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^2/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!/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 dan limbah sabut kelapa sawit di perkirakan sebanyak 846.981 ton (Indriyati, 2012). Hasil uji analisis ultimate biomassa menunjukkan bahwa sabut kelapa sawit mengandung 43,21% karbon. Karena memiliki kandungan karbon yang cukup tinggi, sebenarnya sabut kelapa sawit merupakan bahan yang potensial apabila ingin dimanfaatkan sebagai bahan baku karbon aktif.

Pembuatan karbon aktif berbahan baku sabut kelapa sawit telah dilakukan dengan menggunakan bahan pengaktif NH_4HCO_3 dan $(NH_4)_2CO_3$ dosis rendah. Hasil yang diperoleh adalah karbon aktif yang memiliki luas permukaan 510,65

m^2/gram (Pari dan Ilah, 2001). Hasil ini menunjukkan bahwa dapat diperoleh karbon aktif yang memiliki kualitas setara karbon aktif berbahan baku batu bara dengan menggunakan sabut kelapa sawit. Tujuan dari penelitian ini adalah menghasilkan karbon aktif dengan luas permukaan yang baik dengan bahan baku sabut kelapa sawit melalui variasi activating agent dan variasi waktu aktivasi yang digunakan. Dari keberhasilan penelitian terdahulu dengan menggunakan bahan baku sabut kelapa sawit dan bahan pengaktif NH_4HCO_3 dan $(NH_4)_2CO_3$ dosis rendah, diharapkan penelitian ini akan menghasilkan karbon aktif dengan luas permukaan yang lebih besar dari 510,65 m^2/g.

1.2. Sejarah dan Perkembangan

Karbon aktif telah dikenal sebelum perang dunia I. Pertama kali pada tahun 1873 digunakan untuk absorbsi gas. Pada permulaan abad ini karbon aktif telah digunakan terutama untuk penjernihan dari produk–produk kimia, obat-obatan dan industri makanan. Pada waktu yang sama karbon aktif juga digunakan dalam penjernihan air minum. Dalam tahun–tahun belakangan ini kegunaan karbon aktif semakin berkembang untuk mengatasi masalah polusi lingkungan, penggunaannya dengan gas seperti untuk memindahkan *organik vapor* dan juga untuk *recovery solvent* khususnya di dunia industri, penggunaan karbon aktif telah banyak digunakan dalam dekolorisasi (penghilangan) larutan berwarna dan juga dalam pemurnian gula. (Agustin, 1986).

Indonesia telah lama diketahui sebagai produsen arang ekspor di pasar dunia, tercatat Indonesia termasuk nomor satu dari lima negara pengekspor arang terbesar di dunia yaitu China, Malaysia, Afrika Selatan, dan Argentina. Pada

tahun 2000, Indonesia mengekspor 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.

Menurut Beantonia dan Costa (2008), perkembangan industri di indonesia dalam penggunaan karbon aktif sudah cukup banyak digunakan di dunia industri dalam maupun luar negeri baik di sektor pangan maupun non pangan.

Penggunaan dalam industri pangan :

1. Pemurnian minyak

Bahan pemucat yang paling baik untuk menghilangkan warna minyak adalah arang aktif. Selama proses pemucatan selain menyerap warna, arang aktif juga akan menyerap gas dan peroksida yang merupakan kerusakan oksidatif pada minyak.

2. Pemurnian gula

Selain untuk menghilang zat warna, karbon aktif juga dapat menyerap senyawa nitrogen sehingga proses penyaringan menjadi lebih sempurna. Busa yang timbul proses penguapan akan berkurang, serta akan mempercepat proses kristalisasi.

3. Penjernihan air

Pemakaian klorin sebagai desinfektan pada penjernihan air akan menimbulkan bau dan rasa yang tidak enak yang ditimbulkan oleh reaksi antara

klorin dengan mikroorganisme. Untuk mencegah hal ini, maka pada tahapan proses yang terakhir dapat dipakai karbon aktif.

4. Bahan makanan lain

Arang aktif digunakan dalam bahan makanan yang tidak dapat dimurnikan dengan pengkristalan dan destilasi bahan kimia. Arang aktif memperbaiki warna dan rasa dari makanan.

