

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Karbon Aktif

Karbon aktif merupakan senyawa karbon amorf yang dapat dihasilkan dari bahan-bahan yang mengandung karbon atau dari arang yang diperlakukan dengan cara khusus untuk mendapatkan permukaan yang lebih luas. Karbon aktif bersifat hidrofobik, yaitu molekul pada karbon aktif cenderung tidak bisa berinteraksi dengan molekul air. Karbon aktif memiliki luas permukaan yang besar, $1,95 \times 10^6 \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$, dengan total volume pori-porinya sebesar $10,28 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \text{ mg}^{-1}$ dan diameter pori rata-rata $21,6 \text{ \AA}$, sehingga sangat memungkinkan untuk dapat menyerap adsorbat dalam jumlah yang banyak. Semakin luas permukaan pori-pori dari karbon aktif, maka daya serapnya semakin tinggi (Allport, 1997).

Selain dimanfaatkan sebagai bahan bakar, karbon aktif dapat digunakan sebagai penghilang bau dan resin, penyulingan bahan mentah, penghilang rasa, warna, dan bau pada minyak dan makanan, pemurnian air limbah, pemurnian minyak goreng bekas, penjernih air, *recovery solvent*, serta sebagai katalis dan penyangga katalis. Karbon aktif juga digunakan sebagai pemurni gas, karena mampu menghilangkan gas beracun, asap, dan bau busuk yang dihasilkan oleh proses produksi. Kontaminan dalam suatu larutan akan diserap karbon aktif karena tarikan dari permukaan karbon aktif lebih kuat dibandingkan dengan kemampuan larutan menahan zat di dalamnya. Daya serap karbon aktif ditentukan oleh luas permukaan partikel dan kemampuan ini dapat menjadi lebih tinggi dengan dilakukan aktivasi menggunakan aktivator bahan-bahan kimia dan pemanasan pada temperatur tinggi, yang menyebabkan karbon aktif akan mengalami perubahan sifat-sifat fisika dan kimia. Selain dipengaruhi oleh aktivasi, sifat karbon aktif dipengaruhi oleh jenis bahan baku, luas permukaan penyebaran pori, dan sifat kimia permukaan karbon aktif itu sendiri.

Menurut SNI No. 06-3730-1995, karbon aktif yang baik mempunyai persyaratan seperti yang tercantum pada Tabel 2.1 berikut ini.

Tabel 2.1 Standar Mutu Karbon Aktif sesuai SNI No. 06-3730-1995

Parameter	SNI No. 06-3730-1995	
	Serbuk	Butiran
Kadar air	Maksimal 15%	Maksimal 4,5%
Kadar abu	Maksimal 10%	Maksimal 2,5%
Kadar <i>volatile matter</i>	Maksimal 25%	Maksimal 15%
Kadar <i>fixed carbon</i>	Minimal 65%	Minimal 80%
Daya serap terhadap iodium	Minimal 750 mg/g	Minimal 750 mg/g

Pada penelitian sebelumnya, karbon aktif digunakan sebagai adsorben logam Fe dalam air gambut (Putri, 2020; Zikri, 2020), logam Mn pada air gambut (Prasetyo, 2021), logam Fe dan Mn pada air sumur (Sidabutar, 2018), logam Pb (Wardani dan Wulandari, 2018), logam Ni (Maharani dan Sa'diyah, 2021), logam Fe, Cu, dan Zn pada limbah buatan (Widyawati dkk., 2020), serta logam Cu, Cd, dan Pb pada limbah mesin boiler (Silaban, 2018). Hasil penelitian yang diperoleh Yuniar dkk. (2015) menyatakan bahwa karbon aktif berbahan dasar tempurung kemiri dapat menyerap logam Pb sebesar 15,06 ppm. Penelitian-penelitian ini menunjukkan bahwa karbon aktif merupakan adsorben yang dapat diaplikasikan untuk adsorpsi logam berat.

2.1.1. Proses Pembuatan Karbon Aktif

a. Pemilihan Bahan Dasar

Karbon aktif dapat dibuat dari berbagai macam bahan yang mengandung unsur karbon, seperti batubara, tempurung kelapa, tempurung kemiri, kayu, sekam padi, tulang hewan, kulit biji kopi, dan lain-lain. Pemilihan bahan dasar untuk dijadikan karbon aktif harus memenuhi beberapa kriteria, yaitu mengandung unsur anorganik yang rendah, ketersediaan bahan (biaya terjangkau dan mudah didapat), memiliki daya tahan yang baik, dan mudah untuk diaktivasi.

