

# **BAB I**

## **PEMBAHASAN UMUM**

### **1.1. Pendahuluan**

Peningkatan sektor industri Indonesia merupakan hal yang sangat baik bagi bangsa Indonesia. Namun, seiring dengan meningkatnya sektor perindustrian kebutuhan energi di Indonesia juga terus meningkat. Sehingga, bangsa ini dituntut untuk dapat mengantisipasi dan memenuhi kebutuhan energi. Baik secara langsung maupun tidak, hal ini memberikan dampak negatif berupa semakin banyak limbah yang dihasilkan dan dapat membahayakan lingkungan. Salah satu metode yang dapat mengatasi permasalahan limbah adalah metode adsorpsi. Pada metode adsorpsi, komponen penting yang mempengaruhi penyerapan adalah adsorben yang baik. Salah satu yang dapat menjadi adsorben yang baik adalah karbon aktif.

Karbon aktif adalah karbon yang telah diproses sedemikian rupa sehingga memiliki pori-pori terbuka yang dapat menghasilkan daya adsorpsi yang tinggi. Semakin banyak karbon yang dikandung, akan semakin luas permukaan karbon aktif yang dihasilkan dan daya adsorpsi karbon aktif akan semakin baik. Luas permukaan yang disarankan untuk kemampuan adsorpsi yang baik adalah 300 hingga 2000 m<sup>2</sup>/g (Krueger, 2010). Permintaan dunia terhadap karbon aktif cukup besar, yaitu mencapai 1.200.000 ton pada tahun 2010. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut, telah banyak dilakukan produksi karbon aktif. Selama ini

kebanyakan karbon aktif diproduksi dari batu bara, karena mampu menghasilkan permukaan karbon aktif yang luas dan daya adsorpsi yang tinggi. Batu bara yang digunakan sebagai bahan baku dicampur dengan larutan NaOH yang berfungsi sebagai activating agent lalu karbon diaktivasi di bawah aliran gas nitrogen. Proses ini menghasilkan karbon aktif yang memiliki luas permukaan sebesar 854,2 m<sup>2</sup>/gram (Sudibandriyo, 2008). Batu bara sebagai bahan baku karbon aktif memiliki harga yang cukup tinggi, yaitu USD 41-82 per ton (Kementrian ESDM, 2013). Tingginya harga batu bara menyebabkan biaya produksi dan harga jual karbon aktif menjadi tinggi. Untuk itu, dikembangkanlah produksi karbon aktif dari bahan-bahan yang relatif lebih murah harganya. Salah satu alternatif bahan baku adalah limbah industri kelapa sawit.

Menurut data yang dikeluarkan Badan Pusat Statistik pada 2012, produksi kelapa sawit di Indonesia pada tahun 2011 mencapai 22.508.011 ton. Laju produksi kelapa sawit yang tinggi ini mengakibatkan pabrik kelapa sawit menghasilkan banyak limbah, baik dalam bentuk padat maupun cair. Pada 2011, jumlah limbah tandan kosong kelapa sawit mencapai 5.176.842,53 ton (Indriyati, 2012). Hasil uji analisis ultimate biomassa menunjukkan bahwa tandan kosong kelapa sawit mengandung 48,79% karbon. Karena memiliki kandungan karbon yang cukup tinggi, sebenarnya tandan kelapa sawit merupakan bahan yang potensial apabila ingin dimanfaatkan sebagai bahan baku karbon aktif. Pembuatan karbon aktif berbahan baku tandan kosong kelapa sawit telah dilakukan dengan menggunakan activating agent NaOH di bawah aliran nitrogen murni selama 15 menit. Hasil yang diperoleh adalah karbon aktif yang memiliki luas permukaan

807,54 m<sup>2</sup>/gram (Foo dan Hameed, 2010). Hasil ini menunjukkan bahwa dapat diperoleh karbon aktif yang memiliki kualitas setara karbon aktif berbahan baku batu bara dengan menggunakan tandan kelapa sawit. Tujuan dari penelitian ini adalah menghasilkan karbon aktif dengan luas permukaan yang baik dengan bahan baku tandan kosong kelapa sawit melalui variasi activating agent dan variasi waktu aktivasi yang digunakan. Dari keberhasilan penelitian terdahulu dengan menggunakan bahan baku tandan kosong kelapa sawit dan activating agent NaOH, diharapkan penelitian ini akan menghasilkan karbon aktif dengan luas permukaan yang lebih besar dari 807,54 m<sup>2</sup>/g. Activating agent yang akan digunakan di dalam penelitian ini adalah K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, ZnCl<sub>2</sub>, NaOH, HNO<sub>3</sub>, dan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> sedangkan waktu aktivasi yang digunakan divariasikan 60 dan 120 menit. Aktivasi dilakukan pada suhu 700°C di bawah aliran gas N<sub>2</sub> dengan laju alir 300 ml/menit.

