

BAB II

TINAJAUAN PUSTAKA

2.1 Logam Besi (Fe)

Besi adalah logam yang berasal dari bijih besi (tambang) yang banyak digunakan untuk kehidupan manusia sehari-hari. Dalam tabel periodik, besi mempunyai simbol Fe dan nomor atom 26. Besi juga mempunyai nilai ekonomis yang tinggi. Besi telah ditemukan sejak zaman dahulu dan tidak diketahui siapa penemu sebenarnya dari unsur ini.

Besi dan unsur keempat banyak di bumi dan merupakan logam yang terpenting dalam industri. Besi murni bersifat agak lunak dan kenyal. Oleh karena itu, dalam industri, besi selalu dipadukan dengan baja. Baja adalah berbagai macam paduan logam yang dibuat dari besi tuang kedalamnya ditambahkan unsur-unsur lain seperti Mn, Ni, V, atau W tergantung keperluannya. Besi tempa adalah besi yang hampir murni dengan kandungan sekitar 0.2% karbon.

2.1.1 Keberadaannya di alam

Besi terdapat di alam dalam bentuk senyawa, misalnya pada mineral hematite (Fe_2O_3), magnetit (Fe_2O_4), pirit (FeS_2), siderite (FeCO_3), dan limonit ($2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$). Unsur besi sangat penting dalam hampir semua organisme yang hidup. Pada manusia besi merupakan unsur penting dalam hemoglobin darah.

2.1.2 Kegunaan

Besi adalah logam yang paling banyak dan paling beragam penggunaannya. Hal itu karena beberapa hal, diantaranya :

1. Kelimpahan besi di kulit bumi cukup besar
2. Pengolahannya relatif lebih mudah dan murah
3. Besi mempunyai sifat-sifat yang menguntungkan dan mudah dimodifikasi

2.1.4 Sifat Fisik dan Kimia Besi (Fe)

| | |
|--------------------------|--|
| Lambang | : Fe |
| No. Atom | : 26 |
| Golongan, periode | : 8,4 |
| Penampilan | : Metalik Mengkilap keabu-abuan |
| Massa Atom | : 55,854 (2) g/mol |
| Konfigurasi Elektron | : [Ar] 3d ⁶ 4s ² |
| Fase | : Padat |
| Massa Jenis (Suhu Kamar) | : 7,86 g/cm ³ |
| Titik Lebur | : 1811 °K (1538 °C, 2800 °F) |
| Titik Didih | : 3134 °K (2861 °C, 5182 °F) |
| Kapasitas Kalor | : (25 °C) 25,10 J/ (mol·K) |

2.1.5 Tingkat Bahaya Besi

Adapun besi terlarut yang berasal dari pipa atau tangki-tangki besi adalah akibat dari beberapa kondisi, di antaranya adalah :

1. Akibat pengaruh pH yang rendah (bersifat asam), dapat melarutkan logam besi.
2. Pengaruh akibat adanya CO₂ agresif yang menyebabkan larutnya logam besi.
3. Pengaruh tingginya temperature air akan melarutkan besi-besi dalam air.
4. Kuatnya daya hantar listrik akan melarutkan besi.
5. Adanya bakteri besi dalam air akan memakan besi.

Apabila konsentrasi besi terlarut dalam air melebihi batas tersebut akan menyebabkan berbagai masalah, diantaranya :

1. Gangguan teknis

Endapan Fe (OH) bersifat korosif terhadap pipa dan akan mengendap pada saluran pipa, sehingga mengakibatkan pembuntuan dan efek-efek yang dapat merugikan seperti mengotori bak yang terbuat dari seng. Mengotori wastafel dan kloset.

2. Gangguan Fisik

Gangguan fisik yang ditimbulkan oleh adanya besi terlarut dalam air adalah timbulnya warna, bau dan rasa. Air akan terasa tidak enak bila konsentrasi besi terlarutnya $>1,0$ mg/l.

