

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kromium

Kromium adalah elemen yang secara alamiah ditemukan dalam konsentrasi yang rendah pada batuan, hewan, tanah, debu, juga gas. Logam Cr murni tidak pernah ditemukan di alam, logam ini seiring ditemukan dalam bentuk persenyawaan padat atau mineral dengan unsur-unsur yang lain (Mukaromah, 2008). Kromium merupakan logam transisi, memiliki massa atom 51,996 gram/mol, nomor atom 24, titik lebur 1907°C, dan massa jenis 7,19 g/cm³ (Callister, 2007). Logam ini memiliki tingkat oksidasi +2 sampai +6, namun sering dijumpai adalah tingkat oksidasi +3 dan +6 (Cavaco, 2009).

Kromium masuk ke perairan melalui dua cara, yaitu secara alamiah dan non alamiah. Masuknya krom secara alamiah dapat terjadi disebabkan oleh beberapa faktor fisika, seperti erosi atau pengikisan yang terjadi pada batuan mineral. Disamping itu debu-debu dan partikel-partikel krom yang di udara akan dibawa turun oleh air hujan. Masuknya krom yang terjadi secara non alamiah lebih merupakan dampak atau aktivitas yang dilakukan manusia. Sumber-sumber krom yang berkaitan dengan aktivitas manusia dapat berupa limbah atau buangan industri sampai buangan rumah tangga (Pratiwi, 2013). Industri penyamakan kulit termasuk salah satu industri yang mengeluarkan limbah cair kromium dalam volume cukup besar (Sugihartono, 2016)

Limbah kromium yang dihasilkan dapat berupa kromium trivalen [Cr(III)] dan kromium heksavalen [Cr(VI)]. Adanya limbah kromium dalam konsentrasi tinggi dalam limbah penyamakan kulit akan menimbulkan pencemaran lingkungan dan akan berdampak buruk bagi kesehatan. Karena kelebihan kromium yang ada di dalam tubuh akan mengakibatkan berbagai gangguan pada kulit, saluran pernafasan, ginjal, dan hati. Disamping itu limbah kromium trivalen akan menimbulkan masalah jika teroksidasi menjadi ion kromium bervalensi enam (heksavalen) yang bersifat toksik atau racun (Cavaco, 2009). Kromium sulfat merupakan limbah kromium trivalen [Cr(III)] kemudian di lingkungan dapat berubah secara spontan teroksidasi menjadi Cr(VI) (Triatmojo,dkk, 2001). Limbah krom yang dihasilkan berkisar antara 80,067 mg/l sampai 260,97 mg/l (Wardhani dkk., 2012). Batas maksimum krom(VI) yang diperbolehkan oleh DEPKES RI dalam air sehat 0,05 mg/L sedangkan dalam air limbah 0,1 mg/L.

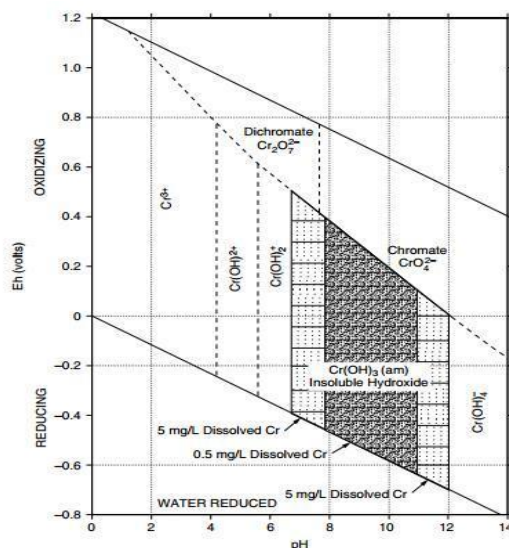
Baku mutu maksimum kadar Cr(VI) dalam industri adalah sebagai berikut ini.

Tabel 2.1 Baku mutu maksimum kadar Cr(VI) dalam industri

Sumber Limbah	Parameter	Kadar Maksimum (mg/L)
Industri Pelapisan Logam	Krom Total	0,500
	Krom Heksavalen (Cr ⁶⁺)	0,100
Industri Penyamakan Kulit	Krom Total	0,600
Industri Tekstil	Krom Total	1,000
Industri Baterai Kering	Krom Total	0,060
Limbah Cair secara Umum	Krom Total	0,500
	Krom Heksavalen (Cr ⁶⁺)	0,100

Sumber : Kep. Men. Neg. LH. RI. Nomor KEP-58/MENLH/12/1995

Pada kondisi standar, Cr(VI) memiliki zona stabil pada rentang Eh dan pH yang lebih kecil dibandingkan Cr(III). Sistem Cr-O-H untuk Cr(III), zona stabilnya terjadi pada rentang Eh dan pH yang sangat besar, yaitu pada kondisi reduksi hingga oksidasi dan pada kondisi asam hingga wujud logam. Untuk Cr(VI) umumnya terjadi pada kondisi logam (pH>6) dan sebagai pengoksidasi (Eh>0). Pada pH 6 sampai 14, Cr(VI) berwujud ion terlarut sebagai anion kromat (CrO₄²⁻) dengan nilai Eh (potensial redoks) dari -0,1 V sampai dengan +0,9 V. Pada pH di bawah 5, Cr₂O₃ larut dalam air membentuk Cr₂OH²⁺ yang bersifat mudah larut (Guertin, dkk., 2004). Adsorpsi optimum Cr(VI) adalah pada zona stabil yaitu pada pH 2.