## **1.2. Sejarah dan Perkembangan**

Indonesia telah lama diketahui sebagai produsen arang ekspor di pasar dunia, tercatat Indonesia termasuk nomor satu dari lima negara pengeksport arang terbesar di dunia yaitu China, Malaysia, Afrika Selatan, dan Argentina. Pada tahun 2000, Indonesia mengeksport arang sebanyak 29.867.000 kg yang terdiri dari arang tempurung kelapa (15,96%), arang mangrove (22,31%), dan arang kayu (61,73%). Beberapa negara tujuan ekspor karbon aktif antara lain negara-negara Timur Tengah, Jepang, Australia, Amerika Serikat, dan negara-negara Eropa lainnya.

Selama ini, pengembangan pembuatan karbon aktif sudah dilakukan

menggunakan batu bara (*bituminus coal*) dan material organik dengan kandungan karbon yang tinggi, seperti tempurung kelapa, serat kayu, dan limbah agrikultur seperti bambu (Mui *et al.*, 2010). Salah satu material yang dapat digunakan adalah serbuk gergaji. Serbuk gergaji merupakan bahan yang masih mengikat energi yang melimpah dan dapat dimanfaatkan sebagai bahan pembuatan karbon aktif.

Berdasar banyaknya manfaat dari karbon aktif tersebut, maka dapat dipastikan kebutuhan karbon aktif di tahun-tahun mendatang cenderung meningkat, namun sebagian masih bergantung dari impor luar negeri. Oleh karena itu, untuk memenuhi peningkatan kebutuhan karbon aktif, perlu adanya pendirian pabrik karbon aktif berbahan baku serbuk gergaji. Di Indonesia, terutama di daerah penghasil kayu gergajian, limbah serbuk gergaji terdapat dalam jumlah besar. Nilai ekonomi limbah serbuk gergaji dapat ditingkatkan dengan memanfaatkannya sebagai bahan baku pembuatan karbon aktif. Pendirian pabrik karbon aktif dengan bahan baku serbuk gergaji diharapkan dapat memperkecil tingkat impor negara Indonesia terhadap negara lain dalam bidang industri.

Selain hal di atas, sejak tahun 2003, Indonesia sudah masuk kawasan AFTA (*ASEAN Free Trade Area*), sehingga tidak ada lagi proteksi tarif atau bea masuk dari berbagai barang dan jasa yang melintasi batas hukum negara anggota AFTA. Hal ini berarti produk lokal kita mempunyai pangsa pasar yang lebih besar dan dapat menarik investor langsung. Oleh karena itu, pendirian pabrik karbon aktif sangatlah tepat, karena :

1. Mencukupi kebutuhan karbon aktif dalam negeri yang terus meningkat.
2. Memanfaatkan limbah industri penggergajian kayu

agar bernilai ekonomi tinggi.

3. Ikut serta dalam kerjasama dengan negara lain melalui AFTA.
4. Membuka lapangan kerja baru di lingkungan industri sehingga dapat mengurangi pengangguran.
5. Melaksanakan kebijakan pemerintah dalam memasuki era industrialisasi.

### **1.3. Proses Pembuatan Karbon Aktif**

Pembuatan karbon aktif dari biomassa saat ini yaitu proses Karbonisasi.

Secara umum, pembuatan karbon aktif bermutu tinggi berlangsung melalui dua tahapan, yaitu tahap karbonisasi dan aktivasi. Apabila proses pembuatan tidak dilakukan sesuai tahapan, maka mutu karbon yang dihasilkan akan rendah bahkan materialnya dapat habis terbakar sehingga *yield* produk sangat kecil.

#### **1.3.1. Proses Karbonisasi**

Karbonisasi adalah dekomposisi secara kimia bahan organik dengan pemanasan. Selama proses karbonisasi, elemen selain non-karbon dihilangkan dari *precursor* (material awal). Pada proses ini, material akan mengalami pemecahan. Kristal grafit adalah atom-atom dalam karbon yang berkelompok dan tersusun secara formasi *chrystallographic* yang tidak beraturan, sehingga terdapat celah diantaranya. Karbonisasi melalui dekomposisi *thermal* mampu mengeliminasi material selain non-karbon, dan menghasilkan serta membentuk pori-pori awal karbon. Proses karbonisasi menggunakan suhu sekitar 450°C, proses ini secara kontinyu dan membutuhkan sedikit oksigen. Mutu dan *yield* hasil

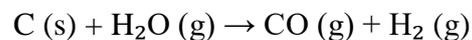
karbonisasi ditentukan oleh laju pemanasan, temperatur akhir dan waktu pemanasan (Derbyshieer *et al.*, 1995).

