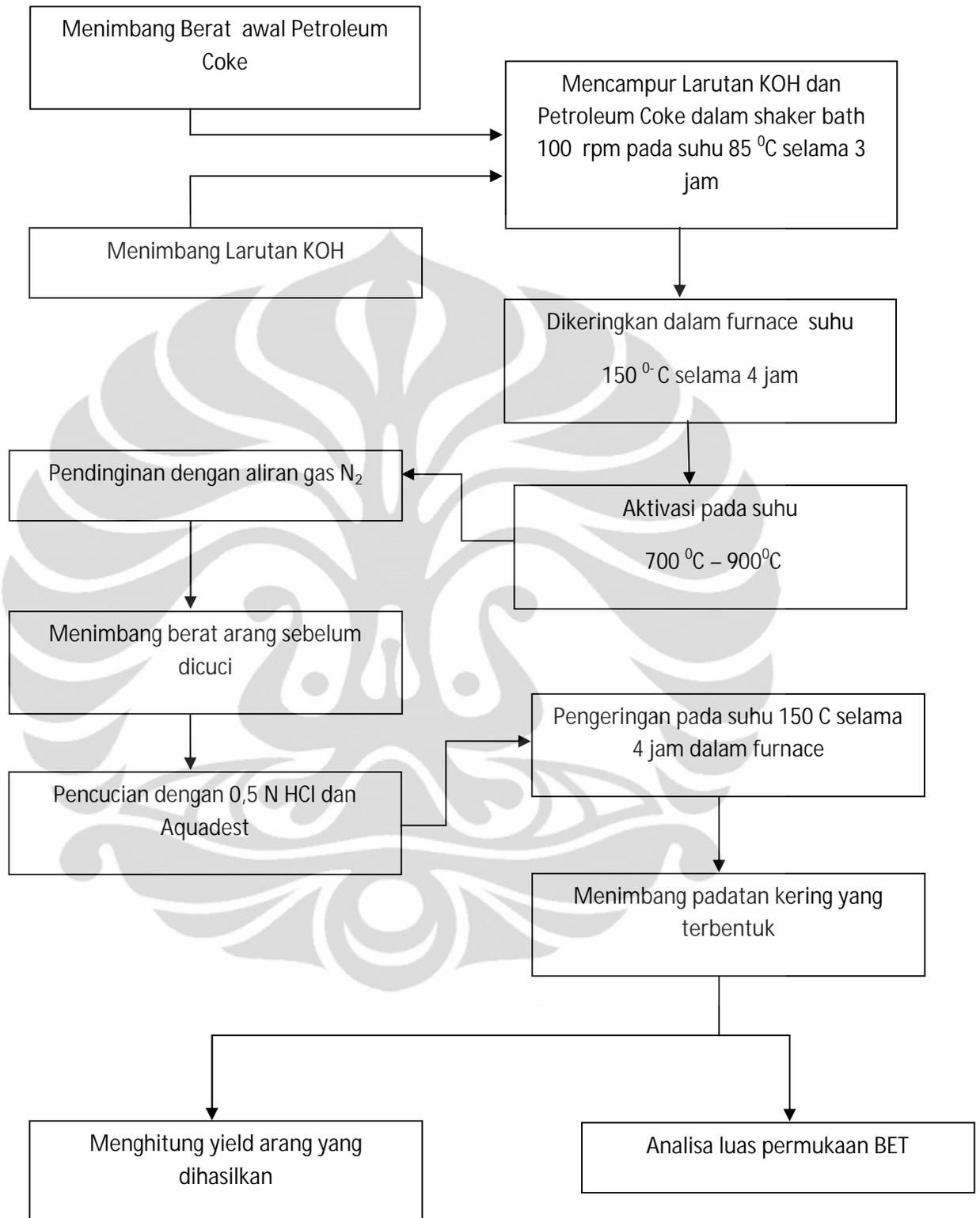
Petroleum Coke yang digunakan didapat dari PT. Chandra Asri yang berasal dari unit *Etilen Plant*. *Petroleum Coke* mengalami tahap *grinding and sizing* dibentuk ke dalam butiran sebesar 80 mesh. Selain itu bahan baku dipanaskan untuk menghilangkan kadar airnya.

2. Larutan KOH

Larutan ini digunakan sebagai *activating reagent*.

