



UNIVERSITAS INDONESIA

**PRODUKSI KARBON AKTIF SEBAGAI ADSORBEN DARI
BATUBARA RIAU DENGAN METODE AKTIVASI FISIKA
PADA TEMPERATUR 950^oC MELALUI PROSES OKSIDASI
PADA TEMPERATUR 300^oC**

SKRIPSI

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

**MAGRIBI RAMDHANI
0405020472**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
DEPOK
JULI 2009**

i

Universitas Indonesia

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Kami menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul :

**PRODUKSI KARBON AKTIF SEBAGAI ADSORBEN DARI BATUBARA
RIAU DENGAN METODE AKTIVASI FISIKA PADA TEMPERATUR
950⁰C MELALUI PROSES OKSIDASI PADA TEMPERATUR 300⁰C**

yang dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia, sejauh yang kami ketahui bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari skripsi yang sudah dipublikasikan dan atau pernah dipakai untuk mendapatkan gelar kesarjanaan di lingkungan Universitas Indonesia maupun di Perguruan Tinggi atau Instansi manapun, kecuali bagian yang sumber informasinya dicantumkan sebagaimana mestinya. Tugas Akhir ini dikerjakan sebagian bersama rekan saya yang bernama Imam Taufani (NPM : 0405020375) dengan penelitian tugas akhirnya yang berjudul ”Adsorpsi Isotermal CO₂ pada Karbon Aktif Komersial dengan Tekanan 5 dan 7 bar absolut” sehingga terdapat kata-kata atau kalimat yang sama.

Nama : Magribi Ramdhani

NPM : 0405020472

Tanda Tangan :

Tanggal : 15 Juli 2009

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Magribi Ramdhani
NPM : 0405020472
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Produksi Karbon Aktif Sebagai Adsorben dari
Batubara Riau dengan Metode Aktivasi Fisika
pada Temperatur 950°C Melalui Proses Oksidasi
pada Temperatur 300°C

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr.-Ing.Ir.Nasruddin, M.Eng ()

Penguji : Dr. Ir. M. Idrus Alhamid ()

Penguji : Dr. Ir. Budiharjo, Dipl.-Ing ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 16 Juli 2009

KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMA KASIH

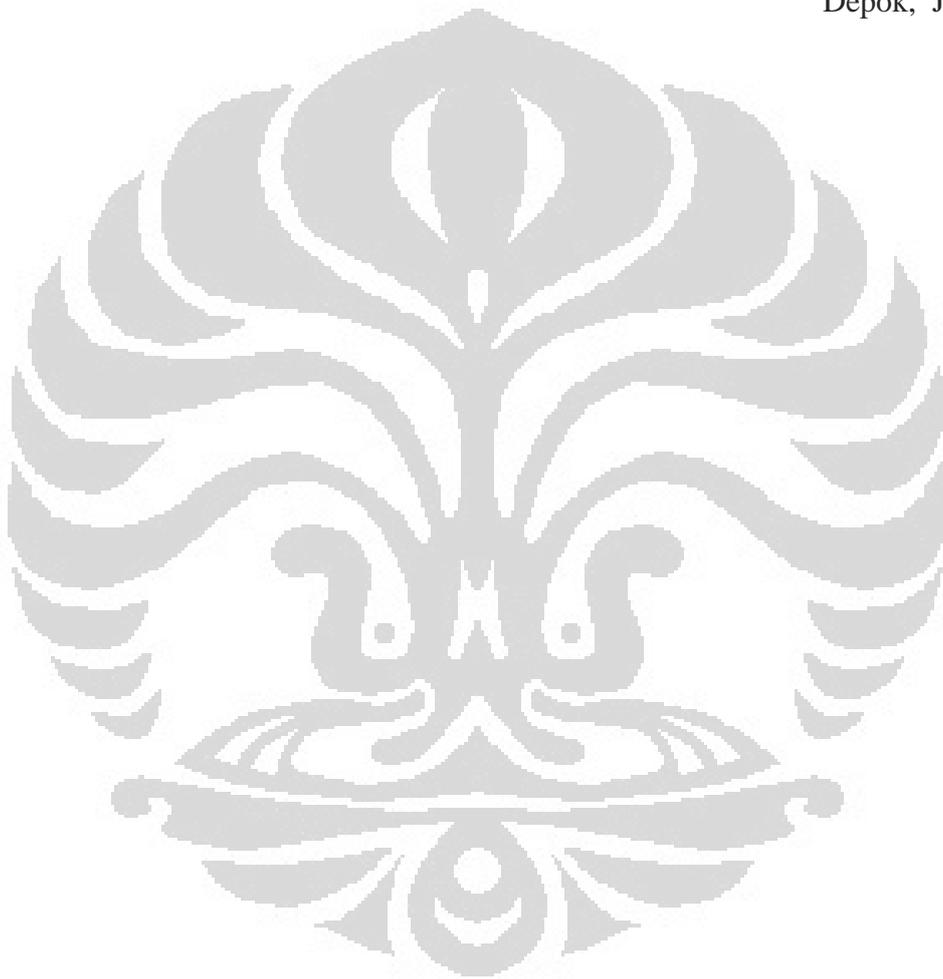
Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, karena atas berkat dan rahmat-Nya, sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya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

- (1) Dr-Ing.Ir.Nasruddin,M.Eng, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
- (2) Orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral;
- (3) Awaludin Martin, ST.MT, selaku mahasiswa S3 Teknik Mesin yang telah banyak memberikan masukan dan membantu saya dalam memperoleh data;
- (4) Rekan-rekan seperjuangan sesama satu bimbingan skripsi Imam, Lasman, Richak, Wira yang telah sama-sama memberikan masukan dan banyak membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini;
- (5) Rekan sesama penelitian laboratorium teknik pendingin lainnya, atas bantuan kerjasamanya dan banyak memberikan masukan satu sama lain;
- (6) Seluruh karyawan Teknik Mesin yang telah banyak memberikan bantuan saat ada masalah teknis dalam pengambilan data dan penggunaan laboratorium;
- (7) Rizki Apriani, orang terdekat saya yang selalu memberikan dukungan motivasi dan membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini;
- (8) Seluruh rekan-rekan seangkatan mesin 2005 yang telah sama-sama berjuang selama kuliah disini dan dukungan kepada penulis;
- (9) Dan seluruh pihak yang terkait sehingga membantu kelancaran dalam penyelesaian skripsi dalam pengambilan data dan hal lainnya.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, Juli 2009

Penulis



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

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

Nama : Magribi Ramdhani
NPM : 0405020472
Program Studi : Teknik Mesin
Departemen : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

demikian 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 :

**PRODUKSI KARBON AKTIF SEBAGAI ADSORBEN DARI BATUBARA
RIAU DENGAN METODE AKTIVASI FISIKA PADA TEMPERATUR
950⁰C MELALUI PROSES OKSIDASI PADA TEMPERATUR 300⁰C**

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 15 Juli 2009

Yang menyatakan

(Magribi Ramdhani)

ABSTRAK

Nama : Magribi Ramdhani
Program Studi : Teknik Mesin
Judul : Produksi Karbon Aktif Sebagai Adsorben dari Batubara Riau dengan Metode Aktivasi Fisika pada Temperatur 950°C Melalui Proses Oksidasi pada Temperatur 300°C

Skripsi ini membahas penelitian mengenai produksi karbon aktif dari batubara Riau. Karbon aktif merupakan salah satu aplikasi dari penggunaan batubara yang mulai banyak dibutuhkan saat ini. Penelitian ini adalah kelanjutan dari penelitian sebelumnya yang bertujuan meningkatkan kualitas karbon aktif berbahan dasar batubara Riau melalui proses oksidasi dengan mengalirkan gas O₂ pada temperatur 300°C dilanjutkan dengan proses aktivasi dengan mengalirkan gas CO₂ pada temperatur 950°C. Proses oksidasi yang dilakukan sebelum batubara di aktivasi akan menambah kandungan unsur oksigen pada batubara dengan demikian akan meningkatkan perbandingan unsur oksigen dan karbon pada batubara tersebut. Pada penelitian ini menghasilkan nilai *burn off* yang tinggi sampai dengan 71,88 % dengan *iodine number* sebesar 589,1 g/kg dengan waktu proses oksidasi dan aktivasi selama 6 jam dan laju aliran gas yang digunakan \geq 100 ml/menit. Hasil ini menunjukkan bahwa nilai *burn off* dipengaruhi oleh waktu proses dan laju aliran gas yang digunakan sehingga dapat menghasilkan nilai *iodine number* yang baik.

Kata kunci:

Karbon aktif, batubara Riau, proses oksidasi, proses aktivasi, *burn off*, *iodine number*

ABSTRACT

Name : Magribi Ramdhani
Study Program : Mechanical Engineering
Title : Production of Activated Carbon as Adsorbent from Riau Coal with Physical Activation Method at Temperature 950°C Through Oxidation Process at Temperature 300°C

This minithesis discusses about production of activated carbon from Riau coal. Activated carbon is one of the applications from the start that the use of coal much needed at this time. This research is a continuation of previous research that aims to improve the quality of active carbon-based coal Riau through oxidation process with O₂ in the gas stream temperature 300°C followed by the activation process with CO₂ in the gas stream temperature 950°C. Oxidation process that is done before the coal will increase in the activation of oxygen in the womb of coal will increase with such a comparison of oxygen and carbon in the coal is. Research on the value of this burn off a high of up to 71.88% with Iodine number of 589.1 g / kg with the oxidation process and the activation for 6 hours and gas flow rate used ≥ 100 ml / min. Results show that this value is influenced by the burn off process and the gas flow rate is used so that they can generate value iodine number is good.

Key words:

Activated carbon, Riau coal, oxidation, activation, burn off, iodine number

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMA KASIH	iv
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
1. PENDAHULUAN	1
1.1. LATAR BELAKANG	1
1.2. PERUMUSAN MASALAH	4
1.3. TUJUAN PENELITIAN	5
1.4. BATASAN MASALAH	5
1.5. SISTEMATIKA PENULISAN	6
2. TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1. BATUBARA	7
2.1.1. Klasifikasi Batubara	7
2.1.2. Analisis Batubara	8
2.2. KARBON AKTIF	9
2.2.1. Produksi Karbon Aktif	9
2.2.1.1. Bahan dasar	9
2.2.1.2. Karbonisasi	11
2.2.1.3. Oksidasi dan Aktivasi	11
2.2.2. Karakteristik Karbon Aktif	12
2.2.3. Klasifikasi Karbon Aktif	13
2.2.4. Struktur Pori	14
2.2.5. Standar Pengujian Untuk Karbon Aktif	15
2.3. LUAS PERMUKAAN (SURFACE AREA)	15
2.4. KARBON AKTIF DARI BATUBARA DENGAN AKTIVASI FISIKA.	16
2.5. ADSORBEN	17
2.6. ADSORPSI	19
2.6.1. Jenis Adsorpsi	19
2.6.2. Faktor yang Mempengaruhi Daya Adsorpsi	21
2.6.3. Tempat Terjadinya Adsorpsi Pada Adsorben	22
3. METODE PENELITIAN	23
3.1. DIAGRAM ALIR PENELITIAN	23
3.2. PROSEDUR PREPARASI	25
3.2.1. Studi Literatur	25
3.2.2. Persiapan Alat dan Bahan Dasar	25
3.2.2.1. Alat-alat yang Digunakan	25
3.2.2.2. Bahan Dasar	29
3.3. PROSEDUR PROSES PEMBUATAN KARBON AKTIF	30
3.3.1. Pengaruh Proses Oksidasi dengan Proses Aktivasi Konstan	35
3.3.1.1. Pengaruh Laju Aliran Oksigen dan Waktu	35
3.3.2. Pengaruh Proses Aktivasi dengan Proses Oksidasi Konstan	36

3.3.2.1. Effect Time (Pengaruh Waktu).....	36
3.3.2.2. Pengaruh Laju Aliran CO ₂	37
3.4. PENAMAAN SAMPEL.....	37
3.5. PENGUJIAN IODINE NUMBER.....	38
3.6. PENGOLAHAN DATA.....	39
3.6.1. <i>Burn Off</i>	39
3.6.2. <i>Iodine Number</i> (Bilangan Iodine).....	39
3.6.3. Konsumsi Energi.....	40
4. HASIL PENELITIAN DAN ANALISA.....	41
4.1. HASIL PREPARASI KARBON AKTIF.....	41
4.1.1. Proses Oksidasi.....	41
4.1.2. Proses Aktivasi.....	42
4.2. DATA HASIL PENELITIAN.....	43
4.2.1. <i>Burn off</i> dan <i>Iodine Number</i>	44
4.2.1.1. Hasil pada Variasi Pengaruh Proses Oksidasi dengan Aktivasi Konstan.....	44
4.2.1.2. Hasil pada Variasi Pengaruh Proses Aktivasi Melalui Proses Oksidasi Konstan.....	47
4.2.2. Konsumsi Energi.....	48
4.2.2.1. Konsumsi Energi pada Variasi Pengaruh Proses Oksidasi dengan Aktivasi Konstan.....	49
4.2.2.2. Konsumsi Energi pada Variasi Pengaruh Proses Aktivasi Melalui Proses oksidasi Konstan.....	52
4.3. ANALISA DATA.....	54
4.3.1. <i>Burn off</i>	54
4.3.1.1. Analisa <i>Burn off</i> pada Variasi Pengaruh dari Proses Oksidasi dengan Aktivasi Konstan.....	54
4.3.1.2. Analisa <i>Burn off</i> pada Variasi Pengaruh dari Proses Aktivasi Melalui Proses Oksidasi Konstan.....	55
4.3.2. Hubungan <i>Burn off</i> dan <i>Iodine Number</i>	56
4.3.3. Konsumsi Energi.....	58
4.3.3.1. Analisa Konsumsi Energi pada Variasi Pengaruh Proses Oksidasi Dengan Aktivasi Konstan.....	58
4.3.3.2. Analisa Konsumsi Energi pada Variasi Pengaruh Proses Aktivasi Melalui Oksidasi Konstan.....	60
5. KESIMPULAN DAN SARAN.....	62
5.1. KESIMPULAN.....	62
5.2. SARAN.....	62
DAFTAR REFERENSI.....	63
LAMPIRAN.....	65

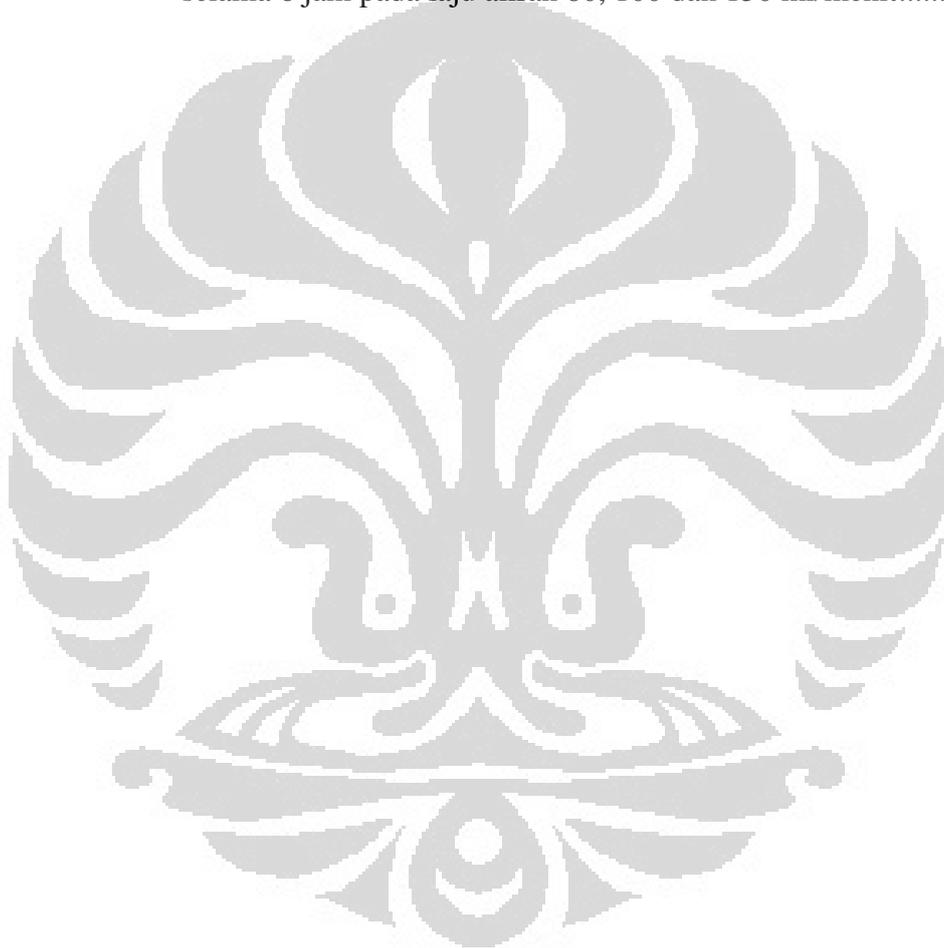
DAFTAR TABEL

Tabel 1.1	10 besar Negara dengan produksi batu bara terbesar di dunia dalam 3 tahun terakhir dalam jutaan ton.....	2
Tabel 2.1	Karakteristik berbagai macam bahan untuk membuat karbon Aktif	10
Tabel 2.2.	Diameter dan nama pori pada adsorben.....	14
Tabel 2.3.	Tipe, Karakteristik, kegunaan, dan kelemahan dari jenis adsorben	18
Tabel 3.1.	Karakteristik analisis proximate dan ultimate pada batu bara (PT.Superintending Indonesia, 2007 dan Pusat Teknologi energy, 2007 dan 2008)	30
Tabel 3.2	Penamaan sample pada karbon aktif dan perlakuan prosesnya ..	38
Tabel 4.1	<i>Burn off</i> pada laju aliran yang berbeda dengan waktu oksidasi 1 jam.....	44
Tabel 4.2.	<i>Burn off</i> pada laju aliran yang berbeda dengan waktu oksidasi 3 jam.....	45
Tabel 4.3.	<i>Burn off</i> pada laju aliran yang berbeda dengan waktu oksidasi 6 jam.....	45
Tabel 4.4.	<i>Burn off</i> pada waktu yang berbeda dengan laju aliran 20 ml/menit	45
Tabel 4.5.	<i>Burn off</i> pada waktu yang berbeda dengan laju aliran 50 ml/menit	45
Tabel 4.6.	<i>Burn off</i> pada waktu yang berbeda dengan laju aliran 100 ml/menit	46
Tabel 4.7.	Hasil pengujian <i>iodine number</i> pada waktu oksidasi 6 jam dengan laju aliran yang berbeda.....	46
Tabel 4.8.	<i>Burn off</i> dan <i>iodine number</i> dari proses aktivasi dengan waktu yang berbeda	47
Tabel 4.9.	Hasil <i>burn off</i> dan <i>iodine number</i> dari proses aktivasi dengan laju aliran CO ₂ 80 dan 150 ml/menit.....	48
Tabel 4.10.	Data daya, kenaikan temperatur dan waktu proses untuk sampai pada temperatur 300 ⁰ C dan temperatur aktivasi 950 ⁰ C pada sampel RUB	49
Tabel 4.11.	Data daya, kenaikan temperatur dan waktu proses untuk sampai pada temperatur 300 ⁰ C dan temperatur aktivasi 950 ⁰ C pada sampel RUC	50
Tabel 4.12.	Data daya, kenaikan temperatur dan waktu proses untuk sampai pada temperatur 300 ⁰ C dan temperatur aktivasi 950 ⁰ C pada sampel RUD	51
Tabel 4.13.	Data daya, kenaikan temperatur dan waktu proses untuk sampai pada temperatur 300 ⁰ C dan temperatur aktivasi 950 ⁰ C pada sampel RUD 6-1, RUD 6-3, RUD 6-6	52
Tabel 4.14.	Data daya, kenaikan temperatur dan waktu proses untuk sampai pada temperatur 300 ⁰ C dan temperatur aktivasi 950 ⁰ C pada sampel RUD 6-6, RUE 6-6, RUF 6-6	53