### 1.3.2. Proses Aktifasi

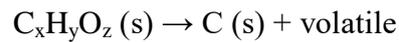
Proses aktifasi bertujuan untuk memperluas pori-pori karbon yang terbentuk selama proses karbonisasi serta menghilangkan sisa zat yang menutup permukaan karbon. Pada tahap ini, adanya pemanasan menyebabkan terjadi penguapan (*volatilisasi*) material organik sehingga akan menyisakan karbonnya saja. Pada prinsipnya, proses pengaktifan karbon dapat dilakukan dengan dua macam metode yaitu aktifasi secara fisika dan aktifasi secara kimia (Manocha, 2003) :

#### 1. Aktifasi secara fisika

Aktifasi secara fisika menggunakan proses pemanasan pada suhu 500°C – 900°C, dengan proses *thermal* (penambahan *steam*, CO<sub>2</sub>, atau udara) secara terkontrol. Proses aktifasi karbon dapat dilakukan pada *rotary kiln*, *fluidized bed*, *shaft furnace* atau *multiheart furnace* dengan proses pemanasan. Bahan konstruksi reaktor didesain untuk menahan kondisi suhu tinggi. Reaksi *thermal* pada proses karbonisasi mengikuti persamaan reaksi :



Reaksi karbon dengan *steam* (H<sub>2</sub>O) merupakan reaksi endotermis dan reaksinya mudah untuk dikontrol. Reaksi pembentukan karbon (C) pada proses karbonisasi sebagai berikut :



(material organik)

(gas-gas yang mudah menguap)

Pengaktifan pada temperatur rendah membentuk mesopori dan makropori. Makropori maupun mesopori tidak mempunyai kemampuan *adsorpsi*, sehingga dapat ditingkatkan dengan pengaktifan pada suhu yang lebih tinggi untuk menghasilkan mikropori. Pengaktifan arang atau karbon tanpa pengembangan struktur pori-pori hanya mengakibatkan penurunan ukuran karbon. Pengaktifan dihubungkan dengan kehilangan karbon karena penurunan berat arang. Kerugian berat meningkat secara linier dengan temperatur pengaktifan dan waktu (Manocha, 2003).

Pada proses aktivasi tidak diharapkan adanya oksigen berlebih, karena dapat menyebabkan pembakaran yang berlebihan. Hal ini menyebabkan reaksi sukar untuk dikendalikan, produk tidak seragam karena panas tidak merata. Reaksi ini juga menyebabkan kehilangan berat berlebih serta pembakaran pada permukaan.

Pada proses *physical activation*, pengaktifan karbon dilakukan dengan menggunakan *steam* pada suhu tinggi. Karbon yang telah dihasilkan setelah proses karbonisasi, kemudian dikontakkan dengan aliran *steam*. *Steam* akan bereaksi perlahan dengan karbon, sehingga mengakibatkan luas permukaan karbon semakin luas.

## 2. Aktifasi secara kimia

Proses *chemical activation* dilakukan dengan menggunakan bahan kimia. Aktifator yang digunakan adalah bahan-bahan kimia seperti hidroksida, logam alkali, garam-garam karbonat, klorida, sulfat, fosfat dari logam alkali tanah dan khususnya  $ZnCl_2$ , asam-asam anorganik seperti  $H_2SO_4$  dan  $H_3PO_4$ . Karbon dicampurkan dengan bahan pengaktif kemudian campuran tersebut dipanaskan pada temperatur  $500^\circ C - 900^\circ C$  dalam sebuah reaktor.

Unsur-unsur mineral aktifator masuk diantara plat heksagon dari kristalit dan memisahkan permukaan yang mula-mula tertutup. Saat pemanasan dilakukan, senyawa kontaminan yang berada dalam pori menjadi lebih mudah terlepas yang akan mengakibatkan luas permukaan yang aktif bertambah besar dan meningkatkan daya serap karbon aktif.

Produk hasil kemudian dicuci untuk menghilangkan zat kimia, cairan pencuci ini dapat di-*recycle* kembali. Menurut Ullmann (2006), proses aktivasi kimia antara lain :

### 1. Proses Seng Klorida (*Zinc Chloride*)

Dalam proses ini 0,4 – 5,0 bagian dari *zinc chloride* dalam bentuk cairan dicampur dengan satu bagian bahan yang lain. Campuran ini kemudian dikeringkan dan dipanaskan pada suhu  $600^\circ C - 700^\circ C$  pada *rotary kiln*. Produk kemudian dicuci dengan asam dan air, kemudian garam seng dapat di-*recovery*. Meskipun proses ini efisien dan sederhana, tetapi faktor lingkungan berpengaruh pada proses ini sebab terkontaminasi komponen seng.

