

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Limbah *Laundry*

Limbah *Laundry* dapat digolongkan sebagai limbah cair yang dimana hasil dari limbah sisa buangan yang dianggap tidak memiliki nilai yang dihasilkan dan memiliki proses kompleks yang melibatkan interaksi antara beberapa faktor fisik dan kimiawi. Pada proses ini kotoran yang melekat pada pakaian dibersihkan dengan mempergunakan air dan deterjen. Tahapan yang terjadi pada proses ini adalah kotoran yang melekat pada pakaian akan dilepaskan oleh larutan deterjen dan dilanjutkan dengan stabilisasi air yang berisi kotoran supaya kotoran tersebut tidak menempel kembali pada permukaan pakaian. Kemampuan membersihkan pakaian dalam proses *laundry* sangatlah bergantung pada beberapa faktor seperti jenis bahan pakaian, jenis kotoran, kualitas air, peralatan mencuci dan komposisi deterjen (Hudori, 2008).

Air pada proses *laundry* berfungsi sebagai pelarut bagi deterjen dan kotoran yang menempel pada pakaian. Air juga berfungsi sebagai media perpindahan untuk komponen tanah yang terlarut maupun terdispersi. Air limbah yang dihasilkan dari proses *laundry* mempunyai komposisi dan kandungan yang bervariasi. Hal ini dapat disebabkan karena adanya variasi kandungan kotoran pada pakaian, komposisi dan jumlah deterjen yang digunakan serta teknologi yang digunakan. Untuk jasa *laundry*, kandungan air limbahnya mengandung deterjen dengan jumlah sedikit dikarenakan pemakaian yang lebih ekonomis dan juga penggunaan peralatan pelunakan air.

Baku mutu air limbah diatur pada Lampiran 1. Peraturan Gubernur Sumatera Selatan Nomor 8 Tahun 2012 tentang Baku Mutu Limbah Cair untuk Industri Sabun dan Deterjen. Penjelasan parameter-parameter yang diukur untuk kegiatan *laundry* yang memenuhi baku mutu air limbah yang ditetapkan Peraturan Gubernur Sumatera Selatan Nomor 8 Tahun 2012 yaitu:

2.1.1 Derajat Keasaman (pH)

Derajat keasaman merupakan suatu ukuran konsentrasi ion hidrogen dan menuju suasana air tersebut bereaksi menjadi asam/basa (Pescod, 1973). Baku

mutu limbah cair untuk parameter pH adalah berkisar antara 6–9. Derajat keasaman (pH) menunjukkan suatu proses reaksi yang berada dalam perairan seperti reaksi dalam kondisi asam atau basa.

2.1.2 *Biological Oxygen Demand (BOD)*

Biological Oxygen Demand (BOD) diperlukan untuk menentukan beban pencemaran akibat air buangan dan untuk mendesain sistem pengolahan secara biologis. Menurut Ayuningtyas (2009), BOD atau kebutuhan oksigen biologis adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme di dalam air lingkungan untuk memecah (mendegradasi) bahan buangan organik yang ada di dalam air lingkungan tersebut. BOD (*Biological Oxygen Demand*) adalah jumlah oksigen terlarut yang dibutuhkan organisme hidup untuk memecah atau mengoksidasi bahan buangan dalam air (Fardiaz, 1992). BOD merupakan parameter utama dalam menentukan tingkat pencemaran perairan dan tingkat pencemaran berdasarkan nilai BOD disajikan pada Tabel 2.1.

Nilai BOD (mg/L)	Tingkat Pencemaran
< 200	Ringan
200-350	Sedang
350-750	Berat
>750	Sangat berat

Sumber: Winarno et al. (1974) Pada Peraturan Gubernur Sumatera Selatan untuk baku mutu limbah cair domestik untuk parameter BOD adalah maksimum 75 mg/L.

2.1.3 *Chemical Oxygen Demand (COD)*

Chemical Oxygen Demand (COD) adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh bahan oksidan untuk menguraikan bahan organik (Fardiaz, 1992). COD merupakan indikator yang digunakan untuk mengetahui zat organik dan jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk oksidasi materi organik dengan oksidasi secara kimia. Nilai COD dalam air limbah biasanya lebih tinggi dari nilai BOD karena lebih banyak senyawa kimia yang dapat dioksidasi secara kimia dibandingkan oksidasi biologi (Metcalf dan Eddy 2004). Semakin tinggi nilai COD dalam air limbah *laundry* mengindikasikan derajat pencemaran pada suatu perairan makin tinggi pula. Tingkat pencemaran berdasarkan nilai COD disajikan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Tingkat Pencemaran Berdasar Nilai COD

Nilai COD (mg/L)	Tingkat Pencemaran
< 400	Ringan
400-700	Sedang
700-1500	Berat
>1500	Sangat berat

Sumber: Winarno et al. (1974) Pada Peraturan Gubernur Sumatera Selatan untuk baku mutu limbah cair domestik untuk parameter COD adalah maksimum 180 mg/L.