3. Gangguan kesehatan

Senyawa besi dalam jumlah kecil didalam tubuh manusia berfungsi sebagai pembentuk sel-sel darah merah, dimana tubuh memerlukan 7-35 mg/hari yang sebagian diperoleh dari air, tetapi zat Fe yang melebihi dosis yang diperlukan oleh tubuh dapat menimbulkan masalah kesehatan. Hal ini dikarenakan tubuh manusia tidak dapat mengsekresi Fe, sehingga bagi mereka yang sering mendapat transfusi darah warna kulitnya menjadi hitam karena akumulasi Fe. Air minum yang mengandung besi cenderung menimbulkan rasa mual apabila dikonsumsi. Selain itu dalam dosis besar dapat merusak dinding usus. Kematian sering kali disebabkan oleh rusaknya dinding usus ini. Kadar Fe yang lebih dari 1 mg/l akan menyebabkan terjadinya iritasi pada mata dan kulit. Apabila kelarutan besi dalam air melebihi 10 mg/l akan menyebabkan air berbau seperti telur busuk.

Pada hemokromatosis primer besi yang diserap dan disimpan dalam jumlah yang berlebihan di dalam tubuh. Feritin berada dalam keadaan jenuh akan besi sehingga kelebihan mineral ini akan disimpan dalam bentuk kompleks dengan mineral lain yaitu hemosiderin. Akibatnya terjadilah sirosis hati dan kerusakan pankreas sehingga menimbulkan diabetes. Hemokromatosis sekunder terjadi karena transfusi yang berulang-ulang. Dalam keadaan ini besi masuk kedalam tubuh sebagai hemoglobin dari darah yang ditransfusikan dan kelebihan besi ini tidak disekresikan.

2.2 Tembaga

Logam Cu merupakan salah satu bentuk logam berat esensial untuk kebutuhan makhluk hidup sebagai elemen mikro. Logam ini dibutuhkan sebagai unsur yang berperan dalam pembentukan enzim oksidatif dan pembentukan

kompleks Cu-protein yang dibutuhkan untuk pembentukan hemoglobin, kolagen dan pembuluh darah (Darmono, 1995).

2.2.1 Keberadaannya di Alam

Keberadaan unsur tembaga di alam dapat ditemukan dalam bentuk logam bebas, akan tetapi lebih banyak ditemukan dalam bentuk persenyawaan atau sebagai senyawa padat dalam bentuk mineral (palar, 2004). Tembaga (Cu) di perairan alami terdapat dalam bentuk partikulat, koloid dan terlarut. Fase terlarut merupakan Cu^{2+} bebas dan ikatan kompleks, baik dengan ligan organik, terutama (CuOH^+ , $\text{Cu}_2(\text{OH})_2^{2+}$) maupun organik. Ikatan Cu kompleks dengan ligan organik, terutama adalah oleh material humus. Ikatan kompleks Cu yang terjadi dalam sedimen laut adalah yang paling stabil, sementara yang terbentuk dalam kolom air laut stabilitasnya paling rendah (Moore dan Ramamoorthy, dalam ardi 2009).

Dalam jumlah kecil tembaga ditemukan pada beberapa jenis tanaman, bulu-bulu burung terutama yang berbulu terang dan dalam darah binatang-binatang laut seperti udang dan kerang. Tembaga kadang-kadang ditemukan secara alami, seperti yang ditemukan dalam mineral-mineral seperti *cuprite*, *malachite*, *azurite*, *chalcopyrite*, dan *bornite*. Deposit bijih tembaga yang banyak ditemukan di AS, Chile, Zambia, Zaire, Peru, dan Kanada. Bijih-bijih tembaga yang penting adalah sulfida, oksida-oxidanya, dan karbonat.

2.2.2 Kegunaan

Tembaga dapat digunakan sebagai bahan untuk kabel listrik dan kumparan dinamo. Tembaga juga bisa dipadukan, paduan tembaga 70% dengan seng 30% disebut kuningan, sedangkan paduan tembaga 80% dengan timah putih 20% disebut perunggu. Perunggu yang mengandung sejumlah fosfor sering digunakan dalam industri arloji dan galvanometer. Kuningan berwarna seperti emas sehingga banyak digunakan sebagai perhiasan atau ornamen-ornamen. Sedangkan perunggu banyak dijadikan sebagai perhiasan dan digunakan pada seni patung. Tembaga juga

digunakan sebagai bahan penahan untuk bangunan dan beberapa bagian dari kapal dan serbuk tembaga digunakan sebagai katalisator untuk mengoksidasi metanol menjadi metanal dan senyawa tembaga juga digunakan dalam kimia analitik dan penjernihan air, sebagai unsur dalam insektida, cat, obat-obatan dan pigmen.