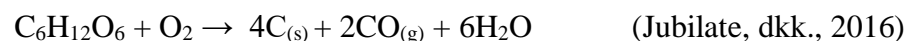
b. Dehidrasi

Dehidrasi adalah proses penghilangan air pada bahan dengan cara penjemuran di bawah sinar matahari atau pemanasan di dalam oven hingga diperoleh bobot konstan. Proses dehidrasi dilakukan dengan tujuan mengurangi kandungan air dan menurunkan kelembapan pada bahan baku. Produk yang dihasilkan dari proses dehidrasi adalah bahan baku karbon aktif kering.

c. Karbonisasi

Karbonisasi atau pengarangan adalah proses pemanasan bahan baku pada suhu 300°C - 800°C dengan jumlah oksigen yang terbatas di dalam tanur (*furnace*). Tujuan karbonisasi adalah untuk mendekomposisi tempurung kemiri menjadi arang dan menghilangkan zat-zat yang mudah menguap (*volatile matter*) yang terkandung pada bahan dasar. Pelepasan unsur-unsur yang *volatile* ini akan membuat struktur pori-pori mulai terbuka. Selain itu, proses ini menyebabkan terjadinya penghilangan air atau dehidrasi, penguapan selulosa, penguapan lignin, dan pemurnian karbon, serta penguraian senyawa organik yang menyusun struktur bahan membentuk air, uap asam asetat, tar-tar, dan hidrokarbon. Selama proses karbonisasi, diperlukan adanya pengaturan dan pengontrolan temperature dan waktu lamanya karbonisasi untuk menghasilkan karbon aktif yang baik.

Reaksi yang terjadi pada saat karbonisasi adalah:



Proses penguraian bahan-bahan organik di dalam bahan dasar pembuatan karbon aktif berlangsung dalam beberapa tahapan proses. Pada suhu 100-120°C, terjadi proses penguapan air, kemudian selulosa akan terurai menjadi larutan piroglinat gas kayu dan sejumlah tar pada suhu 270-310°C. Setelah itu, terjadi proses penguraian lignin sehingga dihasilkan tar dalam jumlah yang lebih banyak, sedangkan pembentukan larutan piroglinat dan gas CO₂ menurun. Kandungan gas CH₄, CO, dan H₂ meningkat pada suhu 310-500°C dan tahap

pemurnian arang atau peningkatan kadar karbon terjadi pada suhu 500-1000°C.

Material padat yang tinggal setelah karbonisasi adalah karbon dalam bentuk arang dengan pori-pori yang sempit. Karbon yang dihasilkan ini masih mempunyai struktur pori yang lemah, karena struktur kristalnya tidak beraturan sehingga mempunyai rongga yang masih terisi oleh unsur-unsur penyusun bahan dasar. Unsur ini akan menutupi pori-pori karbon aktif sehingga kemampuan adsorpsinya rendah. Selain itu, karbon aktif hasil karbonisasi mudah teroksidasi apabila karbon bereaksi dengan udara, sehingga menyebabkan pori yang terbentuk akan tertutup oleh gas O₂ (Qurbaniah, 2017). Oleh karena itu, karbon aktif masih memerlukan perbaikan struktur porinya melalui proses aktivasi.

Adapun beberapa hasil penelitian pembuatan karbon aktif dengan proses karbonisasi memberikan hasil yang berbeda-beda tergantung kondisi dan variabel yang dilakukan. Penelitian Astuti dan Efendi (2020) menguji karbon aktif berbahan dasar tempurung kemiri yang dikarbonisasi pada suhu 300°C dan 700°C menggunakan SEM. Hasil penelitian menunjukkan bahwa karbon yang dikarbonisasi pada suhu 700°C memiliki jumlah pori yang lebih banyak. Hal ini disebabkan oleh naiknya energi panas yang dapat membuka pori dan menguapkan sebagian besar aktivator, yang kemudian akan meningkatkan luas permukaan aktif dan daya adsorpsi.

d. Aktivasi

Aktivasi adalah bagian dalam proses pembuatan karbon aktif yang bertujuan untuk membuka, menambah, atau mengembangkan volume pori, dan memperbesar diameter pori yang telah terbentuk pada proses karbonisasi dengan cara memecahkan ikatan hidrokarbon atau mengoksidasi molekul-molekul permukaan sehingga arang mengalami perubahan sifat, baik secara fisika dan kimia. Karbon aktif yang melalui proses aktivasi akan memiliki daya adsorpsi yang semakin meningkat, karena karbon aktif hasil karbonisasi biasanya masih

mengandung zat yang masih menutupi pori-pori permukaan karbon aktif.

Menurut Goleman, Boyatzis, dan Mckee (2019), terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi proses aktivasi yaitu waktu perendaman, konsentrasi aktivator, dan ukuran bahan.

1) Waktu perendaman.

Waktu perendaman adalah lama waktu yang diperlukan untuk merendam arang ke dalam larutan aktivator. Waktu perendaman untuk bermacam-macam zat aktivator tidak sama sesuai dengan sifat dari aktivator tersebut. Proses ini berfungsi untuk menghilangkan atau membatasi pembentukan lignin, karena adanya lignin dapat membentuk senyawa tar.