3. HCl 0,5 N

4. Air destilasi (*deionized water*).



Gambar 3.3 Rancangan Penelitian

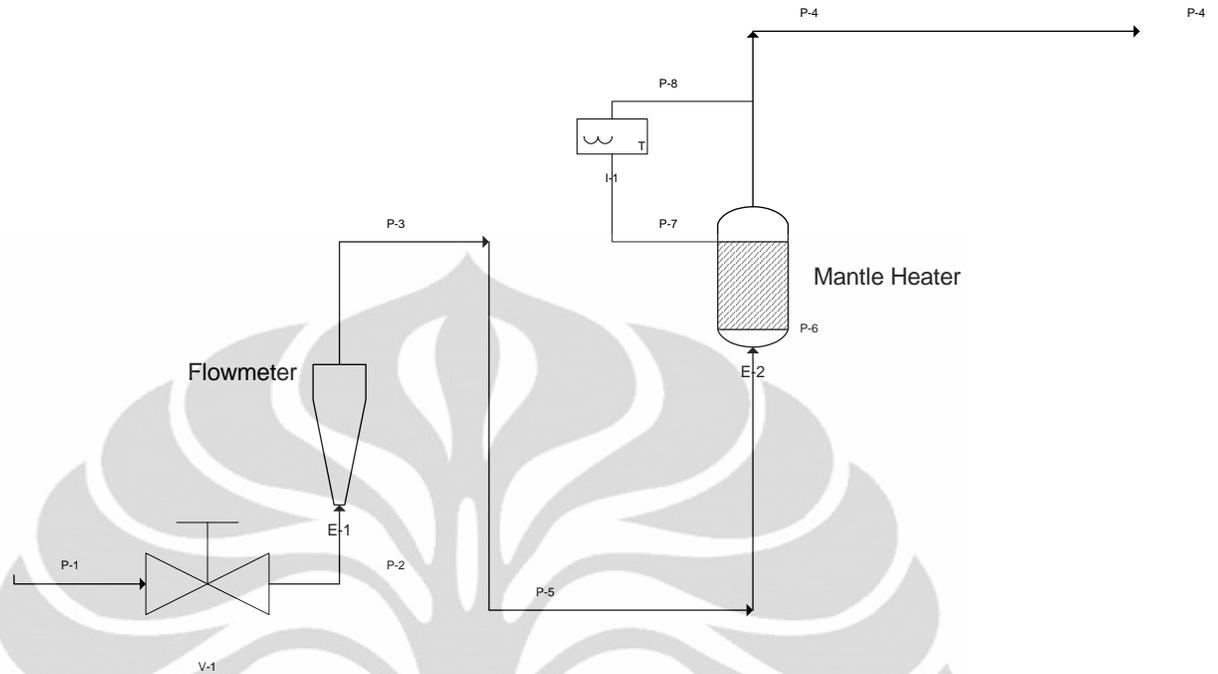
3.2.2 Preparasi

Preparasi dilakukan dengan menimbang *petroleum coke* dan padatan KOH, selanjutnya padatan KOH dilarutkan dengan 50 g aquadest. *Petroleum coke* dan larutan KOH dicampurkan dalam gelas kimia dengan temperatur konstan 85 °C dan *magnetic stirrer* pada kecepatan 100 rpm selama 3 jam. Setelah proses pencampuran maka akan terbentuk *slurry* campuran antara *petroleum coke* dan larutan KOH, *slurry* ini dikeringkan dalam *furnace* pada suhu 150 °C selama 4 jam.

3.2.3 Aktivasi

Bahan baku *petroleum coke* dicampur dengan *activating reagent* berupa larutan KOH 65% berat dengan rasio massa KOH : massa arang divariasikan 0:1, 1/4 , 2/1 dan 3/1. Campuran ini kemudian dimasukkan ke sebuah reaktor baja yang diselubungi keramik. Pada reaktor tersebut dialirkan gas N₂ dan laju alirnya dikontrol 100 mL/menit. Sebelum digunakan, reaktor harus diperiksa untuk memastikan bahwa oksigen telah dikeluarkan dari reaktor tersebut. Lalu, campuran yang berisi arang dan KOH dipanaskan sehingga tercapai temperatur proses kenaikan suhu 10 °C /menit. Temperatur proses divariasikan 700 °C, 800 °C dan 900 °C dengan waktu reaksi setelah mencapai temperatur yang diinginkan ditetapkan selama 60 menit.

Setelah prosedur ini selesai dilakukan, maka akan didapatkan produk karbon aktif. Namun, produk ini masih perlu diberi *treatment* lagi supaya didapatkan karbon aktif yang benar-benar murni.



Gambar 3.4 Skema Peralatan Aktivasi Karbon

3.2.4 Pendinginan

Setelah proses aktivasi, sampel yang didapat yang sebenarnya sudah merupakan karbon aktif didinginkan dengan tetap mengalirkan gas N_2 (Sudibandriyo, 2009).