2.2.3 Toksitas Cu Terhadap Makhluk Hidup

Toksitas logam tembaga yang terjadi pada manusia khususnya terjadi pada anak-anak yang biasanya terjadi karena adanya tembaga sulfat, beberapa gejala keracunan tembaga adalah sakit perut, mual, muntah, diare dan beberapa kasus yang parah yang dapat menyebabkan gagal ginjal dan kematian (Darmono, 2001).

2.2.4 Sifat Fisik dan Kimia Tembaga (Cu)

| | |
|--------------------------|---|
| Lambang | : Cu |
| No. Atom | : 29 |
| Golongan, periode | : 14,4 |
| Penampilan | : kemerah-merahan |
| Massa Atom | : 63,546 g/mol |
| Konfigurasi Elektron | : [Ar] 3d ¹⁰ 4s ¹ |
| Fase | : Padat |
| Massa Jenis (suhu kamar) | : 8.94 g/cm ³ |
| Titik Lebur | : 1357,77 K, 1084,62 °C, 1984,32°F |
| Titik Didih | : 2835 K, 2562 °C, 1984,32°F |
| Kapasitas Kalor | : 24.44 J mol ⁻¹ K ⁻¹ |

2.3 Batubara

Batubara adalah barang tambang yang berasal dari sedimen bahan organik dari berbagai macam tumbuhan yang telah membusuk dalam waktu yang sangat lama dan di area dengan karakteristik kandungan air cukup tinggi. Pembentukan batubara dimulai dengan proses pembusukan timbunan tanaman dalam tanah dan membentuk

lapisan gambut kadar karbon tinggi. Pembentukan batubara dari gambut (*coalification*) dipengaruhi oleh faktor; material pembentuk, temperatur, tekanan, waktu proses dan berbagai kondisi lokal seperti kandungan O₂, tingkat keasaman dan kehadiran mikroba. Proses *coalification* pada gambut terbagi menjadi 3 tahapan yaitu: pembusukan aerobik, pembusukan anaerobik dan bituminisasi.

2.3.1 Karakteristik Batubara

Karakteristik batubara sumber (*source coal*) yang digunakan harus memenuhi persyaratan batubara dari suatu tipe tungku boiler yang digunakan. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi pemilihan batubara, tetapi kualitas dan biaya batubara merupakan dua pertimbangan yang sangat penting. Sedangkan karakteristik batubara bervariasi dengan adanya perbedaan dalam daerah asal.

Unsur pembentuk batubara terdiri dari : unsur utama (C,H, O, N, S, kadang-kadang Al, Si), unsur kedua (Fe,Ca, Mg, Fe, K, Na, P, Ti), dan unsur sangat kecil (*trace*) berupa logam-logam berat (*heavy metals*) dengan berat jenis di atas 5 g/cm³ dan masing-masing berkadar sangat rendah yang dinyatakan dalam ppm (bagian per sejuta) serta jumlahnya ada sekitar 40 unsur yang dapat merusak lingkungan dan kesehatan manusia.

Dari sejumlah logam berat tersebut, yang biasa dipertimbangkan hanya 10 unsur logam berat yaitu seperti As, Ba, Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Se, Zn, Ag. Komponen pembentuk batubara berdasarkan analisis proksimat terdiri dari: air lembab (*Moisture* = M), abu (*Ash* = A), materi mudah menguap (*Volatile Matter* = VM), karbon tertambat (*Fixed Carbon* = FC). Komponen *volatile* adalah kandungan yang mudah menguap kecuali *moisture*. Penguapan terjadi pada temperatur tinggi tanpa adanya udara (*pyrolysis*), umumnya adalah senyawa-senyawa organik, gas CO₂, dan gas SO₂ yang terdapat pada batubara.

Penentuan *volatile content* dilakukan dengan pemanasan pada temperatur 900°C – 950°C selama 7 menit. Karbon tertambat adalah jumlah karbon yang terdapat di batubara. Penentuan karbon tertambat dengan cara mengurangi jumlah material

mudah menguap dan kandungan air serta abu pada kondisi udara kering. Secara umum batubara dapat dikategorikan berdasarkan nilai kalori, kandungan air, dan kandungan karbon seperti pada Tabel 1 dibawah ini.