2) Konsentrasi aktivator

Konsentrasi aktivator adalah kepekatan aktivator yang biasanya disebut dalam % berat. Semakin besar konsentrasi larutan aktivator maka semakin besar dan kuat pengaruh larutan tersebut mengikat senyawa-senyawa tar sisa karbonisasi untuk kemudian dikeluarkan melalui pori-pori dari karbon tersebut sehingga permukaan karbon semakin terbuka sehingga mengakibatkan semakin besar daya serap karbon aktif tersebut.

3) Ukuran bahan

Ukuran bahan adalah ukuran partikel bahan yang akan diaktivasi. Semakin kecil ukuran bahan maka semakin baik hasil aktivasi dari karbon tersebut.

Secara umum, proses aktivasi terbagi menjadi 2 metode, yaitu aktivasi fisika dan kimia. Aktivasi fisika dapat didefinisikan sebagai proses memperluas pori arang aktif dengan bantuan panas, uap, dan gas seperti N_2 dan CO_2 . Gas-gas pada aktivasi fisika berfungsi untuk memperbesar struktur rongga yang terdapat pada karbon, sehingga dapat meningkatkan luas permukaan. Di sisi lain, panas atau suhu yang tinggi berfungsi menghilangkan zat-zat pengotor yang mudah menguap dan membuang hidrokarbon-hidrokarbon pengotor pada

karbon. Aktivasi fisika diawali dengan memanaskan karbon pada suhu sekitar 800 – 1000°C, kemudian karbon dialiri oleh gas pengoksidasi seperti oksigen, CO₂, 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. Sedangkan aktivasi kimia merupakan proses pemutusan rantai karbon dari senyawa organik dengan pemakaian bahan-bahan kimia (aktivator). Pada aktivasi kimia, karbon hasil proses karbonisasi diubah dari karbon yang memiliki daya serap rendah menjadi karbon dengan daya serap tinggi. Selain itu, proses aktivasi akan memperbesar jari-jari pori dan luas permukaan kontak.

Zat aktivator mempunyai sifat mengikat air, yang menyebabkan air yang terikat kuat pada pori-pori karbon yang tidak hilang pada saat karbonisasi menjadi terlepas. Selain mengikat air, aktivator dapat melarutkan oksida logam dan mineral organik yang merupakan zat pengotor yang menutupi pori karbon aktif. Zat aktivator akan memasuki pori, membuka permukaan karbon aktif yang masih tertutup, dan melarutkan pengotor, sehingga menyebabkan luas permukaan pori-pori semakin besar. Aktivasi karbon aktif secara kimia dilakukan dengan merendam karbon aktif ke dalam larutan kimia yang bersifat asam (H₃PO₄, HCl, H₂SO₄), basa (KOH dan NaOH), dan garam (ZnCl₂ dan NaCl).

Pada metode aktivasi fisika, massa karbon mengalami pengurangan, yang disebabkan oleh adanya perubahan struktur karbon. Selain itu, kelemahan metode aktivasi fisika adalah dapat terjadi kelebihan oksidasi eksternal sewaktu gas pengoksidasi berdifusi pada karbon sehingga terjadi pengurangan ukuran adsorben dan diperlukan suhu yang tinggi. Sedangkan proses aktivasi kimia tidak memerlukan waktu yang lama dan suhu operasi yang tinggi. Selain itu, aktivasi kimia karbon aktif menghasilkan yield yang cukup tinggi dengan luas permukaan karbon yang baik. Penelitian

pembuatan karbon aktif yang menggunakan proses aktivasi kimia antara lain seperti penggunaan asam fosfat (H_3PO_4) dan natrium hidroksida (NaOH) pada karbon aktif tempurung kemiri (Sulaiman dkk., 2017; Nasruddin, 2017), penggunaan seng klorida ($ZnCl_2$) pada karbon aktif tempurung kemiri (Meliala, 2020), dan penggunaan kalium hidroksida (KOH) pada karbon aktif tempurung kemiri (Sinulingga, 2022).

2.1.2. Karakterisasi Karbon Aktif

Karakterisasi karbon aktif bertujuan untuk mengetahui kualitas karbon aktif. Kualitas karbon aktif tergantung dari jenis bahan baku, teknologi pengolahan, cara pengerjaan, dan ketepatan penggunaannya. Terdapat beberapa parameter yang digunakan untuk menentukan mutu karbon aktif, yaitu sebagai berikut.