3.2.5 Pencucian

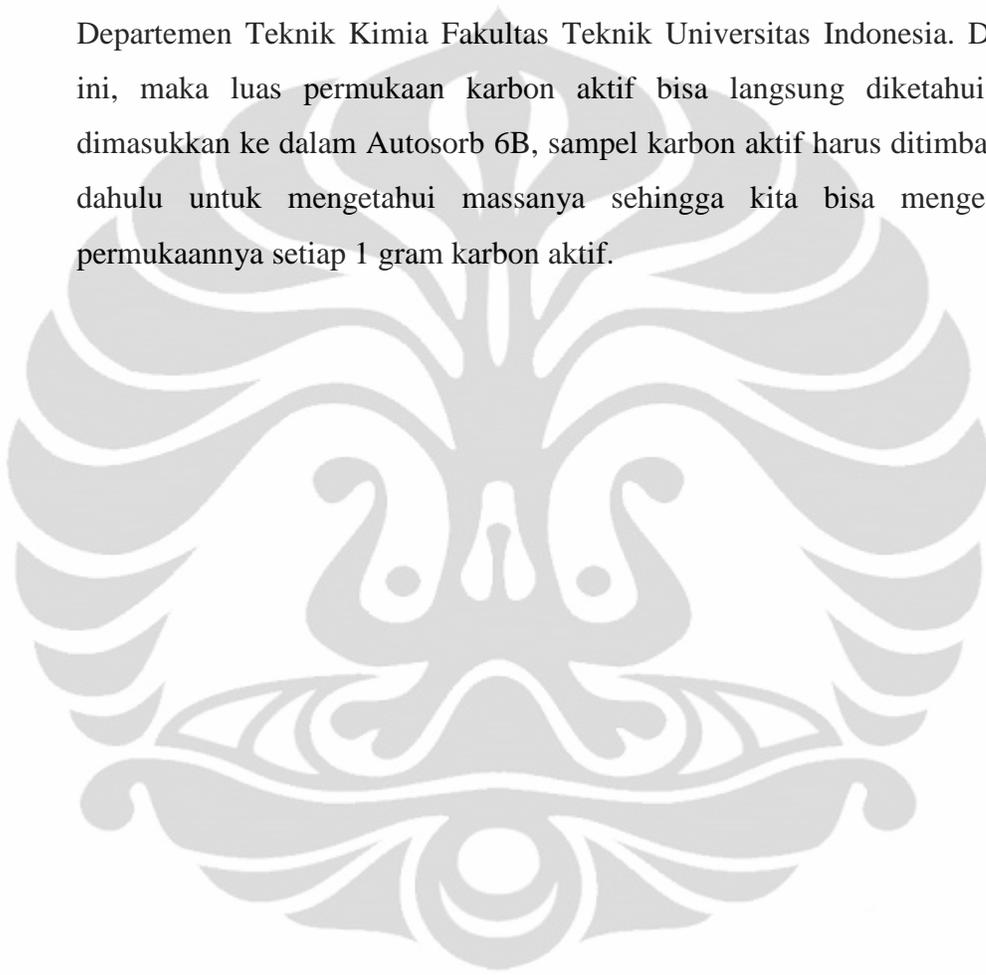
Setelah didinginkan, sampel tersebut dicuci lima kali dengan 250 ml HCl 0,5 N pada temperatur $85^{\circ}C$ selama 30 menit lalu disaring dan akhirnya dicuci dengan air ditilasi beberapa kali untuk menghilangkan sisa kloridanya. (Sudibandriyo, 2009).

3.2.6 Pengeringan Sampel

Setelah dicuci, sampel dikeringkan pada suhu $150^{\circ}C$ selama 4 jam (Sudibandriyo, 2009). Sampel karbon aktif yang didapatkan kemudian disimpan di dalam desikator untuk menjaga karbon aktif tetap kering.

3.2.7 Analisis Luas Area Permukaan Karbon Aktif

Setiap produk karbon aktif yang telah dimurnikan, dianalisis luas area permukaannya dengan menggunakan Autosorb 6B produksi Quantachrome yang terdapat di laboratorium Rekayasa Reaksi Kimia dan Konversi Gas alam, Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Dengan alat ini, maka luas permukaan karbon aktif bisa langsung diketahui. Sebelum dimasukkan ke dalam Autosorb 6B, sampel karbon aktif harus ditimbang terlebih dahulu untuk mengetahui massanya sehingga kita bisa mengetahui luas permukaannya setiap 1 gram karbon aktif.



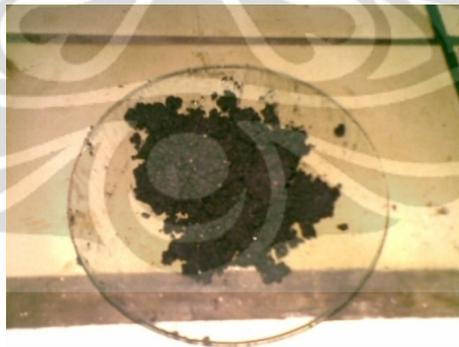
BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab hasil dan pembahasan ini akan diuraikan mengenai hasil preparasi bahan dasar *petroleum coke*, proses aktivasi, produk karbon aktif serta hasil karakterisasi luas permukaan dengan pengujian BET dari karbon aktif yang dihasilkan.

4.1. Preparasi *Petroleum Coke*

Preparasi *petroleum coke* pertama kali dilakukan dengan perlakuan pemanasan dengan oven selama 4 jam pada suhu 150°C (Mendez, 2006). Pemanasan ini bertujuan untuk menghilangkan kandungan air terikat dalam *petroleum coke*. Setelah dilakukan pengovenan maka dilakukan *sizing* dengan ukuran mesh 40. Selanjutnya *petroleum coke* dicampur dengan larutan KOH 65 % pada perbandingan larutan KOH dan *petroleum coke* 1 : 4, 2 : 1, dan 3 : 1. Variasi lainnya pun dilakukan dengan *free* KOH sebagai pembanding. Gambar 4.1 menunjukkan *petroleum coke* sebelum dilakukan pemanasan awal.



Gambar 4.1 *Petroleum Coke* sebelum dilakukan pemanasan awal

Hasil analisa *proximate* dan *ultimate petroleum coke* dapat dilihat pada Tabel 4.1. Analisa ini menunjukkan karakteristik *petroleum coke* yang memiliki kandungan karbon padat tetap (*fixed carbon*) yang tinggi sebesar 92,42 % serta kelembaban (*moisture*) yang rendah sebesar 0,44 %. Hal ini sesuai dengan karakteristik material

karbon lainnya seperti batu bara dimana apabila tingkat mutu kandungan karbon yang tinggi maka tingkat kelembabanya akan rendah.

