

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Cangkang Kelapa Sawit

Kelapa sawit merupakan salah satu komoditas andalan Indonesia yang perkembangannya sangat pesat. Dalam industri pengolahan minyak sawit atau *Crude Palm Oil* (CPO) akan diperoleh limbah industri. Limbah ini digolongkan menjadi limbah padat, cair, dan gas. Salah satu jenis limbah padatnya yaitu cangkang kelapa sawit. Cangkang kelapa sawit merupakan salah satu limbah yang jumlahnya mencapai 60% dari produksi minyak inti. Limbah cangkang kelapa sawit berwarna hitam keabuan, bentuk tidak beraturan, dan memiliki kekerasan cukup tinggi (Purwanto, D. 2011). Cangkang kelapa sawit dapat dimanfaatkan sebagai karbon aktif. Karbon aktif dapat dibuat dengan melalui proses karbonisasi pada suhu 550⁰C selama kurang lebih tiga jam. Karakteristik karbon aktif yang dihasilkan melalui proses tersebut memenuhi SII, kecuali kadar abu. Tingkat keaktifan karbon cukup tinggi. Hal ini terlihat dari daya serap iodnya sebesar 28,9% (Andriati, 2003).



Gambar 1. Cangkang Kelapa Sawit (PT SMS, 2014)

Cangkang sawit mengandung selulosa sebesar 45% dan hemiselulosa sebesar 26% yang baik untuk dimanfaatkan sebagai arang aktif (Rasmawan, 2009). Menurut Pope (1999), bahan organik yang mengandung lignin,

hemiselulosa, dan selulosa dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan karbon aktif karena sangat efektif mengadsorpsi limbah cair. Selain itu lignin dan selulosa sebagian besar tersusun dari unsur karbon yang pada umumnya dapat dijadikan karbon. Cangkang sawit termasuk bahan berlignoselulosa berkadar karbon tinggi dan memiliki massa jenis lebih daripada kayu sebesar 1,4 g/ml. Dimana semakin besar massa jenis bahan baku, daya serap arang aktif yang dihasilkan akan semakin besar sehingga baik untuk dijadikan arang aktif (Nurmala dan Hartoyo, 1990).

Tabel 1. Karakteristik Cangkang Kelapa Sawit

No	Parameter	Hasil (%)
1	Kadar air	7,8
2	Kadar abu	2,2
3	Kadar yang menguap	69,5
4	Karbon aktif murni	20,5

Sumber : Kim dkk, 1996

2.2 Karbon Aktif

Karbon aktif adalah suatu bahan yang berupa karbon amorf yang mempunyai luas permukaan yang sangat besar, yaitu 200 sampai 200 m²/g. Karbon aktif merupakan salah satu adsorben yang paling sering digunakan pada proses adsorpsi. Hal ini disebabkan karena karbon aktif mempunyai daya adsorpsi dan luas permukaan yang lebih baik dibandingkan adsorben lainnya. Luas permukaan yang besar ini disebabkan karena mempunyai struktur pori-pori. Pori-pori inilah yang menyebabkan karbon aktif mempunyai kemampuan untuk menyerap (Sudibandriyo, 2003).

2.2.1 Jenis-jenis Karbon aktif

Berdasarkan bentuknya, karbon aktif dapat dibedakan menjadi tiga golongan, yaitu (Sukir, 2008):

1. Bentuk serbuk. Karbon aktif berbentuk serbuk dengan ukuran lebih kecil dari 0,18 mm (80#). Terutama digunakan dalam aplikasi fasa cair dan gas. Digunakan pada industri pengolahan air minum, industri farmasi, terutama untuk pemurnian monosodium glutamat, bahan tambahan makanan, penghilang warna asam furan, pengolahan pemurnian jus buah, penghalus gula, pemurnian asam sitrat, asam tartarik, pemurnian glukosa dan pengolahan zat pewarna kadar tinggi.
2. Bentuk *granular*. Karbon aktif bentuk granular/tidak beraturan dengan ukuran 0,2 – 0,5 mm. Jenis ini umumnya digunakan dalam aplikasi fasa cair dan gas. Beberapa aplikasi dari jenis ini digunakan untuk: pemurnian emas, pengolahan air, air limbah dan air tanah, pemurni pelarut dan penghilang bau busuk.
3. Bentuk *pellet*. Karbon aktif berbentuk pellet dengan diameter 0,8-5 mm. Kegunaan utamanya adalah untuk aplikasi fasa gas karena mempunyai tekanan rendah, kekuatan mekanik tinggi dan kadar abu rendah. Digunakan untuk pemurnian udara, kontrol emisi, tromol otomotif, penghilang bau kotoran, dan pengontrol emisi pada gas buang.

Berdasarkan pori-porinya, karbon aktif dapat dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu (Sukir, 2008):

1. Makropori. Merupakan bagian paling luar dari karbon aktif, dengan jari-jari lebih besar dari 50 nm dengan volume pori-pori 0,2-0,5 cm³/gr dan luas permukaan 0,2-2 m²/gr. Makropori dan mesopori memberikan kapasitas adsorpsi karbon aktif dan kegunaannya terbentuk selama aktivasi.
2. Mesopori. Memiliki jari-jari 2-50 nm dengan volume pori-pori mencapai 0,02-0,01 cm³/gr dengan luas permukaan 1-100 m²/gr. Mesopori merupakan cabang setelah makropori dan berfungsi sebagai sarana transportasi.
3. Mikropori. Merupakan pori-pori terkecil dengan jari-jari kurang dari 2 nm dengan volume pori 0,15-0,5 cm³/gr dan luas permukaan mencapai 100-1000 m²/gr.