1. Uji Kadar Air

Kadar air merupakan salah satu sifat kimia karbon aktif yang turut mempengaruhi kualitas karbon aktif. Kadar air merupakan banyaknya air yang terkandung dalam karbon aktif setelah bahan baku melalui proses karbonisasi dan aktivasi secara kimia, baik yang terikat secara kimiawi, maupun akibat pengaruh kondisi luar seperti iklim, ukuran butiran, maupun proses penyaringan. Tujuan penetapan kadar air pada karbon aktif yaitu untuk mengetahui sifat higroskopis dari karbon aktif. Sifat higroskopis menyebabkan arang aktif pada kondisi dan kelembaban tertentu akan mencapai suatu keseimbangan kadar air. Semakin rendah nilai kadar air suatu karbon aktif, semakin baik kualitas karbon aktifnya. Penurunan nilai kadar air berhubungan erat dengan temperature. Semakin tinggi temperature pengeringan, semakin sedikit kadar air di dalam arang aktif dan semakin besar pori-pori karbon aktif yang dihasilkan. Semakin besar pori-pori, maka luas permukaan karbon aktif semakin bertambah (Laos dkk., 2016).

Penentuan kadar air dilakukan dengan pemanasan sampel karbon aktif di dalam oven pada temperatur $110^{\circ}C$ selama 1 jam.. Hal ini bertujuan

untuk menguapkan kandungan air yang terdapat pada karbon aktif tempurung kemiri secara maksimal.

Kadar air dapat ditentukan dengan persamaan berikut.

$$\text{Kadar air} = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} \times 100\%$$

Dimana:

m_1 = massa krusible kosong (gr)

m_2 = massa krusible kosong + sampel sebelum pemanasan (gr)

m_3 = massa krusible kosong + sampel setelah pemanasan (gr)

2. Uji Kadar Abu

Parameter lain yang turut mempengaruhi kualitas karbon aktif adalah kadar abu. Abu merupakan hasil degradasi senyawa anorganik atau mineral oleh suhu tinggi. Kadar abu merupakan persentase berat oksida-oksida mineral dalam karbon seperti silikon, sulfur, kalsium, dan komponen lain dalam jumlah kecil. Penentuan kadar abu bertujuan untuk menentukan kandungan oksida logam yang masih terdapat dalam karbon aktif tempurung kemiri setelah melalui proses aktivasi. Keberadaan kandungan abu yang berlebihan dapat menyebabkan adanya penyumbatan pori-pori, karena karbon yang terikat pada arang jumlahnya semakin sedikit, sehingga luas permukaan karbon aktif dan daya serap menjadi berkurang (Widyawati dkk., 2020).

Pengujian kadar abu dilakukan dengan memanaskan karbon aktif tempurung kemiri dalam *furnace* pada suhu 650°C selama 4 jam. Hasil yang diperoleh adalah abu berupa oksida-oksida logam yang terdiri dari mineral yang tidak dapat menguap pada proses pengabuan.

Kadar abu dapat ditentukan dengan persamaan berikut.

$$\text{Kadar abu} = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} \times 100\%$$

Dimana:

m_1 = massa krusible kosong (gr)

m_2 = massa krusible kosong + sampel awal (gr)

m_3 = massa krusible kosong + sampel abu (gr)

3. Uji Kadar *Volatile matter*

Kadar zat terbang atau *volatile matter* merupakan zat yang dapat menguap pada saat proses pemanasan. *Volatile matter* biasanya berasal dari gugus hidrokarbon alifatik atau rantai lurus yang mudah terputus karena pemanasan pada suhu tertentu (Widyawati dkk., 2020). Pengujian kadar *volatile matter* bertujuan untuk mengetahui jumlah zat atau senyawa dalam karbon aktif yang belum menguap pada proses karbonisasi dan aktivasi. Semakin tinggi kadar zat terbang pada arang aktif, maka sifat menyerap larutan dan gas akan semakin rendah.

Pengujian kadar *volatile matter* dilakukan dengan memanaskan karbon aktif tempurung kemiri dalam *furnace* pada suhu 800°C selama 10 menit. Kadar *volatile matter* dapat ditentukan dengan persamaan berikut.

$$\text{Kadar } \textit{volatile matter} = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} \times 100\%$$

Dimana:

m_1 = massa krusible kosong (gr)

m_2 = massa krusible kosong + sampel awal (gr)

m_3 = massa krusible kosong + sampel setelah pembakaran (gr)

4. Uji Kadar *Fixed Carbon*

Kadar karbon terikat atau *fixed carbon* merupakan komponen fraksi karbon (C) yang terdapat dalam bahan dasar karbon aktif. Penentuan kadar *fixed carbon* bertujuan untuk mengetahui kandungan karbon setelah proses karbonisasi dan aktivasi. Kadar karbon terikat dipengaruhi oleh kadar *volatile matter* dan kadar abu. Semakin rendah kadar *volatile matter* dan kadar abu maka akan meningkatkan kadar karbon terikat (Pinem, 2015). Selain dipengaruhi oleh kadar air, kadar *volatile matter*, dan kadar abu, kadar karbon terikat juga dipengaruhi oleh kandungan selulosa dan lignin yang dapat terkonversi menjadi karbon. Kadar karbon yang tinggi mengakibatkan luas permukaan semakin besar dan jumlah pori semakin banyak, sehingga dapat meningkatkan kemampuan adsorpsi pada karbon.