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1.	Peta persebaran cadangan dan sumber daya batubara Di Indonesia	1
Gambar 2.1.	Klasifikasi analisis sifat (<i>properties</i>) batubara	8
Gambar 2.2.	Karbon aktif bentuk bubuk	13
Gambar 2.3.	Karbon aktif granular	13
Gambar 2.4.	<i>Extruded Activated Carbon</i>	14
Gambar 2.5.	Struktur pori dari karbon aktif: (a) granular (b) serat [6].....	14
Gambar 2.6.	<i>Burn off</i> vs waktu pada jenis karbon aktif dari batubara yang berbeda	16
Gambar 2.7.	Jenis adsorben yang paling banyak digunakan	18
Gambar 2.8.	Ilustrasi tempat terjadinya Adsorpsi	22
Gambar 3.1.	Diagram alir proses penelitian	23
Gambar 3.2.	Alat <i>Chamber Furnace</i>	26
Gambar 3.3.	Reaktor <i>autoclave</i>	26
Gambar 3.4.	Timbangan Digital	27
Gambar 3.5.	Tabung gas O ₂ dengan regulatornya	27
Gambar 3.6.	Tabung gas CO ₂ dengan regulatornya	28
Gambar 3.7.	<i>Flowmeter</i> ukuran 5 ml/menit.....	28
Gambar 3.8.	<i>Flowmeter</i> ukuran 100 ml/menit.....	28
Gambar 3.9.	Alat <i>Buble Soap</i>	29
Gambar 3.10.	Batubara berasal dari Riau yang siap untuk diproses	30
Gambar 3.11.	Skema alat pembuatan karbon aktif untuk proses oksidasi.....	31
Gambar 3.12.	Skema alat pembuatan karbon aktif untuk proses oksidasi.....	32
Gambar 3.13.	Skema alur setingan proses oksidasi pada furnace	33
Gambar 3.14.	Skema alur setingan proses aktivasi pada furnace	34
Gambar 4.1.	Contoh hasil batubara setelah proses oksidasi	41
Gambar 4.2.	Hasil karbon aktif dengan perbedaan waktu proses oksidasi (a) 60 menit, (b) 80 menit, (c) 360 menit dengan aktivasi 60 menit	42
Gambar 4.3.	Hasil karbon aktif setelah proses aktivasi pada waktu Aktivasi yang berbeda yaitu (a) 60 menit, (b) 180 menit, (c) 360 menit	43
Gambar 4.4.	Grafik <i>burn off</i> vs waktu pada karbon aktif dengan aliran O ₂ 20, 50, 200 ml/menit.....	54
Gambar 4.5.	Grafik <i>burn off</i> vs waktu pada sample karbon aktif RUD 6-1, RUD 6-3, RUD 6-6.....	55
Gambar 4.6.	Grafik <i>burn off</i> vs laju aliran pada sample karbon aktif RUD 6-6, RUE 6-6, RUF 6-6	56
Gambar 4.7.	Grafik <i>burn off</i> dan <i>iodine number</i> vs waktu aktivasi.....	57
Gambar 4.8.	Grafik <i>burn off</i> dan <i>iodine number</i> dengan laju aliran CO ₂ 80, 100 dan 180 ml/menit	57

Gambar 4.9.	Grafik konsumsi energi total dengan perbedaan waktu oksidasi pada sampel RUB, RUC dan RUD	58
Gambar 4.10.	Grafik temperatur vs waktu total proses oksidasi dari temperatur awal sampai dengan temperatur oksidasi (i)RUB,(ii) RUC dan (iii) RUD	59
Gambar 4.11.	Grafik konsumsi energi total dengan variasi waktu aktivasi selama 1 jam, 3 jam dan 6 jam	61
Gambar 4.12.	Grafik konsumsi energi total dengan waktu aktivasi selama 6 jam pada laju aliran 80, 100 dan 150 ml/menit.....	61

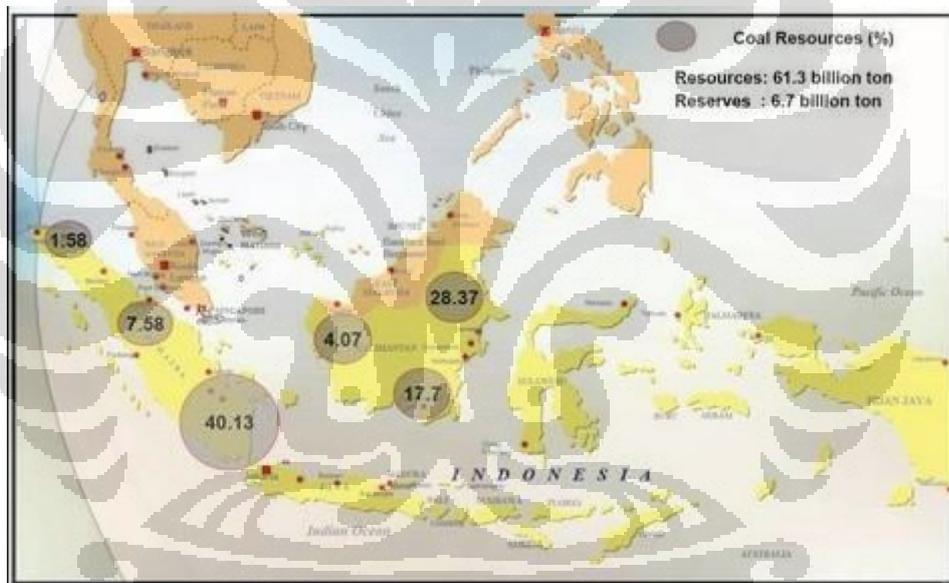


BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG

Indonesia adalah salah satu negara di dunia yang kaya akan sumber daya alamnya. Salah satu potensi sumber daya alam yang ada di Indonesia adalah batubara. Berdasarkan data dari hasil riset Departemen ESDM, potensi sumber daya batubara di Indonesia pada akhir 2008 bertambah menjadi 105 miliar ton, sementara cadangan batubara menjadi 22 miliar ton. Cadangan batubara tersebut sebagian besar berada di dua pulau yaitu Sumatera dan Kalimantan. (Departemen ESDM, 2008)



Gambar 1. 1. Peta persebaran cadangan dan sumber daya batubara di Indonesia

(sumber : www.binnacle.co.id.671/94712/.jpg/ diakses 18 Juni 2009)

Data berikut ini menunjukkan bahwa Indonesia juga merupakan salah satu Negara dengan produksi batubara terbesar di dunia.

Tabel 1. 1. 10 besar negara dengan produksi batubara terbesar di dunia dalam 3 tahun terakhir (dalam jutaan ton)

(sumber : [http://www.worldcoal.org/coal table of coal procuction.htm](http://www.worldcoal.org/coal%20table%20of%20coal%20procuction.htm) diakses pada 10 Juni 2009)

Negara	Tahun			
	2006	2007	2008	Rata-rata
Cina	1205.1	1282.4	1414.5	1300.66
USA	595.1	587.7	596.9	593.23
Australia	211	218.5	219.9	216.46
India	170.2	181	194.3	181.83
Rusia	145.1	148.2	152.8	148.70
Afsel	138	139.6	141.1	139.56
Indonesia	119.2	133.7	141.1	131.33
Polandia	67	62.3	60.5	63.26
Kazakhstan	49.1	50	58.8	52.63
Jerman	50.3	51.5	47.7	49.83

Dari data diatas terlihat Indonesia menempati urutan ketujuh dari sepuluh besar negara dengan produksi batubara terbesar setiap tahunnya. Artinya bahwa potensi ketersediaan batubara yang ada di Indonesia sangat mungkin bisa dimanfaatkan untuk beberapa aplikasi.

Aplikasi penggunaan batubara sendiri dapat digunakan sebagai bahan bakar, pemanfaatan untuk energi listrik dan juga untuk pembuatan produk-produk tertentu seperti :

- Karbon aktif, yang digunakan pada saringan air dan pembersih udara serta mesin pencucian darah.
- Serat karbon, bahan penguat yang sangat kuat namun ringan yang digunakan pada konstruksi, sepeda gunung dan raket tenis.

- Metal silikon, yang digunakan untuk memproduksi silikon dan silan, yang berfungsi untuk membuat pelumas, bahan kedap air, resin, kosmetik, shampoo dan pasta gigi.

Dari aplikasi tersebut batubara ternyata bisa dimanfaatkan untuk hal yang bersifat ekonomis namun penting manfaatnya dalam kehidupan. Salah satunya adalah juga bisa digunakan sebagai bahan dasar pembuatan karbon aktif. Karbon aktif bisa didefinisikan sebagai senyawa karbon yang telah ditingkatkan daya adsorpsinya dengan melakukan proses karbonisasi dan aktivasi. Pada proses tersebut terjadi penghilangan hidrogen, gas-gas dan air dari permukaan karbon sehingga terjadi perubahan fisik pada permukaannya. Karbon aktif dapat dibuat dari berbagai macam bahan, selama bahan tersebut mengandung karbon seperti batubara, tempurung kelapa, kayu, sekam padi, tulang binatang, jagung, kulit bijih kopi, dan lain-lain.

Aplikasi dari karbon aktif sendiri sangat banyak digunakan sebagai adsorben. Aplikasi penggunaan adsorben komersial telah banyak antara lain adalah karbon aktif, silica gel, zeolit, alumina, *selective water sorbents* (SWS). Dari banyak jenis adsorben tadi, karbon aktif merupakan jenis adsorben yang paling banyak digunakan, baik itu dari segi aplikasi maupun volume penggunaannya dan ditambah lagi dengan penggunaan karbon aktif telah digunakan sejak abad ke-19 (Yang, *Adsorbents: Fundamentals and application*, 2003).

Beberapa aplikasi potensial dari karbon aktif sebagai adsorben terdapat pada sistem pendingin adsorpsi, tempat penyimpanan gas alam (*adsorbed natural gas*) dan sistem penyerapan CO₂. Karbon aktif juga merupakan salah satu alternatif pada sistem pendingin karena mempunyai sistem yang ramah lingkungan.

Berdasarkan data dan penjelasan yang ada di atas dapat dilihat bahwa potensi ketersediaan batubara yang sangat besar di Indonesia bisa dimanfaatkan untuk bahan dasar karbon aktif. Sampai saat ini batubara di Indonesia hanya digunakan sebagai bahan bakar. Sedangkan penggunaan batubara sebagai bahan bakar memiliki nilai ekonomi yang relatif lebih rendah dibanding dengan penggunaan batubara sebagai bahan dasar pembuatan karbon aktif. Hal inilah

yang membuat kebutuhan terhadap karbon aktif akan semakin besar. Oleh karena itu diperlukan adanya penelitian mengenai karbon aktif sebagai adsorben dari batubara yang ada di Indonesia sekaligus memproduksinya.

Beberapa penelitian tentang pembuatan karbon aktif dari batubara telah banyak dilakukan untuk mengetahui nilai karakteristiknya. Penelitian tersebut antara lain oleh Teng Hsisheng et al, 1996, yang melakukan penelitian mengenai karbon aktif dari batubara bituminous yang berasal dari Australia dengan aktivasi CO₂ dihasilkan luas permukaan sampai dengan 1171 m²/g pada temperatur aktivasi antara 800-900⁰C.

Dari beberapa penelitian dan produksi tentang karbon aktif ada beberapa metode yang digunakan seperti karbonisasi dan aktivasi menggunakan kimia atau fisika. Dalam hal ini produksi dan juga penelitian menggunakan aktivasi fisika masih kurang walaupun mempunyai keuntungan dari segi bahan dan biaya yang digunakan. Untuk memproduksi karbon aktif dengan punya nilai jual yang tinggi dan karakteristik yang baik perlu adanya suatu penelitian. Menggunakan batubara sebagai bahannya dan proses aktivasi fisika merupakan penelitian yang menguntungkan namun perlu adanya percobaan dengan proses yang berbeda dan parameter yang berbeda untuk mendapatkan karbon aktif dengan nilai dan hasil yang terbaik.

Untuk itu penelitian dengan menggunakan batubara asal sendiri yaitu dari salah satu daerah penghasil batubara terbesar di Indonesia dan menggunakan proses aktivasi fisika didalamnya perlu dilakukan. Sudah saatnya bangsa Indonesia memproduksi batubara sendiri dengan hasil dan kualitas yang terbaik.

1.2. PERUMUSAN MASALAH

Melihat aplikasi karbon aktif yang sangat banyak dan negara-negara di dunia pun telah memanfaatkan kegunaan dari karbon aktif untuk berbagai kegiatan industri maupun aplikasi yang berhubungan lainnya. Namun di Indonesia karbon aktif belum banyak digunakan dan belum banyak industri di Indonesia yang memproduksi karbon aktif sendiri dari bahan baku sendiri juga.

Batubara yang merupakan salah satu bahan baku pembuatan karbon aktif adalah salah satu potensi kekayaan di Indonesia. Kegunaan karbon aktif di Indonesia masih terbatas pada bahan bakar saja. Belum ada yang memanfaatkan

potensi batubara tersebut menjadi karbon aktif. Hal ini yang membuat kebutuhan akan karbon aktif meningkat. Oleh karena itu, perlu memproduksi karbon aktif sendiri dan tentunya melihat parameter karakteristik dalam proses pembuatannya untuk mengetahui kualitas dari karbon aktif tersebut. Dengan hasil kualitas karbon aktif yang baik maka akan memberikan nilai ekonomi bagi batubara Indonesia.

1.3. TUJUAN PENELITIAN

Penelitian tentang karbon aktif dari batubara ini dilakukan dengan tujuan sebagai berikut :

1. Memproduksi karbon aktif dari batubara Indonesia
2. Meningkatkan kualitas karbon aktif dari batubara Riau melalui proses oksidasi diikuti dengan proses aktivasi
3. Melihat pengaruh oksigen sebagai agen aktivasi yang digunakan pada proses oksidasi
4. Memperoleh data *burn off* dan *iodine number* pada karbon aktif dengan melakukan variasi pada proses oksidasi dan aktivasi
5. Menghasilkan karbon aktif dengan *iodine number* yang baik

1.4. BATASAN MASALAH

Mengingat luasnya ruang lingkup dalam penulisan tugas akhir ini, penulis membatasi masalah yang akan dibahas. Untuk lebih mengkonsentrasikan materi dan pembahasan yang akan dilakukan maka batasan masalah dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Bahan dasar karbon aktif yang digunakan adalah batubara yang berasal dari tambang di Provinsi Riau.
2. Produksi karbon aktif :
 - Karbon aktif dibuat dalam bentuk granul \pm 2-10 mm dengan ukuran mesh 10 x 20.
 - Proses oksidasi yang dilakukan adalah pada temperatur 300⁰C dengan variasi lamanya waktu oksidasi 1 jam, 3 jam, 6 jam dan dengan mengalirkan gas O₂ dengan variasi kecepatan alirannya 20 ml/menit, 50 ml/menit, 100 ml/menit.

- Aktivasi dilakukan secara fisika pada temperatur 950°C dengan variasi waktu 1 jam, 3 jam, 6 jam dengan mengalirkan gas karbondioksida (CO₂) sebagai *activating agent* dan variasi kecepatan aliran 80,100, dan 150 ml/menit.

1.5. SISTEMATIKA PENULISAN

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini menjelaskan tentang latar belakang dari penelitian, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini berisi tinjauan pustakan yang menguraikan landasan teori yang digunakan seperti : batubara, karbon aktif, adsorben dan teori yang diperlukan lainnya

BAB III METODE PENELITIAN

Pada bab ini menguraikan tentang metode penelitian yaitu prosedur yang dilakukan dalam penelitian untuk mencapai tujuan dari penelitian

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN ANALISA

Pada bab ini berisi tentang data-data hasil penelitian, pengolahan data dan analisa hasil pembahasan terhadap hasil penelitian yang diperoleh

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini berisi kesimpulan penelitian secara keseluruhan dari analisa data pengujian dan hasil pembahasan yang telah dilakukan juga saran penelitian lebih lanjut

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1. BATUBARA

Batubara merupakan batuan sedimentari berwarna hitam, mudah terbakar, batuan organik dengan komposisi utamanya adalah karbon, hidrogen, oksigen. Batubara terbentuk dari tumbuhan yang telah terkonsolidasi antara strata batuan lainnya dan diubah oleh kombinasi pengaruh tekanan dan panas selama jutaan tahun sehingga membentuk lapisan batu bara.

Batubara memiliki unsur karbon sehingga dapat dijadikan sebagai bahan dasar pembuatan karbon aktif. Komposisi batubara terdiri dari unsur kimia C, H, O, N, S, P, dan unsur unsur fisik batubara termasuk nilai kalor, kadar air (*moisture content*), bahan mudah menguap (*volatile matter*) dan abu (*ash content*). Secara horisontal maupun vertikal endapan batubara bersifat heterogen..

Perbedaan secara horizontal disebabkan oleh:

- Perbedaan kondisi lapisan tanah penutup
- Mineral pengotor yang dibawa oleh sedimen rawa

Perbedaan vertikal terjadi karena:

- Pengendapan berkali-kali, endapan yang paling bawah yang paling tua dengan kualitas terbaik.
- Teori berdasarkan tempat terbentuknya

2.1.1. Klasifikasi Batubara

Berdasarkan bentuk dan kandungan batubara dapat dikelompokkan menjadi empat jenis yaitu : (Kumar et al, 2004)

a. Lignite

Merupakan batubara coklat, agak lembut dan maturitas organik rendah. Jenis batubara ini memiliki mutu yang terendah dari batubara lainnya dan digunakan hampir seluruhnya untuk bahan bakar pada pembangkit tenaga listrik.

b. Subbituminus

Merupakan hasil dehidrogenasi dan metanogenesis dari lignite. Memiliki tingkat maturitas organik yang lebih tinggi, lebih keras dan warnanya lebih gelap dari lignite. Range sifat-sifatnya adalah antara bituminus dan lignite. Biasanya digunakan sebagai bahan bakar untuk pembangkit tenaga listrik, produksi semen dan penggunaan untuk industri.

c. Bituminus

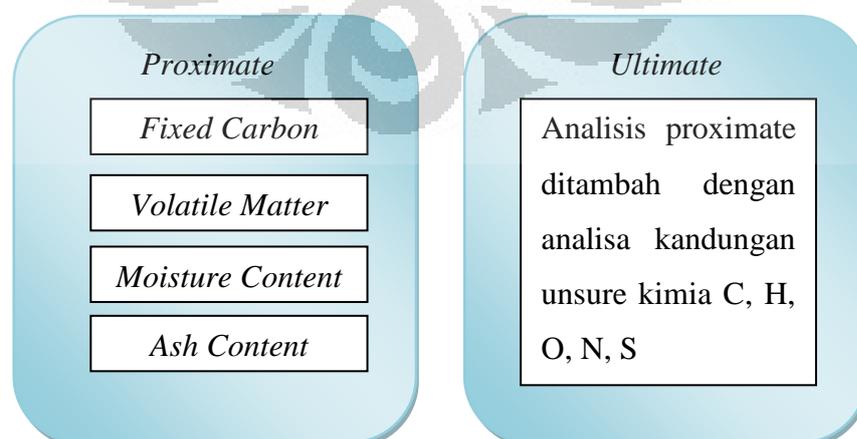
Merupakan reaksi lanjut dari dehidrogenasi pada pembentukan dan pemisahan gas metana dan gas hidrokarbon lebih tinggi lainnya seperti etana, propana dan lainnya akan membentuk jenis batu bara ini. Berbentuk batu bara padat, biasanya hitam tapi terkadang coklat tua. Selain sebagai bahan bakar pada pembangkit tenaga listrik juga digunakan untuk aplikasi panas dan tenaga pada proses manufaktur dan untuk membuat coke, produksi semen, penggunaan untuk industri dan pembuatan besi dan baja.

d. Antrasit

Merupakan tahap terakhir dimana proses pembentukan batu bara sudah sempurna akan membentuk jenis ini. Merupakan batubara dengan mutu tertinggi dan banyak digunakan untuk pemanasan ruangan dan pemukiman.