Tabel 4.1 Analisa *Proximate* dan *Ultimate Petroleum Coke*

ANALYSIS PARAMETER	SAMPLE MARKS		UNIT	BASIS	STANDARD ACUAN :
	No. Lab. 2900/2010				
	Petroleum Coke				
PROKSIMATE :					
MOISTURE IN AIR DRIED SAMPLE	0.44		%	Adb	ASTM D.3173
ASH	2.57		%	Adb	ASTM D.3174
VOLATILE MATTER	4.57		%	Adb	ISO 562
FIXED CARBON	92.42		%	Adb	BY DIFF
ULTIMATE :					
CARBON	93.17		%	Adb	ASTM D.5373
HYDROGEN	0.58		%	Adb	ASTM D.5374
NITROGEN	0.01		%	Adb	ASTM D.5375
TOTAL SULPHUR	0.05		%	Adb	ASTM D.4239
OXYGEN	3.62		%	Adb	BY DIFF

Sumber : BPPT TEKMIIRA

4.2 Aktivasi *Petroleum Coke*

Proses aktivasi dilakukan dengan metoda kimiawi dimana pada tahap ini digunakan larutan KOH sebagai *activated agent*. Pada Gambar 4.2 menunjukan peralatan yang digunakan dalam tahap aktviasi.



Gambar 4.2 Reaktor aktivasi

Proses aktviasi dilakukan pada temperatur yang cukup tinggi yaitu pada variasi 700/800/900 °C serta berada dalam lingkungan inert dengan mengalirkan gas nitrogen ke dalam reaktor dengan laju alir 100 cc/menit. Lingkungan inert ini dimaksudkan

agar tidak terjadi kerusakan struktur pori dari karbon aktif dan proses oksidasi pada karbon aktif menjadi lebih terkontrol. Tabel 4.2 merepresentasikan hasil pengamatan kondisi proses aktivasi variasi berat sampel padatan KOH berbanding dengan *petroleum coke*.

Tabel 4.2 Kondisi dan hasil pengamatan pada tahap aktivasi

No	Sampel	Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)	Kondisi dan Hasil Pengamatan	
1	Free KOH	25	Dialirkan gas N_2 pada reaktor selama 10 menit	
		25 – 100	Pemanasan dimulai secara bertahap dengan menaikkan suhu sampai 150°C	
		100 -150		
		150 – 200		
		200 – 250	Pemanasan dilakukan bertahap, secara visual tidak terjadi apa-apa	
		250 – 300		
		300 – 350		
		350 – 400		
		400 – 450		
		450 – 500	Timbul asap putih tipis dan bau yang menyengat	
		500 – 550	Asap putih semakin tebal	
		550 – 600		
		600 – 650		
		650 - 700/800/900	Pemanasan bertahap untuk mencapai setting temperature	
700/800/900	Pemanasan stabil, asap putih menipis , produk arang mudah digerus			
2	1:04	25	Dialirkan gas N_2 pada reaktor selama 10 menit	
		25 – 100	Pemanasan dimulai secara bertahap dengan menaikkan suhu sampai 150°C	
		100 -150		
		150 – 200		
		200 – 250	Pemanasan dilakukan bertahap, secara visual tidak terjadi apa-apa	
		250 – 300		
		300 – 350		
		350 – 400		Terdengar letupan gas + asap putih tipis
		400 – 450		Bau dan asap putih semakin tebal
		450 – 500		
		500 – 550	Asap putih semakin tebal + letupan gas	
		550 – 600		
		600 – 650		

Tabel 4.2 (Lanjutan)

No	Sampel	Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)	Kondisi dan Hasil Pengamatan
2	1 : 4	650 - 700/800/900	Pemanasan bertahap untuk mencapai setting temperatur
		700/800/900	Pemanasan stabil, asap putih menipis , produk arang keras agak sulit digerus
2	2 : 1 dan 3 : 1	25	Dialirkan gas N_2 pada reaktor selama 10 menit
		2 – 100	Pemanasan dimulai secara bertahap dengan menaikkan suhu sampai 150°C
		100 -150	
		150 – 200	Pemanasan di Pemanasan dilakukan bertahap, secara visual tidak terjadi apa-apa
		200 – 250	
		250 – 300	
		300 – 350	
		350 – 400	
		400 – 450	asap putih tipis
		450 – 500	Bau dan asap putih semakin tebal + letupan gas
		500 – 550	
		550 – 600	Asap putih semakin tebal + letupan gas
		600 – 650	
		650 - 700/800/900	Pemanasan bertahap untuk mencapai setting temperatur
700/800/900	Pemanasan stabil, asap putih menipis , produk arang keras sulit digerus terbentuk serbuk putih pada suhu variasi 900°C		

Tabel 4.2 merepresentasikan hasil pengamatan ketika tahap aktivasi menggunakan reaktor baja berlangsung. Hasil pengamatan pada rentan suhu diatas 350°C sampai suhu 600°C terbentuk asap putih yang keluar dari reaktor, pembentukan asap ini mengindikasikan pada rentan suhu tersebut berlangsung peristiwa devolatilisasi material-material *volatile* yang terkandung didalam *petroleum coke*. Sedangkan pada suhu di atas 600°C asap putih menipis karena pada suhu diatas 600°C interaksi karbon dengan persenyawaan potassium (KOH) akan berlangsung menjadi signifikan (Teng, 1999). Hal ini menandakan proses aktivasi pada *petroleum coke* tengah berlangsung. Pada Tabel pengamatan di atas juga dapat disimpulkan