Berdasarkan fungsinya, karbon aktif dibedakan menjadi dua, yaitu (Setyaningsih, 1995) :

1. Karbon penyerap gas (*gas adsorbent carbon*). Jenis arang ini digunakan untuk menyerap kotoran berupa gas. Pori-pori yang terdapat pada arang jenis ini adalah mikropori yang menyebabkan molekul gas akan mampu melewatinya, tapi molekul dari cairan tidak bisa melewatinya. Karbon jenis ini dapat ditemui pada karbon tempurung kelapa.
2. Karbon fasa cair (*liquid-phase carbon*). Arang jenis ini digunakan untuk menyerap kotoran atau zat yang tidak diinginkan dari cairan atau larutan. Jenis pori-pori dari karbon ini adalah makropori yang memungkinkan molekul besar untuk masuk. Arang jenis ini biasanya berasal dari batubara dan selulosa.

2.2.2 Karakterisasi Karbon Aktif

Karakterisasi karbon aktif adalah sifat dari karbon aktif yang akan mempengaruhi kualitas karbon aktif. Karakterisasi ini dapat berupa :

1. Rendemen. Penetapan rendemen karbon bertujuan untuk mengetahui jumlah karbon yang dihasilkan setelah melalui karbonisasi (Pujiarti dan Gentur, 2005). Karbon aktif yang baik akan memberikan nilai rendemen yang tinggi. Terdapatnya rendemen yang rendah dapat disebabkan oleh masih meningkatnya laju reaksi antara karbon dan gas-gas serta banyaknya jumlah senyawa zat menguap yang terlepas.
2. Kadar air. Kadar air merupakan kandungan air dalam arang dengan kondisi kering udara. Pada saat arang keluar dari tungku pengarangan, kadar air yang terkandung sangat kecil, biasanya kurang dari 1%. Proses penyerapan air dari udara sangat cepat, sehingga dalam waktu singkat kadar air mencapai kadar air keseimbangan dengan udara sekitarnya. Arang yang berkualitas baik yang dipasarkan adalah arang yang mempunyai kadar air 5-10% (Prameidia, 2013). Berdasarkan SII No. 0258-79, karbon aktif yang baik mempunyai kadar air maksimal 10%, sedangkan berdasarkan SNI 06-3730-

1995, karbon aktif yang baik mempunyai kadar air maksimal 4,5% untuk *granular* dan 15% untuk *powder*.

3. Kadar abu. Karbon aktif yang dibuat dari bahan alam tidak hanya mengandung senyawa karbon saja, tetapi juga mengandung beberapa mineral. Sebagian mineral ini hilang selama proses karbonisasi dan aktivasi, sebagian lagi tertinggal dalam karbon aktif (Jankowska *et al*, 1991). Kadar abu merupakan jumlah sisa dari akhir proses pembakaran. Residu tersebut berupa zat-zat mineral yang tidak hilang selama proses pembakaran (Prameidia, 2013). Berdasarkan SII No. 0258-79, karbon aktif yang baik mempunyai kadar abu maksimal 2,5%, sedangkan berdasarkan SNI 06-3730-1995, karbon aktif yang baik mempunyai kadar air maksimal 2,5% untuk *granular* dan 10% untuk *powder*.
4. Kadar zat terbang atau bagian yang hilang pada pemanasan 950°C. Zat mudah menguap adalah zat selain air, yaitu karbon terikat dan abu yang terdapat di dalam arang, yang terdiri atas cairan dan sisa ter yang tidak habis dalam proses karbonisasi. Kadar zat mudah menguap ini tergantung pada proses pengarangan dan temperatur yang diberikan. Apabila proses karbonisasi lama dan temperatur karbonisasi ditingkatkan akan semakin menurunkan persentase kadar zat menguapnya (Prameidia, 2013). Berdasarkan SII No. 0258-79, karbon aktif yang baik mempunyai kadar zat mudah menguap maksimal 15%, sedangkan berdasarkan SNI 06-3730-1995, karbon aktif yang baik mempunyai kadar air maksimal 15% untuk *granular* dan 25% untuk *powder*.
5. Kadar karbon terikat. Kadar karbon terikat adalah fraksi C dalam arang. Kadar karbon terikat dipengaruhi oleh kadar zat mudah menguap dan kadar abu (Prameidia, 2013). Karbon dalam arang adalah zat yang terdapat pada fraksi padat hasil pirolisis selain abu (zat anorganik) dan zat-zat yang masih terdapat pada pori-pori arang (Saputri, 2013). Semakin besar kadar zat mudah menguap dan kadar abu maka akan menurunkan kadar karbon terikat (Prameidia, 2013). Berdasarkan SNI 06-3730-1995, karbon aktif yang baik

mempunyai kadar karbon aktif murni minimal 80% untuk *granular* dan 65% untuk *powder*.