2.1.2. Analisis Batubara

Terdapat dua metode untuk menganalisis batubara analisis *ultimate* dan analisis *proximate*.



Gambar 2. 1. Klasifikasi analisis sifat (*properties*) batubara

Analisis *ultimate* harus dilakukan oleh laboratorium dengan peralatan yang lengkap oleh ahli kimia yang trampil, sedangkan analisis *proximate* dapat dilakukan dengan peralatan yang sederhana.

- *Fixed carbon* : Bahan bakar padat yang tertinggal dalam tungku setelah bahan yang mudah menguap didistilasi. Kandungan utamanya adalah karbon tetapi juga mengandung unsur H, O, N, dan S yang tidak terbawa gas. *Fixed carbon* memberikan perkiraan kasar terhadap nilai kalor batubara.
- Bahan yang mudah menguap (*volatile matter*) : Metana (CH₄), hidrokarbon (HC), hidrogen (H), karbon monoksida (CO), dan gas-gas yang tidak mudah terbakar, seperti karbon dioksida (CO₂) dan nitrogen (N). Bahan yang mudah menguap merupakan indeks dari kandungan bahan bakar bentuk gas didalam batubara. Kandungan bahan yang mudah menguap berkisar antara 20 hingga 35%.
- Kadar abu (*ash content*): Kotoran yang tidak akan terbakar. Kandungannya berkisar antara 5% hingga 40%.
- Kadar air (*moisture content*): Berkisar antara 0,5 hingga 10%.

2.2. KARBON AKTIF

Karbon aktif adalah merupakan bentuk dari senyawa karbon yang diproses dengan aktivasi untuk membuatnya berbentuk pori-pori dan menjadi sangat besar luas pemukaannya untuk adsorpsi.

2.2.1. Produksi Karbon Aktif

Karbon Aktif dapat diproduksi dari sumber material yang mengandung karbon seperti kayu dan batubara. Proses produksi karbon aktif secara umum meliputi persiapan bahan dasar, karbonisasi, dan oksidasi atau aktivasi.

2.2.1.1. Bahan dasar

Bahan dasar yang digunakan untuk pembuatan karbon aktif sangat bervariasi. Umumnya bahan dasar karbon aktif dapat diperoleh dari bahan alami yang mengandung karbon seperti batu bara, tempurung kelapa, kayu dan lain-lain. Bahan alami tersebut dipreparasi dengan cara karbonisasi

dan aktivasi sehingga menghasilkan karbon aktif dengan berbagai bentuk dan ukuran. Perbandingan berbagai macam bahan tersebut dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2. 1. Karakteristik berbagai macam bahan dasar untuk membuat karbon aktif

(Manocha, Satish. M, 2003, *Porous Carbons*, Sadhana volume 28 part 1&2 pp 335-348, India)

<i>Raw Material</i>	<i>Carbon (%)</i>	<i>Volatile (%)</i>	<i>Density (kg/m³)</i>	<i>Ash (%)</i>	<i>Tekstur dari karbon aktif</i>	<i>Aplikasi karbon aktif</i>
<i>Softwood</i>	40–45	55–60	0.4–0.5	0.3–1.1	<i>Soft, large pore volume</i>	<i>Aq. phase adsorption</i>
<i>Hardwood</i>	40–42	55–60	0.55–0.8	0.3–1.2	<i>Soft, large pore volume</i>	<i>Aq. phase adsorption</i>
<i>Lignin</i>	35–40	58–60	0.3–0.4	–	<i>Soft, large pore volume</i>	<i>Aq. phase Adsorption</i>
<i>Nut shells</i>	40–45	55–60	1.4	0.5–0.6	<i>Hard, large multi pore volume</i>	<i>Vapour phase adsorption</i>
<i>Lignite</i>	55–70	25–40	1.0–1.35	5–6	<i>Hard, small pore volume</i>	<i>Waste water treatment</i>
<i>Soft coal</i>	65–80	25–30	1.25–1.50	2.12	<i>Medium hard, medium micropore volume</i>	<i>Liquid & vapour phase adsorption</i>
<i>Petroleum</i>	70–85	15–20	1.35	0.5–0.7	<i>Medium hard, coke medium volume</i>	<i>Gas–vapour micropore adsorption</i>
<i>Semi hard</i>	70–75	1–15	1.45	5–15	<i>Hard large coal pore volume</i>	<i>Gas–vapour adsorption</i>
<i>Hard coal</i>	85–95	5–10	1.5–2.0	2.15	<i>Hard large volume</i>	<i>Gas–vapour adsorption</i>

2.2.1.2. Karbonisasi

Material dengan kandungan karbon dipirolisis pada temperatur antara 600-900°C, dalam keadaan tidak ada udara (biasanya pada gas inert seperti gas argon atau nitrogen). Proses karbonisasi merupakan proses dimana komponen yang mudah menguap akan terlepas dari karbon dan karbon mulai membentuk pori-pori. Pada proses karbonisasi banyak elemen non-karbon seperti oksigen, hidrogen, dan nitrogen dihilangkan sebagai volatil gas dengan dekomposisi pirolitik pada material awal. (Bansal,R.C.& Goyal,M., 2005).

2.2.1.3. Oksidasi dan Aktivasi

Oksidasi dan aktivasi adalah proses dimana bahan baku material atau material karbon yang telah dioksidasi dilakukan proses aktivasi (dengan menggunakan gas karbondioksida, oksigen atau uap) pada temperatur diatas 250°C, biasanya dalam temperatur pada range 600-1200°C.

a. Proses oksidasi

Merupakan proses awal untuk membentuk karbon aktif dengan menggunakan gas oksigen (O₂) sebagai oksidatornya. Kandungan oksigen dalam suatu batubara dapat memberi pengaruh yang signifikan dalam peningkatan luas permukaan. Karena meningkatkan suatu luas permukaan dapat dilakukan dari perbandingan O/C. Proses oksidasi bertujuan untuk meningkatkan perbandingan O/C yang ada dalam material. Tahapan oksidasi pada batubara dapat menunjukkan untuk mengurangi kecairan dari batubara dan meningkatkan mikropori char. (Teng et al.,1996)

b. Proses aktivasi

Merupakan proses terjadinya pembentukan pori-pori yang masih tertutup dan peningkatan ukuran serta jumlah pori-pori kecil yang telah terbentuk. (Sontheimer, 1985). Proses aktifasi merupakan proses yang terpenting karena sangat menentukan kualitas dari karbon aktif yang dihasilkan seperti luas permukaan dan daya adsorpsinya.

Aktivasi dibagi menjadi dua proses yaitu :

- Proses fisika (*Physical reactivation*): Proses ini dikembangkan pada karbon aktif menggunakan beberapa gas. Pada dasarnya persiapan untuk karbon aktif dengan aktivasi fisika yaitu terdiri dari karbonisasi dari bahan dasar diikuti dengan gasifikasi yang menghasilkan bara (Teng et.al,1996)
- Proses kimia (*Chemical activation*): Impregnasi dengan bahan kimia seperti asam seperti fosfat atau asam hidroxid dasar seperti potassium, sodium hidroxid atau garam seperti seng khlorida, diikuti oleh karbonisasi pada suhu di kisaran 450-900°C. Hal ini diyakini bahwa karbonisasi/aktivasi merupakan proses secara bersamaan dengan aktivasi kimia. Teknik ini dapat juga bermasalah pada beberapa kasus, misalnya, endapan bekas seng tetap berada di dalam produk akhir. Namun bagaimanapun, aktivasi kimia lebih disukai dibandingkan aktivasi fisika karena suhu yang lebih rendah dan waktu yang diperlukan lebih singkat untuk mengaktifkan bahan.

2.2.2. Karakteristik Karbon Aktif

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. Sedangkan luas permukaan internal karbon aktif yang telah diteliti umumnya lebih besar dari 400 m²/gr dan bahkan bisa mencapai di atas 1000 m²/gr (Sudibandriyo, 2003).

Secara fisik, karbon aktif mengikat material oleh gaya Van der Waals atau gaya London. Karbon aktif dapat digunakan sebagai substrat untuk aplikasi dari berbagai bahan kimia untuk meningkatkan kapasitas untuk beberapa adsorptisi anorganik bersifat senyawa seperti hidrogen sulfida (H₂S), amonia (NH₃), formaldehida (HCOH), radioisotopes yodium-131 (131I) dan raksa (Hg). Properti ini dikenal sebagai *chemisorption*.

2.2.3. Klasifikasi Karbon Aktif

Karbon aktif merupakan hasil produk yang kompleks dimana sulit diklasifikasikan berdasarkan sifat, karakteristik permukaan, dan metode pembuatannya. Namun, karbon aktif dapat diklasifikasikan berdasarkan karakteristik fisiknya.

Berdasarkan karakter fisiknya karbon aktif dapat diklasifikasikan menjadi:

a. *Powdered Activated Carbon (PAC)*

Secara umum, karbon dibuat dalam bentuk tertentu sebagai bubuk (*powders*) atau granul dengan ukuran kurang dari 1,00 mm dengan rata-rata diameter 15 dan 25 mm. *Powdered activated carbon* dibuat dan digerus dari partikel karbon, dengan menggunakan 95-100% ukuran mesh melalui ayakan.



Gambar 2. 2. Karbon aktif bentuk bubuk [9]

b. *Granular Activated Carbon (GAC)*

Granular Activated Carbon (GAC) mempunyai ukuran partikel relatif besar dibandingkan dengan *powdered activated carbon* tetapi mempunyai luas permukaan luar yang kecil. Karbon bentuk granular dapat digunakan untuk pengolahan air, deodourisation, dan pemisahan komponen alur system.



Gambar 2. 3. Karbon aktif granular [9]

c. *Extruded Activated Carbon (EAC)*

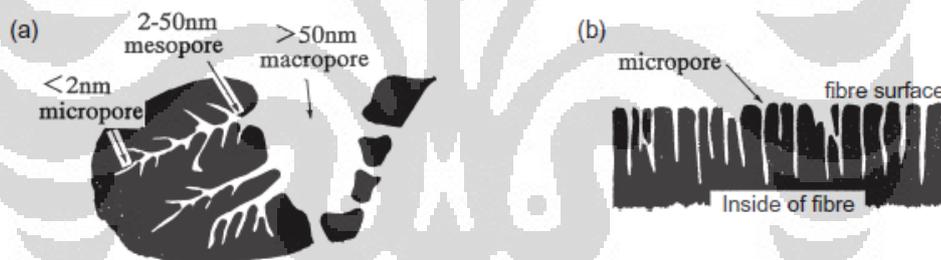
Extruded dan *cylindrical shaped* mempunyai ukuran dengan diameter dari 0.8 mm sampai dengan 5 mm. Utamanya digunakan pada fase gas.



Gambar 2. 4. *Extruded Activated Carbon* [9]

2.2.4. Struktur Pori

Struktur pori dari karbon aktif dibagi menjadi beberapa range ukuran dan bentuk. Struktur pori dari karbon aktif ada berbentuk granular dan serat seperti pada gambar berikut ini :



Gambar 2. 5. Struktur pori dari karbon aktif : (a) granular, (b) serat [6]

Sedangkan ukuran dari pori pada karbon aktif dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 2. 2. Diameter dan nama pori pada adsorben [6]

Diameter Pori (nm)	Pori
< 0,8	sub mikro
0,8-2	mikro
2 - 50	meso
> 50	makro

2.2.5. Standar Pengujian Untuk Karbon Aktif

Karakteristik pada karbon aktif dari luas permukaan adalah antara 300 dan ~4000 m²/g, dengan pengujian menggunakan metode BET dan terbesar diantara semua adsorben (Yang, Ralp,T., 2003). Pengujian untuk karbon aktif meliputi :

a. Bilangan Iodine (*Iodine Number*)

Iodine number didefinisikan sebagai jumlah *iodine* (dalam milligram) yang diadsorpsi oleh karbon aktif (per gram) dari 0,02 N larutan *iodine* (ASTM D4607-94). Banyak karbon lebih diutamakan mengadsorpsi molekul-molekul kecil. *Iodine number* merupakan parameter pokok yang digunakan untuk mengetahui karakteristik dari karbon aktif. *Iodine number* diukur untuk mengetahui tingkatannya (bilangan yang tinggi menunjukkan derajat aktivasi yang tinggi) dan dihasilkan dalam mg/g (biasanya pada range 500-1200 mg/g). Hal tersebut diukur dari kandungan mikropori pada karbon aktif (0 to 20 Å, atau sampai dengan 2 nm) oleh adsorpsi dari larutan. Hal ini setara dengan luas permukaan karbon aktif yaitu antara 900 m²/g dan 1100 m²/g.

b. *Molasses Number*

Bilangan melasa dihitung dari rasio dari massa jenis optik dari filtrasi larutan melasa yang diolah dengan standar karbon aktif dan satu lagi diolah dengan pengujian pada karbon aktif. Bilangan melasa dikorelasikan dengan luas permukaan dari diameter pori > 28 Å. Bilangan ini sangat mengindikasikan luas permukaan pada pori yang luas karena melasa merupakan campuran dengan berbagai molekul organik.

2.3. LUAS PERMUKAAN (*SURFACE AREA*) (Marsh & Rodriguez, 2006)

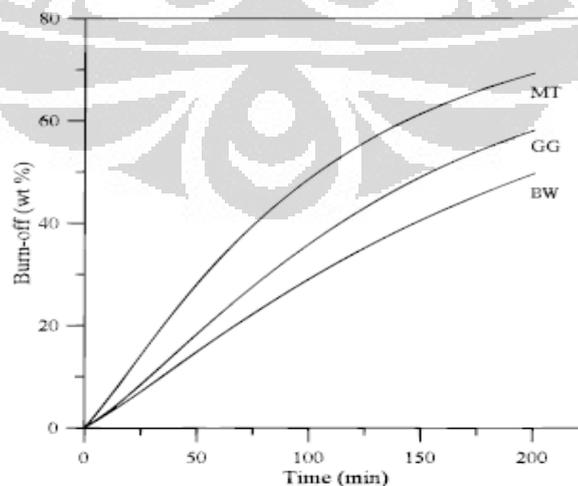
Luas permukaan merupakan suatu cara untuk menyatakan kapasitas adsorpsi dari suatu adsorben atau bahan berpori material berpori. Luas permukaan adsorben secara esensial tidak dinyatakan dalam bentuk makro, disini maksudnya tidak seperti menyatakan luas permukaan suatu bidang permukaan. Hal ini dikarenakan proses adsorpsi itu sendiri terjadi pada permukaan berukuran atom/molekul.

2.4. KARBON AKTIF DARI BATUBARA DENGAN AKTIVASI FISIKA

Batubara merupakan material yang paling banyak digunakan sebagai bahan untuk proses pembuatan karbon aktif. Beberapa penelitian proses pembentukan karbon aktif dengan batubara telah banyak dilakukan salah satunya dengan menggunakan aktivasi fisika. Proses fisika ini umumnya menggunakan CO₂ sebagai aktivatornya. Secara umum preparasi karbon aktif dari batubara terdiri dari karbonisasi dari bahan baku diikuti dengan gasifikasi pada hasil char. (Munoz-Guillena et al., 1992)

Ada beberapa pengembangan dalam memproduksi batubara dari aktivasi fisika dengan CO₂ yaitu menambahkan kandungan oksigen dalam prosesnya. Hal ini yang dilakukan oleh Teng et al, 1996, dengan meningkatkan kandungan oksigen di dalam batubara dari prosesnya dan dapat menghasilkan luas permukaan yang bagus.

Hasil awal untuk menunjukkan kualitas karakteristik karbon aktif dalam adalah berupa *burn off*. *Burn off* adalah persentase pengurangan massa selama proses karbonisasi dan aktivasi sampai batubara menjadi produk karbon aktif. (Chrisman, A, 2008). *Burn off* pada karbon aktif dapat dipengaruhi oleh beberapa hal yaitu waktu proses, temperatur, agen aktivasi seperti CO₂ dan O₂. Pada penelitian oleh Teng et al., 1996 menunjukkan bahwa makin lama proses aktivasi akan memberikan nilai *burn off* yang besar. Pada grafik berikut ini memperlihatkan hubungan *burn off* dengan lamanya waktu aktivasi.



Gambar 2. 6. *Burn off* vs waktu pada jenis karbon aktif dari batubara yang berbeda [4]

2.5. ADSORBEN

Adsorben merupakan zat padat yang dapat menyerap komponen tertentu dari suatu fase fluida (McCabe *et al*, 1999). Adsorben adalah zat atau material yang mempunyai kemampuan untuk mengikat dan mempertahankan cairan atau gas didalamnya (Suryawan, 2004). Adsorben merupakan bahan-bahan yang sangat berpori dan adsorpsi yang terjadi biasanya pada dinding pori-pori atau pada letak tertentu dari partikel tersebut.

Kriteria adsorben yang baik :

- Adsorben-adsorben digunakan biasanya dalam wujud butir berbentuk bola, belakang dan depan, papan hias tembok, atau monolit-monolit dengan garis tengah yang hidrodinamik antara 5 dan 10 juta.
- Harus mempunyai hambatan abrasi tinggi.
- Diameter pori kecil, yang mengakibatkan luas permukaan yang diunjukkan yang lebih tinggi dan kapasitas permukaan tinggi karenanya untuk adsorpsi.
- Adsorben-adsorben itu harus pula mempunyai suatu struktur pori yang terpisah jelas yang memungkinkan dengan cepat pengangkutan dari uap air yang berupa gas.

Adsorben yang digunakan secara komersial dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu kelompok polar dan non polar (Suzuki, M, 1990).

■ Adsorben Polar

Adsorben polar disebut juga *hydrophilic*. Jenis adsorben yang termasuk kedalam kelompok ini adalah silika gel, alumina aktif, dan zeolit.

■ Adsorben non polar

Adsorben non polar disebut juga *hydrophobic*. Jenis adsorben yang termasuk kedalam kelompok ini adalah polimer adsorben dan karbon aktif.

Menurut IUPAC (*Internasional Union of Pure and Applied Chemical*) ada beberapa klasifikasi pori yaitu :

- Mikropori : diameter < 2nm
- Mesopori : diameter 2 – 50 nm
- Makropori : diameter > 50 nm

Beberapa jenis adsorben berpori yang telah digunakan secara komersial antara lain adalah karbon aktif, zeolit, silika gel, dan *activated alumina*. Estimasi dari nilai penjualan dari jenis adsorben tersebut adalah : (Yang,Ralph T., 2003)

- Karbon aktif : USD 1 Milyar
- Zeolit : USD 100 Juta
- Silika gel : USD 27 Juta
- Activated Alumina : USD 26 Juta



Karbon Aktif Zeolit Silika Gel Activated Alumina

Gambar 2. 7. Jenis adsorben yang paling banyak digunakan

(sumber : <http://www.nivers.rs>, diakses 10 Juni 2009)

Tabel berikut ini menginformasikan tentang karakteristik adsorben beserta kegunaan dan kerugian adsorben.

Tabel 2. 3. Tipe, Karakteristik, kegunaan, dan kelemahan dari jenis adsorben [10]

<i>Tipe</i>	<i>Karakteristik</i>	<i>Kegunaan</i>	<i>Kelemahan</i>
Karbon aktif	Hidrofobik	Pemisahan polutan organik	Sulit untuk digenerasi
Zeolit	Hidrofobik, polar	Pemisahan udara, dehidrasi	Kapasitas total rendah
Silika gel	Kapasitas tinggi, hidrofilik	Pengeringan aliran gas	Pemisahan tidak efektif
Activated alumina	Kapasitas tinggi, hidrofilik	Pengeringan aliran gas	Pemisahan tidak efektif

Jika dibandingkan dengan adsorben lainnya karbon aktif merupakan adsorben yang paling banyak digunakan hal ini karena distribusi ukuran pori-pori pada karbon aktif mempunyai diameter pori yang lebih besar dibandingkan dengan adsorben lainnya.