Penggunaan dalam industri non pangan :

1. Industri Kimia dan Farmasi

Arang aktif dipergunakan untuk menurunkan bahan–bahan kimia seperti asam sitrat, asam gallat, asam glutamat dll.

2. Pemurnian Pelarut

Pelarut yang sudah digunakan dalam suatu proses akan terkarbonisasi. Bahan asing dalam pelarut dapat diserap oleh arang aktif, misalnya bahan asing dalam minyak goreng dan larutan pematangan (*curing*) daging.

3. Memurnikan suatu zat yang dapat diserap

Arang aktif digunakan untuk mendapatkan zat dalam bentuk terurai. Selain itu arang aktif digunakan untuk memurnikan penicillin, vitamin dan hormon.

4. Katalis dan Reaksi

Arang aktif dapat digunakan sebagai katalis, misalnya dalam pembentukan sulfuryl klorida dan klorin.

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 sabut kelapa sawit. Sabut kelapa sawit merupakan bahan yang masih mengikat energi yang melimpah dan dapat dimanfaatkan sebagai bahan pembuatan karbon aktif.

Berdasarkan 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 sabut kelapa sawit. Di Indonesia, terutama di daerah penghasil kelapa sawit, limbah sabut kelapa sawit terdapat dalam jumlah besar. Nilai ekonomi limbah sabut kelapa sawit dapat ditingkatkan dengan memanfaatkannya sebagai bahan baku pembuatan karbon aktif. Pendirian pabrik karbon aktif dengan bahan baku sabut kelapa sawit 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 sawit serat kelapa sawit 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

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. Dehidrasi

Dehidrasi adalah proses pengurangan/penghilangan air yang terkandung dalam bahan dasar pembuat karbon aktif, hal ini bertujuan untuk menyempurnakan proses karbonisasi yang biasanya diproses dengan cara menjemur bahan baku tersebut dibawah sinar matahari langsung atau mengeringkannya dalam oven sampai diperoleh berat yang diinginkan. (Dewi, Nurrahman dan Permana, 2009).

1.3.2. Proses Karbonisasi

Proses karbonisasi adalah proses pembakaran bahan bahan organik yang ada didalam bahan dasar pembuat karbon. Proses ini akan memicu terjadinya dekomposisi material organik dalam bahan baku dan akan mengeluarkan zat-zat pengotor dalam bahan baku. Unsur-unsur non karbon sebagian besar akan hilang pada tahapan tersebut. Pengeluaran unsur yang mudah menguap ini menyebabkan

terbentuknya pori-pori atau mulai terbukanya pori. Seiring dengan proses ini maka akan terjadi perubahan struktur pori (Shofa, 2012).

Penguraian bahan-bahan organik yang terkandung di dalam sabut kelapa sawit ini terjadi pada proses karbonisasi. Proses ini mempunyai beberapa tahapan proses. Pada awalnya, terjadi proses penguapan air pada suhu 100-120°C, kemudian proses karbonisasi pada rentang temperatur 200-500°C akan menghasilkan CO, CO_2 dan asam asetat (Tihay dan Gillard, 2010). Dekomposisi menghasilkan tar, metanol, dan hasil samping lainnya terjadi pada suhu 275°C. Sementara itu, temperatur 350ºC - 600ºC terjadi pembentukan karbon. Selulosa akan mengalami dekomposisi dan menghasilkan karbon pada suhu 275^oC – 350^oC, hemiselulosa mengalami dekomposisi dan menghasilkan karbon pada suhu 150^oC – 350^oC, dan lignin terdekomposisi menghasilkan karbon pada suhu 250^oC – 500^oC (Basu et al., 2013). Menurut Ranzi et al., (2008) reaksi yang terjadi pada proses karbonisasi yaitu:

a. Reaksi Dekomposisi Selulosa

$$2\ C_6H_{10}O_5 \longrightarrow 4\ C + CH_3COOH + CO_2 + H_2O + CH_3OH + 5H_2 + 4CO$$

b. Reaksi Dekomposisi Lignin

$$C_{15}H_{14}O_4 \longrightarrow 6\ C + C_6H_5OH + CO + CO_2 + CH_4 + 2\ H_2$$

c. Reaksi Dekomposisi Hemiselulosa

$$2C_5H_8O_4 \longrightarrow 4\ C + 2\ C_2H_5OH + CH_3OH + 2CO_2 + CO + 2\ H_2 + H_2O$$