Gambar 2.1 Diagram Eh-pH (Volt) untuk sistem kromium-oksigen-air (Guertin, dkk., 2004).

Occupational Safety and Health Administration (OSHA) 3373-10 (2009) menyatakan bahwa adanya Cr(VI) pada air limbah industri dapat menyebabkan berbagai potensi masalah kesehatan sebagai berikut:

- a. Kanker paru-paru bagi pekerja yang menghirup udara di sekitar area yang mengandung Cr(VI).
- b. Jika Cr(VI) terhirup, dapat menyebabkan iritasi atau merusak hidung, kerongkongan, dan paru-paru (saluran pernafasan).
- c. Iritasi atau merusak mata dan kulit jika Cr(VI) mengalami kontak dengan organ-organ ini.
- d. Cr(VI) dapat menyebabkan luka bakar.
- e. Jika Cr(VI) terpapar ke dalam organ manusia, dapat menyebabkan kerusakan genetik secara turun temurun yang merusak kesuburan dan membahayakan janin.
- f. Bahan ini bersifat toksik dan jika kontak dengan bahan yang mudah terbakar dapat mengakibatkan kebakaran.

2.2. Adsorpsi

2.2.1. Definisi Adsorpsi

Adsorpsi adalah akumulasi atau pemekatan suatu zat pada permukaan atau layar interfase zat lain. Pada adsorpsi dikenal beberapa istilah, yaitu adsorben atau fase pengadsorb dan adsorbat atau material yang diadsorb.

Adsorpsi dapat terjadi antara 2 fasa, yaitu cair-cair, cair padat, gas-cair dan gas padat (Cecen, 2012).

2.2.2. Jenis Adsorpsi

Adsorpsi dapat diklasifikasikan menjadi tiga jenis, yaitu (Sawyer dkk,1994):

1. Adsorpsi fisik

Adsorpsi fisik disebabkan oleh gaya tarik *Van der Waal's* yang lemah antar molekul. Molekul yang teradsorpsi bergerak bebas di sekitar permukaan adsorben. Apabila gaya tarik molekuler antara zat terlarut dengan adsorben itu lebih besar daripada gaya tarik antara zat terlarut dengan pelarut, maka zat terlarut akan teradsorpsi di permukaan adsorben. Adsorpsi fisik ini biasanya dapat berlangsung secara bolak-balik.

2. Adsorpsi kimiawi

Adsorpsi kimiawi disebabkan oleh gaya tarik yang lebih besar. Zat yang teradsorpsi membentuk lapisan di atas permukaan adsorben berupa molekul-molekul yang tidak bebas bergerak dari permukaan satu ke permukaan lainnya. Jika seluruh permukaan tertutup oleh lapisan monomolekuler maka kapasitas adsorben telah maksimal. Adsorpsi kimiawi jarang yang bersifat bolak-balik.

3. Adsorpsi pertukaran

Adsorpsi pertukaran disebabkan oleh tarikan listrik antara adsorbat dan permukaan adsorben. Ion dari suatu zat memiliki peran penting dalam adsorpsi ini. Ion akan terkonsentrasi di permukaan adsorben sebagai hasil tarikan elektrostatik ke tempat yang bermuatan berlawanan. Pada umumnya, ion dengan muatan yang lebih besar seperti ion valensi tinggi akan tertarik lebih kuat menuju tempat yang bermuatan lebih kecil seperti *ion monovalent*. Ion yang berukuran lebih kecil juga mempunyai tarikan yang lebih besar.

Untuk perbedaan lebih jelas antara adsorpsi fisika dan kimia dapat dilihat pada Tabel 2.2 :

Tabel 2.2 Perbedaan adsorpsi fisika dan kimia

Karakteristik	Adsorpsi Fisika	Adsorpsi Kimia
Gaya	Gaya tarik diakibatkan oleh gaya <i>Van der Waals</i>	Gaya tarik diakibatkan ikatan kimia
Lapisan	Banyak lapisan atau <i>multi layer</i>	Satu lapisan atau <i>single layer</i>
Energi aktivasi	Kurang dari 1 kkal/gmol	10-60 kkal/gmol
Suhu	Terjadi pada suhu di bawah titik didih adsorbat	Dapat terjadi pada suhu tinggi
Kemampuan adsorpsi	Bergantung pada adsorbat	Bergantung pada adsorben dan adsorbat
Jumlah zat yang teradsorp	Sebanding dengan naiknya tekanan	Sebanding dengan banyaknya inti aktif adsorben yang bereaksi dengan adsorbat
<i>Driving force</i>	Tidak ada transfer elektron, walaupun dimungkinkan terjadi polarisasi	Ada transfer elektron terbentuk ikatan antara zat yang teradsorpsi dengan permukaan adsorben
Panas adsorpsi	5-10 kkal/gmol gas	10-100 kkal/gmol gas