Tabel 1. Kategori Batubara dan Nilai Kalori

| No | Kategori | H₂O (%) | C (%) | Kalori (Kcal/kg) |
|-----------|----------------------|---------------------------|--------------|-------------------------|
| 1. | <i>Lignite</i> | 43,4 | 37,8 | 4113 |
| 2. | <i>Subbituminous</i> | 23,4 | 42,4 | 5403 |
| 3. | <i>Bituminous</i> | 11,6 | 54,2 | 7159 |
| 4. | <i>Anthracite</i> | 3,2 | 95,6 | 8027 |

Sumber : (*Considine*, 1974)

2.3.2 Jenis-Jenis Batubara

Batubara merupakan bahan bakar fosil yang dapat terbakar, terbentuk dari endapan organik atau disebut juga batuan organik yang terutama terdiri dari karbon, hidrogen dan oksigen. Batubara terbentuk dari tumbuhan yang telah terkonsolidasi antara strata batuan lainnya akan diubah oleh kombinasi pengaruh tekanan dan panas selama jutaan tahun sehingga membentuk lapisan batubara. Klasifikasi batubara didasarkan pada tingkat tanaman fosil yang telah berubah menjadi karbon dan diindikasikan berapa lama usia batubara tersebut. Semakin tua batubara umumnya memiliki kandungan karbon yang lebih tinggi. Klasifikasi batubara berdasarkan kandungan karbonnya yaitu antrasit, bituminus, subbituminus dan lignite. Batubara dengan kadar karbon tertinggi adalah jenis batubara terbaik dan paling bersih saat digunakan. Semakin usianya muda nilai kalorinya semakin menurun dan tingkat kandungan debu pada batubara tersebut meningkat. Berdasarkan penjelasan diatas batubara terbagi menjadi empat tipe, antara lain :

a. lignite

banyak digunakan sebagai bahan bakar pembangkit tenaga listrik. Lignite adalah jenis batubara mudah, berwarna coklat kehitaman, memiliki kadar air tinggi (sampai 45%) dan kandungan sulfur tinggi dan cenderung hancur bila terkena kondisi cuaca buruk. Nilai kalori kurang dari 5700 kcal/kg.

b. subbituminous

disebut juga lignit hitam, subbituminus berwarna lebih hitam dibanding dengan lignit dan mengandung moisture sekitar 20-30%.

c. bituminous

digunakan untuk menghasilkan listrik, kokas dan pemanas ruangan, batubara bituminus merupakan batubara lembut, padat dan berwarna hitam serta memiliki moisture kurang dari 20%.

d. anthracite

disebut sebagai hard coal, antrasit memiliki struktur yang keras hitam dan berkilau. Kandungan sulfur rendah dan karbon yang tinggi. Antrasit merupakan klasifikasi tertinggi dari batubara, kadar air umumnya kurang dari 15%.

2.4 Karbon Aktif (*Activated Carbon*)

Karbon Aktif (*Activated Carbon*) adalah senyawa hasil pembakaran yang mengandung karbon dan memiliki ruang pori, dimana ruang pori tersebut berukuran sangat kecil (berdimensi atom) dan sulit digambarkan karena bentuknya sangat beragam. Efektivitas karbon aktif sangat tergantung dengan porositasnya. Pori tersebut terbentuk dari atom karbon yang saling berikatan sehingga membentuk celah diantara ikatan-ikatan tersebut (Marsh dan fransisco, 2006).

Pada dasarnya seluruh bahan yang mengandung karbon yang berasal dari tumbuh-tumbuhan atau bahan mineral dapat dirubah menjadi arang aktif. Proses pembentukan arang aktif melalui dua tahap yaitu karbonisasi kemudian diikuti tahap aktivasi. Pada tahap karbonisasi akan menghasilkan arang aktif dengan daya absorben rendah, karena ruang pori yang dihasilkan masih kecil. Selain itu juga menghasilkan

senyawa tar yang dapat menutup pori. Pada arang aktif berbahan aktif kayu, bahan aktivasi yang sering digunakan antara lain asam fosfat, seng klorida dan kalium sulfida (kurniadi dan Hasani, 1996).