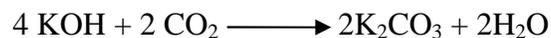
bahwa hasil pengamatan pemanasan tidak menunjukkan perilaku yang jauh berbeda baik untuk variasi perbandingan tanpa larutan KOH maupun dengan variasi penambahan larutan KOH. Berikut adalah Gambar 4.3 menunjukkan terbentuknya asap putih pada temperatur diatas 350 °C.



Gambar 4.3 Asap putih saat proses aktivasi

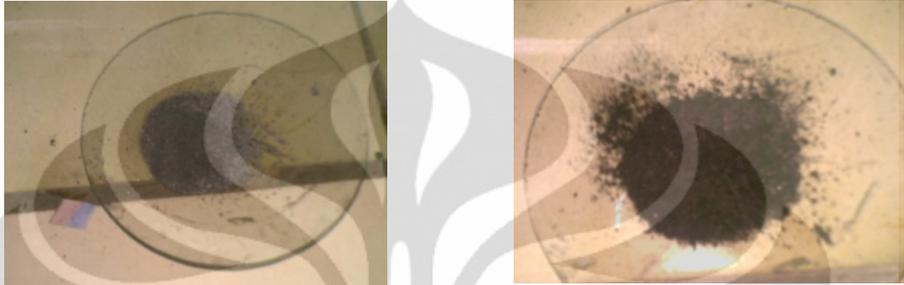
4.3 Produk Karbon Aktif

Pada penelitian ini dihasilkan produk karbon aktif yang berwarna hitam dalam bentuk granular. Berdasarkan pengamatan pada Tabel 4.2 pada variasi 2:1 dan 3:1 dihasilkan produk karbon aktif disertai dengan terbentuknya serbuk putih seperti warna kapur yang tampak pada Gambar 4.4, hal ini dikarenakan reaksi kimia antara karbon dengan KOH yang menghasilkan terbentuknya senyawa karbonat yang bersifat non volatil. Reaksi kimia yang terjadi adalah (Sudibandriyo, 2008) :



Pada proses aktivasi, karbon akan bereaksi dengan *activating agent* (KOH) dan menghasilkan karbon dioksida yang berdifusi pada permukaan karbon. *Amorphous carbon* yang menghalangi pori bereaksi pada tahap oksidasi awal dan sebagai hasilnya *closed pore* akan terbuka. Selanjutnya reaksi akan berlanjut dengan mengikis dinding karbon untuk membentuk pori-pori baru (Sudibandriyo, 2003).

Pada reaksi di atas terjadi evolusi air dan H₂, evolusi air dan H₂ ini dikarenakan KOH yang bersifat sebagai *dehydrating agent*. Fenomena evolusi air dan H₂ ini bisa diamati pada Tabel pengamatan 4.2 dimana pada temperatur menengah proses aktivasi diikuti dengan suara letupan air disertai asap putih.



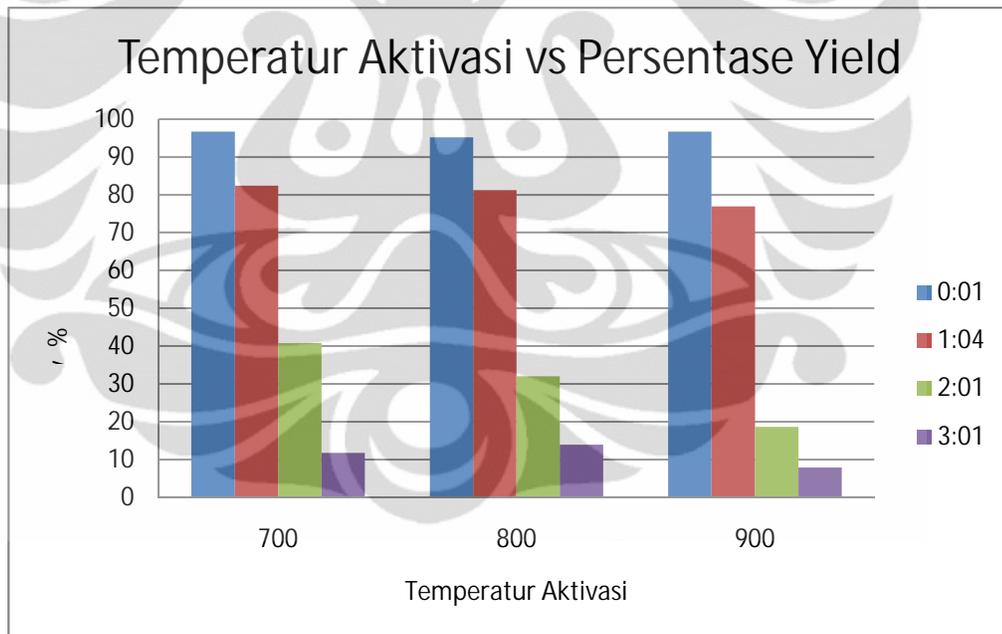
Gambar 4.4 Hasil karbon aktif 3:1 pada temperatur 900 °C dan suhu 800 °C