6. Daya serap terhadap I_2 . Adsorpsi iodin telah banyak dilakukan untuk menentukan kapasitas adsorpsi karbon aktif. Angka iodin didefinisikan sebagai jumlah milligram iodin yang diadsorpsi oleh satu gram karbon aktif. Daya serap atau adsorpsi karbon aktif terhadap iodin mengindikasikan kemampuan karbon aktif untuk mengadsorpsi komponen dengan berat molekul rendah (Miranti, 2012). Jika dimisalkan konsentrasi filtrat adalah 0,02 N, pada metode ini diasumsikan bahwa iodin berada dalam kesetimbangan pada konsentrasi 0,02 N, yaitu dengan terbentuknya lapisan tunggal (*monolayer*) pada permukaan karbon aktif dan inilah yang menjadi alasan mengapa terdapat hubungan antara bilangan iodin dengan luas permukaan spesifik karbon aktif (Jankowska et al., 1991). Karbon aktif dengan kemampuan menyerap iodin yang tinggi berarti memiliki luas permukaan yang lebih besar dan juga memiliki struktur mikro dan *mesoporous* yang lebih besar (Miranti, 2012).

Tabel 2. Standar Kualitas Karbon Aktif Msenurut SII. 0258-79

Jenis	Persyaratan
Bagian yang hilang pada pemanasan 950 °C	Maksimum 15%
Air	Maksimum 10%
Abu	Maksimum 2,5%
Bagian yang tidak diperarang	Tidak nyata
Daya serap terhadap I_2	Minimum 20%

Sumber: Sembiring dan Sinaga, 2003

Tabel 3. Standar Kualitas Karbon Aktif Menurut SNI. 06-3730-1995

Jenis	Persyaratan	
	Butiran	Serbuk
Bagian yang hilang pada pemanasan 950 °C, %	Maks. 15%	Maks. 25%
Kadar Air, %	Maks. 4,5%	Maks. 15%
Kadar Abu, %	Maks. 2,5%	Maks. 10%
Bagian tidak mengarang	Tidak nyata	Tidak nyata
Daya serap terhadap I ₂ , mg/g	Min. 750	Min. 750
Karbon aktif murni, %	Min. 80	Min. 65
Daya serap terhadap benzen, %	Min. 25	-
Daya serap terhadap biru metilen, mg/g	Min. 60	Min. 120
Kerapatan jenis curah, g/ml	0,45-0,55	0,3-0,35
Lolos mesh 325, %	-	-
Jarak mesh, %	90	-
Kekerasan, %	80	-

Sumber: SNI. 06-3730-1995

2.2.3 Proses Pembuatan Karbon Aktif

a. Dehidrasi

Dehidrasi bertujuan untuk menghilangkan air yang terkandung di dalam bahan baku. Caranya yaitu dengan menjemur di bawah sinar matahari atau pemanasan di dalam oven sampai diperoleh bobot konstan. Dari proses dehidrasi ini, diperoleh bahan baku yang kering. Hal ini disebabkan oleh kandungan air dalam bahan baku semakin sedikit (Miranti, 2012).

b. Karbonisasi

Karbonisasi atau pengarangan adalah suatu proses pemanasan pada suhu tertentu dari bahan-bahan organik dengan jumlah oksigen sangat terbatas, biasanya dilakukan dalam *furnace*. Proses ini menyebabkan terjadinya penguraian senyawa organik yang menyusun struktur bahan membentuk metanol, uap asam asetat, tar-tar, dan hidrokarbon. Material padat

yang tinggal setelah karbonisasi adalah karbon dalam bentuk arang dengan pori-pori yang sempit (Cheremisinoff, 1993). Pada proses karbonisasi, arang yang dihasilkan mempunyai daya serap rendah karena masih ada senyawa pengotor diantaranya hidrokarbon, air, dan oksida-oksida (Sembiring, 2003). Menurut Astuti (1990) dijelaskan bahwa secara umum proses karbonisasi sempurna adalah pemanasan bahan baku tanpa adanya udara sampai temperatur cukup tinggi untuk mengeringkan dan menguapkan senyawa.

Selama karbonisasi banyak elemen nonkarbon, hidrogen, dan oksigen diubah menjadi gas oleh dekomposisi pirolisis dari bahan mula-mula, dan atom-atom karbon bebas mengelompok dalam formasi kristalografis yang dikenal sebagai kristal grafit. Susunan kristal tidak beraturan, sehingga celah-celah bebas tetap ada diantaranya dan rupanya hasil dari penumpukan dan dekomposisi bahan-bahan tar ini mengotori atau paling sedikit memblokir karbon yang tidak terorganisasi (*amorph*). Bahan karbon yang demikian kemudian dapat diaktivasi secara parsial dengan mengubah produk tar dengan memanaskannya dalam aliran gas *inert*, atau dengan mengekstraksinya menggunakan *solvent* yang sesuai, atau dengan reaksi kimia (Rodriguez, 1993).