2.1.4 Fosfat

Limbah cair industri adalah buangan hasil proses atau sisa dari suatu kegiatan usaha industri yang berwujud cair dan kehadirannya pada suatu saat dan tempat tidak dikehendaki lingkungannya karena tidak mempunyai nilai ekonomis sehingga cenderung untuk dibuang (Asmadi dan Suharno, 2012). industri kecil pencucian pakaian *laundry* merupakan industri yang menghasilkan limbah cair dan dapat menyebabkan pencemaran lingkungan karena mengandung fosfat yang tinggi, padahal menurut Sutrisno 1987, fosfat sangat diperlukan untuk pertumbuhan organisme dan merupakan parameter untuk mendeteksi pencemaran air. bila kandungan fosfat yang berasal dari sodium tripolifosfat STTP sebagai Builder zat penunjang kinerja deterjen dalam deterjen cukup tinggi dibuang ke badan air maka dapat menyebabkan eutrofikasi.

Detergen umumnya tersusun atas tiga komponen utama yang terdiri dari surfaktan (sebagai bahan dasar detergen) antara 20-30%, bahan builder (senyawa fosfat) antara 70-80% dan bahan aditif (pemutih dan pewangi) antara 2-8%. Kandungan senyawa fosfat dalam detergen cukup besar sehingga limbah dari proses pencucian mempunyai kandungan fosfat yang cukup tinggi (Mashitah, 2017). Berdasarkan baku mutu peraturan Gubernur Sumatera Selatan Nomor 8 Tahun 2012, kadar maksimum untuk fosfat sebesar 2 mg/L.

Berdasarkan salah satu penelitian yang dilakukan oleh Irawan (2009), kadar fosfat yang terdapat di limbah cair deterjen adalah sebesar 10,21 mg/L (Mashitah, 2017). Limbah deterjen yang mengandung terlalu banyak fosfat akan menyebabkan masalah lingkungan hidup yaitu eutrofikasi, yaitu suatu keadaan lingkungan perairan dalam keadaan nutrisi yang berlebihan yang memungkinkan adanya pertumbuhan yang cepat dari alga (*blooming*) dan menutup masuknya

sinar matahari, serta keadaan oksigen yang berkurang pada lingkungan perairan dibawah permukaan air karena dimanfaatkan alga. Hal tersebut mengganggu aktivitas organisme yang hidup di perairan bahkan dapat mengakibatkan kematian (Mashitah, 2017).

2.2 Bottom Ash

2.2.1 Pengertian Bottom Ash

Sumber energi yang digunakan untuk menggerakkan generator pada PLTU di Indonesia berasal dari pembakaran batubara. Pembakaran batubara tersebut menghasilkan residu padat berupa abu bawah (*bottom ash*), abu layang (*fly ash*), *boiler slag* dan gipsum. Abu bawah merupakan hasil proses pembakaran batubara yang jatuh pada dasar tungku pembakar (*boiler*) dan terkumpul pada penampung debu (*ash hopper*). Hal tersebut dikarenakan abu bawah memiliki ukuran partikel dan berat jenis yang lebih besar dari abu layang. Secara umum abu bawah berukuran 20-50 mesh dan abu layang berukuran 100-200 mesh. Selanjutnya abu bawah akan dikeluarkan dari tungku dengan cara menyemprotkan air, kemudian dibuang atau dipakai untuk keperluan tertentu (Wahyuni, 2010).

Bottom ash digolongkan sebagai limbah B3. Limbah *bottom ash* mengandung sejumlah logam berat seperti arsenik, boron, kadmium, kromium, tembaga, besi, selenium, dan zinc, yang jika terhirup atau tertelan oleh manusia dapat menyebabkan penyakit pada kesehatan. Apabila volume limbah semakin bertambah maka semakin luas pula area yang diperlukan untuk menimbunnya. Penanganan limbah dengan cara penimbunan dapat berpotensi berbahaya bagi lingkungan dan masyarakat sekitar. Logam-logam dalam *bottom ash* dapat terbawa ke perairan atau tertiuip angin sehingga mengganggu pernafasan (Suseon, 2012).

Pada umumnya abu bawah terdiri atas beberapa bahan anorganik yaitu silikon dioksida (SiO_2), aluminium oksida (Al_2O_3), besi oksida (Fe_2O_3) dan kalsium oksida (CaO) (Kurama dan Kaya, 2007). Abu bawah juga memiliki kandungan karbon cukup tinggi. Kandungan karbon yang cukup tinggi tersebut disebabkan oleh proses pembakaran batubara yang belum cukup sempurna sehingga masih tersisa batubara yang belum terbakar.