Tergasifikasinya senyawa karbon ini berpengaruh terhadap persentase kehilangan berat dan *yield* dari karbon aktif saat aktivasi, seperti yang ditunjukkan pada Tabel berikut :

Tabel 4.3 Persentase kehilangan dan *yield* karbon aktif

KOH: Petroleum coke	Temperatur (°C)	Berat Awal (g)	Berat Akhir (g)	Berat Hilang (g)	% Kehilangan	% YIELD
0:1	700	32,45	31,39	1,06	3,27	96,73
	800	32,34	30,78	1,56	4,82	95,18
	900	32,79	31,7	1,09	3,32	96,67
1:4	700	30,02	24,73	5,29	17,62	82,38
	800	30,13	24,47	5,66	18,79	81,21
	900	30	23,07	6,93	23,1	76,9
2:1	700	38,65	15,77	22,88	59,20	40,80
	800	50,83	16,28	34,55	67,97	32,03
	900	50,78	9,47	41,31	81,35	18,65
3:1	700	50,97	6	44,97	88,23	11,77
	800	50	7	43	86	14
	900	50	4	46	92	8

Berdasarkan Tabel 4.3 pada variasi KOH dan *petroleum coke* 0:1 pada temperatur 700 °C tidak mengalami perubahan kehilangan berat dan persentase yield yang signifikan seiring dengan kenaikan temperatur aktivasi. Hal ini dikarenakan reaksi aktivasi pada variasi ini berjalan lambat karena suplai pengoksidasi yang minim, sehingga karbon yang tergasifikasi sedikit. Berbeda halnya yang terjadi pada tiga variasi lainnya dengan penambahan larutan KOH akan memberikan persentase kehilangan berat semakin tinggi dan persentase *yield* yang semakin menurun seiring dengan kenaikan temperatur. Hal ini disebabkan karena terjadinya reaksi antara karbon dengan KOH pada temperatur reaksi (700/800/900 °C), impregnasi KOH akan menghasilkan degradasi material karbon disertai dengan pelepasan kandungan air terikat dan senyawa volatil yang terkandung di dalam material *petroleum coke* selama tahap pemanasan awal.



Gambar 4.5 Hubungan pengaruh temperatur aktivasi terhadap persentase yield karbon aktif yang dihasilkan.

Dapat dilihat pada gambar 4.5 tampak pengaruh temperatur terhadap persentase *yield* karbon aktif berbeda untuk setiap rasio perbandingan berat. Pada temperatur 900 °C pada variasi 2:1 dan 3:1 yield karbon aktif mencapai titik paling rendah, hal ini

dikarenakan pemanasan yang semakin meningkat, dapat mendegradasi karbon pada *petroleum coke* sehingga persentase *yield* karbon aktif yang diperoleh sangat rendah. Persentase kehilangan yang paling besar terjadi pada variasi 3: 1 pada temperatur 900 °C dengan persen kehilangan sebesar 92 % dengan persen *yield* sebesar 8 %.

4.4 Hasil Karakteristik Luas Permukaan Karbon aktif

Luas permukaan karbon aktif pada penelitian ini dianalisa dengan metoda BET. Material *petroleum coke* memiliki kandungan karbon padat yang cukup tinggi. Dimana material karbon ini akan mampu berinteraksi dengan KOH mengakibatkan penekanan pembentukan tar dan memicu pengembangan porositas sehingga akan dihasilkan karbon aktif dengan luas permukaan yang tinggi (Teng, 2000). Hasil analisis luas permukaan pada *petroleum coke* ditunjukkan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Analisa luas permukaan BET

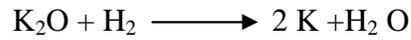
Perbandingan KOH:Petroleum coke	Temperatur (°C)	Luas Permukaan BET (m ² /gram)
0:1	700	9
	800	14
	900	12
1:4	700	22
	800	23
	900	12
2:1	700	4
	800	5
	900	5
3:1	700	17
	800	4
	900	29

Secara keseluruhan luas permukaan yang diperoleh tidak menunjukkan angka yang signifikan sebagai karbon aktif. Hal ini bisa dikarenakan oleh beberapa faktor, yang diantaranya adalah struktur karbon dari *petroleum coke* itu sendiri

petroleum coke yang digunakan termasuk ke dalam jenis *needle coke* dimana memiliki struktur karbon berupa *graphite* yang merupakan alotropi karbon yang stabil terhadap perlakuan pemanasan dibandingkan alotropi *amorph/carbon black*. Selain itu morfologi *needle coke* dengan distribusi pori yang sangat kecil, menyebabkan tidak terjadinya fenomena difusi KOH ke dalam interior karbon, mengakibatkan proses aktivasi hanya berlangsung di permukaan karbon. Dibandingkan batubara, *petroleum coke* memiliki tingkat kereaktifan yang lebih rendah sehingga membutuhkan temperatur atau waktu tinggal yang lebih tinggi untuk mencapai konversi karbon yang sama (Higman dan Burgt, 2008). Fenomena ini mengakibatkan tidak terbentuknya retakan-retakan atau celah yang disebut sebagai pori, merepresentasikan tidak terjadinya inisiasi reaksi pembentukan pori yang signifikan pada saat temperatur proses aktivasi berlangsung. Hasil tertinggi untuk karbon aktif diperoleh pada variasi 3 : 1 pada temperatur 900 °C sebesar 29 m²/g.