Sumber : Seader dan Henley, 1998

2.2.3. Adsorben

Adsorben merupakan zat padat yang dapat menyerap zat atau komponen tertentu dari suatu fase fluida. Adsorben adalah zat atau material yang mempunyai kemampuan untuk mengikat dan mempertahankan cairan atau gas didalamnya. Adsorben merupakan material berpori, dan proses adsorpsi berlangsung di dinding pori-pori atau pada lokasi tertentu pada pori tersebut (Hendra, 2008).

Adsorben dapat digolongkan menjadi 2 jenis, yaitu sebagai berikut (Hendra, 2008):

a. Adsorben tidak berpori (*non-porous sorbents*)

Adsorben tidak berpori dapat diperoleh dengan cara presipitasi deposit kristalin seperti BaSO_4 atau penghalusan padatan kristal. Luas permukaan spesifiknya kecil, tidak lebih dari $10 \text{ m}^2/\text{g}$ dan umumnya antara 0.1 s/d $1 \text{ m}^2/\text{g}$. Adsorben tidak berpori seperti filter karet (*rubber filters*) dan karbon hitam bergrafit (*graphitized carbon blacks*) adalah jenis adsorben tidak berpori yang telah mengalami perlakuan khusus sehingga luas permukaannya dapat mencapai ratusan m^2/g .

b. Adsorben berpori (*porous sorbents*)

Luas permukaan spesifik adsorben berpori berkisar antara 100 s/d $1000 \text{ m}^2/\text{g}$. Biasanya digunakan sebagai penyangga katalis, dehidrator, dan penyeleksi komponen. Adsorben ini umumnya berbentuk granular.

Klasifikasi pori menurut *International Union of Pure and Applied Chemistry* (IUPAC) adalah :

1. Mikropori : Diameter $< 2 \text{ nm}$
2. Mesopori : Diameter $2 < d < 50 \text{ nm}$
3. Makropori : Diameter $d > 50 \text{ nm}$

Beberapa jenis adsorben berpori yang telah digunakan secara komersial antara lain adalah karbon aktif, zeolit, silika gel, dan *activated alumina*.

Tabel berikut memberikan perbedaan mengenai karakteristik adsorben beserta kegunaan dan kerugiannya :

Tabel 2.3 Tipe, karakteristik, kegunaan, dan kelemahan beberapa adsorben

Tipe	Karakteristik	Kegunaan	Kelemahan
Karbon Aktif	Hidrofobik	Pemisahan polutan organik	Sulit untuk digenerasi
		Pemisahan udara,	Kapasitas total
Zeolit	Hidrofobik, polar	dehidrasi	renda
Silika Gel	Kapasitas tinggi, hidrofobik	Pengeringan aliran gas	Pemisahan tidak efektif.
		Pengeringan aliran gas	Pemisahan tidak efektif
Activated Alumina	hidofilik	gas	efektif

Sumber : Hendra, 2008

Terdapat beberapa kriteria yang harus dipenuhi oleh suatu adsorben sehingga dapat digunakan sebagai adsorben komersial, yaitu sebagai berikut (Hendra, 2008):

1. Memiliki permukaan yang besar per unit massanya sehingga kapasitas adsorpsinya akan semakin besar pula.
2. Secara alamiah dapat berinteraksi dengan adsorbat pasangannya.
3. Ketahanan struktur fisik yang tinggi.
4. Mudah diperoleh, harga tidak mahal, tidak korosif, dan tidak beracun.
5. Tidak ada perubahan volume yang berarti selama proses adsorpsi.
6. Mudah dan ekonomis untuk diregenerasi. Dalam artian memiliki kemampuan untuk diregenerasi setelah digunakan. Proses regenerasi diharapkan dapat berlangsung efisien sehingga tidak mengurangi kapasitas adsorpsi serta sifat mekanik dari adsorben itu sendiri (Thomas, 2008).
7. Memiliki sifat kinetik yang baik. Dalam artian adsorben mampu mentransfer molekul adsorbat menuju sisi adsorpsi secara tepat (Thomas, 2008).

2.2.4 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Adsorpsi

Berikut ini merupakan faktor-faktor yang mempengaruhi terhadap proses adsorpsi:

1. Waktu kontak dan pengadukan

Waktu kontak diperlukan untuk mencapai kesetimbangan adsorpsi. Pengadukan perlu dilakukan untuk meningkatkan difusi adsorbat melalui adsorben, sehingga mempercepat adsorpsi (Fajar, 2012).