2.6. ADSORPSI

Adsorpsi adalah suatu proses pemisahan dimana komponen dari suatu fase fluida berpindah ke permukaan zat padat yang menyerap (adsorben). Biasanya partikel-partikel kecil zat penyerap dilepaskan pada adsorpsi kimia yang merupakan ikatan kuat antara penyerap dan zat yang diserap sehingga tidak mungkin terjadi proses yang bolak-balik (Tinsley, 1979). Molekul-molekul pada zat padat atau zat cair memiliki gaya dalam keadaan tidak setimbang dimana gaya kohesi cenderung lebih besar dari pada gaya adhesi. Ketidaksetimbangan gaya-gaya tersebut menyebabkan zat padat atau zat cair tersebut cenderung menarik zat-zat lain atau gas yang bersentuhan pada permukaannya.

Dalam adsorpsi digunakan istilah adsorbat dan adsorban, dimana adsorbat adalah substansi yang terjerap atau substansi yang akan dipisahkan dari pelarutnya, sedangkan adsorban adalah merupakan suatu media penyerap yang dalam hal ini berupa senyawa karbon (Webar, 1972).

Proses adsorpsi pada suatu adsorben terutama terjadi pada pori-pori kecil (*micropore*). Sedangkan *macropore* hanya berperan sebagai tempat transfer adsorbat dari permukaan luar ke *micropore*. (Ding dan Bathia, 2003). Adsorpsi gas pada permukaan zat padat menyebabkan terjadinya kesetimbangan antara gas yang terserap dengan gas sisa. Oleh karena itu daya serap adsorben dipengaruhi oleh besarnya tekanan dan temperatur. Semakin besar tekanan semakin banyak pula zat yang diserap. Dan sebaliknya semakin tinggi temperatur semakin sedikit jumlah zat yang terserap. Pengaruh tekanan dan temperatur terhadap zat yang terserap tergantung pada jenis adsorpsi.

2.6.1. Jenis Adsorpsi

Ditinjau dari segi interaksi molekular antara permukaan adsorben dengan adsorbat maka jenis adsorpsi dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu adsorpsi fisika dan adsorpsi kimia :

a. Adsorpsi Fisika

Adsorpsi jenis ini terjadi karena adanya gaya Van Der Waals yaitu gaya tarik menarik yang relatif lemah antara permukaan adsorben dengan adsorbat. Adsorbat tidak terikat secara kuat pada permukaan adsorben sehingga adsorbat dapat bergerak dari suatu bagian permukaan ke bagian permukaan lainnya. Dan pada permukaan yang ditinggalkan oleh adsorbat yang satu dapat digantikan oleh adsorbat lainnya. Adsorpsi fisik merupakan suatu peristiwa yang reversibel. Bila dalam keadaan kesetimbangan kondisinya diubah misalnya tekanan diturunkan atau temperatur dinaikkan maka sebagian adsorbat akan terlepas dan akan membentuk kesetimbangan baru.

Peristiwa adsorpsi disertai dengan pengeluaran panas yang disebut dengan panas adsorpsi. Umumnya panas adsorpsi fisik relatif rendah berkisar (5 – 10) kkal/gr.mol dan terjadi pada temperatur rendah yaitu di bawah temperatur didih adsorbat. Hal ini yang menyebabkan kesetimbangan dari proses adsorpsi fisik adalah reversibel dan berlangsung sangat cepat. Proses adsorpsi fisik terjadi tanpa memerlukan energi aktivasi sehingga pada proses tersebut akan membentuk lapisan multilayer pada permukaan adsorben. Ikatan yang terbentuk dalam adsorpsi fisik dapat diputuskan dengan mudah.

b. Adsorpsi Kimia

Adsorpsi jenis ini merupakan adsorpsi yang terjadi karena terbentuknya ikatan kovalen dan ion antara molekul-molekul adsorbat dengan adsorben. Ikatan yang terbentuk merupakan ikatan yang kuat sehingga lapisan yang terbentuk adalah lapisan monolayer. Yang paling penting dalam adsorpsi kimia adalah spesifikasi dan kepastian pembentukan monolayer. Pendekatannya adalah dengan menentukan kondisi reaksi sehingga hanya adsorpsi kimia yang terbentuk dan hanya terbentuk monolayer.

Adsorpsi kimia bersifat tidak reversibel dan umumnya terjadi pada temperatur tinggi di atas temperatur kritis adsorbat sehingga panas adsorpsi yang dilepaskan juga tinggi yaitu 10 – 100 kkal/gr.mol. Sedangkan untuk mencapai terjadinya peristiwa desorpsi dibutuhkan energi lebih tinggi untuk memutuskan ikatan yang terjadi antara adsorben dan adsorbat.

2.6.2. Faktor yang Mempengaruhi Daya Adsorpsi

Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi jumlah fluida yang diadsorpsi oleh adsorben adalah sebagai berikut: (Bahl et al, 1997)

a. Jenis adsorbat

■ Ukuran molekul adsorbat

Ukuran molekul yang sesuai merupakan hal yang penting agar proses adsorpsi dapat terjadi. Molekul-molekul adsorbat yang dapat diadsorpsi oleh adsorben adalah molekul-molekul yang diameternya lebih kecil atau sama dengan diameter pori adsorben

■ Kepolaran zat

Apabila diameter molekul adsorbat sama dengan diameter pori adsorben maka molekul-molekul non polar yang lebih kuat diadsorpsi oleh adsorben daripada molekul-molekul yang polar.

b. Karakteristik adsorben

■ Kemurnian adsorben

Adsorben yang memiliki kemurnian lebih tinggi akan memiliki kemampuan adsorpsi yang lebih baik

■ Luas permukaan dan volume pori adsorben

Jumlah molekul adsorbat yang diserap oleh adsorben akan meningkat dengan bertambahnya luas permukaan dan volume pori dari adsorben. Sehingga seringkali adsorben diberi perlakuan awal seperti karbonisasi dan aktivasi untuk meningkatkan luas permukaan dan volume porinya

c. Temperatur

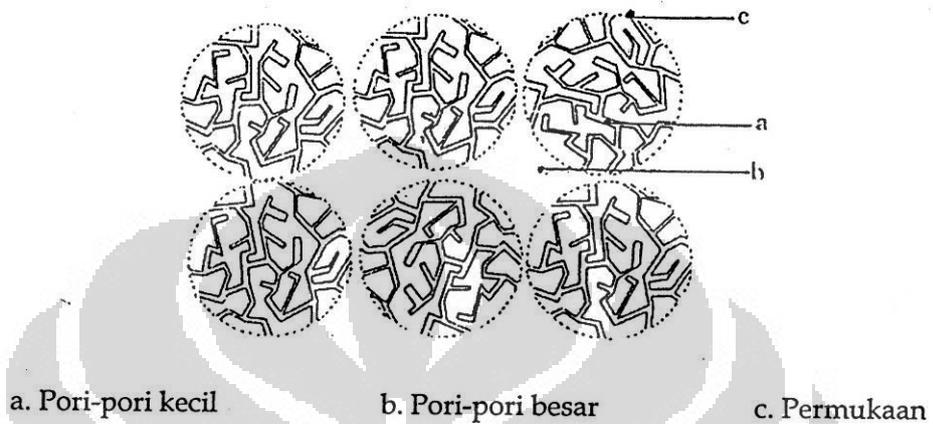
Proses adsorpsi merupakan proses eksotermis. Dengan demikian peningkatan temperatur pada tekanan yang tetap akan mengurangi jumlah senyawa yang teradsorpsi berdasarkan prinsip Chatelier

d. Tekanan

Jumlah zat yang diadsorpsi akan bertambah dengan menaikkan tekanan adsorbat.

2.6.3. Tempat Terjadinya Adsorpsi Pada Adsorben

Proses terjadinya adsorpsi pada suatu adsorben terletak di pori-pori adsorben itu sendiri. Tempat-tempat terjadinya adsorpsi pada adsorben bisa dilihat pada gambar sebagai berikut :

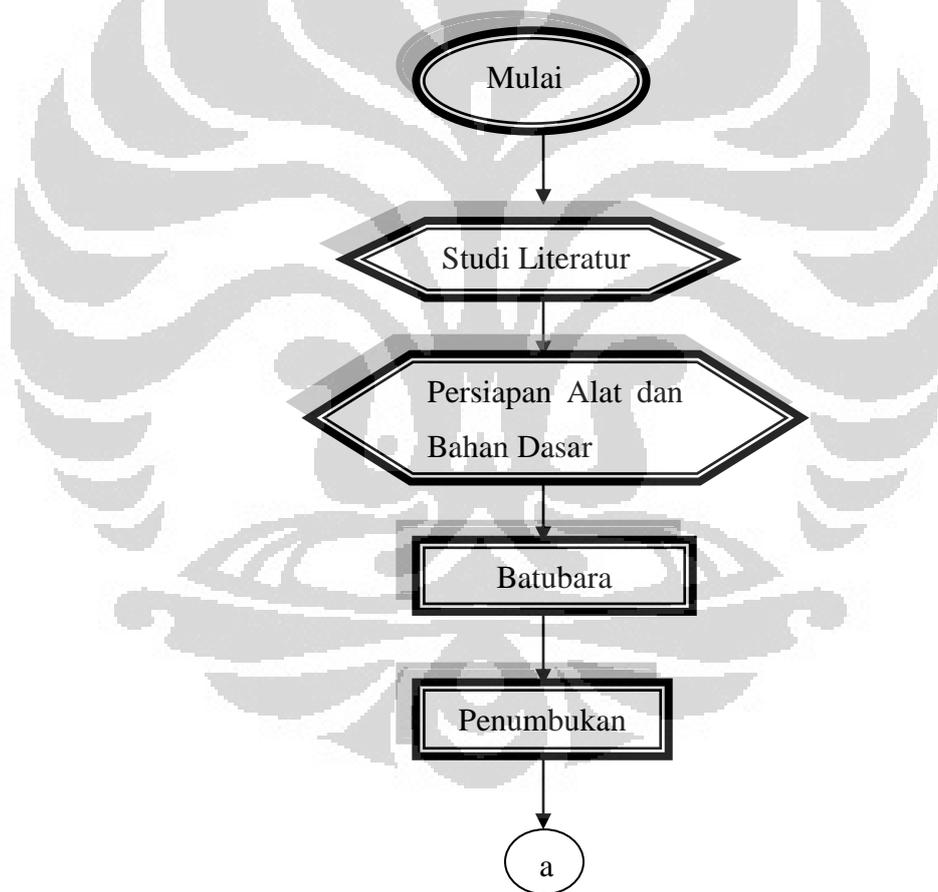


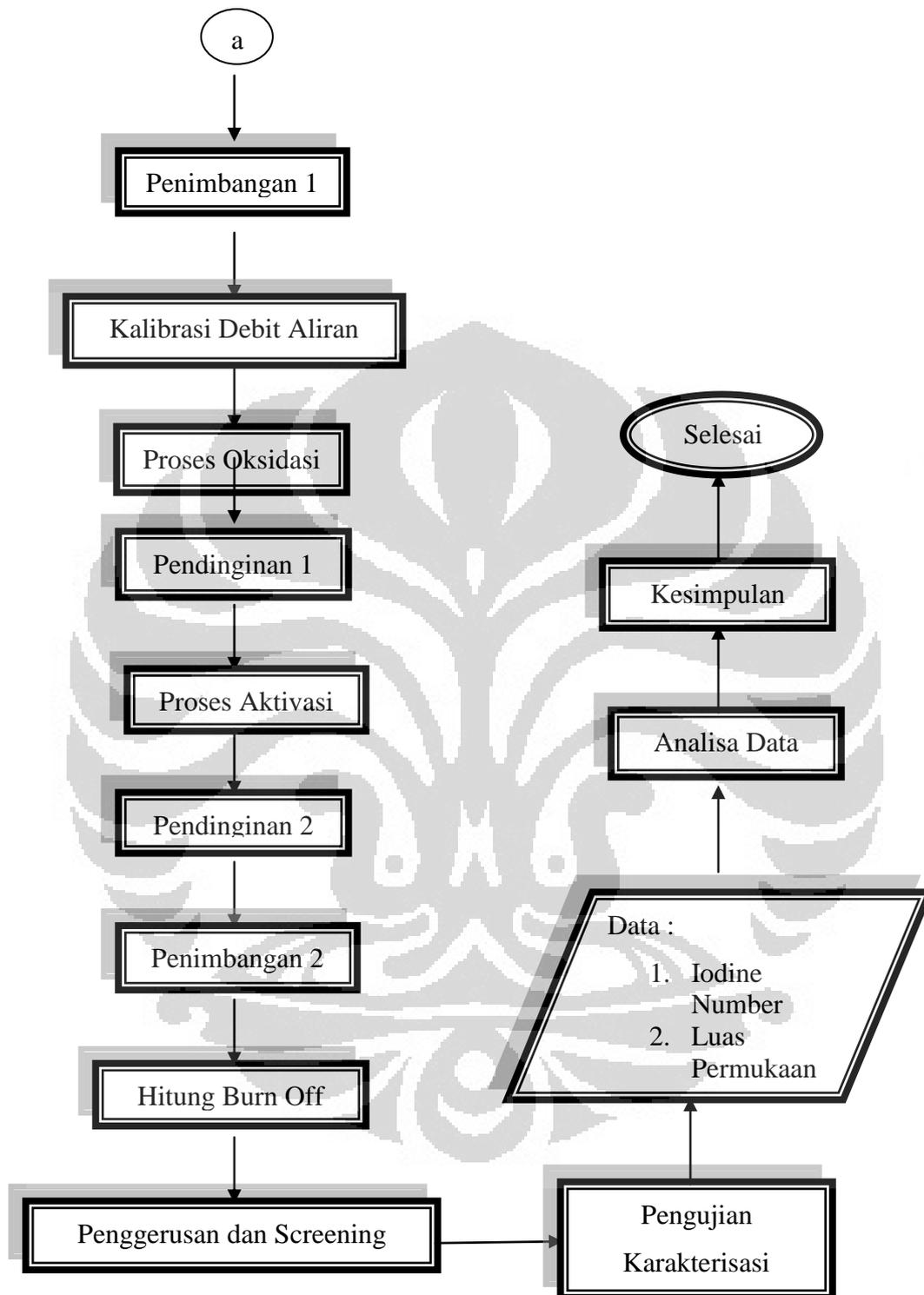
Gambar 2. 8. Ilustrasi Tempat Terjadinya Adsorpsi [3]

BAB 3 METODE PENELITIAN

Pada bab ini berisi tentang penguraian tentang diagram alir penelitian, prosedur penelitian yang dilakukan dan perhitungan yang diperlukan untuk pengolahan data. Penelitian mengenai pembuatan karbon aktif dari batubara ini dilakukan di Laboratorium Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Untuk pengujian seperti pengujian *iodine number* dilakukan di Laboratorium Akademi Kimia Analisis Bogor.

3.1. DIAGRAM ALIR PENELITIAN





Gambar 3. 1. Diagram alir proses penelitian

Prosedur penelitian yang dilakukan adalah seperti yang terlihat pada gambar 3.1. Secara umum proses prosedur persiapan dan tahapan proses yang dilakukan sama tetapi proses dalam pembuatan karbon aktif yang berbeda yaitu pada proses oksidasi dan aktivasinya dimana ada variasi yang dilakukan dalam percobaan. Berikut ini akan dijelaskan prosedur penelitian dari tahapan preparasi dan juga proses pembuatan karbon aktif.

3.2. PROSEDUR PREPARASI

3.2.1. Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukan studi literatur untuk memperoleh teori-teori berkaitan dengan topik penelitian seperti batubara, karbon aktif, adsorben, adsorbat, adsorpsi, kapasitas dan laju penyerapan. Sedangkan pengumpulan bahan dilakukan dengan mengumpulkan peralatan dan bahan yang diperlukan untuk melakukan penelitian.

3.2.2. Persiapan Alat dan Bahan Dasar

3.2.2.1. Alat-alat yang Digunakan

Dalam pembuatan karbon aktif ini alat-alat yang diperlukan antara lain :

1. Mesin *Chamber Furnace*

Merupakan mesin yang digunakan untuk melakukan proses pembakaran/pemanasan pada batubara untuk membuat karbon aktif dengan proses oksidasi dan aktivasi

Spesifikasi Alat:

Chamber Furnace

Produksi : HOFFMANN Industrieofenbau, Leinz – Austria

Type : K1

Voltage : 3-380 V, 50 Hz

Power : 6,6 kW 10 A

Temperatur maksimal : 1200°C

Berat : 250 kg

Tahun Pembuatan : 1991



Gambar 3. 2. Alat *Chamber Furnace*

2. Reaktor *Autoclave*

Berfungsi untuk menyimpan batubara dalam proses pembuatan karbon aktif dengan mesin *furnace* pada suhu yang tinggi.



Gambar 3. 3. Reaktor *autoclave*

3. Ayakan ukuran *mesh* 10 x 20

Berfungsi untuk melakukan pemerataan ukuran karbon aktif yang telah dibuat.

4. Timbangan Digital

Untuk menimbang massa batubara dan karbon aktif yang telah dibuat.
Bertujuan untuk menghasilkan *burn off*.



Gambar 3. 4. Timbangan digital

Spesifikasi:

Timbangan Digital Merk *ADVANTECH Type AND EK-300i*

Berat Maksimum yang dapat ditimbang 300g.

USB Port : RS-232C

100mA, 7~10V

5. Pipa untuk aliran gas

Pipa yang digunakan adalah ukuran 1/8 inch untuk instalasi pengaliran gas masuk yang digunakan dan pembuangannya.

6. Nut dan Peru

7. Tabung Gas Oksigen (O₂) dengan regulatornya

Berfungsi untuk sumber gas oksigen pada proses oksidasi



Gambar 3. 5. Tabung gas O₂ dengan regulatornya

8. Tabung Gas Karbon dioksida (CO₂) dengan regulatornya

Sebagai sumber gas CO₂. Tabung berisi gas CO₂ dengan kandungan 99,9 %.



Gambar 3. 6. Tabung gas CO₂ dengan regulatornya

9. *Flowmeter Dwyer* ukuran 5 ml/menit

Berfungsi untuk mengatur laju aliran gas yang ingin digunakan untuk ukuran skala kecil.



Gambar 3. 7. *Flowmeter* ukuran 5 ml/menit

10. *Flowmeter Dwyer* ukuran 100 ml/menit

Berfungsi untuk mengatur laju aliran gas yang ingin digunakan untuk ukuran skala besar.



Gambar 3. 8. *Flowmeter* ukuran 100 ml/menit

11. *Buble Soap*

Alat yang memanfaatkan gelembung busa sabun yang nantinya akan bergerak naik sesuai dengan besarnya aliran gas yang dialirkan ke dalamnya. Berfungsi untuk menentukan besar debit aliran gas. *Buble Soap* ini menggunakan gelembung busa sabun karena massanya dapat diabaikan sehingga tidak ada gaya yang bekerja pada saat gelembung busa sabun tadi naik (gaya dorong dari gas saja = debit aliran gas). Busa sabun ini tidak tercampur dengan CO_2 , O_2 , dan N_2 , karena saat dilakukan proses kalibrasi gas yang dialirkan langsung terbuang ke udara bebas saja.



Gambar 3. 9. Alat *Buble Soap*

12. Stopwatch

Berfungsi untuk mengukur waktu naiknya kecepatan gelembung busa pada *buble soap*.

13. Lumpang dan Alu

Digunakan untuk menggerus sampel sehingga diperoleh ukuran sampel yang lebih kecil.