Menurut Sudrajat dan Salim (1994), karbonisasi terdiri dari empat tahap, yaitu :

1. Pada suhu 100–120 °C terjadi penguapan air dan sampai suhu 270 °C mulai terjadi peruraian selulosa. Distilat mengandung asam organik dan sedikit metanol. Asam cuka terbentuk pada suhu 200-270 °C.
2. Pada suhu 270-310 °C reaksi eksotermik berlangsung dimana terjadi peruraian selulosa secara intensif menjadi larutan *piroligant*, gas kayu dan sedikit tar. Asam merupakan asam organik dengan titik didih rendah seperti asam cuka dan metanol sedang gas kayu terdiri dari CO dan CO₂.
3. Pada suhu 310-500 °C terjadi peruraian lignin, dihasilkan lebih banyak tar sedangkan larutan *pirolignat* menurun, gas CO₂ menurun sedangkan gas CO, CH₄ dan H₂ meningkat.
4. Pada suhu 500-1000 °C merupakan tahap dari pemurnian arang atau kadar karbon.

Menurut Kurniati (2008), faktor-faktor yang mempengaruhi proses karbonisasi, yaitu :

1. Waktu karbonisasi. Bila waktu karbonisasi diperpanjang maka reaksi pirolisis semakin sempurna sehingga hasil arang semakin turun tetapi cairan dan gas makin meningkat. Waktu karbonisasi berbeda beda tergantung pada jenis-jenis dan jumlah bahan yang diolah. Misalnya : tempurung kelapa 3 jam (BPPI Bogor, 1980), sekam padi kira-kira 2 jam (Joni TL dkk, 1995) dan tempurung kemiri 1 jam (Bardi M dan A Mun'im, 1999).
2. Suhu karbonisasi. Suhu karbonisasi yang berpengaruh terhadap hasil arang karena semakin tinggi suhu, arang yang diperoleh makin berkurang tapi hasil cairan dan gas semakin meningkat. Hal ini disebabkan oleh makin banyaknya zat-zat terurai dan yang teruapkan. Untuk tempurung kemiri suhu karbonisasi 400 °C (Bardi M dan A Mun'im, 1999), dan tempurung kelapa suhu karbonisasi 600 °C (BPPI Bogor, 1980).

c. Aktivasi

Aktivasi adalah perubahan secara fisik dimana luas permukaan dari karbon meningkat dengan tajam dikarenakan terjadinya penghilangan senyawa tar dan senyawa sisa-sisa pengarangan (Shreve, 1997).

Daya serap karbon aktif semakin kuat bersamaan dengan meningkatnya konsentrasi dari aktivator yang ditambahkan. Hal ini memberikan pengaruh yang kuat untuk mengikat senyawa-senyawa tar keluar melewati mikro pori-pori dari karbon aktif sehingga permukaan dari karbon aktif tersebut semakin lebar atau luas yang mengakibatkan semakin besar pula daya serap karbon aktif tersebut (Tutik dan Faizah, 2001).

Metoda aktivasi yang umum digunakan dalam pembuatan arang aktif adalah:

1. Aktivasi kimia, yaitu proses pemutusan rantai karbon dari senyawa organik dengan pemakaian bahan-bahan kimia (Sembiring dan Sinaga, 2003). Pada cara ini, proses aktivasi dilakukan dengan mempergunakan

bahan kimia sebagai *activating agent*. Aktivasi arang ini dilakukan dengan merendam arang ke dalam larutan kimia, misalnya $ZnCl_2$, HNO_3 , KCl , dll. Sehingga bahan kimia akan meresap dan membuka permukaan arang yang semula tertutup oleh deposit tar (Tutik dan Faizah, 2001).

2. Aktivasi termal atau fisika, yaitu proses aktivasi yang melibatkan adanya gas pengoksidasi seperti udara pada temperatur rendah, uap, CO_2 , atau aliran gas pada temperatur tinggi. Proses aktivasi fisika melibatkan gas pengoksidasi seperti pembakaran menggunakan suhu yang rendah dan uap CO_2 atau pengaliran gas pada suhu yang tinggi. Tetapi pada suhu aktivasi yang terlalu tinggi beresiko terjadinya oksidasi lebih lanjut pada karbon sehingga merusak ikatan C-C dalam bidang lempeng heksagonal karbon yang akan menurunkan luas permukaan internal (Diao dkk, 2002).

Faktor-faktor yang mempengaruhi proses aktivasi, yaitu :

1. Waktu perendaman. Perendaman dengan bahan aktivasi ini dimaksudkan untuk menghilangkan atau membatasi pembentukan lignin, karena adanya lignin dapat membentuk senyawa tar. Waktu perendaman untuk bermacam-macam zat tidak sama (Kurniati, 2008). Misalnya sekam padi dengan aktivator $NaCl$ direndam selama 24 jam (Majalah kulit, karet dan plastik, 2003), Sani (2011) melakukan penelitian pembuatan karbon aktif dari tanah gambut dengan aktivator H_2SO_4 didapat waktu aktivasi yang optimum adalah 2,5 jam, Salamah (2008) melakukan penelitian yaitu pembuatan karbon aktif dari kulit buah mahoni dengan aktivator KOH didapat waktu perendaman optimum adalah 4 jam, H_3PO_4 lamanya perendaman sekitar 12-24 jam (Sudrajat dan Salim, 1994).
2. Konsentrasi aktivator. Semakin tinggi konsentrasi larutan kimia aktivasi maka semakin kuat pengaruh larutan tersebut mengikat senyawa-senyawa tar sisa karbonisasi untuk keluar melewati mikro pori-pori dari karbon sehingga permukaan karbon semakin *porous* yang mengakibatkan semakin besar daya adsorpsi karbon aktif tersebut (Kurniati, 2008).
3. Ukuran bahan. Makin kecil ukuran bahan makin cepat perataan keseluruhan

umpan sehingga pirolisis berjalan sempurna. Pada pirolisis tempurung kelapa 2-3 mm (Tutik dan Faizah, 2001).