## 2. Proses Asam Phospat (*Phosporic Acid*)

Proses ini sudah dilakukan oleh industri seperti Ceca (Perancis), Hooker (Mexico), dan Norit (Amerika). *Raw material* dicampur dengan larutan asam phospat, membentuk *pulp*, kemudian dikeringkan dan dipanaskan pada suhu 400°C – 600°C di dalam *furnace*. Asam phospat diekstrak atau dinetralisasi untuk mendapatkannya kembali. Setelah dikeringkan, maka akan diperoleh hasil karbon aktif dengan pori-pori yang lebih baik dari pada proses seng klorida.

### a. Sifat Fisika dan kimia

Dalam proses ini bahan baku utama yang digunakan, yaitu Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) dengan produk utama karbon aktif. Berikut ini merupakan sifat fisika dan kimia dari bahan baku dan produk tersebut.

### a. Bahan Baku

#### 1. Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS)

Diameter Serat	: 14,34 mm – 15,01 mm	
Panjang Serat	: 0,46 mm – 1,81 mm	
Kadar serat	: 52,47 % – 72,67 %	
Densitas Tumpukan	: 177,98 kg/m <sup>3</sup>	(Mulia, 2007)

**Tabel 1.1.** Sifat Kimia TKKS

<b>Analisa proksimat</b>	
Kadar Air (BB)	55,60 %
Kadar Air (BK)	5,18 %
Kadar Abu	3,45 %
<i>Volatile Matter</i>	82,58 %

<i>Fixed Carbon</i>	8,97 %
<b>Analisa Ultimat</b>	
Unsur C	46,65 %
Unsur H	6,45 %
Unsur N	1,21 %
Unsur O	45,66 %
Unsur S	0,035 %

Sumber : Asari, 2015

## b. Bahan Pembantu

### 1) Natrium Hidroksida

Rumus molekul	: NaOH
Berat molekul	: 39,9 gr/mol
Fase	: Zat padat putih
Titik lebur	: 318°C
Titik didih	: 1390°C
Densitas	: 3,21 gr/cm <sup>3</sup>
Warna	: Putih
Bau	: Berbau menyengat
Kelarutan	: Larut dalam air, tidak larut dalam dietil eter dan pelarut non polar lainnya
Kapasitas panas°C	: 1,25 J/kmol

(Pirdan Ramdani,2017)

## **b. Produk Utama**

### **1. Karbon**

Karbon aktif sebagai produk akhir dalam rancangan pabrik mengikuti karakteristik dari SNI 06-3730-95 yang dapat diuraikan sebagai berikut :

- Sifat fisis : Bentuk serbuk warna hitam  
Berwarna hitam  
Bobot jenis curah 0,3 g/ml – 0,35 g/ml  
Lolos *mesh* min. 90
- Sifat kimia : Kadar zat yang mudah menguap maks. 25 %  
Kadar air maks. 15 %  
Kadar abu maks. 10 %  
Daya serap terhadap I<sub>2</sub> min. 750 %  
Karbon aktif murni min. 65 %  
Daya serap terhadap biru metilen (ml/g) min. 120

Kegunaan karbon aktif dalam industri dapat berupa pemurnian gas, katalisator, sebagai penyaring dan penghilang bau pada industri obat dan makanan, penyaring air, penghilang bau dalam industri pengolahan air, sebagai pelarut yang dapat digunakan kembali, dan penyimpan energi (*gas adsorptive storage*) (Liou, 2010). Karbon aktif adalah adsorben yang multifungsi, hampir 60% produksi karbon aktif di dunia ini dimanfaatkan oleh industri-industri gula dan pembersihan minyak dan lemak, kimia dan farmasi.

### c. Produk Samping

#### 1.4.3.1. Abu

Berat Molekul	: 44,01 kg/kmol	
Wujud	: Serbuk	
Warna	: Abu-abu kehitaman	
Titik lebur	: 1300°C	
Densitas (1 atm)	: 2.0 – 2.5 g/cm <sup>3</sup>	( Perry, 2008)

#### 1.4.3.2. Karbon Monoksida

Rumus Molekul	: CO	
Berat Molekul	: 28,01 kg/kmol	
Wujud	: Gas	
Warna	: Tidak berwarna	
Titik Didih (1 atm)	: -191,5 °C	
Titik Leleh (1 atm)	: -205 °C	
Densitas (1 atm)	: 1,14 gr/cm <sup>3</sup>	( Perry, 2008)