Mengolah arang menjadi arang aktif pada prinsipnya adalah membuka pori-pori arang agar menjadi luas. Arang aktif disusun oleh atom karbon yang terikat secara kovalen dalam kisi heksagonal dimana molekulnya berbentuk *amorf* yaitu merupakan pelat-pelat datar. Konfigurasi molekul berbentuk pelat-pelat ini bertumpuk satu sama lain dengan gugus hidrokarbon pada permukaannya. Dengan menghilangkan hidrogen dan bahan aktif (gugus hidrokarbon), maka permukaan dan pusat arang aktif menjadi luas. Hal ini mengakibatkan kemampuan absorben arang aktif juga semakin meningkat (BSN,2011).

Secara umum, ada dua jenis karbon aktif yaitu karbon aktif fasa cair dan karbon aktif fasa gas. karbon aktif fasa cair dihasilkan dari material dengan berat jenis rendah, seperti arang bambu kuning yang mempunyai bentuk butiran (*powder*), rapuh (mudah hancur), mempunyai kadar abu yang tinggi berupa silika dan biasanya digunakan untuk menghilangkan bau, rasa, warna, kontaminan organik lainnya. sedangkan karbon aktif fasa gas dari material dengan berat jenis tinggi aktifitas penyerapan karbon aktif tergantung dari kandungan senyawa karbon dalam bahan, umumnya terdiri dari 85 – 95% karbon bebas. Untuk lebih jelasnya dua jenis karbon aktif yang dijelaskan diatas dapat dilihat pada gambar 1 dibawah ini.



Gambar 1. Karbon aktif fase cair dan fase gas

2.4.1 Proses Pembuatan Karbon Aktif

Dasar pemilihan bahan baku dan karbon aktif yang paling menentukan adalah besar kandungan karbon pada bahan tersebut (Trihendardi,1997). Pembuatan karbon aktif berlangsung 3 tahap yaitu proses dehidrasi, proses karbonisasi dan proses aktivasi.

a. Proses Aktivasi

Proses ini dilakukan dengan memanaskan bahan baku sampai suhu 105°C selama 1 jam atau langsung terkena sinar matahari dengan tujuan untuk menguapkan seluruh kandungan air pada bahan baku. (Trihendardi,1997)

b. Proses Karbonisasi

Proses karbonisasi adalah peristiwa pirolisis bahan dimana terjadi proses dekomposisi komponen. Menurut Astuti (1990) dijelaskan bahwa secara umum proses karbonisasi sempurna adalah pemanasan bahan baku tanpa adanya udara sampai temperatur yang cukup tinggi untuk mengeringkan dan menguapkan senyawa dalam karbon. Proses ini merupakan peristiwa lanjutan dan pemanasan bahan baku yang mencapai suhu 400-600°C (Smisek dan Cerny, 1970).

Selama proses ini unsur-unsur bukan karbon seperti hidrogen dan oksigen dikeluarkan dalam bentuk gas dan atom yang terbebaskan membentuk Kristal grafit. Proses pengkristalan dasar ini bersifat tidak teratur sehingga memungkinkan terdekomposisinya komponen-komponen bahan baku dan komponen-komponen ini tertinggal dan terkunci didalam susunan karbon amorphous. Karbonisasi melibatkan dua proses utama yaitu proses pelunakan dan penyusutan. Kedua proses ini berkaitan dengan sifat-sifat hasil akhir produk karbonisasi. Selama proses pelunakan akan terjadi pembentukan pori yang diikuti dengan dekomposisi yang sangat cepat pada interval suhu yang sangat pendek. Setelah proses pelunakan, karbon akan mulai mengeras, kemudian menyusut dimana penyusutan karbon juga memiliki peran dalam pengembangan porositas. Suhu saat pelunakan terjadi dan tingkat pelunakannya akan tergantung pada bahan dasar dan rata-rata pemanasannya.