2.2.4 Kegunaan Karbon Aktif

Kegunaan karbon aktif dalam industri dapat berupa pemurnian gas, katalisator, sebagai penyaring dan penghilangan bau pada industri obat dan makanan, penyaring air, penghilang bau dalam industri pengolahan air, sebagai pelarut yang dapat digunakan kembali, dan penyimpanan energi (*gas adsorptive storage*) (Liou, 2010). Sudrajat dan Salim (1994) mengemukakan bahwa arang aktif dapat memurnikan produk yang dihasilkan industri dan juga berguna untuk mendapatkan kembali zat-zat berharga dari campurannya serta sebagai obat.

Tabel 4. Penggunaan Karbon Aktif dalam Industri

No	Tujuan	Pemakaian
Untuk Gas		
1	Pemurnian gas	Desulfurisasi, menghilangkan gas beracun, bau busuk dan asap
2	Pengolahan LNG	Desulfurisasi dan penyaringan berbagai bahan mentah serta reaksi
3	Katalisator	Katalisator reaksi/pengangkut vinil klorida dan vinil asetat
4	Lain-lain	Menghilangkan bau pada kamar pendingin
Untuk Cairan		
1	Industri obat dan makanan	Menyaring dan menghilangkan warna
2	Minuman ringan dan keras	Menghilangkan warna dan bau
3	Kimia perminyakan	Penyulingan bahan mentah, zat perantara
4	Pembersih air	Menyaring/menghilangkan warna, bau zat pencemar dalam air, sebagai alat pelindung dan penukar resin dalam alat penyulingan air
5	Pembersih air buangan	Mengatur dan membersihkan air buangan dari pencemar, warna, bau, dan logam berat
6	Penambakan udang dan benur	Pemurnian, penghilangan bau dan warna
7	Pelarut yang digunakan kembali	Penarikan kembali berbagai pelarut, sisa methanol, etil asetat, dan lain-lain
Lain-lain		
1	Pengolahan pulp	Pemurnian dan penghilangan bau
2	Pengolahan pupuk	Pemurnian
3	Pengolahan emas	Pemurnian
4	Penyaringan minyak makan dan glukosa	Menghilangkan warna, bau dan rasa tidak enak

Sumber : PDII LIPI, 2004

2.3 Asam Fosfat (H_3PO_4)

Asam fosfat, juga dikenal sebagai asam ortofosfat atau fosfat (V) asam, adalah mineral (anorganik) asam yang memiliki rumus kimia H_3PO_4 . Molekul asam ortofosfat dapat menggabungkan dengan sendiri untuk membentuk berbagai senyawa yang juga disebut sebagai asam fosfat, tetapi dengan cara yang lebih umum. Asam fosfat panjang juga dapat merujuk ke kimia atau *reagen* yang terdiri dari asam fosfat, biasanya asam ortofosfat.

Sifat fisik asam fosfat, yaitu:

1. Rumus molekul : H_3PO_4
2. Massa molar : 98,00 g/mol
3. Penampilan : Cairan bening
4. Densitas : 1,685 g/mL
5. Titik leleh : 42,35 °C (anhidrat)
6. Titik didih : 158 °C
7. Kelarutan dalam air : 0,446 g/mL (14,95 °C)
8. Kelarutan : Larut dalam etanol
9. Viskositas : 2,4-9,4 cP

Kegunaan asam fosfat, yaitu:

1. Sebagai agen *buffer* untuk HPLC (*High Performance Liquid Chromatography*).
2. Sebagai agen oksidasi kimia untuk produksi karbon aktif.
3. Sebagai katalis dalam hidrasi alkena untuk menghasilkan alkohol seperti etanol.
4. Sebagai pengatur pH dalam kosmetik dan produk kecantikan lainnya.
5. Sebagai zat adiktif untuk menstabilkan larutan campuran asam untuk rentang pH yang diinginkan.

2.4 Adsorpsi

Adsorpsi secara umum adalah proses penggumpalan substansi terlarut (*soluble*) yang ada dalam larutan, oleh permukaan zat atau benda penyerap,

dimana terjadi suatu ikatan kimia fisika antara substansi dengan penyerapannya. Adsorpsi menggunakan istilah adsorben dan adsorbat, dimana adsorben merupakan suatu penyerap yang dalam hal ini berupa senyawa karbon, sedangkan adsorbat adalah suatu media yang diserap (Soedarsono dan Syahputra, 2005).