14. Peralatan bantu lainnya seperti regulator gas, kunci-kunci, botol plastik, kain lap dan lain-lain.

3.2.2.2. *Bahan Dasar*

Bahan dasar yang digunakan dalam penelitian ini adalah batubara yang berasal dari Riau dengan karakteristik sebagai berikut:

Tabel 3. 1. Karakteristik analisis *proximate* dan *ultimate* pada batubara (PT. Superintending Indonesia, 2007 dan Pusat Teknologi energi, BPPT, 2007 dan 2008)

<i>Proximate</i>	<i>Unsur (%)</i>	<i>Ultimate</i>	<i>Unsur (%)</i>
<i>Moisture</i>	5,59	<i>Moisture</i>	5,59
<i>Ash Content</i>	17,96	<i>Ash Content</i>	17,96
<i>Volatile Center</i>	34,51	Total Sulphur	1,74
<i>Fixed Carbon</i>	41,94	Karbon	-
		Hidrogen	-
		Nitrogen	-
		Oksigen	-



Gambar 3. 10. Batubara berasal dari Riau yang siap untuk diproses

Gambar diatas merupakan batubara dari Riau yang sudah ditumbuk, digerus, dan diayak sehingga berukuran $\pm 2-10$ mm.

3.3. PROSEDUR PROSES PEMBUATAN KARBON AKTIF

Proses pembuatan karbon aktif pada eksperimen ini menggunakan tahapan awal proses oksidasi tanpa melakukan proses karbonisasi diikuti dengan proses aktivasi. Hal ini diindikasikan karena pengaruh dari kandungan oksigen dalam proses oksidasi dari batubara sangat berpengaruh terhadap pengembangan struktur pori-pori. Proses oksidasi merupakan teknik dalam proses produksi karbon aktif yang dapat meningkatkan luas permukaan. (Teng et al.,1996). Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menunjukkan pengaruh proses oksidasi tersebut.

Dalam eksperimen atau penelitian tentang proses pembuatan karbon aktif ini dilakukan beberapa eksperimen untuk mendapatkan hasil karbon aktif yang

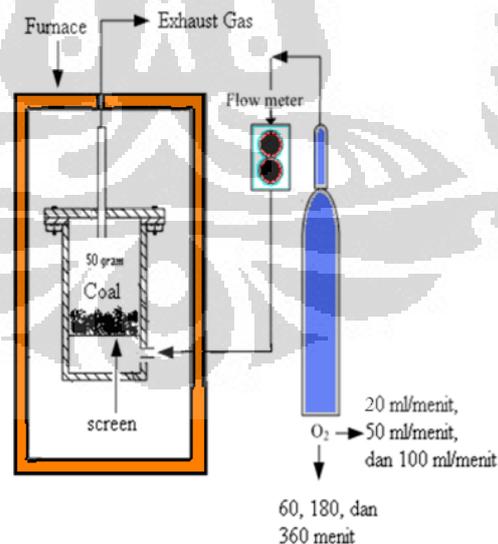
terbaik. Ada beberapa parameter penting dari penelitian karbon aktif yang telah banyak dilakukan yang mempengaruhi dalam proses untuk menghasilkan karbon aktif yang baik antara lain:

- Waktu proses
- Activating agent* (agen aktivasi) seperti CO_2 dan O_2
- Temperatur
- Perbandingan unsur O dan C yang ada pada batubara

Dari parameter tersebut tentunya berpengaruh terhadap proses oksidasi dan aktivasi. Untuk itu eksperimen ini dilakukan dengan melakukan beberapa variasi dari parameter tersebut pada masing-masing proses. Dengan melakukan salah satu variasi pengaruh dari proses oksidasi dengan proses aktivasi yang sama dan sebaliknya.

Prosedur untuk pembuatan karbon aktif ini dilakukan bertahap dengan melakukan perubahan pada salah satu proses yaitu proses oksidasi maupun proses aktivasi sampai mendapatkan hasil karbon aktif yang terbaik berdasarkan parameter yang diuji yaitu *iodine number*.

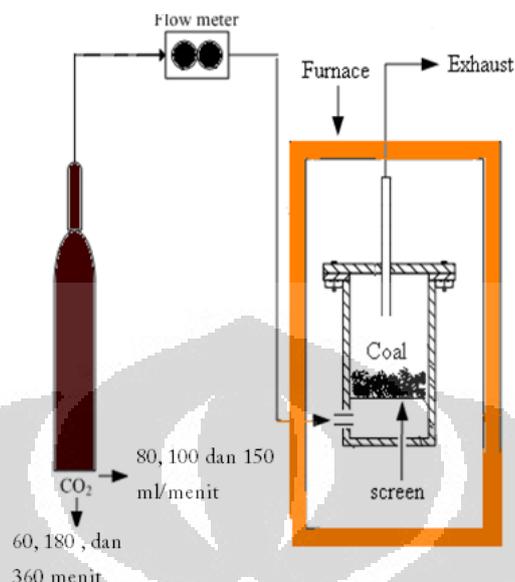
Berikut ini adalah gambar skema alat yang digunakan pada proses oksidasi dan aktivasi:



Gambar 3. 11. Skema alat pembuatan karbon aktif untuk proses oksidasi

Gambar diatas merupakan skema alat proses pembuatan karbon aktif untuk proses oksidasi dimana menggunakan Oksigen (O_2) .Sedangkan untuk proses aktivasinya

adalah menggunakan gas Karbondioksida (CO_2) seperti terlihat pada gambar berikut :



Gambar 3. 12. Skema alat pembuatan karbon aktif untuk proses oksidasi

Prosedur dan tahapan untuk proses pembuatan karbon aktif yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Persiapan batubara Riau

Batubara Riau yang sudah ditumbuk berukuran granul 5 mm ditimbang sebanyak 50,00 gram. Setelah itu dimasukkan ke dalam *autoclave*. Selanjutnya batubara dalam *autoclave* tersebut siap diproses dan dimasukkan ke mesin *furnace*.

2. Kalibrasi debit aliran

Laju aliran gas yang digunakan pada eksperimen ini bervariasi. Oleh karena itu perlu adanya kalibrasi debit aliran. Kalibrasi debit aliran debit gas pada *flowmeter* ini adalah menggunakan *buble soap*. Cara melakukan kalibrasi adalah dengan memasang jalur pipa dari gas yang dialirkan ke pipa *buble soap*.

Selanjutnya untuk menentukan aliran gas yang akan digunakan misalnya 100 ml/menit yang artinya 10 ml setiap 6 detik. Maka untuk mendapatkan aliran gas yang sesuai kita harus mencocokkan skala yang ada pada pembacaan *buble soap*. Pada *buble soap* skala yang ada antara 0 sampai 15 ml. Untuk menghitungnya maka kita mengalirkan gas dengan

membuka katup pada *flowmeter* dan membacanya pada *buble soap* sampai gelembung busanya bergerak dari titik 0 sampai 10 selama 6 detik. Untuk mencapai waktu 6 detik inilah kita menyesuaikan dengan membuka katup di *flowmeter*. Jika sesuai, maka pembacaan di *flowmeter* itulah yang digunakan untuk mengalirkan gas.

3. Pemasangan jalur pemipaan ke *autoclave*

Setelah melakukan kalibrasi debit aliran selanjutnya adalah memasang jalur pemipaan dari tabung gas O_2 ke dalam *autoclave*.

4. Persiapan untuk proses oksidasi

Untuk melakukan proses oksidasi maka perlu adanya setingan pada mesin *furnace*. Setingan *controller* pada *furnace* untuk proses oksidasi adalah berupa parameter berikut:

a. Temperatur

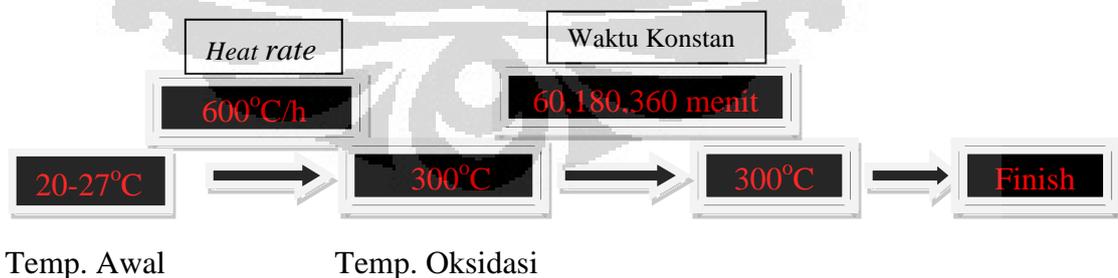
Temperatur yang digunakan pada proses ini adalah $300^{\circ}C$

b. Laju Pemanasan

Laju pemanasan merupakan laju yang digunakan untuk mencapai $300^{\circ}C$ dari temperatur awal (*ambient*). Laju pemanasan (*heat rate*) yang digunakan untuk eksperimen adalah $600^{\circ}C/jam$ ($10^{\circ}C/menit$)

c. Waktu

Waktu menandakan lamanya waktu proses dari temperatur yang diinginkan. Waktu proses pada temperatur konstan selama proses oksidasi $300^{\circ}C$.



Gambar 3. 13. Skema alur setingan proses oksidasi pada *controller furnace*

5. Pengaliran gas O_2

Proses oksidasi siap dimulai dengan mengalirkan gas oksigen yang diinginkan. Pengaliran gas oksigen dilakukan dari temperatur awal sampai dengan waktu yang diinginkan.

6. Persiapan Untuk Proses Aktivasi

Setelah proses oksidasi selesai, dinginkan *furnace* sampai mencapai temperature ruang kembali. Sama dengan proses oksidasi untuk melakukan proses aktivasi perlu adanya setingan *controller* pada mesin *furnace* berupa parameter sebagai berikut:

a. Temperatur

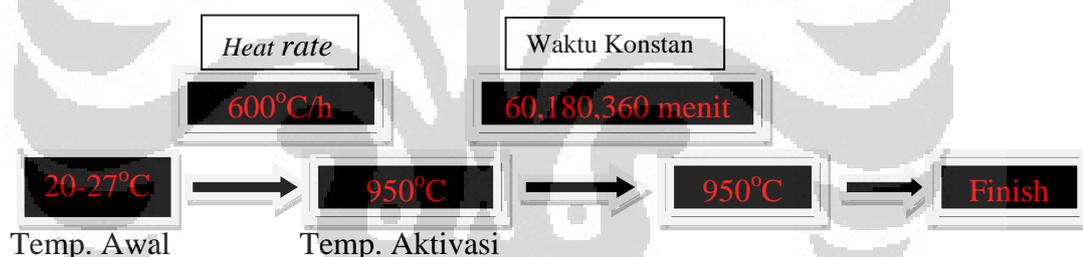
Temperatur yang digunakan pada proses ini adalah 950°C

b. Laju Pemanasan

Laju pemanasan (*heat rate*) yang digunakan untuk eksperimen adalah $600^{\circ}\text{C}/\text{jam}$ ($10^{\circ}\text{C}/\text{menit}$) dan $300^{\circ}\text{C}/\text{jam}$ ($5^{\circ}\text{C}/\text{menit}$)

c. Waktu

Memvariasikan waktu proses yang digunakan selama temperatur konstan 950°C .



Gambar 3. 14. Skema alur setingan proses aktivasi pada *controller furnace*

7. Pengaliran gas CO_2

Setelah setingan selesai, proses aktivasi dijalankan dan melakukan pengaliran gas CO_2 pada saat temperatur aktivasi dicapai. Proses selesai sampai dengan waktu yang diinginkan.

8. Penimbangan massa hasil proses

Setelah proses aktivasi selesai dinginkan sampel sampai mencapai temperatur ruang kembali. Setelah itu autoclave dikeluarkan dari *furnace* untuk mengambil karbon aktif yang telah dihasilkan dan ditimbang hasilnya.

9. Perhitungan *burn off*

Massa hasil proses yang telah ditimbang selanjutnya dibandingkan dengan massa sebelum proses dilakukan yang artinya didapatkan *burn off* dengan perhitungan sebagai berikut :

$$Burn-off = \frac{massa\ awal - massa\ akhir}{massa\ awal} \times 100\% \quad (3.1)$$

10. Penggerusan

Setelah didapatkan hasil *burn off*, maka karbon aktif yang telah terbentuk digerus dengan menggunakan lumpang dan diayak untuk mendapatkan ukuran yang seragam.

Prosedur percobaan ini dilakukan sama untuk setiap variasi proses pembentukan karbon aktif. Perbedaan prosedur yang dilakukan terletak pada setingan *controller furnace* pada proses oksidasi dan aktivasi juga laju aliran yang digunakan. Prosedur eksperimen dengan melakukan variasi dari parameter-parameter proses oksidasi dan aktivasi akan dijelaskan pada sub-bab ini.

3.3.1. Pengaruh Proses Oksidasi dengan Proses Aktivasi Konstan

Dalam proses pembuatan karbon aktif ini proses oksidasi merupakan salah satu pengaruh yang penting oleh karena itu dalam percobaan dilakukan beberapa variasi untuk proses ini yaitu : waktu dan laju aliran. Proses oksidasi ini dilakukan dengan proses aktivasi yang konstan yaitu menggunakan laju aliran 80 ml/menit dan waktu 60 menit.

3.3.1.1. Pengaruh Laju Aliran Oksigen dan Waktu

Percobaan yang dilakukan untuk proses oksidasi ini yaitu dengan melakukan pembuatan karbon aktif menggunakan variasi waktu dan laju aliran. Variasi laju aliran yang digunakan adalah 20,50, dan 100 ml menit dengan variasi waktu yang digunakan untuk setiap laju aliran adalah 60,180,360 menit.

Tahapan proses sama seperti yang dijelaskan diatas dengan menggunakan laju aliran oksigen (O₂) 20,50 dan 100 ml/menit dari suhu awal sampai waktu yang diinginkan dan melakukan setingan pada proses oksidasi sebagai berikut :

Laju Aliran O ₂	→ 20, 50, 100 ml/menit
Temperatur	→ 300°C
Laju Pemanasan	→ 600°C/h atau 10°C/menit

Waktu Proses → 60, 180, 360 menit

Sedangkan setingan untuk proses aktivasi adalah sebagai berikut :

Laju Aliran O₂ → 80 ml/menit

Temperatur → 950°C

Laju Pemanasan → 600°C/h atau 10°C/menit

Waktu Proses → 60 menit

Prosedur ini dilakukan berulang pada masing-masing laju aliran O₂ 20,50 dan 100 ml/menit ini menggunakan variasi waktu proses oksidasi yaitu 60, 180, 360 menit.

3.3.2. Pengaruh Proses Aktivasi dengan Proses Oksidasi Konstan

Setelah melakukan percobaan dengan pengaruh dari proses oksidasi dilanjutkan dengan percobaan pada pengaruh proses aktivasi. Prosedur dilakukan menggunakan proses oksidasi dengan parameter yang konstan. Parameter yang diambil pada proses oksidasi adalah yang menghasilkan *burn-off* yang terbesar yaitu pada laju aliran 100 ml/menit dan waktu proses 360 menit (hasil pada bab 4).

3.3.2.1. Effect Time (Pengaruh Waktu)

Prosedur pembuatan karbon aktif dengan proses aktivasi pertama dengan melakukan variasi waktu proses yaitu 60,180,360 menit. Proses diawali dengan oksidasi 360 menit dan laju aliran O₂ 100 ml/menit pada aktivasi 60 menit dan laju aliran 80 ml/menit telah dilakukan pada proses sebelumnya. Pada prosedur ini dengan menambahkan untuk waktu proses 180 dan 360 menit.

Untuk proses ini dilakukan dengan melakukan setingan pada proses oksidasi terlebih dahulu sebagai berikut :

Laju Aliran O₂ → 100 ml/menit

Temperatur → 300°C

Laju Pemanasan → 600°C/h atau 10°C/menit

Waktu Proses → 360 menit

Untuk proses aktivasi prosedur dilakukan dengan mengubah parameter sebagai berikut :

Laju Aliran O₂ → 80 ml/menit

Temperatur	→ 950°C
Laju Pemanasan	→ 600°C/h atau 10°C/menit
Waktu Proses	→ 180, 360 menit

3.3.2.2. Pengaruh Laju Aliran CO₂

Prosedur berikutnya adalah dengan memvariasikan laju aliran karbondioksida (CO₂). Proses pembuatan dilakukan dengan diawali terlebih dahulu proses oksidasi yang sama yaitu pada laju aliran 100 ml/menit dan waktu proses 360 menit dan selanjutnya proses aktivasi dengan variasi laju aliran 80,100,150 ml/menit dan waktu proses 360 menit.

Setingan untuk proses oksidasi yaitu :

Laju Aliran O ₂	→ 100 ml/menit
Temperatur	→ 300°C
Laju Pemanasan	→ 600°C/h atau 10°C/menit
Waktu Proses	→ 360 menit

Untuk proses aktivasi prosedur dilakukan dengan mengubah parameter sebagai berikut :

Laju Aliran O ₂	→ 80,100,150 ml/menit
Temperatur	→ 950°C
Laju Pemanasan	→ 600°C/h atau 10°C/menit
Waktu Proses	→ 360 menit

3.4. PENAMAAN SAMPEL

Karbon aktif yang telah dibuat menggunakan prosedur proses diatas selanjutnya diberikan penamaan sampel. Penamaan ini bertujuan untuk memudahkan dalam penandaan, untuk pengolahan data dan untuk melakukan pengujian *iodine number*.

Contoh penamaan sampel :

RUX Y Z

Keterangan : RU : Jenis batubara Riau
 X : Menandakan laju aliran O₂/CO₂ yang digunakan
 B-D : Laju aliran O₂

- B : 20 ml/menit; C : 50 ml/menit; D : 100 ml/menit
 D-F : Laju aliran CO₂
 D : 80 ml/menit; E : 100 ml/menit; F : 150 ml/menit
 Y : Menandakan waktu proses oksidasi dalam jam (*hour*)
 Z : Menandakan waktu proses aktivasi dalam jam (*hour*)

Tabel berikut menjelaskan penamaan pada sampel karbon aktif dari proses yang telah dilakukan.

Tabel 3. 2. Penamaan sampel pada karbon aktif dan perlakuan prosesnya

<i>Nama Sampel</i>	<i>Laju aliran O₂ (ml/menit)</i>	<i>Laju aliran CO₂ (ml/menit)</i>	<i>Waktu Oksidasi (menit)</i>	<i>Waktu Aktivasi (menit)</i>
RUB 1	20	80	60	60
RUB 3	20	80	180	60
RUB 6	20	80	360	60
RUC 1	50	80	60	60
RUC 3	50	80	180	60
RUC 6	50	80	360	60
RUD 1	100	80	60	60
RUD 3	100	80	180	60
RUD 6-1	100	80	360	60
RUD 6-3	100	80	360	180
RUD 6-6	100	80	360	360
RUE 6-6	100	100	360	360
RUF 6-6	100	150	360	360

3.5. PENGUJIAN IODINE NUMBER

Pengujian *iodine number* pada karbon aktif yang telah dibuat dilakukan di Laboratorium Terapan Akademi Kimia Analis Bogor. Cara kerja penetapan bilangan iod ini dilakukan dengan menggunakan standar pengujian ASTM D1510. Prosedur pengujian bisa dilihat pada lampiran.