Proses karbonisasi akan menghasilkan 3 (tiga) komponen pokok, yaitu karbon atau karbon, tar, dan gas (CO_2 , CO , CH_4 , H_2 , dll). Untuk memperoleh karbon aktif yang baik, perlu adanya pengaturan dan pengontrolan selama proses karbonisasi yaitu, kecepatan pertambahan temperatur, tinggi suhu akhir, dan lama karbonisasi. Tahap karbonisasi akan menghasilkan karbon yang mempunyai struktur pori lemah. Oleh karena itu karbon masih memerlukan perbaikan struktur porinya melalui proses aktivasi. (Trihendardi, 1997). Adanya interaksi antara zat pengaktivasi dengan struktur atom-atom karbon hasil karbonisasi merupakan mekanisme proses aktivasi.

c. Proses Aktivasi

Proses aktivasi adalah suatu perubahan fisika dimana permukaan karbon aktif menjadi jauh lebih banyak karena hidrokarbon yang terkandung dalam karbon disingkirkan (Austin, 1996). Tujuan dasar dari proses aktivasi adalah menambah atau mengembangkan volume pori dan memperbesar diameter pori yang telah terbentuk pada proses karbonisasi serta untuk membuat beberapa porositas baru (Smisek dan Cerny, 1970).

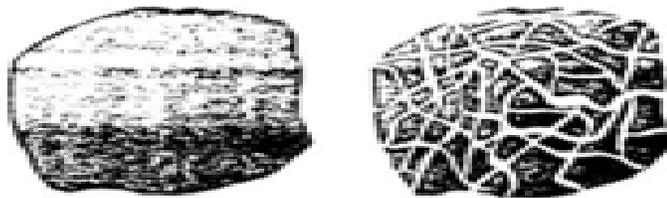
Ada dua cara dalam melakukan proses aktivasi yaitu:

1. Aktivasi Fisika (*Vapor AdsorbenCarbon*)

Proses aktivasi dilakukan dengan mengalirkan uap atau udara ke dalam reaktor pada suhu tinggi ($800\text{-}1000^\circ\text{C}$). Proses ini harus mengontrol tinggi suhu dan besarnya uap atau udara yang dipakai sehingga dihasilkan karbon aktif dengan susunan karbon yang padat dan pori yang luas.

2. Aktivasi Kimia (*Chemical ImpregnatingAgent*)

Metode ini dilakukan dengan cara merendam bahan baku pada bahan kimia (H_3PO_4 , ZnCl_2 , CaCl_2 , K_2S , HCl , H_2SO_2 , NaOH , Na_2CO_3 , dan banyak lainnya) sebelum proses karbonisasi dan juga dapat dilakukan setelah proses karbonisasi. Proses perubahan karbon menjadi karbon aktif merupakan hasil pengolahan bahan kimia pada suhu tinggi. Di bawah ini terdapat gambar sketsa karbon sebelum dan sesudah diaktivasi, seperti yang ditampilkan pada gambar 2 di bawah ini.



Gambar 2. Sketsa Karbon sebelum dan Sesudah diAktivasi

2.4.2 Standar Kualitas Karbon Aktif

Kualitas arang aktif tergantung dari jenis bahan baku, teknologi pengolahan, cara pengerjaan dan ketepatan penggunaannya. Oleh karena itu, bagi produsen arang aktif yang perlu diketahui adalah kualitas apa yang ingin dihasilkan dengan menggunakan bahan baku yang ada, serta untuk tujuan apa kegunaan arang aktif tersebut. Berbagai versi standar kualitas arang aktif telah dibuat oleh negara maju seperti amerika, inggris, korea, jepang dan jerman. Indonesia telah membuat pula standar mutu arang aktif menurut standar industri indonesia yaitu SII 0258 – 79 yang dapat dilihat pada tabel 2 dibawah ini.

Tabel 2. Standar Kualitas Karbon Aktif Menurut SII 0528-79

| Uraian | Persyaratan Kualitas |
|--|-----------------------------|
| Bagian yang hilang pada pemansan 950°C,% | Maks. 15 |
| Kadar air, % | Maks. 10 |
| Kadar abu, % | Maks. 2,5 |
| Bagian tidak mengarang | Tidak nyata |
| Daya serap terhadap I ₂ , % | Min. 20 |

Sumber : Anonim (1979)

2.5 Macam-Macam Adsorpsi

Adapun dua jenis adsorpsi berdasarkan penyerapannya, yaitu (kipling, 1965) :

1. Adsorpsi Fisika

Adsorpsi jenis ini bersifat reversibel, berlangsung secara cepat dengan penyerapan kalor kecil, interaksi yang dianggap hanya menghasilkan gaya *van der walls* dan terjadi pada semua proses adsorpsi berlangsung pada temperatur rendah.