2. Tekanan

Pada adsorpsi fisika, kenaikan tekanan dapat menaikkan jumlah yang diadsorpsi. Sebaliknya pada adsorpsi kimia kenaikan tekanan adsorbat justru akan mengurangi jumlah yang teradsorpsi (Hendra, 2008).

3. Suhu

Pada saat suatu molekul atau adsorbat melekat pada permukaan adsorben, akan terjadi pembebasan sejumlah energi. Peristiwa adsorpsi ini terjadi secara eksotermis (Hendra, 2008). Kecepatan adsorpsi akan naik pada suhu yang lebih rendah dan akan turun pada suhu yang tinggi (Fajar, 2012).

4. pH

Pengaruh pH pada adsorpsi terjadi secara kompleks, antara lain dapat

merubah sifat permukaan adsorben, sifat molekul adsorbat dan perubahan komposisi larutan (Fajar, 2012).

5. Kemurnian adsorben

Adsorben yang lebih murni memiliki kemampuan adsorpsi yang lebih baik (Hendra, 2008). Kemurnian adsorben dapat ditingkatkan melalui proses aktivasi. Adsorben buatan lebih banyak digunakan daripada adsorben alam, hal ini dikarenakan adsorben buatan memiliki kemurnian yang lebih baik (Fajar, 2012).

6. Ukuran molekul adsorbat

Ukuran molekul yang sesuai merupakan hal yang penting agar proses adsorpsi dapat terjadi, karena molekul-molekul yang dapat diadsorpsi adalah molekul-molekul yang diameternya lebih kecil atau sama dengan diameter pori adsorben (Hendra, 2008). Kecepatan adsorpsi menurun seiring dengan kenaikan ukuran adsorbat (Fajar, 2012).

7. Konsentrasi adsorbat

Adsorpsi akan meningkat seiring kenaikan konsentrasi adsorbat. Adsorpsi akan berhenti jika kesetimbangan antara konsentrasi adsorbat yang diserap dengan konsentrasi adsorben yang tersisa dalam larutan terpenuhi (Fajar, 2012).

8. Luas permukaan adsorben

Luas permukaan sangat berpengaruh dalam proses adsorpsi. Hal ini dikarenakan luas permukaan berkaitan terhadap tersedianya tempat adsorpsi. Semakin luas permukaan adsorben, maka semakin banyak adsorbat yang diserap, sehingga proses adsorpsi semakin efektif (Fajar, 2012). Dalam proses adsorpsi seringkali adsorben diberikan perlakuan awal untuk meningkatkan luas permukannya karena luas permukaan adsorben merupakan salah satu faktor utama yang mempengaruhi proses adsorpsi (Hendra, 2012).

2.3. Proses Adsorpsi

Proses adsorpsi dapat dilakukan melalui beberapa cara, yaitu secara *batch* maupun kontinyu. Proses *batch* merupakan kondisi dimana sistem adsorpsi tidak ada *input* maupun *output*. Dalam artian proses adsorpsi secara *batch* biasanya terjadi dalam sebuah wadah ataupun bejana. Proses *batch* sendiri memerlukan

waktu operasi yang relatif lebih lama. Sedangkan proses kontinyu merupakan kondisi dimana selama adsorpsi berlangsung terdapat *input* maupun *output* secara terus menerus. Proses adsorpsi secara kontinyu dapat dilakukan pada sebuah reaktor *continuous stirred tank reactor*, *fixed bed* ataupun *packed bed*.

Proses secara kontinyu memiliki beberapa keunggulan dibandingkan proses *batch*, yaitu (Harriot, 2003):

1. Waktu tinggal di reaktor yang relatif singkat membuat volume reaktor yang dibutuhkan lebih kecil dibandingkan proses *batch*.
2. Proses secara kontinyu bisa menghasilkan produk 24 jam sehari selama berminggu-minggu dalam satu waktu periode produksi, sedangkan secara *batch* menghasilkan produk sekitar separuh waktunya.
3. Kontrol suhu lebih mudah karena laju reaksi konstan dan laju pelepasan panas tidak berubah seiring waktu, seperti pada reaktor *batch*.
4. Konversi dan selektivitas dapat dikontrol dengan baik, dibandingkan proses *batch* yang akan bervariasi dari satu periode produksi ke periode produksi lainnya.

Kelemahan utama proses secara kontinyu yaitu laju reaksi hampir selalu lebih rendah dari laju rata-rata reaksi *batch*. Dalam kebanyakan kasus, laju reaksi *batch* menurun seiring naiknya konversi, dan pada proses kontinyu laju reaksi sama dengan laju reaksi akhir pada reaktor *batch* (Harriot, 2003).