Sampel yang diuji berupa batubara yang sudah dilakukan pemerataan ukuran hingga 10 *mesh*. Sampel yang diuji untuk *iodine number* ini tidak semuanya yaitu beberapa sampel saja dengan tujuan untuk membandingkan hasil penyerapan terhadap bilangan iod dari karbon aktif yang dibuat dengan beberapa proses yang telah dilakukan. Sampel tersebut antara lain :

■ RUB 6, RUC 6, dan RUD 6

Untuk membandingkan hasil *iodine number* untuk perbedaan laju aliran O₂ dan waktu proses oksidasi 360 menit

■ RUD 6-1, RUD 6-3 dan RUD 6-6

Melihat hasil untuk pengaruh waktu aktivasi

■ RUD 6-6, RUE 6-6, dan RUF 6-6

Melihat hasil untuk pengaruh laju aliran CO₂

3.6. PENGOLAHAN DATA

Pengolahan data dilakukan untuk melakukan analisa dari penelitian yang telah dilakukan. Pengolahan data dianalisa terhadap parameter *burn off* dan *iodine number* dari pengaruh laju aliran O₂, laju aliran CO₂, waktu proses oksidasi dan waktu proses aktivasi. Persamaan atau perhitungan yang digunakan adalah sebagai berikut :

3.6.1. *Burn Off*

Persamaan yang digunakan untuk menghitung *burn off* yaitu :

$$BO = \frac{mb - ma}{mb} \times 100\% \quad (3.2)$$

Keterangan :

BO = burn off (%)

mb = massa sebelum proses dilakukan (gram)

ma = massa setelah proses dilakukan (gram)

3.6.2. *Iodine Number (Bilangan Iodine)*

Persamaan yang digunakan dalam menghitung *iodine number* adalah sebagai berikut : (ASTM D1510)

$$I = [(B - S) / B] \times (V / W) \times (N) \times 126,91 \quad (3.3)$$

Keterangan :

I = bilangan adsorpsi iod (g/kg)

B = volume titasi blanko

S = volume titrasi sampel

V = volume iodine

W = gram sampel karbon aktif

N = normalitas larutan tio

126,91 = massa ekuivalen iodin

3.6.3. Konsumsi Energi

Untuk menghitung konsumsi energi yang dihasilkan dari proses pembuatan karbon aktif pada masing-masing proses oksidasi ataupun aktivasi adalah dengan menggunakan persamaan berikut ini :

$$W_t = \frac{[\bar{W} * (t_k + t_p)]}{60} \quad (3.4)$$

Dimana :

W_t = Konsumsi energi total yang dihasilkan dari proses

\bar{W} = Konsumsi energi rata-rata dari proses yang dihasilkan dari mesin *furnace*

t_k = Lamanya waktu konstan dari temperatur yang diinginkan

t_p = Lamanya waktu proses dari temperatur awal sampai dengan temperatur yang diinginkan

BAB 4

HASIL PENELITIAN DAN ANALISA

4.1. HASIL PREPARASI KARBON AKTIF

Karbon aktif yang telah diproses dengan dua metode dengan metode awal oksidasi dilanjutkan dengan aktivasi memberikan hasil pembentukan karbon aktif yang berbeda-beda. Hal ini karena pengaruh dari batubara yang digunakan dan juga gas yang digunakan pada proses oksidasi dan aktivasi.

4.1.1. Proses Oksidasi

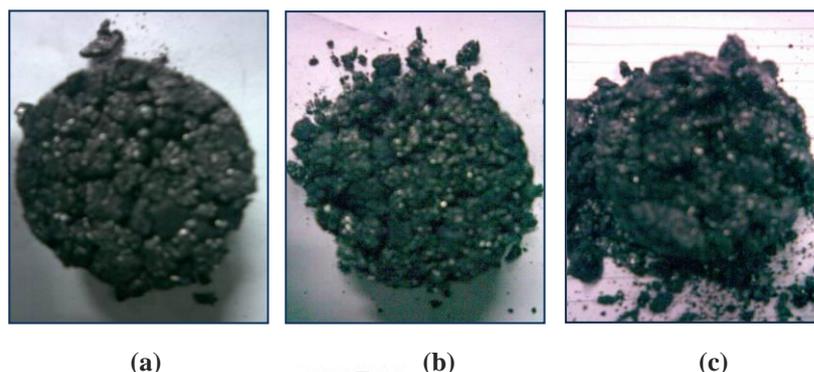
Setelah proses oksidasi, batubara awal yang mempunyai kandungan C,H,N,S,O, dan P akan berubah persentasenya karena ada sebagian dari beberapa unsur tersebut hilang karena pengaruh oksigen dalam proses oksidasi ini. Kandungan yang akan hilang menjadi 0 % adalah S,N, dan H.



Gambar 4. 1. Contoh hasil batubara setelah proses oksidasi

Pada gambar diatas merupakan contoh hasil setelah proses oksidasi tanpa melakukan proses aktivasi sesudahnya. Pada gambar terlihat bahwa sebagian batubara ada yang terbakar berwarna merah. Hal ini karena proses oksidasi dengan menggunakan oksigen dimana terjadi reaksi pembakaran pada batubara dengan oksigen secara tidak sempurna.

Dalam penelitian yang dilakukan batubara yang diproses dilakukan variasi lamanya waktu proses oksidasi. Untuk melihat pengaruh lamanya waktu proses oksidasi dengan aktivasi konstan selama 1 jam dapat terlihat pada gambar berikut ini :



Gambar 4. 2. Hasil karbon aktif dengan perbedaan waktu proses oksidasi (a). 60 menit, (b) 180 menit, (c) 360 menit dengan aktivasi 60 menit

Pada gambar terlihat efek dari perbedaan lamanya proses oksidasi pada batubara menyebabkan batubara berubah bentuk menjadi karbon aktif dengan butiran yang lebih besar dan menggumpal saling terikat. Hal tersebut terjadi karena tar yang terbentuk pada saat proses oksidasi masih tersisa pada karbon batubara. Tar yang masih tersisa tersebut menjadi berfungsi sebagai perekat sehingga butiran-butiran batubara menjadi terikat satu sama lain membentuk padatan. Pada gambar terlihat pengaruh lamanya waktu proses oksidasi, makin lama waktu proses karbon aktif yang dihasilkan mulai menyebar dan tidak sepenuhnya menggumpal. Gumpalan yang terjadi karena tar tersebut juga karena kurangnya pengaruh proses aktivasi disini.

4.1.2. Proses Aktivasi

Proses aktivasi dilakukan untuk mengeluarkan unsur-unsur selain karbon yang masih tersisa pada karbon batubara seperti hidrokarbon, tar dan lain-lain. Aktivasi juga berfungsi untuk memperbesar pori yang sudah terbentuk pada saat proses oksidasi dan membentuk pori-pori baru.

Proses aktivasi dilakukan secara fisika pada temperatur 950°C dengan kenaikan pemanasan *furnace* saat aktivasi adalah $10^{\circ}\text{C}/\text{menit}$ dari temperatur lingkungan sampai temperatur 950°C . Hasil setelah proses aktivasi ini merupakan hasil akhir dari pembuatan karbon aktif dengan proses sebelumnya proses oksidasi. Setelah proses aktivasi ini batubara berubah menjadi karbon aktif yang berbentuk granul dan mengkilat. Batubara yang terbakar pada saat proses oksidasi

berwarna merah akan hilang. Hasil aktivasi karbon batubara ini disebut karbon aktif.

Pada gambar berikut ini memperlihatkan pengaruh dari perbedaan lamanya waktu proses aktivasi dengan proses oksidasi sebelumnya selama 6 jam berdasarkan prosedur yang dilakukan.



Gambar 4. 3. Hasil karbon aktif setelah proses aktivasi pada waktu aktivasi yang berbeda yaitu (a) 60 menit, (b) 180 menit, (c) 360 menit

Dari gambar diatas terlihat ada perbedaan dengan gambar 4.2. pada variasi lamanya waktu proses oksidasi. Pada pengaruh lamanya waktu proses aktivasi karbon aktif yang dihasilkan lebih menyebar berbentuk granul dan mengkilat. Hal ini dikarenakan makin lama proses aktivasi yang dilakukan dapat menghilangkan sisa-sisa tar yang dihasilkan pada proses oksidasi sehingga karbon aktif tidak lagi menggumpal.

4.2. DATA HASIL PENELITIAN

Data yang dihasilkan pada proses pembentukan karbon aktif ini adalah berupa *burn off* dan selanjutnya dilakukan pengujian *iodine number*. Data tersebut merupakan parameter untuk melihat hasil karakteristik karbon aktif yang telah dibuat. Selain data hasil karakteristik karbon aktif, data lainnya yang berhubungan dengan proses seperti konsumsi energi dan juga waktu total proses merupakan hasil yang akan dibahas.

4.2.1. *Burn off* dan *Iodine Number*

Burn off merupakan parameter awal yang digunakan untuk menilai karakteristik dari karbon aktif. *Burn off* didapat dengan mengurangi massa sampel awal dengan massa sampel dari karbon aktif yang telah dibuat dibagi massa awal. Dari percobaan yang telah dilakukan didapatkan hasil *burn off* yang berbeda-beda. Makin lama waktu proses aktivasi pada karbon aktif yang berbeda dapat menghasilkan *burn off* yang besar. (Teng et al.,1996)

Sedangkan *iodine number* merupakan parameter untuk mengetahui kemampuan karbon aktif dalam menyerap molekul-molekul dengan ukuran kecil. (Abdi, S, 2006). Besarnya daya serap terhadap iodine juga memberikan petunjuk terhadap besarnya ukuran pori dari karbon aktif yang dapat dimasuki oleh molekul yang ukurannya tidak lebih besar dari 10 Å. Pengujian *iodine number* dilakukan pada beberapa sampel saja untuk melihat hasil perbandingan pada variasi percobaan yang telah dilakukan dan sebagai acuan untuk pengembangan penelitian.

4.2.1.1. Hasil pada Variasi Pengaruh Proses Oksidasi dengan Aktivasi Konstan

a. *Burn Off*

Berdasarkan percobaan dengan melakukan proses oksidasi pada suhu 300⁰C konstan dengan variasi waktu 1, 3, dan 6 jam dan diikuti proses aktivasi dengan suhu 950⁰C selama 1 jam didapatkan hasil *burn off* yang berbeda masing-masing untuk laju aliran O₂ 20, 50, 100 ml/menit.

Hasil *burn off* pada pengaruh proses oksidasi untuk perbandingan waktu dan laju aliran seperti terlihat pada tabel berikut ini:

Tabel 4. 1. *Burn Off* pada laju aliran yang berbeda dengan waktu oksidasi 1 jam

<i>Nama Sampel</i>	<i>Laju Aliran O₂</i> <i>(ml/menit)</i>	<i>Waktu Oksidasi</i> <i>(menit)</i>	<i>Burn Off (%)</i>
RUB -1	20	60	40,45
RUC -1	50	60	41,36
RUD -1	100	60	42,56

Tabel 4. 2. *Burn Off* pada laju aliran yang berbeda dengan waktu oksidasi 3 jam

<i>Nama Sampel</i>	<i>Laju Aliran O₂</i> <i>(ml/menit)</i>	<i>Waktu Oksidasi</i> <i>(menit)</i>	<i>Burn Off (%)</i>
RUB -3	20	180	41,86
RUC -3	50	180	44,50
RUD -3	100	180	46,08

Tabel 4. 3. *Burn Off* dengan laju aliran yang berbeda dengan waktu oksidasi 6 jam

<i>Nama Sampel</i>	<i>Laju Aliran O₂</i> <i>(ml/menit)</i>	<i>Waktu Oksidasi</i> <i>(menit)</i>	<i>Burn Off (%)</i>
RUB -6	20	360	41,88
RUC -6	50	360	48,20
RUD -6	100	360	48,96

Data diatas merupakan hasil *burn off* berdasarkan perbedaan waktu oksidasi 1 jam, 3 jam dan 6 jam. Sedangkan untuk hasil *burn off* jika dilihat berdasarkan laju alirannya yaitu 20, 50, 100 ml/menit adalah sebagai berikut:

Tabel 4. 4. *Burn Off* pada waktu yang berbeda dengan laju aliran O₂ 20 ml/menit

<i>Nama Sampel</i>	<i>Laju Aliran O₂</i> <i>(ml/menit)</i>	<i>Waktu Oksidasi</i> <i>(menit)</i>	<i>Burn Off (%)</i>
RUB -1	20	60	40.45
RUB -3	20	180	41.86
RUB -6	20	360	41.88

Tabel 4. 5. *Burn Off* pada waktu yang berbeda dengan laju aliran O₂ 50 ml/menit

<i>Nama Sampel</i>	<i>Laju Aliran O₂</i> <i>(ml/menit)</i>	<i>Waktu Oksidasi</i> <i>(menit)</i>	<i>Burn Off (%)</i>
RUC -1	50	60	41.36
RUC -3	50	180	44.50
RUC -6	50	360	48.20

Tabel 4. 6. *Burn Off* pada waktu yang berbeda dengan laju aliran O₂ 100 ml/menit

<i>Nama Sampel</i>	<i>Laju Aliran O₂</i> <i>(ml/menit)</i>	<i>Waktu Oksidasi</i> <i>(menit)</i>	<i>Burn Off (%)</i>
RUD -1	100	60	42.56
RUD -3	100	180	46.08
RUD -6	100	360	48.96

b. *Iodine Number*

Hasil pengujian iodine number pada pengaruh proses oksidasi memperlihatkan hasil bilangan iod pada laju aliran O₂ yang digunakan seperti terlihat pada tabel berikut ini :

Tabel 4. 7. Hasil pengujian *iodine number* pada waktu oksidasi 6 jam dengan laju aliran yang berbeda

<i>Nama Sampel</i>	<i>Laju Aliran O₂</i> <i>(ml/menit)</i>	<i>Waktu Oksidasi</i> <i>(menit)</i>	<i>Burn Off (%)</i>	<i>Iodine Number</i> <i>(g/kg)</i>
RUB -6	20	360	41,88	133,55
RUC -6	50	360	48,20	95.79
RUD -6	100	360	48,96	221,76

Hasil diatas menunjukkan pada sampel RUD-6 menghasilkan *iodine number* cukup baik dari pada pengaruh proses oksidasi ini dengan waktu 6 jam pada laju aliran O₂ 100 ml/menit. Proses ini diikuti aktivasi selama 1 jam dengan laju aliran CO₂ sebesar 80 ml/menit. Untuk meningkatkan *iodine number* dari hasil ini percobaan dilanjutkan dengan melakukan beberapa variasi seperti proses oksidasi pada proses aktivasinya. Proses berikutnya dilakukan dengan didahului proses oksidasi yang konstan. Hasil penelitian berikutnya dijelaskan berikut ini.

4.2.1.2. Hasil pada Variasi Pengaruh Proses Aktivasi Melalui Proses Oksidasi Konstan

Pada percobaan sebelumnya telah dilakukan proses pembuatan karbon aktif dengan melihat pengaruh pada proses oksidasi dengan memvariasikan parameter yang ada. Proses ini diikuti dengan proses aktivasi pada 950⁰C selama 1 jam. Hasil yang didapat menunjukkan *burn off* dan dengan pengujian *iodine number* yang terbesar didapat pada saat laju aliran terbesar dan waktu proses yang lama. Untuk mendapatkan karbon aktif yang baik maka perlu juga memberikan pengaruh pada proses aktivasinya.

Seperti proses oksidasi, pada proses aktivasi juga dilakukan dengan memvariasikan parameter seperti laju aliran gas dan waktu proses. Pada proses ini seperti dijelaskan pada Bab 3 yaitu melakukan proses oksidasi dari waktu proses 6 jam dan laju aliran terbesar yang diikuti proses aktivasi yang berbeda. Prosesnya adalah oksidasi pada 300⁰C selama 6 jam dengan laju aliran O₂ 100 ml/menit diikuti aktivasi pada 950⁰C dengan variasi waktu 60, 180, 360 menit dan laju aliran 80 ml/menit.

Hasil *burn off* dan pengujian *iodine number* untuk pengaruh proses aktivasi dengan waktu aktivasi yang berbeda dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 4. 8. Hasil *burn off* dan *iodine number* dari proses aktivasi dengan waktu aktivasi 60,180, dan 360 menit

<i>Nama Sampel</i>	<i>Laju Aliran CO₂ (ml/Menit)</i>	<i>Waktu Aktivasi (menit)</i>	<i>Burn Off (%)</i>	<i>Iodine Number (g/kg)</i>
RUD 6-1	80	60	48.96	221,76
RUD 6-3	80	180	55.80	385,07
RUD 6-6	80	360	60.44	497.90

Dari data diatas menunjukkan *burn off* terbesar adalah pada RUD 6-6 yaitu 60,44 % dan pengujian *iodine number* yang dilakukan juga memberikan hasil yang baik dengan mencapai hasil sampai 497,90 g/kg. Hasil ini dicoba

ditingkatkan lagi dengan melakukan percobaan pada pengaruh aktivasi dengan laju aliran yang berbeda

Pada proses selanjutnya ini percobaan dilakukan dengan melihat hasil *burn off* yang terbesar dari data diatas. Berdasarkan data tersebut menunjukkan bahwa *burn off* terbesar adalah pada waktu aktivasi 360 menit atau 6 jam. Dengan demikian pada proses berikutnya waktu aktivasi yang digunakan adalah 6 jam namun menggunakan laju aliran CO₂ yang berbeda-beda. Laju yang digunakan adalah 80 (dari proses sebelumnya), 100 dan 150 ml/menit.

Hasil *burn off* dan *iodine number* untuk pengaruh proses aktivasi dengan laju aliran CO₂ yang berbeda dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 4. 9. Hasil *burn off* dan *iodine number* dari proses aktivasi dengan laju aliran CO₂ 80,dan 150 ml/menit

<i>Nama Sampel</i>	<i>Laju Aliran CO₂ (ml/Menit)</i>	<i>Waktu Aktivasi (menit)</i>	<i>Burn Off (%)</i>	<i>Iodine Number (g/kg)</i>
RUD 6-6	80	360	60.44	497,90
RUF 6-6	150	360	71.88	589,10

4.2.2. Konsumsi Energi

Nilai konsumsi energi ini adalah nilai total energi yang dibutuhkan untuk melakukan proses oksidasi dan aktivasi dalam satuan KWh. Konsumsi energi ini dihitung dengan menggunakan konsumsi energi rata-rata dalam kw/h yang ada pada mesin *furnace* setelah proses oksidasi maupun proses aktivasi selesai dilakukan. Data konsumsi energi ini berupa daya, waktu proses yang diperlukan untuk mencapai temperatur oksidasi ataupun aktivasi.