Kadar *fixed carbon* dapat ditentukan dengan persamaan berikut.

$$\text{Kadar fixed carbon} = 100\% - (A+B)$$

Dimana:

A = kadar air (%)

B = kadar abu (%)

C = kadar *volatile matter* (%)

5. Uji Daya Serap Iodin

Parameter daya serap iodin menunjukkan kemampuan karbon aktif dalam menyerap zat yang memiliki ukuran lebih kecil dari 10 Å. Pengujian daya serap iod bertujuan untuk mengetahui kemampuan karbon aktif dalam menyerap zat pengotor maupun zat warna dalam larutan. Semakin tinggi nilai daya serap iod, semakin luas pembentukan pori-pori pada arang aktif yang dapat menyerap iod. Karbon aktif yang mempunyai kemampuan menyerap iodin yang tinggi memiliki struktur pori mikro dan mesopori yang banyak. Jumlah pori karbon aktif yang banyak menyebabkan tumbukan antara partikel iodin dan karbon aktif meningkat, yang kemudian menyebabkan jumlah molekul iodin yang diserap karbon aktif akan meningkat.

Penentuan bilangan iod dapat ditentukan dengan persamaan berikut.

$$\text{Daya Serap Iod} = \frac{10 - \frac{(b-a)}{N} \cdot BM \cdot fp}{gr\ sampel}$$

Dimana:

b = Volume titran natrium thiosulfat (ml)

a = Normalitas larutan iodium (N)

N = Normalitas larutan natrium thiosulfat (N)

BM = Berat molekul iod

fp = Faktor pengenceran

2.2. Tempurung Kemiri

Tanaman kemiri (*Aleurites moluccana*) merupakan salah satu tanaman tahunan yang termasuk salah satu famili *Euphorbiaceae* (jarak-jarakan). Tanaman ini memiliki permukaan yang kasar dan beralur, daging buah yang kaku dan mengandung satu hingga dua biji yang diselimuti oleh kulit biji yang keras.

Kemiri mempunyai dua lapisan kulit, yaitu kulit buah dan tempurung, dimana setiap satu kilogram kemiri menghasilkan 30% inti buah dan 70% merupakan tempurung. Tempurung kemiri memiliki tebal sekitar 3-5 mm dan berwarna coklat kehitaman.

Menurut data Badan Pusat Statistik, jumlah produksi perkebunan rakyat tanaman kemiri mencapai 100 ribu ton pada tahun 2014. Dari jumlah produksi ini, tempurung kemiri menjadi salah satu limbah organik yang belum dimanfaatkan secara optimal, karena hanya dibuang atau dijual dalam bentuk tempurung tanpa diolah. Di Sumatera Selatan, kemiri paling banyak ditemukan di Kecamatan Pendopo, Sikap Dalam, Ulu Musi di Kabupaten Empat Lawang, Kabupaten Musi Rawas, dan Kabupaten Musi Rawas Utara.



Sumber: Halimah, 2016.

Gambar 2.1. Tempurung Kemiri

Salah satu penggunaan limbah tempurung kemiri yaitu dijadikan bahan baku pembuatan karbon aktif, sebagai upaya untuk menanggulangi penumpukannya dan menghasilkan produk yang lebih berdaya guna. Tempurung kemiri berpotensi dijadikan bahan baku karbon aktif karena mengandung jumlah karbon yang cukup tinggi. Kaban (2017) telah melakukan analisa kandungan unsur-unsur pada tempurung kemiri menggunakan EDS (*Energy Dispersive Spectromy*).

Unsur-unsur yang terkandung di dalam tempurung kemiri hasil analisa menggunakan EDS dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Unsur-unsur di dalam Tempurung Kemiri

Komponen	Persentase (%)
C	53,60
O	37,87
Ca	7,95
Fe	0,58

Sumber: Kaban, 2017.

Potensi tempurung kemiri sebagai bahan dasar karbon aktif untuk menyerap logam berat sudah diteliti sebelumnya. Tempurung kemiri dapat menyerap ion Cr dengan pengujian menggunakan sampel artifisial Cr dengan hasil kapasitas penyerapan ion logam sebesar 3,6 mg/g (Nasruddin dkk., 2017). Selain itu, tempurung kemiri dapat menyerap ion Fe dan Pb dengan hasil penyerapan logam Fe dan Pb berturut-turut sebesar 96,8% dan 100,4% (Yuniar dkk., 2015) dan sebagai adsorben methyl orange dengan efisiensi penyerapan mencapai 85,19% (Meliala, 2020).