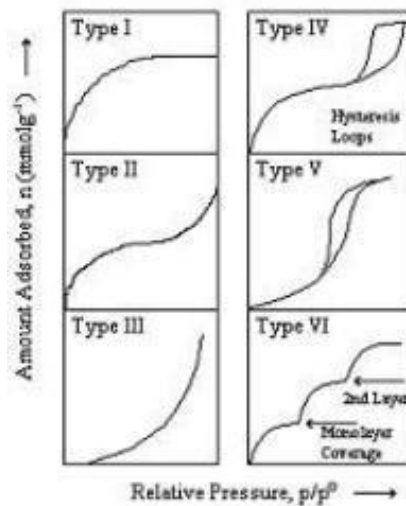
Dari beberapa analisa mengenai proses secara *batch* maupun kontinyu, maka proses kontinyu memiliki keunggulan bila digunakan dalam adsorpsi. Adsorpsi secara kontinyu dilakukan pada sebuah kolom *fixed bed* yang di dalamnya terdapat adsorben.

2.4 Kesetimbangan Adsorpsi

Secara umum, proses adsorpsi terjadi perpindahan massa eksternal solut dari fasa cairan ke adsorben yang dilanjutkan dengan perpindahan massa internal pada adsorben (difusi intrapartikel). Berbagai eksperimen telah dilakukan untuk memperoleh data untuk aplikasi khusus adsorpsi, namun masih kurang memadai. Oleh karena itu, metode prosedur desain empiris berdasarkan kesetimbangan adsorpsi yang umum digunakan untuk memperkirakan performansi dari adsorpsi.

Kesetimbangan adsorpsi merupakan konsep dinamik yang diperoleh ketika laju adsorpsi solut ke permukaan adsorben sama dengan laju desorpsi solut dari fasa

cairan. Kesetimbangan adsorpsi menunjukkan hubungan antara konsentrasi solut pada fasa padatan (q_e) dan konsentrasi solut pada fasa cairan (C_e). Kesetimbangan adsorpsi diperlukan untuk mengevaluasi kapasitas dari suatu adsorben. Kesetimbangan adsorpsi dapat ditunjukkan oleh persamaan-persamaan isotherm adsorpsi. Isotherm adsorpsi diklasifikasikan menjadi 6 tipe oleh Brunauer, Deming, Deming dan Teller (sistem B.D.D.T). Klasifikasi dari isotherm adsorpsi dapat ditunjukkan oleh Gambar 2.2. (Fletcher,2008).



Gambar 2.2 Grafik klasifikasi isotherm adsorpsi (Fletcher,2008)

6 klasifikasi dari isotherm adsorpsi dapat dijelaskan sebagai berikut (Basic Operating Principles of the Sorptomatic 1990):

1. Isotherm tipe I

Isotherm tipe I umumnya berlangsung pada adsorben yang ukuran porinya didominasi oleh mikropori. Contoh adsorpsi yang termasuk dalam isotherm tipe I adalah adsorpsi nitrogen oleh karbon pada 77 K dan adsorpsi amonia pada arang pada 273 K.

2. Isotherm tipe II

Adsorpsi fisika gas oleh padatan tak berpori termasuk dalam klasifikasi isotherm tipe II. Karbon yang memiliki pori berupa micropore dan mesopore akan menghasilkan isotherm tipe II.

3. Isoterm tipe III

Plot grafik dari isoterm tipe III menghasilkan bentuk konveks terhadap tekanan relatif. Klasifikasi isoterm ini merupakan karakteristik dari interaksi lemah antara adsorbat dengan adsorben. Isoterm tipe ini umumnya berlangsung pada adsorben tak berpori dan adsorben berpori mikro. Interaksi lemah antara adsorbat dan adsorben menyebabkan sedikit adsorbat yang teradsorpsi pada kondisi tekanan relatif rendah, tetapi ketika suatu molekul telah teradsorpsi pada adsorption site utama, akan terjadi interaksi yang kuat antara adsorbat dengan adsorben. Interaksi kuat tersebut menjadi driving force bagi proses adsorpsi sehingga mempercepat penyerapan adsorbat pada tekanan relatif yang lebih tinggi. Contoh adsorpsi yang mengikuti isoterm ini adalah adsorpsi molekul air pada karbon yang didasarkan pada oksigen.

4. Isoterm tipe IV

Isoterm tipe IV disebut juga *hysteresis loop*. Isoterm tipe ini umumnya terjadi pada adsorben dengan ukuran pori berupa mesopore. Tipe isoterm ini memiliki bentuk unik untuk tiap sistem adsorpsi.

5. Isoterm tipe V

Isoterm tipe V memiliki bentuk grafik konveks terhadap tekanan relatif dan merupakan karakteristik dari interaksi lemah antara adsorbat dengan adsorben. Tipe isoterm ini terjadi pada padatan dengan ukuran pori berupa micropore atau mesopore. Contoh adsorpsi yang mengikuti isoterm ini adalah adsorpsi molekul air pada karbon.