Data hasil perhitungan konsumsi energi untuk setiap sampel dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

4.2.2.1. *Konsumsi Energi pada Variasi Pengaruh Proses Oksidasi dengan Aktivasi Konstan*

Tabel 4. 10. Data daya, kenaikan temperatur dan waktu proses untuk sampai pada temperatur 300⁰C dan temperatur aktivasi 950⁰C pada sampel RUB

Oksidasi dengan laju aliran O ₂ 20 ml/menit								Aktivasi dengan laju aliran CO ₂ 80 ml/menit dan waktu konstan 1 jam						
Nama Sampel	Waktu Konstan (menit)	Temp. Awal (°C)	Temp. Oksidasi (°C)	Kenaikan Temperatur (°C)	Waktu (menit)	Konsumsi Energi		Waktu Konstan (menit)	Temp. Awal (°C)	Temp. Aktivasi (°C)	Kenaikan Temperatur (°C)	Waktu (menit)	Konsumsi Energi	
						Rata-rata (kW/h)	Total (kWh)						Rata-rata (kW/h)	Total (kWh)
RUB-1	60	16	300	284	30	2	3	60	25	950	925	125	15	46.25
RUB-3	180	24	300	276	35	3	10.75	60	50	950	900	121	15	45.25
RUB-6	360	25	300	275	25	4	25.67	60	60	950	890	120	15	45

Konsumsi energi total untuk RUB-1 = 49, 25 kWh, RUB-3 = 56 kWh, RUB-6 = 70, 67 kWh

Tabel 4. 11. Data daya, kenaikan temperatur dan waktu proses untuk sampai pada temperatur 300°C dan temperatur aktivasi 950°C pada sampel RUC

Oksidasi dengan laju aliran O ₂ 50 ml/menit							Aktivasi dengan laju aliran CO ₂ 80 ml/menit dan waktu konstan 1 jam							
Nama Sampel	Waktu Konstan (menit)	Temp. Awal (°C)	Temp. Oksidasi (°C)	Kenaikan Temperatur (°C)	Waktu (menit)	Konsumsi Energi		Waktu Konstan (menit)	Temp. Awal (°C)	Temp. Aktivasi (°C)	Kenaikan Temperatur (°C)	Waktu (menit)	Konsumsi Energi	
						Rata-rata (kW/h)	Total (kWh)						Rata-rata (kW/h)	Total (kWh)
RUC-1	60	36	300	264	27	2	2.9	60	24	950	926	137	15	49.25
RUC-3	180	20	300	280	30	3	10.5	60	29	950	921	123	15	45.75
RUC-6	360	78	300	222	29	3	19.45	60	72	950	878	119	15	44.75

Konsumsi energi total untuk RUC-1 = 52,15 kWh, RUC-3 = 56,25 kWh, RUC-6 = 64,2 kWh

Tabel 4. 12. Data daya, kenaikan temperatur dan waktu proses untuk sampai pada temperatur 300°C dan temperatur aktivasi 950°C pada sampel RUD

Oksidasi dengan laju aliran O ₂ 100 ml/menit								Aktivasi dengan laju aliran CO ₂ 80 ml/menit dan waktu konstan 1 jam						
Nama Sampel	Waktu Konstan (menit)	Temp. Awal (°C)	Temp. Oksidasi (°C)	Kenaikan Temperatur (°C)	Waktu (menit)	Konsumsi Energi		Waktu Konstan (menit)	Temp. Awal (°C)	Temp. Aktivasi (°C)	Kenaikan Temperatur (°C)	Waktu (menit)	Konsumsi Energi	
						Rata-rata (kW/h)	Total (kWh)						Rata-rata (kW/h)	Total (kWh)
RUD -1	60	30	300	270	28	2	2.93	60	25	950	925	123	15	45.75
RUD-3	180	26	300	274	30	4	14	60	30	950	920	122	15	45.50
RUD-6	360	26	300	274	36	4	26.4	60	25	950	925	125	15	46.25

Konsumsi energi total untuk RUD-1 = 48,64 kWh, RUD-3 = 59,5 kWh, RUD-6 = 72,65 kWh

4.2.2.2. *Konsumsi Energi pada Variasi Pengaruh Proses Aktivasi Melalui Proses oksidasi Konstan*

Tabel 4. 13. Data daya, kenaikan temperatur dan waktu proses untuk sampai pada temperatur 300⁰C dan temperatur aktivasi 950⁰C pada sampel RUD 6-1, RUD 6-3, RUD 6-6

Oksidasi dengan laju aliran O ₂ 100 ml/menit								Aktivasi dengan laju aliran CO ₂ 80 ml/menit						
Nama Sampel	Waktu Konstan (menit)	Temp. Awal (°C)	Temp. Oksidasi (°C)	Kenaikan Temperatur (°C)	Waktu (menit)	Konsumsi Energi		Waktu Konstan (menit)	Temp. Awal (°C)	Temp. Aktivasi (°C)	Kenaikan Temperatur (°C)	Waktu (menit)	Konsumsi Energi	
						Rata-rata (kW/h)	Total (kWh)						Rata-rata (kW/h)	Total (kWh)
RUD 6-1	360	26	300	274	36	4	26.4	60	25	950	925	125	15	46.25
RUD 6-3	360	25	300	275	34	4	26.27	180	26	950	924	133	20	104.33
RUD 6-6	360	20	300	280	36	4	26.4	360	26	950	924	122	27	216.9

Konsumsi energi total untuk RUD 6-1 = 72,65 kWh, RUD 6-3 = 130,6 kWh, RUD 6-6 = 243,3 kWh

Tabel 4. 14. Data daya, kenaikan temperatur dan waktu proses untuk sampai pada temperatur 300⁰C dan temperatur aktivasi 950⁰C pada sampel RUD 6-6, RUE 6-6, RUF 6-6

Oksidasi dengan laju aliran O ₂ 100 ml/menit								Aktivasi dengan laju aliran CO ₂ 80,100 dan 150 ml/menit dan waktu konstan 6 jam						
Nama Sampel	Waktu Konstan (menit)	Temp. Awal (°C)	Temp. Oksidasi (°C)	Kenaikan Temperatur (°C)	Waktu (menit)	Konsumsi Energi		Waktu Konstan (menit)	Temp. Awal (°C)	Temp. Aktivasi (°C)	Kenaikan Temperatur (°C)	Waktu (menit)	Konsumsi Energi	
						Rata-rata (kW/h)	Total (kWh)						Rata-rata (kW/h)	Total (kWh)
RUD 6-6	360	20	300	280	36	4	26.4	360	26	950	924	122	27	216.9
RUE 6-6	360	25	300	275	29	4	25.93	360	26	950	924	124	28	225.87
RUF 6-6	360	26	300	274	27	4	25.8	360	26	950	924	145	27	227.25

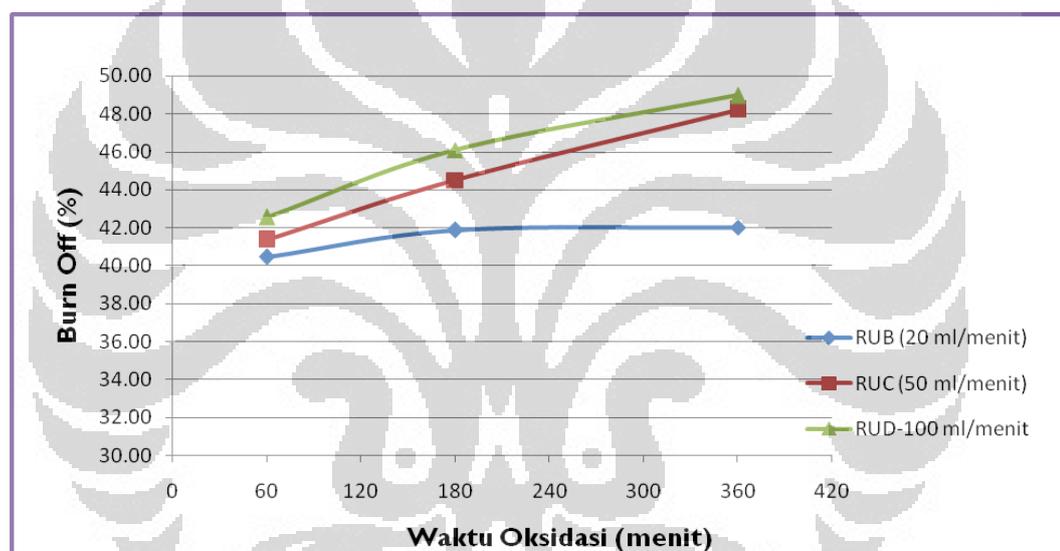
Konsumsi energi total untuk RUD 6-6 = 243,3 kWh, RUE 6-6 = 251,8 kWh, RUF 6-6 = 253,05 kWh

4.3. ANALISA DATA

4.3.1. Burn off

4.3.1.1. Analisa Burn off pada Variasi Pengaruh dari Proses Oksidasi dengan Aktivasi Konstan

Berdasarkan tabel 4.1, 4.2. dan 4.3. menunjukkan hasil *burn off* pada pengaruh proses oksidasi dengan waktu proses dan laju aliran yang berbeda-beda dan diikuti proses aktivasi yang konstan. Berdasarkan hasil ketiga sampel *burn off* yang dihasilkan meningkat sebanding dengan semakin lama waktu proses dan laju aliran yang besar. Perbandingan hasil untuk masing-masing sampel dengan perbedaan waktu dan laju aliran dapat dilihat pada grafik berikut :



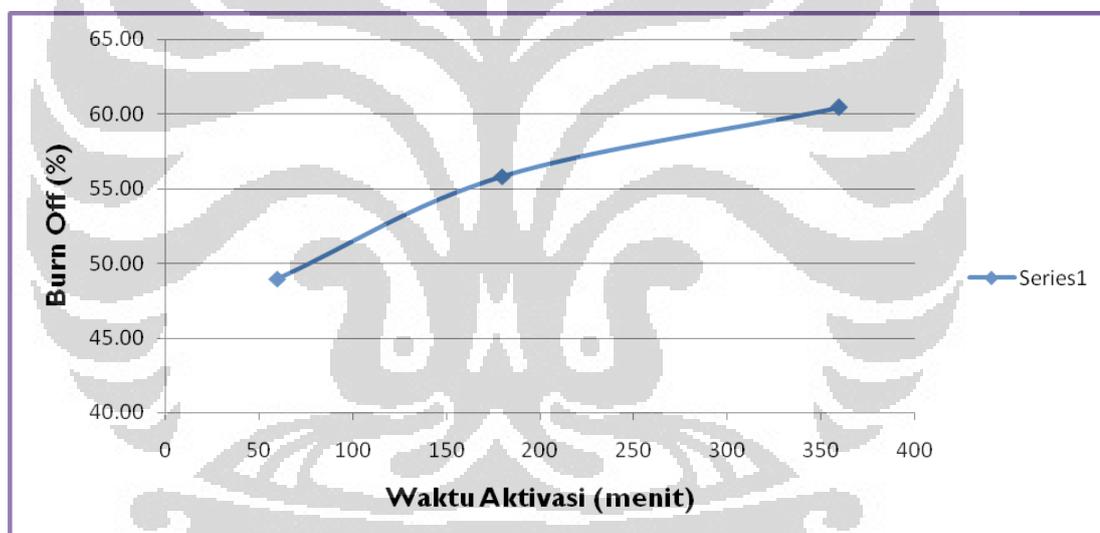
Gambar 4. 4. Grafik *burn off* vs waktu pada karbon aktif dengan laju aliran O₂ 20, 50, 200 ml/menit

Dari grafik diatas dapat diketahui bahwa karbon aktif dengan nama RUB, RUC, dan RUD dengan laju aliran O₂ masing-masing adalah 20, 50, 100 ml/menit memiliki nilai *burn off* yang semakin tinggi seiring dengan lamanya waktu proses oksidasi. Hasil *burn off* yang dihasilkan pada proses ini adalah sampai dengan 48,96 % yaitu pada sampel RUD dengan laju aliran O₂ sebesar 100 ml/menit dan waktu proses 6 jam. Hal ini dapat terjadi karena semakin lamanya proses oksidasi, gas O₂ sebagai gas inert semakin banyak dikonsumsi dan diserap oleh batubara. Kandungan unsur-unsur lainnya seperti *volatile matter*, *moisture*, *sulfur* dan sebagian ash akan makin berkurang dengan lamanya waktu proses.

Kandungan oksigen juga memberikan adanya pembakaran tidak sempurna dari batubara yang menyebabkan massa batubara berubah menjadi karbon berkurang. Hasil ini juga memperlihatkan bahwa banyaknya kandungan oksigen dan lamanya waktu proses pada proses oksidasi dengan tujuan meningkatkan perbandingan O/C pada batubara memberikan pengaruh yang penting terhadap *burn off* yang dihasilkan pada karbon aktif.

4.3.1.2. Analisa *Burn off* pada Variasi Pengaruh dari Proses Aktivasi Melalui Proses Oksidasi Konstan

Berdasarkan tabel 4.8. menunjukkan hasil *burn off* pada variasi waktu aktivasi yang berbeda yaitu 60, 180 dan 360 menit dengan didahului proses oksidasi konstan selama 6 jam. Pada grafik berikut ini memperlihatkan pengaruh waktu aktivasi vs *burn off* yang dihasilkan.

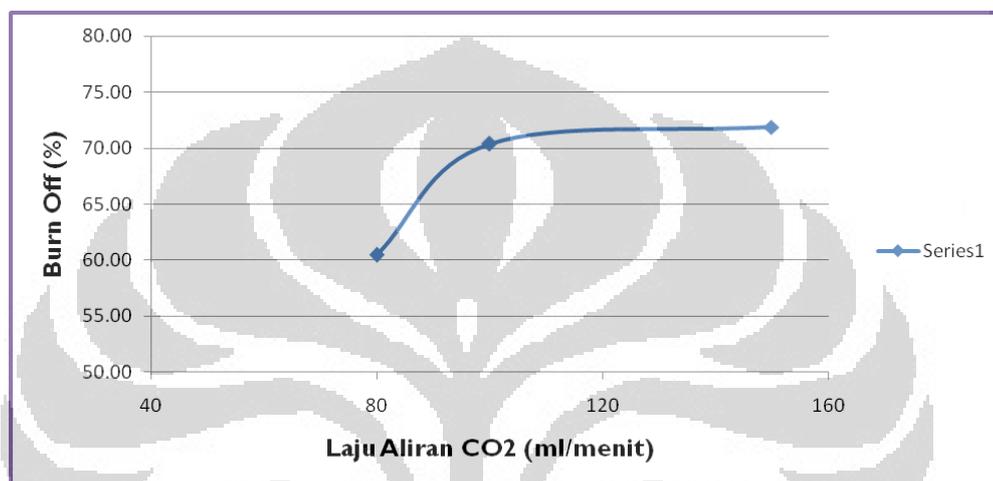


Gambar 4. 5. Grafik *burn off* vs waktu aktivasi pada sampel karbon aktif RUD 6-1, RUD 6-3, dan RUD 6-6

Dari grafik diatas memperlihatkan bahwa waktu aktivasi berpengaruh terhadap *burn off* yang dihasilkan. Jika dilihat pada hasil sebelumnya dengan melakukan variasi waktu proses oksidasi yang sama *burn off* yang dihasilkan dengan makin lamanya waktu aktivasi ternyata lebih tinggi. Hasil diatas menunjukkan makin lama waktu proses aktivasi maka *burn off* yang dihasilkan juga makin tinggi. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Teng et.al.,1996 yaitu lamanya

waktu aktivasi dapat memberikan pengembangan pada struktur pori dari karbon aktif.

Sedangkan untuk hasil *burn off* dengan variasi perbedaan laju aliran CO₂ yang digunakan pada proses aktivasi selama 6 jam berdasarkan tabel 4.9. menunjukkan *burn off* yang dihasilkan semakin tinggi dari sebelumnya yaitu dengan mencapai nilai *burn off* sampai dengan 71,88 %. Hasil ini bisa dilihat pada grafik berikut :



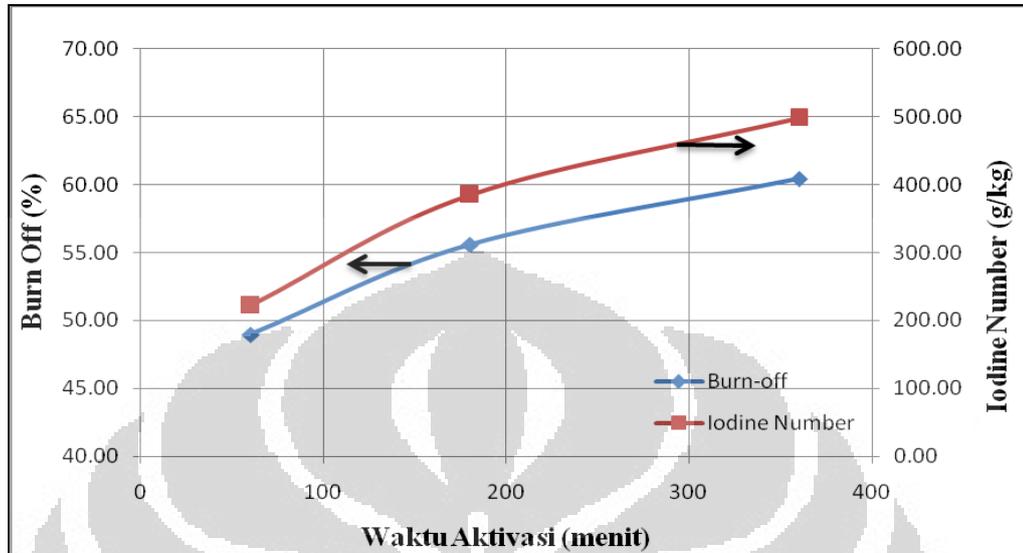
Gambar 4. 6. Grafik *burn off* vs laju aliran pada sampel karbon aktif RUD 6-6, RUE 6-6, dan RUF 6-6

Pada grafik diatas *burn off* yang dihasilkan semakin tinggi dengan meningkatnya laju aliran CO₂ dengan waktu proses masing-masing untuk oksidasi dan aktivasi selama 6 jam. Yang artinya dengan makin lama waktu proses dan juga peningkatan laju aliran CO₂ maka konsumsi CO₂ pada karbon aktif makin banyak pula. Hal ini menunjukkan semakin banyak konsumsi CO₂ yang masuk kedalam batubara seiring dengan lamanya waktu proses dan semakin cepat laju alirannya akan semakin cepat juga dalam mengaktivasi karbon dan membentuk struktur pori-pori dari karbon yang akan berpengaruh terhadap *burn off* dari karbon aktif yang dihasilkan.

4.3.2. Hubungan *Burn off* dan *Iodine Number*

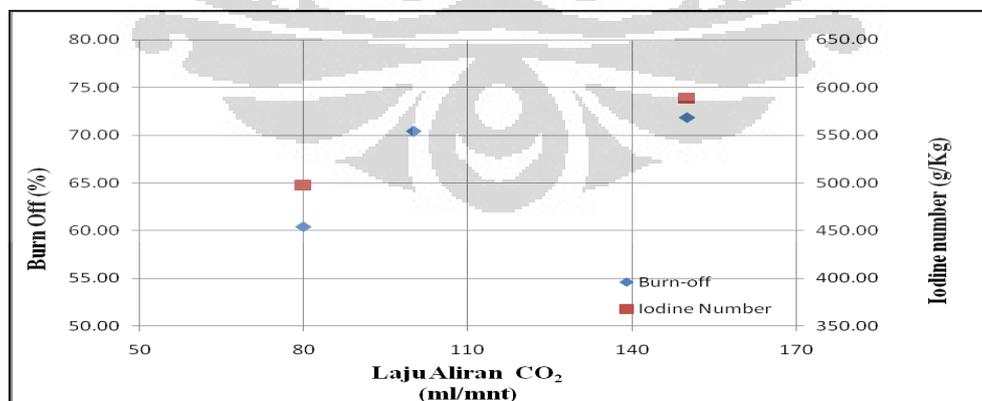
Hubungan antara *burn off* dan *iodine number* dapat dilihat pada hasil yang telah dilakukan pengaruh pada proses aktivasi dimana memberikan hasil *burn off* yang tinggi. Berdasarkan tabel 4.8 menunjukkan hasil *burn off* dan *iodine number* pada proses aktivasi dengan variasi waktu yang berbeda-beda. Perbandingan hasil

dari *burn off* dan *iodine number* tersebut menunjukkan makin lama waktu proses aktivasi makin meningkat pula *iodine number* yang dihasilkan seperti terlihat pada grafik berikut :



Gambar 4. 7. Grafik *Burn off* dan *Iodine number* pada waktu aktivasi 60, 180 dan 360 menit

Dari grafik terlihat bahwa hasil *burn off* dan *iodine number* dengan waktu aktivasi 60, 180, 360 menit memberikan kecenderungan yang sama meningkat sebanding dengan lamanya waktu proses aktivasi. Hal yang sama dengan penelitian yang dilakukan oleh Zou, Young & Han, B., 2001 yang memberikan pengaruh waktu aktivasi terhadap *burn off* dan kapasitas penyerapan pada metilen biru dalam satuan mg/g.