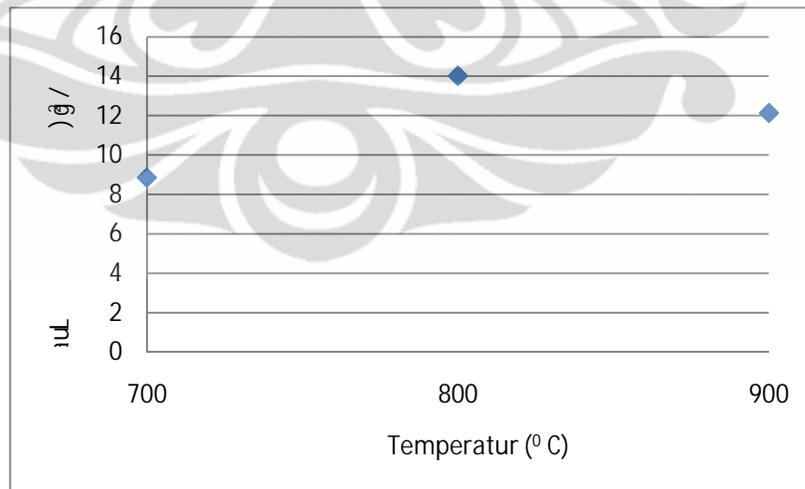
Material *petroleum coke* juga memiliki kandungan *volatile matter* sebesar 4,57 % (Tabel 4.1). *Volatile matter* ini akan terdevolatilisasi pada temperatur rendah (Ashman et al,2000), selain itu pada penelitian ini laju pemanasan juga berlangsung sekitar 10 °C / menit, laju pemanasan yang lambat/rendah mengakibatkan reaksi aktivasi berjalan setelah reaksi devolatilisasi berlangsung sampai habis (Higman dan Burgt,2008). Laju pemanasan yang lambat akan mengakibatkan waktu tinggal dari *volatile matter* menjadi lama sehingga terjadi akumulasi dalam reaktor. Proses akumulasi akibat dari peristiwa devolatilisasi ini akan menghambat pembentukan pori karena *volatile matter* ini akan teroksidasi lebih dulu oleh KOH pada permukaan arang.

Pada variasi komposisi 2:1 dan 3:1 produk karbon aktif cenderung mengeras dan susah untuk digerus (*plugging*). Hal ini mungkin dikarenakan tercapainya titik leleh dari K₂O yang pada akhirnya akan mengeras dan tereduksi menjadi logam alkali dalam produk akhir karbon aktif. Dimana pada suhu lebih dari 700 °C produksi logam kalium terbentuk dari reduksi K₂O oleh H₂ dan karbon (Tseng, 2007).

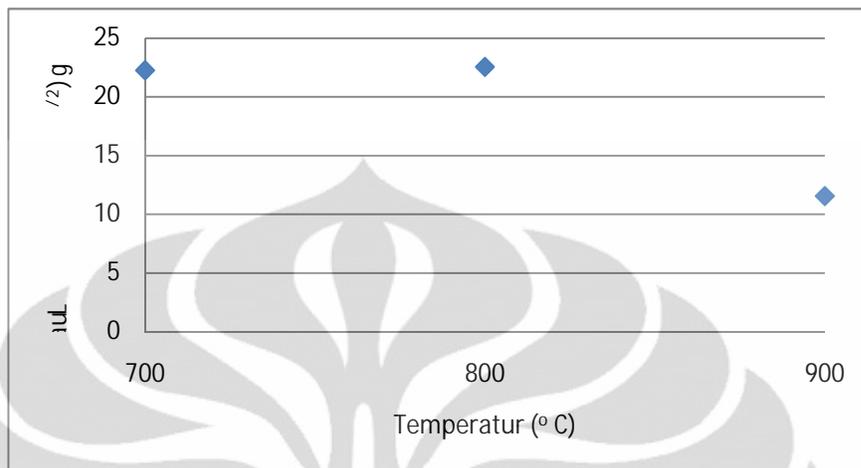


Mengakibatkan zat pengaktif hanya mampu menggasifikasi pada permukaan (*exterior*) karbon saja. Fenomena *plugging* dan devolatilisasi ini akan menghambat penetrasi reaksi arang dengan KOH sampai bagian interior arang. Gasifikasi pada *exterior* yang dominan pada partikel karbon dapat menyebabkan reduksi dalam porositas (Teng, 2000). Hal ini menunjukkan bahwa variabel penelitian masih perlu dioptimasi lebih lanjut terutama pada perbandingan KOH, temperatur, serta laju pemanasan yang lebih tinggi.

Seiring dengan kenaikan temperatur pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2 diperoleh kecenderungan kenaikan luas permukaan dan mencapai puncaknya pada temperatur 800°C untuk variasi 0 : 1 dan 1 : 4, hal ini dikarenakan pada temperatur diatas 800 °C menyebabkan pemutusan ikatan dalam matriks karbon menyebabkan kerusakan (*collapse*) dalam struktur karbon, sehingga mereduksi porositas dari karbon aktif (Teng, 2000).