2. Adsorpsi Kimia

Terjadi dalam bentuk reaksi kimia, membutuhkan energi aktivasi. Kalor penyerapan tinggi karena reaksi-reaksi yang membentuk reaksi kimia. Waktu penyerapan lebih lama dari adsorpsi secara fisika dan sulit diregenerasi. Untuk perbedaan adsorpsi fisika dan kimia ini dapat dilihat pada tabel 3 dibawah ini.

Tabel 3. Perbedaan antara adsorpsi fisik dan adsorpsi kimia

| Adsorpsi Fisik | Adsorpsi Kimia |
|--|---|
| Molekul terikat pada adsorben oleh gaya <i>van der walls</i> | Molekul terikat pada adsorben oleh ikatan kimia |
| Mempunyai entalpi ± 4 sampai ± 40 kJ/mol | Mempunyai entalpi reaksi sekitar ± 40 sampai ± 800 kJ/mol |
| Membentuk lapisan <i>multilayer</i> dibawah titik didih adsorbat | Membentuk lapisan <i>monolayer</i> terjadi pada suhu tinggi |
| Tidak melibatkan energi aktivasi | Melibatkan energi aktivasi tertentu |
| Bersifat tidak spesifik | Bersifat sangat spesifik |

Sumber : <http://www.scribd.com/doc/42622049/Fenomena-adsorpsi> 2011

2.6 Mekanisme Adsorpsi

Proses adsorpsi tergantung pada sifat zat padat yang mengadsorpsi, sifat atom/molekul yang diserap, konsentrasi, temperatur dan lain-lain. Pada proses adsorpsi terbagi menjadi 4 tahap, yaitu :

1. Transfer molekul-molekul zat terlarut yang teradsorpsi menuju lapisan film yang mengelilingi adsorben
2. Difusi zat terlarut yang teradsorpsi melalui lapisan film (*film diffusion process*)
3. Difusi zat terlarut yang teradsorpsi melalui kapiler/ pori dalam adsorben (*pore diffusion process*)
4. Adsorpsi zat terlarut yang teradsorpsi pada dinding pori atau permukaan adsorben (proses adsorpsi sebenarnya) (reynolds, 1982).

Operasi dari proses adsorpsi dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu :

1. Proses adsorpsi dilakukan dalam bentuk bak dengan sistem pengadukan, dimana penyerap yang biasanya terbentuk serbuk dibubuhkan, dicampur dan diaduk dengan air dalam suatu bangunan sehingga terjadi penolakan antara partikel penyerap dengan fluida.
2. Proses adsorpsi yang dijalankan dalam suatu bejana dengan sistem filtrasi, dimana bejana yang berisi media penyerap di alirkan air dengan model pengaliran gravitasi. Jenis media penyerap sering digunakan dalam bentuk bongkahan atau butiran/granular dan proses adsorpsi biasanya terjadi selama air berada didalam media penyerap (Reynold, 1982).

2.7 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Adsorpsi

1. Karakteristik adsorban

Ukuran partikel dan luas permukaan merupakan karakteristik penting abu terbang yang mengandung silika sesuai dengan fungsinya sebagai adsorban. Ukuran partikel silika mempunyai tingkat adsorpsi, tingkat adsorpsi naik dengan adanya penurunan ukuran partikel. Oleh karena itu adsorpsi menggunakan silika bubuk lebih cepat dibandingkan dengan menggunakan silika granular. Kapasitas total adsorpsi silika tergantung pada luas permukaannya. Ukuran partikel silika tidak mempengaruhi luas permukaannya. Oleh sebab itu silika bentuk bubuk halus dan

silika bentuk granular dengan berat yang sama memiliki kapasitas adsorpsi yang berbeda.

2. Kelarutan adsorbat

Senyawa terlarut memiliki gaya tarik-menarik yang kuat terhadap pelarutannya sehingga lebih sulit diadsorpsi dibandingkan senyawa tidak larut.