2.3. Adsorpsi

Adsorpsi merupakan proses penyerapan oleh padatan tertentu terhadap zat tertentu yang terjadi pada permukaan zat padat, karena adanya gaya tarik atom atau molekul pada permukaan zat padat tanpa meresap ke dalam. Interaksi yang terjadi akan menyebabkan sifat-sifat senyawa akan mengalami modifikasi atau perubahan. Proses adsorpsi dapat terjadi karena adanya gaya tarik atom atau molekul pada permukaan padatan yang tidak seimbang. Adanya gaya ini, padatan cenderung menarik molekul-molekul lain yang bersentuhan dengan permukaan padatan, baik fasa gas atau fasa larutan ke dalam permukaannya. Akibatnya konsentrasi molekul pada permukaan menjadi lebih besar dari pada dalam fasa gas zat terlarut dalam larutan. Fasa yang menyerap disebut adsorben dan fasa yang terserap disebut adsorbat.

Berdasarkan kekuatan dalam berinteraksi, adsorpsi dapat dibedakan menjadi 2, yaitu adsorpsi fisika (*physisorption*) dan adsorpsi kimia (*chemisorption*).

a. Adsorpsi Fisika (*Physisorption*)

Adsorpsi fisika adalah proses interaksi antara adsorben dengan adsorbat yang melibatkan gaya-gaya antar molekul seperti gaya Van der Waals tanpa adanya reaksi antara molekul-molekul adsorbat dengan permukaan adsorben. Gaya Van der Waals terjadi bila gaya intermolekular lebih besar dari gaya tarik antar molekul atau gaya tarik menarik yang relatif lemah antara adsorbat dengan permukaan adsorben. Pada kondisi tertentu, atom, ion, atau molekul dalam daerah antar muka mengalami ketidakseimbangan gaya, sehingga mampu menarik molekul lain hingga keseimbangan gaya tercapai. Adsorpsi fisika melibatkan interaksi yang berlangsung cepat namun cenderung lebih lemah. Pada adsorpsi jenis ini, zat yang diadsorpsi mudah dilepaskan dan sangat reversibel, serta memungkinkan terjadinya desorpsi pada suhu yang sama. Adsorpsi fisik tidak memerlukan energi aktivasi, umumnya terjadi pada temperature rendah, dan melepaskan panas adsorpsi yang rendah. Peristiwa adsorpsi fisika menyebabkan molekul-molekul gas yang teradsorpsi mengalami kondensasi. Kalor kondensasi dalam hal ini merupakan besarnya panas yang dilepaskan dalam proses adsorpsi.

b. Adsorpsi Kimia (*chemisorption*)

Adsorpsi kimia terjadi ketika interaksi adsorben dan adsorbat melibatkan pembentukan ikatan kimia, yang diikuti dengan pembentukan produk reaksi berupa senyawa baru. Ikatan kimia ini lebih kuat daripada adsorpsi fisika dan bersifat irreversibel. Ikatan kimia ini terbentuk karena adanya pertukaran atau pemakaian bersama elektron antara molekul adsorbat dengan permukaan adsorben. Adsorpsi kimia umumnya terjadi pada temperature tinggi dan menghasilkan panas adsorpsi yang tinggi mendekati nilai ikatan kimia. Dengan adanya ikatan kimia yang terputus dan terbentuk selama proses, maka besarnya panas adsorpsi mempunyai

nilai yang hampir sama dengan panas reaksi kimia, yaitu sekitar 20 – 100 kCal/mol.

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi karbon aktif, yaitu sebagai berikut.

1) Jumlah Adsorben

Jumlah adsorben yang digunakan dalam suatu proses adsorpsi berpengaruh terhadap besar penyisihan logam yang terjadi. Semakin banyak jumlah adsorben yang ditambahkan, maka akan semakin besar pula persen penyisihannya dan semakin luas permukaan adsorbennya. Ini menyebabkan ion logam yang teradsorp dan efisiensi penyerapan semakin meningkat.

2) Sifat Adsorben

Selain komposisi atau massa adsorben, struktur pori adsorben merupakan faktor penting yang memengaruhi proses adsorpsi. Struktur pori berhubungan dengan luas permukaan. Semakin kecil dan semakin banyak pori-pori karbon aktif, luas permukaan akan semakin besar karena jumlah molekul adsorbat yang diserap oleh adsorben akan meningkat dengan bertambahnya luas permukaan dan volume pori dari adsorben.

3) Ukuran Partikel

Ukuran partikel dapat mempengaruhi proses adsorpsi. Semakin kecil ukuran partikel, proses adsorpsi akan berlangsung lebih cepat. Salah satu cara yang digunakan untuk memperkecil ukuran partikel dari suatu adsorben adalah dengan penggerusan dan dilakukan pemisahan partikel sesuai dengan ukuran yang diinginkan (pengayakan).