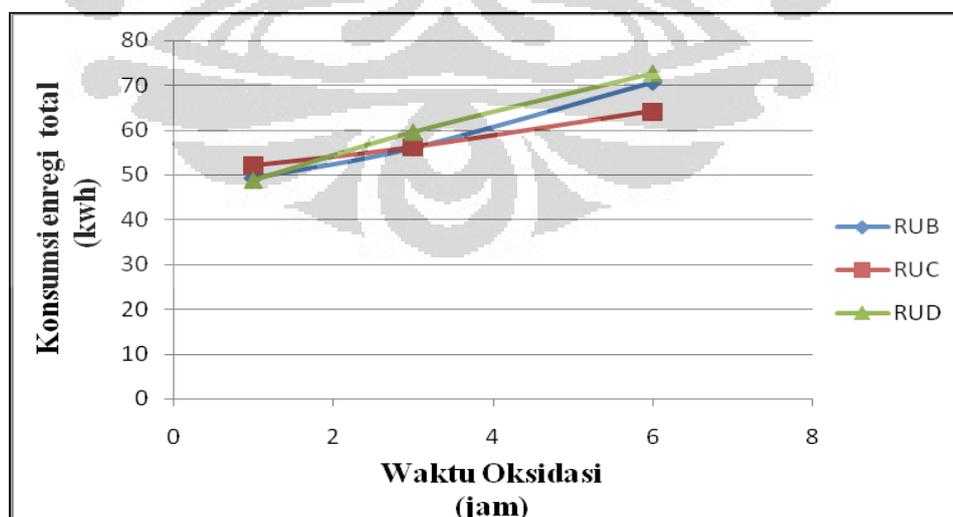
Gambar 4. 8. Grafik *burn off* dan *iodine number* dengan laju aliran CO₂ 80, 100 dan 150 ml/menit

Sedangkan proses aktivasi dengan laju aliran yang CO_2 makin besar berdasarkan tabel 4.9. juga memberikan hasil *iodine number* yang meningkat sebanding dengan *burn off* yang semakin tinggi. Grafik hasil *burn off* dan *iodine number* dengan laju aliran CO_2 semakin besar dapat dilihat pada grafik diatas. Hasil ini merupakan hasil maksimum yang terbaik pada penelitian ini yaitu dengan *burn off* 71,88 % dan *iodine number* mencapai 589,10 g/kg. Semakin maksimum konsumsi CO_2 yang diberikan dengan laju aliran yang cepat akan makin cepat dalam mengembangkan struktur pori dari karbon aktif dan juga kemampuannya dalam kapasitas penyerapan.

4.3.3. Konsumsi Energi

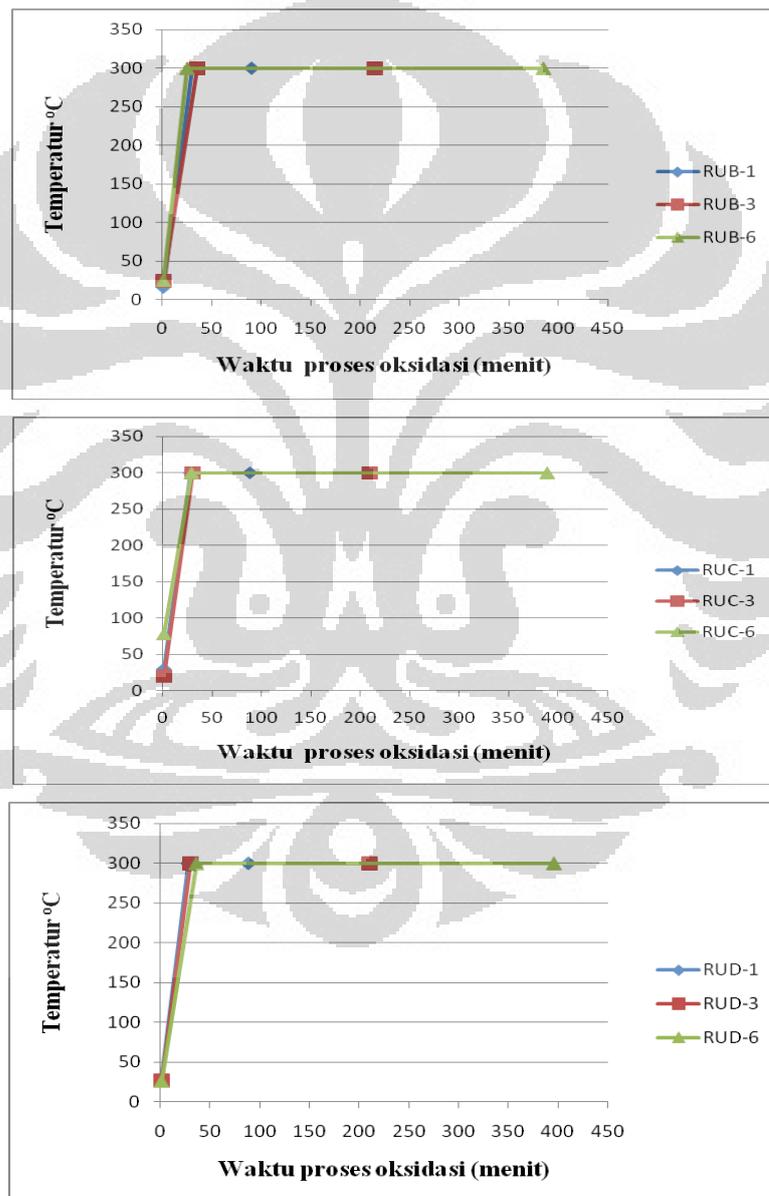
4.3.3.1. Analisa Konsumsi Energi pada Variasi Pengaruh Proses Oksidasi Dengan Aktivasi Konstan

Berdasarkan tabel 4.10, 4.11, 4.12 menunjukkan nilai konsumsi energi total yang digunakan pada pengaruh variasi waktu proses oksidasi dengan aktivasi konstan pada sampel RUB, RUC, dan RUD dengan masing-masing laju aliran yang berbeda-beda. Sedangkan berdasarkan konsumsi energi total dari proses oksidasi dan juga aktivasinya menunjukkan makin lama waktu proses akan menyebabkan konsumsi energi yang diperlukan juga bertambah. Hal ini dapat dilihat pada gambar grafik berikut ini :



Gambar 4. 9. Grafik konsumsi energi total dengan perbedaan waktu oksidasi pada sampel RUB, RUC dan RUD

Pada grafik terlihat bahwa pada masing-masing sampel dengan makin lama waktu proses rata-rata memberikan kecenderungan naik dan konsumsi energi total yang diperlukan hampir sama pada setiap sampel. Namun ada sedikit perbedaan pada sampel RUC dimana pada waktu oksidasi selama 6 jam konsumsi energi yang dihasilkan lebih kecil disbanding pada sampel RUB dan RUD yang cenderung sama. Hal ini bisa diakibatkan karena pengaruh pada temperatur awal proses yang dapat dilihat pada grafik berikut ini:

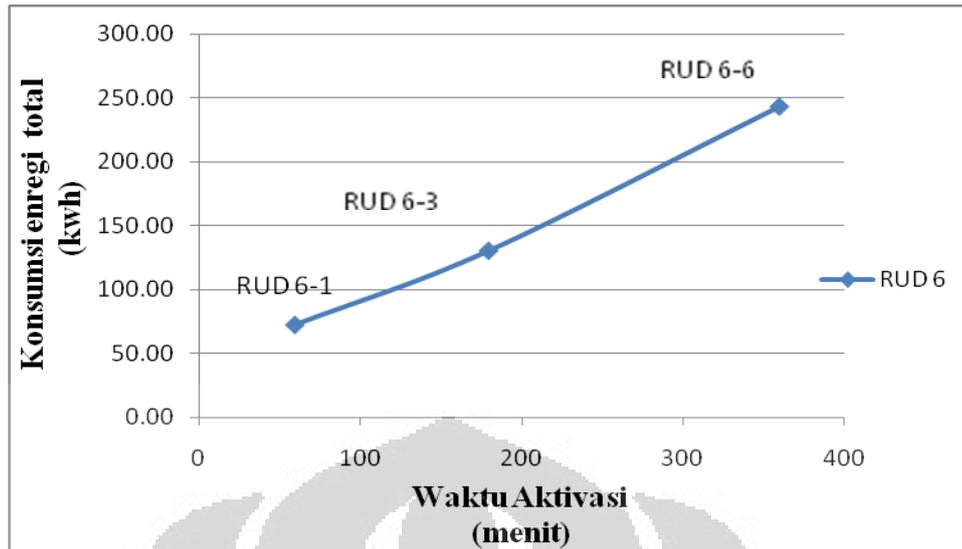


Gambar 4. 10. Grafik temperatur vs waktu total proses oksidasi dari temperatur awal sampai dengan temperatur oksidasi (i)RUB,(ii) RUC dan (iii) RUD

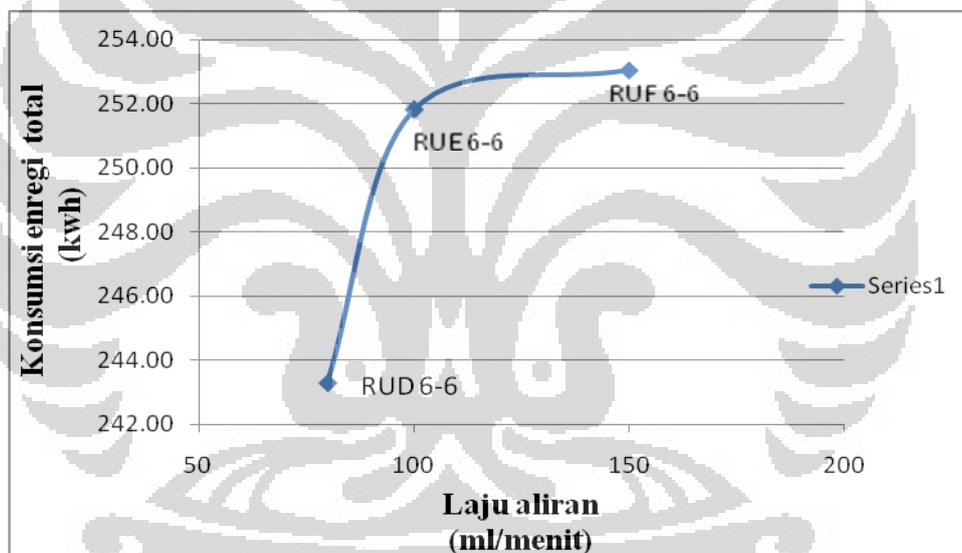
Grafik diatas memperlihatkan waktu total proses dari temperatur awal sampai dengan temperatur oksidasi. Dari grafik tersebut untuk masing-masing setiap sampel menghasilkan waktu proses yang hampir sama untuk menaikkan temperatur awal sampai dengan temperatur oksidasi yaitu 300°C. Seperti halnya dilihat dari konsumsi energi yang paling rendah ada pada sampel RUC-6 pada waktu total proses oksidasi yang dihasilkan juga cepat dibandingkan sampel lainnya. Hal ini karena pada sampel RUC-6 seperti terlihat pada grafik diatas menggunakan temperatur awal yang tidak sama dan lebih besar sehingga mengakibatkan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai temperatur 300°C lebih cepat. Kenaikan temperatur yang kecil dan waktu yang semakin cepat ini menyebabkan konsumsi energi yang dihasilkan juga kecil. Tentunya berpengaruh terhadap kualitas karbon aktif yang dihasilkan karena makin lama waktu proses dan konsumsi energi yang cukup besar dapat menghasilkan karbon aktif yang baik. Berdasarkan tabel 4.7 hasil *burn off* RUC-6 adalah 48,2 % dengan *iodine number* 95,79 % yang artinya lebih kecil dibanding dengan sampel RUB-6 yang mempunyai *burn off* hanya 41,88 % namun memiliki *iodine number* lebih besar yaitu mampu menyerap sebesar 133,55 g/kg. Sehingga dari analisa konsumsi energi ini dapat diketahui bahwa untuk mendapatkan kualitas dari karbon aktif yang baik harus dilakukan dengan proses yang baik pula.

4.3.3.2. Analisa Konsumsi Energi pada Variasi Pengaruh Proses Aktivasi Melalui Oksidasi Konstan

Sedangkan untuk konsumsi energi total pada variasi pengaruh proses aktivasi melalui oksidasi konstan menghasilkan konsumsi energi yang makin besar dengan semakin lamanya waktu proses dibanding dengan pada variasi waktu oksidasi. Hal ini dikarenakan temperatur pada aktivasi tinggi yaitu 950°C. Untuk menaikkan suhu tersebut membutuhkan waktu yang lama dengan rata-rata waktu sekitar 120 menit berdasarkan tabel 4.13 dan 4.14. Daya rata-rata yang dihasilkan dengan waktu aktivasi 6 jam adalah 27 kW/h. Untuk konsumsi energi total dari variasi proses aktivasi melalui proses oksidasi selama 6 jam dapat dilihat pada grafik berikut ini :



Gambar 4. 11. Grafik konsumsi energi total dengan variasi waktu aktivasi selama 1 jam, 3 jam dan 6 jam



Gambar 4. 12. Grafik konsumsi energi total dengan waktu aktivasi selama 6 jam pada laju aliran 80, 100 dan 150 ml/menit

Pada grafik diatas gambar 4.11 dan 4.12 dengan waktu aktivasi yang makin lama membutuhkan konsumsi energi total yang besar sampai dengan sekitar 253 kWh yaitu pada sampel RUF 6-6 tidak jauh berbeda dengan sampel RUD 6-6 dan RUE 6-6 yang menggunakan waktu aktivasi selama 6 jam dengan rata-rata 250 kWh.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini adalah :

1. Dengan metode oksidasi menggunakan O₂ diikuti aktivasi yang digunakan pada penelitian ini didapatkan nilai *burn off* yang cukup tinggi yaitu sampai dengan 71,88 %
2. Proses oksidasi menggunakan O₂ sebagai gasnya memberikan pengaruh yang penting dalam proses pembuatan karbon aktif
3. Semakin lama waktu oksidasi dan aktivasi juga semakin besar laju aliran gas yang dialirkan, semakin besar nilai *burn off* pada karbon aktif yang dihasilkan dan juga kapasitas penyerapannya.
4. Nilai *burn off* pada karbon aktif sangat dipengaruhi oleh waktu proses oksidasi, aktivasi dan besarnya laju aliran gas yang dialirkan
5. Semakin tinggi nilai *burn off* pada karbon aktif yang dihasilkan maka semakin tinggi pula angka *iodine* yang dihasilkan dari pengujian
6. Karbon aktif yang dihasilkan sangat baik dilihat dari *iodine number* yang mencapai 589,10 g/kg dengan proses oksidasi dan aktivasi selama 6 jam.

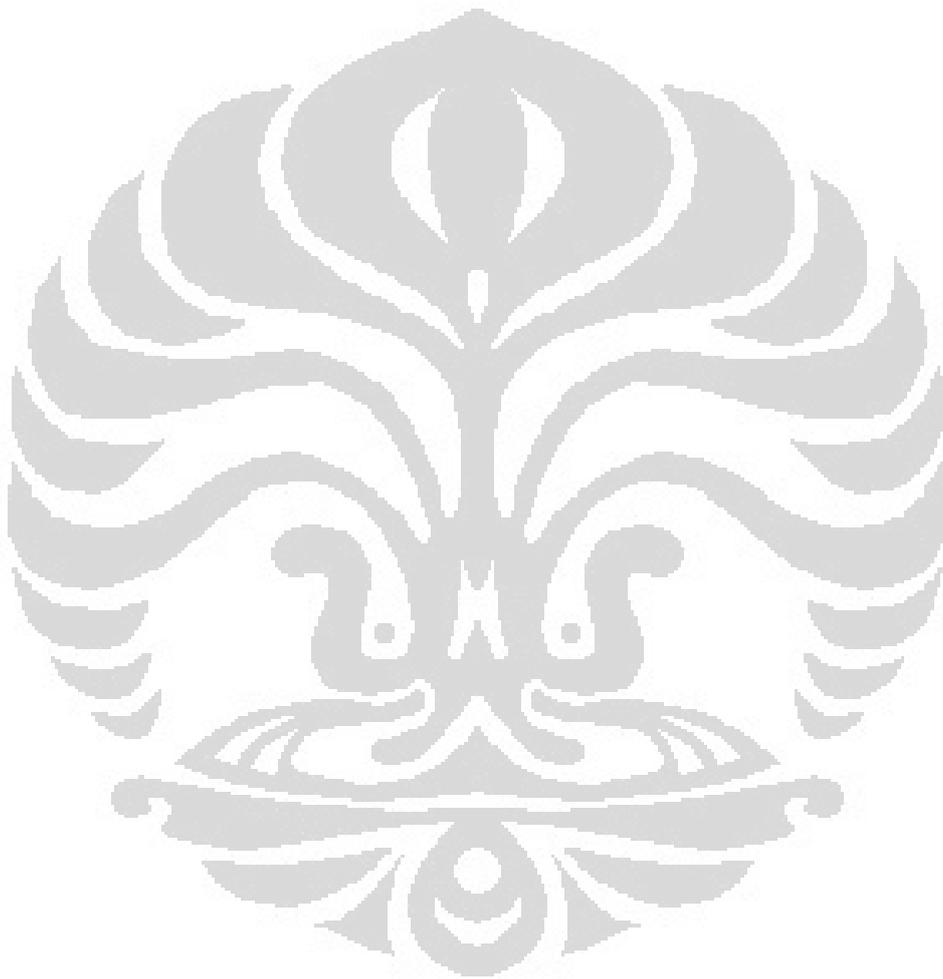
5.2. SARAN

1. Membuat tambahan katup pada jalur pipa pengaliran gas agar memudahkan dalam melakukan kalibrasi aliran dan bisa dikontrol dari luar mesin *furnace*
2. Membuat setingan pendinginan di mesin *furnace* setelah proses oksidasi supaya proses aktivasi dapat dilakukan dengan temperatur yang sama yaitu tempertur lingkungan juga setelah proses aktivasi agar hasil proses bisa diambil sesuai dengan waktu yang diinginkan

DAFTAR REFERENSI

1. Bansal, R.C., & Goyal, M. 2005, *Activated Carbon Adsorption*, Taylor & Francis Group, New York.
2. Marsh, H. & Rodriguez-Reinoso, F. 2006, *Activated Carbon*, Elsevier Ltd, Oxford UK.
3. Suryawan, Bambang, 2004, *Karakteristik Zeolit Indonesia sebagai Adsorben Uap Air*, Disertasi, FT-UI, Depok
4. Teng, Hsisheng, Jui-An Ho, Yung-Fu Hsu, and Chien-To Hsieh, 1996, *Preparation of Activated Carbons from Bituminous Coals with CO₂ Activation. 1. Effects of Oxygen Content in Raw Coals*, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 35 (11), 4043 -4049, American Chemical Society
5. Yang, Ralph. T, 2003, *Adsorbents: Fundamentals and Applications*, John Wiley and Sons Inc, New Jersey.
6. Manocha, Satish. M, 2003, *Porous Carbons*, *Sadhana* volume 28 part 1&2 pp 335-348, India.
7. Zou, Yong, Bu-Xing Han, 2001, *High surface Area Activated Carbon from Chinese Coal*, *Energy & Fuel*, 2001, 15, 1383-1386
8. Illan-Gomez, M.J., A. Garcia-Garcia, C. Salinas-Martinez de Lecea and A. Linares-Solano, 1996, *Activated Carbon from Spanish Coals. 2. Chemical Activation*, *Energy & Fuels*, 1996, 10, 1108-1114
9. Martin, Awaludin. 2008, *Kaji Karakteristik Karbon Aktif Sebagai Adsorben Terhadap Adsorbat Pasangannya*. Depok : Departemen Teknik Mesin FT-UI, Depok
10. Sehat Abdi Saragih (2006), *Tesis Pembuatan dan Karakteristisasi Karbon Aktif dari Batubara Riau Sebagai Adsorben*, Depok : Departemen Teknik Mesin FT-UI, 2006.
11. Chrisman, A. (2008), *Skripsi Preparasi Karbon Aktif Sebagai Adsorbent dari Batubara Sumatera Selatan Dengan Aktivasi CO₂*, Depok : Departemen Teknik Mesin FT-UI, 2008.

12. G. James, Speight, *Handbook of Coal Analysis*.
13. (http://www.worldcoal.org/indonesian_what_is_coal.htm. diakses 10 Juni 2009)



LAMPIRAN