Adsorpsi dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu (Treybal, 1980) :

1. Adsorpsi fisika. Merupakan adsorpsi yang terjadi karena adanya gaya Van der Waals. Gaya Van der Waals merupakan gaya tarik menarik yang relatif lemah antara adsorbat dengan permukaan adsorben. Pada adsorpsi fisika, adsorbat tidak terikat kuat pada adsorben sehingga adsorbat dapat bergerak dari suatu bagian permukaan adsorben ke bagian permukaan adsorben lainnya dan pada permukaan yang ditinggalkan oleh adsorbat tersebut dapat digantikan oleh adsorbat lainnya. Adsorpsi fisika merupakan peristiwa yang reversibel sehingga jika kondisi operasinya diubah, maka akan membentuk kesetimbangan yang baru. Proses adsorpsi fisika terjadi tanpa memerlukan energi aktivasi. Ikatan yang terbentuk dalam adsorpsi ini dapat diputuskan dengan mudah yaitu dengan pemanasan pada temperatur sekitar 150-200 °C selama 2-3 jam.
2. Adsorpsi kimia. Adalah adsorpsi yang terjadi karena terbentuknya ikatan kimia antara molekul-molekul adsorbat dengan adsorben. Ikatan yang terbentuk merupakan ikatan yang kuat sehingga lapisan yang terbentuk merupakan lapisan *monolayer*. Pada adsorpsi kimia yang terpenting adalah spesifikasi dan kepastian pembentukan *monolayer* sehingga pendekatan yang digunakan adalah dengan menentukan kondisi reaksi. Hal tersebut dapat mengatur hanya adsorpsi kimia saja yang terjadi dan hanya membentuk *monolayer*. Adsorpsi kimia bersifat tidak reversibel dan umumnya terjadi pada suhu tinggi di atas suhu kritis adsorbat. Oleh karena itu, untuk melakukan proses desorpsi dibutuhkan energi yang lebih tinggi untuk memutuskan ikatan yang terjadi antara adsorben dengan adsorbat.

Faktor-faktor yang mempengaruhi daya adsorpsi suatu adsorben, yaitu (Treybal, 1980) :

1. Jenis Adsorbat

a. Ukuran molekul adsorbat

Merupakan hal yang sangat penting diperhatikan supaya proses adsorpsi dapat terjadi dan berjalan dengan baik. Ukuran molekul adsorbat nantinya mempengaruhi ukuran pori dari adsorben yang digunakan. Molekul-molekul adsorbat yang dapat diadsorpsi adalah molekul-molekul yang diameternya lebih kecil dari diameter pori adsorben.

b. Kepolaran zat

Sifat kepolaran dari adsorbat dan adsorben juga mempengaruhi proses adsorpsi. Misalnya karbon aktif, untuk molekul yang berdiameter sama, molekul-molekul nonpolar lebih kuat diadsorpsi oleh karbon aktif daripada molekul-molekul yang polar.

2. Karakteristik Adsorben

a. Kemurnian adsorben

Sebagai zat yang digunakan untuk mengadsorpsi, maka adsorben yang lebih murni lebih diinginkan karena memiliki kemampuan adsorpsi yang lebih baik.

b. Luas permukaan dan volume pori adsorben

Jumlah molekul adsorbat yang teradsorpsi meningkat dengan bertambahnya luas permukaan dan volume pori adsorben. Dalam proses adsorpsi, adsorben seringkali ditingkatkan luas permukaannya karena luas permukaan adsorben merupakan salah satu faktor utama yang mempengaruhi proses adsorpsi.

3. Temperatur

Berdasarkan prinsip Le Chatelier, maka proses adsorpsi yang merupakan proses eksotermis, dengan peningkatan temperatur pada tekanan tetap akan mengurangi jumlah senyawa yang teradsorpsi.

4. Tekanan Adsorbat

Pada adsorpsi fisika, jumlah zat yang diadsorpsi akan bertambah seiring dengan naiknya tekanan adsorbat, sedangkan pada adsorpsi kimia, jumlah zat yang diadsorpsi akan berkurang dengan menaikkan tekanan adsorbat.

2.4.1 Adsorpsi Isoterm

Adalah hubungan keseimbangan antara konsentrasi dalam fase *liquid* dan konsentrasi dalam partikel adsorben pada suhu tertentu. Ada tiga macam persamaan isoterm adsorpsi yang biasa digunakan yaitu isoterm Langmuir, Freundlich, dan isoterm Brunaur-Emmet-Teller (BET) (Kasam dkk, 2005). Jenis isoterm adsorpsi dapat digunakan untuk mempelajari mekanisme adsorpsi. Adsorpsi fase cair-padat pada umumnya mengikuti jenis isoterm Freundlich dan Langmuir (Atkins, 1999).

a. Isoterm Langmuir

Isoterm ini berdasar asumsi bahwa

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

Rumus :

$$\frac{x}{m} = \frac{\alpha\beta\gamma}{1+\alpha\gamma} \quad \dots\dots\dots (1)$$

Dimana:

x = jumlah material adsorbat (mg atau g)

m = berat adsorban (mg atau g)

γ = konsentrasi larutan setelah proses adsorpsi (mg/l)

α dan β = konstanta

b. Isoterm Freundlich

Isoterm ini berdasarkan asumsi bahwa adsorben mempunyai permukaan yang heterogen dan tiap molekul mempunyai potensi penyerapan yang berbeda-beda.