1.3.3. Proses Aktivasi

Pada proses aktivasi terjadi pelepasan hidrokarbon, tar, dan senyawa organik yang melekat pada karbon tersebut. Aktivasi karbon aktif dapat dilakukan

melalui 2 cara, yakni aktivasi secara kimia dan aktivasi secara fisika.

1. Aktivasi kimia dapat diartikan sebagai proses pemutusan rantai karbon pada senyawa-senyawa organik dengan bantuan bahan-bahan kimia. Pada proses aktivasi kimia ini sangat dimungkinakan diperoleh luas permukaan yang sangat tinggi, hal ini adalah salah satu keunggulan aktivasi kimia (Anggraeni dan Yuliana, 2015).

Bahan dasar yang mengandung lignoselulosa umumnya menggunakan aktivasi kimia. Pada proses aktivasi kimia, karbon hasil pembakaran dicampur dengan larutan kimia yang berperan sebagai *activating agent*. Larutan *activating agent* tersebut biasanya berasal dari logam alkali dan alkali tanah serta zat asam seperti KOH, H_2SO_4, $ZnCl_2$, H_3PO_4, dan NaOH (Shofa, 2012).

Setelah proses pencampuran, biasanya dilanjutkan dengan proses pengeringan dan pemanasan. Pada proses ini unsur-unsur mineral aktifator masuk di antara sela sela heksagon dari kristalit dan membuka permukan yang mula- mula tertutup. Pada saat proses pemanasan dilakukan, senyawa kontaminan yang berada dalam pori-pori menjadi lebih muda terlepas. Proses pelepasan ini akan semakin mengaktifkan karbon dengan meningkatkan daya serap karbon aktif dan memperlebar luas permukaan (Dewi, Nurrahman dan Permana, 2009).

Salah satu kerugian aktivasi kimia adalah pada saat penggunaan bahan bahan mineral. Kerugian ini disebabkan karena sulitnya proses penghilangan bahan-bahan mineral tersebut pada saat pencucian. Keuntungan menggunakan bahan mineral sebagai *activating agent* adalah pada waktu aktivasi yang relatif

singkat, hasil akhir karbon yang lebih tinggi, dan meningkatkan daya adsorbsi (Anggraeni dan Yuliana, 2015).

2. Aktivasi fisika dapat didefinisikan sebagai proses pemutusan rantai karbon dari senyawa organik dengan bantuan uap, panas dan CO_2. Proses aktivasi dengan cara fisika dapat dilaksanakan dengan menggunakan gas nitrogen, gas oksigen, gas karbon dioksida, dan air. Gas-gas tersebut berguna untuk memperbesar struktur rongga yang terdapat pada arang sehingga dapat meningkatkan luas permukaan arang/karbon. Sedangkan panas akan berfungsi untuk menghilangkan zat zat pengotor yang mudah menguap dan membuang hidrokarbon-hidrokarbon pengotor pada arang (Anggraeni dan Yuliana, 2015).

Pada aktivasi dengan cara aktivasi fisika, diawali dengan memanaskan karbon pada suhu sekitar 800 – 1000°C kemudian karbopn tersebut dialiri oleh gas pengoksidasi seperti oksigen, CO_2, atau uap air. Gas gas tersebut akan bereaksi dengan karbon dan melepaskan karbon monoksida dan hidrogen. Pada waktu tersebut, senyawa- senyawa produk samping akan terlepas sehingga akan memperlebar pori dan meningkatkan daya adsorpsi. Gasifikasi karbon dengan uap air dan CO_2 terjadi melalui reaksi bersifat endotermis seperti pada persamaan (4) dan (5) (Marsh, 2006). Untuk aktivasi fisika dengan oksigen melalui reaksi bersifat eksotermis disajikan pada persamaan (6).