6. Isoterm tipe VI

Isoterm tipe VI sering dikenal sebagai *hypothetical* isoterm. Bentuk grafik dari isoterm ini disebabkan karena formasi lengkap dari lapisan-lapisan monomolekular sebelum terjadi peningkatan menuju ke lapisan subsequent. Contoh adsorpsi yang mengikuti isoterm tipe VI adalah adsorpsi krypton oleh karbon hitam pada 90 K.

2.5 Zeolit

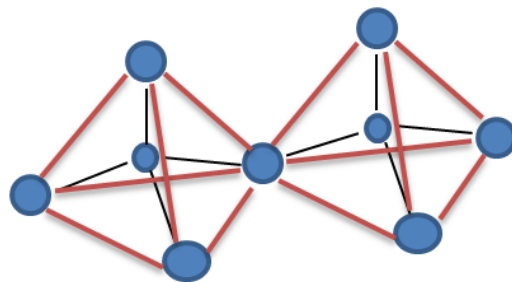
2.5.1. Pengertian Zeolit

Zeolit adalah mineral dengan struktur kristal alumino silikat yang berbentuk rangka (*framework*) tiga dimensi, mempunyai rongga dan saluran, serta mengandung ion Na, K, Mg, Ca dan Fe serta molekul air. Sejak tahun 1984 tersebut, zeolit telah diklasifikasi sebagai suatu jenis mineral tersendiri, yang

sebelumnya sering dimasukkan jenis batuan lempung (*clay materials*) atau jenis mineral silikat. (Thamzil & Husen, 2002).

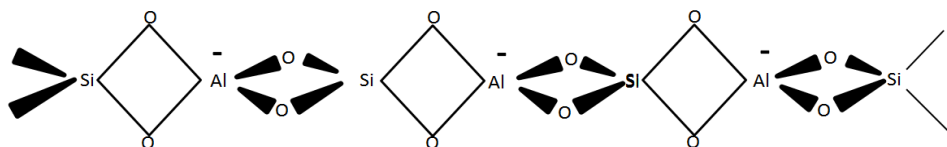
Zeolit terdapat secara alami didaerah batuan sedimen di sekitar daerah gunung api atau mengendap sebagai batuan sedimen, pada bagian tanah jenis basalt di daerah sumber air panas (*hot spring*). Komposisi kimia zeolit alam ini banyak tergantung pada kondisi hidrotermal lingkungan lokal, seperti suhu, tekanan uap air setempat dan komposisi air tanah lokasi kejadiannya. Hal ini menyebabkan zeolit alam dari suatu lokasi, meskipun mempunyai warna dan tekstur yang sama tetapi mungkin berbeda berbeda dalam komposisi kimia dari yang diperoleh dari tempat lain karena adanya campuran mineral lainnya berupa partikel halus sebagai impuritis. Zeolit di Indonesia ditemukan pada tahun 1980 oleh PPTM bandung yang terdapat pada 46 lokasi dengan jumlah endapan ribuan ton (Thamzil & Husen, 2002).

2.5.2. Struktur Zeolit



Gambar 2.3 Struktur tiga dimensi zeolit (Ansha, 2009)

Gambar diatas memperlihatkan struktur tiga dimensi dari ikatan SiO_2 dan AlO_2 dari zeolit yang berbentuk tetrahedral dengan tiap atom silikon dan alumunium dikelilingi oleh oksigen.



Gambar 2.4 Struktur dasar ikatan SiO_2 dan AlO_2 dari zeolit (Ansha, 2009)

Gambar 2.4 memperlihatkan bahwa empat ikatan tetravalen silikon dengan alumunium adalah negatif, sehingga dibutuhkan ion bermuatan positif untuk

menetralkan senyawa tersebut, seperti kation alkali atau alkali tanah yang diindikasikan sebagai rumus umum zeolit (Ansha, 2009).

2.5.3. Sifat Kimia Zeolit

Zeolit memiliki beberapa sifat kimia yang umum diantaranya :

1. Dehidrasi atau melepaskan molekul H₂O

Zeolit akan melepaskan molekul H₂O apabila dipanaskan. Pada umumnya struktur kerangka zeolit akan menyusut. Tetapi, kerangka dasarnya tidak mengalami perubahan secara nyata. Disini molekul H₂O seolah-olah mempunyai posisi yang spesifik dan dapat dikeluarkan secara reversibel.

2. Adsorben dan penyaring molekuler

Zeolit memiliki struktur yang berongga, sehingga zeolit mampu menyerap sejumlah besar molekul yang berukuran kecil atau sesuai dengan ukuran rongganya. Selain yang telah terdehidrasi merupakan adsorben yang selektif dan mempunyai efektivitas adsorpsi yang tinggi.

3. Katalis

Zeolit memiliki pusat-pusat aktif dalam saluran antar zeolit. Pusat-pusat tersebut terbentuk karena adanya gugus fungsi asam tipe Bronsted maupun Lewis. Perbandingan kedua jenis asam ini tergantung pada proses aktivasi zeolit dan kondisi reaksi (Ansha, 2009).