3. Ukuran molekul adsorbat

Tingkat adsorpsi pada alifatik, aldehid atau alkohol naik diikuti dengan kenaikan ukuran molekul. Hal ini dapat dijelaskan dengan kenyataan bahwa gaya tarik-menarik antara molekul akan semakin besar ketika ukuran molekul semakin besar mendekati ukuran pori. Tingkat adsorpsi tertinggi terjadi jika pori cukup besar untuk dilewatkan oleh molekul.

4. pH

Asam organik lebih mudah teradsorpsi pada pH rendah, sedangkan adsorpsi basa organik efektif pada pH tinggi.

5. Temperatur

Tingkat adsorpsi naik diikuti dengan kenaikan temperatur dan turun diikuti dengan penurunan temperatur (Benfield, 1982).

Proses penyerapan dalam adsorpsi dipengaruhi oleh :

1. Bahan penyerap

Bahan yang digunakan untuk menyerap mempunyai kemampuan berbeda-beda, tergantung dari bahan asal dan juga metode aktivasi yang digunakan.

2. Ukuran butiran

Semakin kecil ukuran butir, maka semakin besar permukaan sehingga dapat menyerap kontaminan makin banyak. Secara umum kecepatan adsorpsi ditunjukkan oleh kecepatan difusi zat terlarut ke dalam pori-pori partikel adsorben. Ukuran partikel yang baik untuk proses penyerapan antara -100 + 200 mesh.

3. Derajat keasaman (pH larutan)

Pada pH rendah, ion H^+ akan berkompetisi dengan kontaminan yang akan diserap, sehingga efisiensi penyerapan turun. Proses penyerapan akan berjalan baik

bila pH larutan tinggi. Derajat keasaman mempengaruhi adsorpsi karena pH menentukan tingkat ionisasi dapat diadsorpsi pada pH rendah dan sebaliknya basa organik dapat diadsorpsi pada pH tinggi.

4. Waktu serap

Waktu serap yang lama akan memungkinkan proses difusi dan penempelan molekul zat terlarut yang terserap berlangsung dengan baik.

5. Konsentrasi

Pada konsentrasi larutan rendah, jumlah bahan diserap sedikit, sedangkan pada konsentrasi tinggi jumlah bahan yang diserap semakin banyak. Hal ini disebabkan karena kemungkinan frekuensi tumbukan antara partikel semakin besar.

Beberapa adsorben pada proses adsorpsi sangat mempengaruhi penyerapan. Pemilihan adsorben juga mempengaruhi kapasitas adsorpsi. Adsorben yang baik memiliki kapasitas adsorpsi dan presentase efisiensi adsorpsi yang tinggi.

Kapasitas adsorpsi dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$Q = \frac{V (C_0 - C)}{m}$$

Efisiensi adsorpsi dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$(\%) = \frac{(C_0 - C)}{m} \times 100\%$$

Keterangan :

Q = kapasitas adsorpsi (mg/g)

V = Volume larutan (L)

C₀ = konsentrasi awal (mg/l)

C = Konsentrasi akhir (mg/l)

M = massa (g)

Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi kapasitas adsorpsi, yaitu :

1. Luas permukaan adsorben, semakin luas permukaan adsorben, semakin banyak adsorbat yang dapat diserap, sehingga proses adsorpsi dapat semakin efektif. Semakin kecil ukuran diameter partikel maka semakin luas permukaan adsorben.
2. Ukuran Partikel, makin kecil ukuran partikel yang digunakan maka semakin besar kecepatan adsorpsinya. Ukuran diameter dalam bentuk butir adalah lebih dari 0,1 mm, sedangkan ukuran dalam bentuk serbuk adalah 200 mesh.
3. Waktu kontak, merupakan suatu hal yang sangat menentukan dalam proses adsorpsi. Waktu kontak yang lebih lama memungkinkan proses difusi dan penempelan molekul adsorbat berlangsung lebih baik. Konsentrasi zat-zat organik akan turun apabila waktu kontak cukup dan waktu kontak berkisar 10-15 menit (Reynolds, 1982).
4. Distribusi ukuran pori, akan mempengaruhi distribusi ukuran molekul adsorbat yang masuk kedalam partikel adsorben.