Rumus :

$$\frac{x}{m} = kC^{1/n} \quad \dots\dots\dots (2)$$

Dimana:

x = jumlah material adsorbat (mg atau g)

m = berat adsorban (mg atau g)

C = konsentrasi larutan setelah proses adsorpsi (mg/l)

k dan n = konstanta

c. Isoterm Branauer, Emmet, dan Teller (BET)

Isoterm ini berdasarkan asumsi bahwa adsorben mempunyai nilai permukaan yang homogen. Perbedaan isoterm ini dengan Langmuir adalah BET berasumsi bahwa molekul-molekul adsorbat bisa membentuk lebih dari satu lapisan adsorbat di permukaanya.

Isoterm Langmuir biasanya lebih baik apabila diterapkan untuk adsorpsi kimia, sedangkan isoterm BET akan lebih baik daripada isoterm Langmuir bila diterapkan untuk adsorpsi fisik.

Rumus :

$$\frac{x}{m} = \frac{ACX_m}{(C_s - C)[1 + (A-1)\frac{C}{C_s}]} \quad \dots\dots\dots (3)$$

Dimana:

m = berat adsorban (mg atau g)

x = jumlah material adsorbat (mg atau g)

m = berat adsorban (mg atau g)

- X_m = jumlah zat terlarut yang teradsorpsi dalam bentuk monolayer yang komplit (mg atau g)
- C_s = konsentrasi jenuh larutan (mg/l)
- C = konsentrasi kesetimbangan larutan (mg/l)
- A = konstanta dari energi interaksi antara larutan dan permukaan adsorben

2.5 Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit (PKS)

Limbah cair industri kelapa sawit berasal dari unit proses pengukusan (sterilisasi), proses klarifikasi dan buangan dari hidrosiklon. Limbah cair industri minyak kelapa sawit mengandung bahan organik yang sangat tinggi, sehingga kadar bahan pencemaran akan semakin tinggi. (Kardila. V, 2011)

Limbah cair industri minyak kelapa sawit mengandung bahan organik yang sangat tinggi yaitu BOD 25.500 mg/l, dan COD 48.000 mg/l sehingga kadar bahan pencemaran akan semakin tinggi. Oleh sebab itu untuk menurunkan kandungan kadar bahan pencemaran diperlukan degradasi bahan organik. Secara umum dampak yang ditimbulkan oleh limbah cair industri kelapa sawit adalah tercemarnya badan air penerima yang umumnya sungai karena hampir setiap industri minyak kelapa sawit berlokasi didekat sungai. Limbah cair industri kelapa sawit bila dibiarkan tanpa diolah lebih lanjut akan terbentuk ammonia, hal ini disebabkan bahan organik yang terkandung dalam limbah cair tersebut terurai dan membentuk ammonia. Terbentuk ammonia ini akan mempengaruhi kehidupan biota air dan dapat menimbulkan bau busuk (Azwir, 2006).

Tabel 5. Baku Mutu Air Bersih

Parameter	Kadar Maksimum	Satuan
BOD	50	mg/l
COD	40	mg/l
TSS	25	mg/l
pH	6,0 – 9,0	

Sumber: Per Men Kes No.429/ MENKES/PER/IV Tahun 2010 Tentang Baku Mutu Air Bersih.

2.5.1 Pengolahan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit (PKS)

Teknik pengolahan limbah cair yang biasanya diterapkan di PKS adalah (Kardila, Vaine 2011) :

1. Kolam pengumpulan (*fat fit*)

Kolam ini berguna untuk menampung cairan - cairan yang masih mengandung minyak yang berasal dari air kondensat dan stasiun klarifikasi.

2. Kemudian dimasukkan ke unit *deoilng ponds* untuk dkutip minyaknya dan diturunkan suhunya dari 70 – 80°C menjadi 40 – 45°C melalui menara atau bak pendingin.

3. Kolam pengasaman

Pada proses ini digunakan mikroba untuk menetralsir keasaman cairan limbah. Pengasaman bertujuan agar limbah cair yang mengandung bahan organik lebih mudah mengalami biodegradasi dalam suasana anaerobik. Limbah cair dalam kola mini mengalami asidifikasi yaitu terjadinya kenaikan konsentrasi asam-asam yang mudah menguap. Waktu penahanan hidrolisis (WHP) limbah cair dalam kolam pengasaman ini lebih dari 5 hari. Kemudian sebelum diolah d unit pengolahan limbah kolam anaerobik, limbah dinetralkan terlebih dahulu dengan menambahkan kapur tohor hingga mencapai pH antara 7,0 – 7,5.

4. Kolam anaerobik primer

Pada proses ini memanfaatkan mikroba dalam suasana anaerobik atau aerobik untuk merombak BOD dan biodegradasi bahan organik menjadi senyawa asam dan gas. WHP dalam kola mini mencapai 40 hari.

5. Kolam anaerobik sekunder

Adapun WHP limbah dalam kola mini mencapai 20 hari. Kebutuhan lahan untuk kolam anaerobik primer dan sekunder mencapai 7 hektar untuk PKS dengan kapasitas 30 ton TBS/jam.

6. Kolam pengendapan

Kolam pengendapan ini bertujuan untuk mengendapkan lumpur-lumpur yang terdapat dalam limbah cair. WHP limbah dalam kolam mini berkisar 2 hari. Biasanya ini merupakan pengolahan terakhir sebelum limbah dialirkan ke badan air dan diharapkan pada kolam mini limbah sudah memenuhi standar baku mutu air sungai. (Pedoman pengelolaan limbah industri kelapa sawit).