2.5.4. Jenis Zeolit

Zeolit dibagi menjadi dua, yaitu zeolit sintesis dan zeolit alam. Zeolit alam terbentuk karena adanya proses kimia dan fisika yang kompleks dari batuan-batuan yang mengalami berbagai macam perubahan di alam (Lestari, 2010). Adapun secara umum perbedaan zeolit alami dan zeolit sintetik adalah

1. Zeolit sintetik dibuat dari energi yang berasal dari proses kimia, sedangkan zeolit alami berasal dari proses alamiah di alam.
2. Zeolit sintetik mempunyai perbandingan alumina : silikat (1:1), sedangkan zeolit alami pada umumnya (5:1).

3. Zeolit alam mempunyai ketahanan yang lebih baik dalam asam daripada zeolit sintetik.

Tabel 2.4 Komposisi zeolit alam

Komposisi	% Berat
SiO ₂	68,26
Al ₂ O ₃	12,99
CaO	2,09
MgO	0,83
MnO	0,06
K ₂ O	4,11
TiO ₂	0,23

Sumber : Ansha, 2009

2.5.5. Aktivasi Zeolit

Optimalisasi zeolit sebagai adsorben dapat dilakukan melalui aktivasi secara fisis maupun kimia. Setelah zeolit mengalami aktivasi dapat digunakan sebagai adsorben logam dengan kemampuan yang lebih baik dibandingkan sebelum diaktivasi (Wahidatun, dkk, 2015). Aktivasi zeolit alam dapat dilakukan baik secara fisika maupun secara kimia. Aktivasi secara fisika dilakukan melalui pengecilan ukuran butir, pengayakan, dan pemanasan pada suhu tinggi, tujuannya untuk menghilangkan pengotor-pengotor organik, memperbesar pori, dan memperluas permukaan. Sedangkan aktivasi secara kimia dilakukan melalui pengasaman. Tujuannya untuk menghilangkan pengotor anorganik (Lestari, 2010).

2.6 Waktu Tinggal

Berbeda dengan sistem operasi di *batch* mana selama reaksi berlangsung tidak ada aliran yang masuk atau meninggalkan sistem secara berkesinambungan, maka di dalam reaktor alir (kontinyu), baik umpan maupun produk akan mengalir secara terus menerus. Sistem seperti ini memungkinkan untuk bekerja pada suatu keadaan dimana operasi berjalan secara keseluruhan daripada sistem berada dalam kondisi stasioner. Ini berarti bahwa baik aliran yang masuk, aliran keluar maupun kondisi operasi reaksi

di dalam reaktor tidak lagi berubah oleh waktu. Pengertian waktu reaksi tidak lagi sama dengan lamanya operasi berlangsung, tetapi ekuivalen dengan lamanya reaktan berada di dalam reaktor. Pernyataan terakhir ini biasa disebut waktu tinggal campuran di dalam reaktor, yang besarnya ditentukan oleh laju alir campuran yang lewat serta volume reaktor di mana reaksi berlangsung (Anis,dkk., 2009).

Secara sederhana, waktu tinggal dalam reaktor alir tangki berpengaduk pada keadaan *steady* adalah volume tangki terisi cairan dibagi dengan kecepatan alir umpan yang masuk sehingga dapat ditulis dengan persamaan sebagai berikut (Fogler, 1992) :

$$\tau = \frac{V}{F} \quad (2-1)$$

Sedangkan pada reaktor alir pipa, "space time" lebih penting dari pada waktu tinggal. Pada reaktor alir, space time (τ) didefinisikan sebagai ratio volume reaktor terhadap kecepatan aliran yang dinyatakan dalam volume per satuan waktu, atau dapat ditulis dengan persamaan: (Anis,dkk., 2009)

$$\tau = \frac{V}{F_v} \quad (2-2)$$

dengan:

V = volume reaktor yang ditempati oleh zat alir, jadi tidak termasuk volume pengaduk, volume coil untuk pertukaran panas yang dimasukkan ke dalam reaktor dan volume kosong di atas larutan.

F_v = Kecepatan pemasukan dalam volume (supaya dinyatakan dengan tegas diukur pada suhu dan tekanan berapa) per satuan waktu.

Biasanya, kecepatan pemasukan dalam volume diukur pada keadaan standar. Sangat mudah untuk menghitung kecepatan pada keadaan suhu dan tekanan pemasukan.

Jika pada suatu saat dijumpai nilai "space time" yang tidak diberi keterangan diukur pada suhu dan tekanan berapa, dapat diartikan bahwa "space time" diukur pada suhu dan tekanan pada waktu masuk reaktor dan sebaiknya ditulis sebagai berikut (Levenspiel, 1999) :

$$\tau = \frac{V}{F_{v0}} \quad (2-3)$$

dengan:

F_{v0} = kecepatan pemasukan, volume/waktu diukur pada suhu dan tekanan umpan masuk reaktor dan $X = 0$.