4) Sifat Adsorbat

Proses adsorpsi oleh karbon aktif terjadi karena terjebaknya molekul adsorbat dalam rongga karbon aktif. Karbon aktif mampu menyerap molekul lain yang mempunyai ukuran lebih kecil atau sama dengan diameter pori adsorben. Kapasitas suatu proses adsorpsi akan semakin besar apabila molekul adsorbat yang diserap lebih kecil ukurannya daripada pori-pori adsorben.

5) Temperature

Faktor yang mempengaruhi temperature proses adsorpsi adalah viskositas dan stabilitas termal senyawa serapan. Untuk senyawa yang mudah menguap, adsorpsi dilakukan pada temperatur kamar atau bila memungkinkan pada temperatur yang lebih kecil.

6) pH

Pada proses adsorpsi asam-asam organik, adsorpsi akan meningkat bila pH diturunkan, yaitu dengan dilakukannya perlakuan penambahan asam-asam mineral. Hal ini disebabkan karena kemampuan asam mineral dalam mengurangi ionisasi asam organik tersebut. Apabila pH asam organik dinaikkan dengan menambahkan alkali, adsorpsi akan berkurang karena terjadinya pembentukan garam.

7) Waktu Kontak

Ketika karbon aktif ditambahkan dalam suatu cairan, dibutuhkan waktu untuk mencapai kesetimbangan. Waktu yang dibutuhkan ini akan berbanding terbalik dengan jumlah karbon aktif yang digunakan. Semakin banyak karbon aktif yang digunakan, semakin sedikit waktu yang dibutuhkan untuk proses adsorpsi. Untuk larutan yang memiliki viskositas tinggi, dibutuhkan waktu kontak yang lebih lama.

Untuk menentukan jumlah logam berat atau dalam penelitian ini yaitu logam nikel yang teradsorpsi, persen efektivitas proses adsorpsi logam nikel dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\%EA = \frac{(C_1 - C_2)}{C_1} \times 100 \% \quad (1)$$

Dimana:

%EA = Persen efektivitas adsorpsi

C₁ = Kandungan logam Ni awal (mg/L)

C₂ = Kandungan logam Ni akhir (mg/L)

2.4. Logam Nikel

Nikel diklasifikasikan sebagai logam transisi, memiliki 28 elektron dan 28 proton dengan 30 neutron dalam isotop yang paling melimpah. Dalam kondisi standar, nikel adalah logam berwarna putih keperakan yang cukup keras, namun relatif mudah dibentuk. Nikel yang ditambang kebanyakan digunakan untuk membuat baja nikel dan paduan logam lain yang sangat kuat dan tahan korosi seperti *stainless steel*. Selain digunakan untuk membuat paduan logam, nikel juga digunakan dalam industri pelapisan logam dan pengecatan logam. *Electroplating* atau lapis listrik adalah proses pelapisan logam pelindung atau oksida logam menggunakan logam lain dengan cara elektrolisa. Pelapisan logam dilakukan untuk menghindari kecenderungan korosi pada logam. Hal ini dapat dilakukan dengan memisahkan atau mengisolasi logam dengan pengecatan atau pelapisan menggunakan logam-logam yang laju korosinya kecil, salah satunya seperti logam nikel (Pandia dkk., 2017; Said, 2018).

Logam nikel merupakan salah satu polutan berbahaya dalam limbah, karena bersifat karsinogenik, dapat menyebabkan gangguan imunologi, gangguan sistemik, gangguan reproduksi, gangguan neurologis, kanker paru paru, kanker hidung, kanker pangkal tenggorokan, kanker prostat, kehilangan keseimbangan, kegagalan respirasi, kelahiran cacar, penyakit asma dan bronkitis, hingga kematian. Nikel juga memiliki sifat korosif terhadap kulit serta membran mukasoid dan menciptakan media untuk pertumbuhan kuman. Selain itu, paparan nikel menimbulkan efek kronik seperti penghambatan pertumbuhan dan reproduksi pada hewan invertebrata (*Agency for Toxic Substances and Disease Registry*, 1999). Kadar Ni yang diizinkan dalam limbah cair yang dibuang ke perairan adalah 1,0 mg/L. (Kementerian Negara Lingkungan Hidup, 1995). Oleh karena itu, kadar logam Ni yang berlebih di dalam limbah perlu diminimalkan atau dihilangkan. Pengolahan senyawa nikel umumnya dilakukan dengan cara mengendapkan dengan menggunakan kapur (*lime*) pada kondisi pH sekitar 12, menggunakan ferrosulfat pada pH sekitar 10, menggunakan resin penukar kation, dan dengan proses penguapan atau proses filtrasi dengan membran osmosis balik (*reverse osmosis*).