$C + H_2O \rightarrow CO + H_2$ (117 kJ/ mol) …(4)

$C + CO_2 \rightarrow 2CO$ (159 kJ/mol) …(5)

$C + O_2 \rightarrow CO_2$ (-406 kJ/mol) …(6)

Pada metode aktivasi fisika, massa karbon juga mengalami pengurangan karena adanya perubahan struktur karbon. Salah satu kekurangan proses fisika ini adalah pada saat terjadi kelebihan oksidasi eksternal sewaktu gas pengoksidasi berdifusi pada karbon sehingga terjadi pengurangan ukuran adsorben (Shofa, 2012). Shofa (2012) juga menyatakan bahwa proses tersebut sulit dikontrol sehingga perlu di waspadai.

1.4. Sifat Fisika dan kimia

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

1.4.1. Bahan Baku

1.4.1.1. Sabut Kelapa Sawit

Sifat Fisika:

- Berwarna coklat kekuningan
- Memiliki serat yang kasar
- Tidak berbau

Sifat Kimia:

- Protein kasar : 3,60 %
- Lemak : 5,48 %
- Hemiselulosa : 34,78 %
- Selulosa : 28,28 %
- Lignin : 27,86 % (Irawadi, 1991)

Selulosa murni mengandung 44,4 % C, 6,2 % H dan 49,3 % O dengan rumus empiris yaitu ($C_6H_{10}O_5$)

1.4.1.2. Asam Klorida

Sifat Fisika:

- Rumus molekul : HCl
- Berat molekul : 36,47 gr/mol
- Fase : Cairan
- Titik lebur : -25,5°C (1 atm)
- Titik didih : 50,5^{o}C (1 atm)
- Densitas : 1,19 gr/ml
- Warna : Tidak berwarna
- Bau : Berbau tajam

Sifat kimia:

- Mudah menguap
- Merupakan asam kuat
- Mudah larut dalam air, alkohol, eter dan benzene
- Beracun jika dihirup
- Korosif (Perry, 1997)

1.4.1.3. Air

Sifat Fisika :

- Rumus molekul : H_2O
- Berat molekul : 18,016 gr/grmol
- Densitas : 0,995 gr/cm^3
- Titik beku : 0^oC
- Titik didih : 100^oC
- Indeks bias : 1,33
- Viskositas : 0,01002 poise
- ΔH_{25^oC} : -57,7979 kcal/mol dalam wujud gas
- ΔH_{25^oC} : -68,3174 kcal/mol dalam wujud cair
- Tidak beracun dan berwarna
- Tidak berbau dan berasa

Sifat kimia :

- Bentuk molekul padatnya hexagonal
- Bersifat polar
- Pelarut yang baik bagi senyawa organik
- Merupakan elektrolit lemah
- Memiliki ikatan hidrogen (Perry, 1997)

1.4.2. Produk Utama

1.4.2.1. Karbon Aktif

Karbon aktif sebagai produk akhir dalam rancangan pabrik mengikuti karakteristik dari SNI 06-3730-1995 yang dapat diuraikan sebagai berikut :

Sifat fisika :

- Bentuk serbuk/powder
- Berwarna hitam
- Luas permukaan berkisar antara 1200-1300 m^2/g
- Ukurannya 100 mesh
- Bobot jenis curah 0,3 g/ml – 0,35 g/ml
- Densitas powder 400-700 kg/m^3

Sifat kimia :

- Kadar zat yang mudah menguap maks. 25 %
- Kadar air maks. 15 %
- Kadar abu maks. 10 %
- Daya serap terhadap I_2 min. 750 %
- Karbon aktif murni min. 65 %
- Daya serap terhadap biru metilen min. 120 (ml/g)

(Sumber: Badan standarisasi nasional (BSN), 1995)

1.4.3. Produk Samping

1.4.3.1. Abu

Berat Molekul : 44,01 kg/kmol

Wujud	: Serbuk	
Warna	: Abu-abu kehitaman	
Titik lebur	: 1300^{o}C	
Densitas (1 atm)	: 2.0 – 2.5 g/cm^{3}	(Perry, 2008)

1.4.3.4. Karbon Monoksida

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