"*Space time*" tidak harus selalu sama dengan waktu tinggal rata-rata zat alir dalam reaktor. Perbedaan ini disebabkan oleh adanya perbedaan jumlah molekul sebelum dan sesudah reaksi, suhu, dan tekanan dalam reaktor yang berbeda dengan suhu dan tekanan yang dipakai dasar pengukuran kecepatan volume.

"*Space Time*", akan sama dengan waktu tinggal rata-rata jika persyaratan di bawah ini dipenuhi.

1. Suhu dan tekanan di seluruh reaktor konstan.
2. Rapat campuran zat pereaksi dan zat hasil reaksi dalam reaktor tidak dipengaruhi oleh konversi. Jika zat pereaksi dalam fase gas, berarti jumlah molekul sebelum dan sesudah reaksi harus sama atau $\varepsilon=0$.
3. Kecepatan volume F_v diukur pada suhu dan tekanan umpan masuk ke dalam reaktor.

Jadi "*space time*" merupakan variabel yang tidak tergantung pada keadaan operasi di dalam reaktor, sedang waktu tinggal rata-rata (*mean residence time*) baru dapat dihitung setelah proses, suhu, dan tekanan dalam reaktor ditentukan.

2.7 Penelitian Terkait

Tabel 2.5 Penelitian terkait

No.	Nama	Judul Penelitian	Metode	Hasil
1.	Khoirul Wahyu Wahidatun, Didik Krisdiyanto, Khamidinal, Irwan Nugraha (2015)	Keseimbangan, Kinetika dan Termodinamika Adsorpsi Logam Cr(VI) Pada Zeolit Alam dari Klaten Yang Teraktivasi Asam Sulfat	Zeolit alam ukuran 150 mesh, dicuci dengan akuades (perbandingan 1:10 w/v), zeolit alam 100 gram dimasukkan dalam gelas beker 1000 ml direndam dalam larutan H ₂ SO ₄ 0,5 M. Pengadukan selama 120 menit. Penucian dengan aquades sampai netral (pH 7) dan dikeringkan dalam oven 90°C.	Zeolit alam mengalami perubahan luas permukaan dari 76,45 m ² /g menjadi 108,46 m ² /g. Keseimbangan adsorpsi menunjukkan pola isoterm adsorpsi secara batch logam Cr(VI) oleh zeolit alam dan zeolit alam teraktivasi asam sulfat mengikuti model isoterm Freundlich. Penyisihan logam Cr(VI) lebih dari 90% menggunakan zeolit teraktivasi asam sulfat
2.	Dian Kresnadipayana, (2012)	Pemanfaatan Zeolit Alam dan Limbah kayu Aren untuk Menurunkan Logam Cr(VI) pada Limbah Cair Batik	Zeolit alam 80 mesh diaktivasi dengan HCL 6M selama 4 jam pemanasan 150°C selama 60 menit, kolom adsorpsi dengan tinggi bed 20 cm dan limbah Cr(VI) konsentrasi 80 ppm	Kolom adsorpsi zeolit alam dapat menurunkan kadar logam Cr(VI) dengan elusi satu kali sebesar 99,97 %

No.	Nama	Judul Penelitian	Metode	Hasil
3.	Afham dan (2017)	Kilmi Ajeng Studi Kapasitas Adsorpsi Karbon Aktif Dari Ampas Tebu Teraktivasi KOH PadaA Penyisihan Logam Cr(VI)	Pembuatan karbon aktif menggunakan ampas tebu dengan suhu karbonisasi 600°C dan aktivasi menggunakan KOH 2M ,adsorpsi dilakukan pada rentang pH asam dan pada rentang konsentrasi Cr(VI) 20-100 ppm	pH asam terbaik untuk adsorpsi larutan Cr(VI) dengan menggunakan karbon aktif dari ampas tebu teraktivasi KOH yaitu pada pH 2.
4.	Rahma Shafirinia, Irawan Wisnu Wardana, Wiharyanto Oktawan (2016)	Pengaruh Variasi Ukuran Adsorben Dan Debit Aliran Terhadap Penurunan Khrom (Cr) Dan Tembaga (Cu) Dengan Arang Aktif Dari Limbah Kulit Pisang Pada Limbah Cair Industri Pelapisan Logam (Elektroplating) Krom	Pembuatan karbon aktif menggunakan kulit pisang dengan suhu karbonisasi 400°C dan aktivasi menggunakan NaOH 1 N ,adsorpsi dilakukan secara batch dan kontinu pada berbagai laju alir dan pada rentang konsentrasi Cr(VI) tertentu	Debit aliran terkecil pada logam berat Cr dan Cu, yaitu 50 mL/menit memiliki kapasitas adsorpsi terbesar, tetapi memiliki kecepatan adsorpsi terkecil dibandingkan dengan debit yang lainnya, yaitu 75 mL/menit dan 100 mL/menit