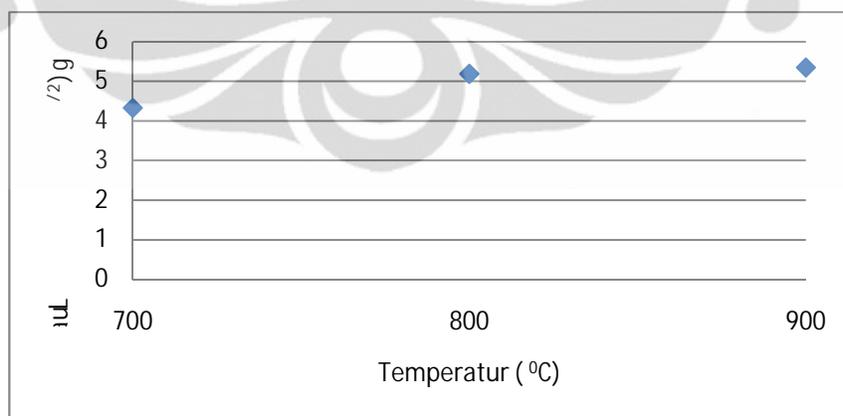


Gambar 4.6 Hubungan Luas Permukaan dengan Temperatur Pada Hasil Karbon Aktif
KOH: *Petroleum Coke* (0 :1)

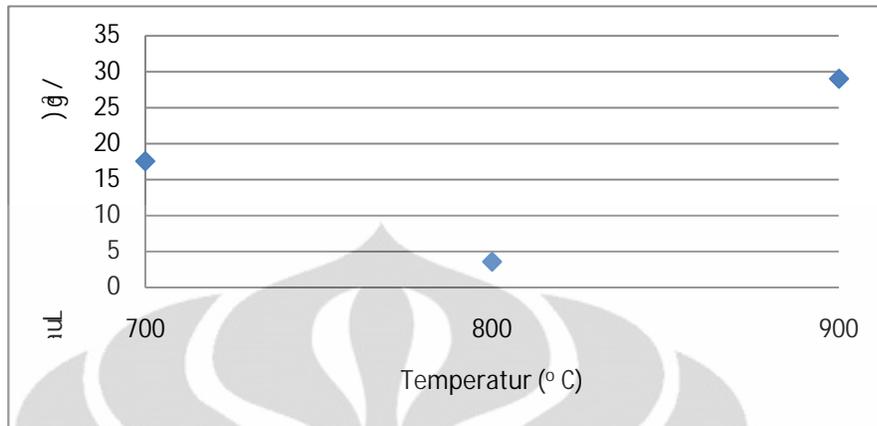


Gambar 4.7 Hubungan Luas Permukaan dengan Temperatur Pada Hasil Karbon Aktif
KOH: *Petroleum Coke* (1 : 4)

Pada hasil penelitian dengan variasi 2 : 1 dan 3 : 1 dimana seiring kenaikan temperatur luas permukaan cenderung semakin meningkat hal ini mengindikasikan laju reaksi berjalan lebih cepat, kecuali pada temperatur 800 °C terjadi penurunan pada variasi 3:1 hal ini bisa diakibatkan pada saat pencucian karbon aktif yang kurang sempurna sehingga mengakibatkan adanya logam alkali yang masih tertinggal di produk karbon aktif yang menyumbat pori-pori arang.



Gambar 4.8 Hubungan Luas Permukaan dengan Temperatur Pada Hasil Karbon Aktif
KOH: *Petroleum Coke* (2 : 1)



Gambar 4.9 Hubungan Luas Permukaan dengan Temperatur Pada Hasil Karbon Aktif
 KOH: *Petroleum Coke* (3 : 1)

BAB 5

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang didapatkan dari hasil penelitian, pengolahan data dan analisa yang dilakukan :

1. Hasil karbon aktif tertinggi pada penelitian ini adalah hasil karbon aktif pada perbandingan KOH : *Petroleum Coke* 3:1 dengan temperatur 900 °C. Secara umum luas permukaan yang didapat tidak terlalu signifikan sebagai karbon aktif.
2. Sedangkan pengaruh temperatur dapat mempengaruhi luas permukaan karbon aktif, dimana semakin tinggi temperatur diperoleh karbon aktif dengan luas permukaan semakin besar kecuali pada variasi 0 : 1 dan 1 : 4 dimana mencapai titik puncak pada temperatur 800 °C, serta pada variasi 3 : 1 pada temperatur 800 °C mengalami penurunan.
3. Sedangkan pengaruh variasi KOH dapat mempengaruhi luas permukaan karbon aktif. Dengan penambahan KOH diperoleh karbon aktif dengan luas permukaan yang lebih tinggi kecuali pada variasi 2 : 1.

5.2 Saran

1. Melakukan proses pembuatan karbon aktif dengan metodologi pemanasan bertahap dimana sampel karbon aktif dipanaskan terlebih dahulu selama satu setengah jam pada suhu 450 °C dan variasi pemanasan kedua pada rentan 700 °C sampai temperatur 900 °C selama satu jam.
2. Melakukan uji analisa XRD terhadap *petroleum coke* dan hasilnya untuk lebih memastikan bentuk morfologi dari bahan serta produk yang dihasilkan.