2.5.2 Analisa Limbah Cair Kelapa Sawit (POME)

a. Kadar pH dalam Limbah Cair Kelapa Sawit

Menurut Ambarlina, Ika 2012, pada pH limbah cair kelapa sawit pHnya bersifat asam berkisar 4,5 dan apabila tidak diolah lebih lanjut akan mengakibatkan pencemaran lingkungan.

Menurut Ahmad, 2004, limbah cair pabrik kelapa sawit bersifat asam dengan pH 3,5-5.

Menurut Adrianto, Ahmad dkk 2011, pH limbah cair minyak sawit pada PTPN V Sei. Pagar sebesar 5,6.

Kadar pH limbah cair kelapa sawit dapat dilihat bahwa bersifat asam berkisar 3,5 – 5,6 sedangkan berdasarkan baku mutu limbah cair untuk industri minyak sawit yang bersumber dari keputusan menteri Negara lingkungan hidup nomor 51 tahun 1995, pH maksimum limbah cair kelapa sawit berkisar 6,0 – 9,0. Sehingga limbah cair kelapa sawit harus dilakukan pengolahan agar tidak mengakibatkan pencemaran lingkungan.

b. *Chemical Oxygen Demand (COD)*

Chemical Oxygen Demand (COD) atau kebutuhan oksigen kimia dalam jumlah oksigen yang dibutuhkan agar bahan buangan yang ada dalam air dapat teroksidasi melalui reaksi kimia. (Wisnu dalam Ika, 2012)

Menurut Ambarlina, Ika 2012, jumlah COD limbah cair kelapa sawit yang belum diolah sebesar 1910,4 mg/l.

Menurut Adrianto, Ahmad dkk 2011, COD limbah cair minyak sawit pada PTPN V Sei. Pagar sebesar 60000 mg/l.

Menurut Kasnawati 2011, dari hasil penelitian awal pada limbah cair pabrik kelapa sawit diperoleh nilai COD 13344 mg/l.

Menurut Azwir 2006, limbah cair industri minyak kelapa sawit mengandung COD 48.000 mg/l.

Kadar COD limbah cair kelapa sawit dapat dilihat mempunyai nilai yang berbeda-beda tergantung dari sumber minyak sawit dan bahan yang digunakan dalam pembuatannya. Namun, berdasarkan baku mutu limbah cair untuk industri minyak sawit yang bersumber dari keputusan menteri Negara lingkungan hidup nomor 51 tahun 1995, kadar maksimum COD limbah cair kelapa sawit berkisar 350 mg/l. Sehingga limbah cair harus dilakukan pengolahan agar tidak mengakibatkan pencemaran lingkungan.

c. *Biological Oxygen Demand (BOD)*

Angka BOD adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh bakteri untuk menguraikan (mengoksidasikan) hampir semua zat organik yang terlarut dan sebagian zat-zat organik yang tersuspensi dalam air. (Rumidatul, Alfi 2006)

Menurut Kasnawati 2011, dari hasil penelitian awal pada limbah cair pabrik kelapa sawit diperoleh nilai BOD 5540 mg/l.

Menurut Azwir 2006, limbah cair industri minyak kelapa sawit mengandung BOD 25.500 mg/l.

Kadar BOD limbah cair kelapa sawit dapat dilihat mempunyai nilai yang berbeda-beda tergantung dari sumber minyak sawit dan bahan yang digunakan dalam pembuatannya. Namun, berdasarkan baku mutu limbah cair untuk industri minyak sawit yang bersumber dari keputusan menteri Negara lingkungan hidup nomor 51 tahun 1995, kadar maksimum BOD limbah cair kelapa sawit berkisar 250 mg/l. Sehingga limbah cair harus dilakukan pengolahan agar tidak mengakibatkan pencemaran lingkungan.

d. *Total Suspended Solid (TSS)*

TSS adalah jumlah berat dalam mg/l kering lumpur yang ada dalam limbah setelah mengalami pengeringan. Penentuan zat padat tersuspensi (TSS) berguna untuk mengetahui kekuatan pencemaran air limbah domestic, dan juga berguna untuk penentuan efisiensi unit pengolahan air. (BAPPEDA dalam Ika, 2012).

Menurut Ambarlina, Ika 2012, jumlah TSS limbah cair kelapa sawit yang belum diolah sebesar 259 mg/l.

Menurut Kasnawati 2011, dari hasil penelitian awal pada limbah cair pabrik kelapa sawit diperoleh nilai TSS 10418 mg/l.

Kadar TSS limbah cair kelapa sawit dapat dilihat mempunyai nilai yang berbeda-beda tergantung dari sumber minyak sawit dan bahan yang digunakan dalam pembuatannya. Namun, berdasarkan baku mutu limbah cair untuk industri minyak sawit yang bersumber dari keputusan menteri Negara lingkungan hidup nomor 51 tahun 1995, kadar maksimum TSS limbah cair kelapa sawit berkisar 250 mg/l. Sehingga limbah cair harus dilakukan pengolahan agar tidak mengakibatkan pencemaran lingkungan.