2.5. Limbah Industri *Electroplating*

Menurut *World Health Organization* (WHO), limbah adalah sesuatu yang tidak berguna, tidak dipakai, tidak disenangi, atau sesuatu yang dibuang yang berasal dari kegiatan manusia dan tidak terjadi dengan sendirinya. Pengertian lain mengenai limbah yang tercantum dalam Keputusan Menteri Perindustrian dan Perdagangan RI No. 231/MPP/Kep/7/1997 tentang prosedur impor limbah, yaitu limbah adalah bahan/barang sisa atau bekas dari suatu kegiatan atau proses produksi yang fungsinya sudah berubah dari aslinya, kecuali yang dapat dimakan oleh manusia dan hewan.

Limbah hasil industri terdapat dalam bentuk padat, gas, maupun cair yang mengandung senyawa organik dan anorganik dalam jumlah yang seringkali melebihi nilai ambang batas yang ditentukan. Limbah industri khususnya industri logam yang terus mengalami perkembangan dalam penggunaan teknologi, bahan baku, dan bahan kimia termasuk salah satu industri yang menghasilkan limbah yang perlu melewati proses pengolahan terlebih dahulu. Logam berat yang dilepaskan oleh proses industri logam antara lain Aluminium (Al), Antimony (Sb), Cadmium (Cd), Chromium (Cr), Cobalt (Co), Copper (Cu), Ferrum (Fe), Manganese (Mn), Merkuri (Hg), Molybdenum (Mo), Nikel (Ni), Selenium (Se), Silver (Ag), Tin (Sn), Plumbum (Pb), Vanadium (V), hingga Zinc (Zn).

Penambahan bahan kimia dalam industri dilakukan dengan beberapa tujuan, salah satunya untuk meningkatkan kualitas produk yang dihasilkan. Proses finishing produk logam menggunakan Nikel sebagai pelapis yang berfungsi memperbaiki sifat logam, sehingga tahan terhadap korosi dan memperindah penampilan permukaan logam. Proses pelapisan logam ini dilakukan dengan teknik *elektroplating* dengan nikel yang bertindak sebagai anoda, sedangkan benda yang dilapisi tersebut dicelupkan dalam suatu elektrolit yang mengandung nikel sulfat.

Selain membantu meningkatkan hasil produksi, penggunaan bahan kimia tambahan dapat memberikan dampak negatif, baik bagi lingkungan dan kesehatan makhluk hidup, sebagai efek samping dari kontaminasi limbah industri terhadap elemen-elemen lingkungan, baik air, tanah, maupun udara apabila mengandung zat kimia lebih dari ambang batas yang diizinkan. Baku mutu limbah cair untuk

industri pelapisan logam telah diatur oleh Peraturan Gubernur Sumatera Selatan No. 8 Tahun 2012 yang mengatur mengenai Baku Mutu Limbah Cair (BMLC) bagi kegiatan industri, hotel, rumah sakit, domestik, dan pertambangan batubara. Adapun standar baku mutu limbah cair untuk industri pelapis logam dapat dilihat pada Tabel 2.3 berikut ini.

Tabel 2.3 Baku Mutu Limbah Cair untuk Industri Pelapis Logam Berdasarkan Peraturan Gubernur Sumatera Selatan No.8 Tahun 2012.

Parameter	Kadar Maksimum (mg/L)	Beban Pencemaran Maksimum (gr/m ² produk)
Residu tersuspensi	20	0,40
Sianida Total (CN) tersisa	0,2	0,004
Krom Total (Cr)	0,5	0,010
Krom Heksavalen (Cr ⁺⁶)	0,1	0,002
Tembaga (Cu)	0,6	0,012
Seng (Zn)	1	0,020
Nikel (Ni)	1	0,020
Kadmium (Cd)	0,05	0,001
Timbal (Pb)	0,1	0,002
Ph		6,0 – 9,0
Debit Limbah Maksimum	20 liter per m ² produk pelapisan logam	

Miaratiska dan Azizah (2011) telah melakukan penelitian pada salah satu industri rumah tangga yang bergerak di bidang pelapisan logam di Kabupaten Sidoarjo. Pada penelitian ini, peneliti menemukan bahwa kandungan nikel di dalam bak pembilas dan aliran selokan berturut-turut sebesar 10,815 mg/L dan 4,24 mg/L. Selain itu, hasil penelitian Widayat (2010) menunjukkan konsentrasi rata-rata tembaga dalam air limbah industri pelapisan logam (*electroplating*) adalah 25 ppm, seng 15 ppm, kadmium 15 ppm, nikel 25 ppm, khrom 50 ppm, sulfat 75 ppm. Dari hasil pemeriksaan ini, kandungan nikel sebagai logam berat dalam aliran limbah industri tersebut belum memenuhi standar kadar maksimum yang diizinkan untuk dilepaskan ke lingkungan, yaitu 1 mg/L. Hal ini menunjukkan bahwa limbah hasil produksi industri pelapisan logam perlu

melewati proses pengolahan terlebih dahulu hingga nilainya sesuai standar baku mutu sebelum dilepaskan ke lingkungan, agar tidak menimbulkan dampak negatif bagi makhluk hidup dan lingkungan sekitar.