Saat ini abu bawah masih kurang dimanfaatkan. Abu bawah biasanya hanya digunakan sebagai material urugan tanah karena abu bawah memiliki heterogenitas yang tinggi (Álvarez-ayuso dkk., 2007). Berbeda dengan abu layang, pemanfaatan abu bawah sebagai material bangunan sampai saat ini masih rendah, hal tersebut disebabkan kandungan karbon tak terbakar yang relatif tinggi, dimana kandungan sisa karbon lebih dari 6% massa sehingga tidak cocok sebagai material dasar semen. Namun dengan kandungan karbon yang tinggi abu bawah dapat dimanfaatkan sebagai adsorben limbah *laundry* (Ramadhan, 2019).

2.2.2 Aktivasi *Bottom Ash*

Proses aktivasi dibedakan menjadi dua macam yaitu aktivasi secara fisika dan aktivasi secara kimia. Aktivasi fisika dilakukan dengan mengalirkan uap atau udara dengan suhu tinggi ke dalam reaktor, dimana sebelumnya telah mengalami proses karbonasi pada suhu tinggi (800-900°C). Sedangkan aktivasi kimia dapat dilakukan dengan menambahkan bahan kimia atau bahan pengaktif seperti seng klorida ($ZnCl_2$), magnesium karbonat ($MgCO_3$), natrium karbonat ($NaCO_3$), kalsium klorida ($CaCl_2$), natrium klorida ($NaCl$), natrium hidroksida ($NaOH$), kalium hidroksida (KOH) dan lain sebagainya (Sembiring, 2003).

Irani (2009) telah melakukan modifikasi permukaan pada abu layang dengan penambahan $NaOH$. Pada penelitiannya, modifikasi permukaan abu layang menggunakan $NaOH$ dengan variasi konsentrasi 0M, 1M, 2M, 3M. Hasil dari penelitian tersebut adalah peningkatan konsentrasi $NaOH$ mampu membentuk ikatan yang lebih padat meskipun ikatan yang dihasilkan kurang kuat.

Perlakuan yang dialami oleh *bottom ash* ini hampir sama dengan proses aktivasi fisik karbon dimasukkan ke dalam reaktor dan dikarbonisasi pada suhu tinggi (800°C – 1000 °C). Semakin tinggi suhu aktivasi semakin aktif karbon yang dihasilkan. Sifat dari *Bottom Ash* sangat bervariasi karena dipengaruhi oleh jenis batubara dan sistem pembakarannya. Beberapa sifat fisik dan kimia yang penting dari *Bottom Ash* adalah sebagai berikut: Sifat fisik *Bottom Ash* berdasarkan bentuk, warna, tampilan, ukuran, *specific gravity*, *dry unit weight* dan penyerapan dari *wet* dan *dry Bottom Ash* dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Sifat Fisik *Bottom Ash*

Sifat Fisik <i>Bottom Ash</i>	<i>Wet</i>	<i>Dry</i>
Bentuk	Angular/bersiku	Berbutir Kecil/granula
Warna	Hitam	Abu-abu gelap
Tampilan	Keras Mengkilap	Seperti pasir halus, sangat berpori
Ukuran (% lolos ayak)	No. 4 (90-100%) No. 10 (40 – 60%) No. 40 (10%) No. 200 (5%)	1,5 s/d 3/4 in (100%) No. 4 (50 – 90%) No. 10 (10 – 60%) No. 40 (0 – 10%)
<i>Spesific gravity</i>	2,3 – 2,9	2,1 – 2,7
<i>Dry unit weight</i>	960 – 1440 kg/m ³	720 – 1600 kg/m ³
Penyerapan	0,3 – 1,1%	0,8 – 2,0%

Sumber: Juliansyah, 2017.

Komposisi kimia dari *Bottom Ash* sebagian besar tersusun dari unsur-unsur Si, Al, Fe, Ca, Mg, S, Na dan unsur kimia yang lain. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Juliansyah (2017), didapat bahwa kandungan garam dan pH yang rendah dari *Bottom Ash* dapat menimbulkan sifat korosi pada struktur baja yang bersentuhan dengan campuran yang mengandung *Bottom Ash*. Selain itu rendahnya nilai pH yang ditunjukkan oleh tingginya kandungan sulfat yang terlarut menunjukkan adanya kandungan pyrite (*iron sulfide*) yang besar. Gambar 2.1 merupakan hasil sampel dari *bottom ash* yang telah dikeringkan terlebih dahulu.



Gambar 2.1. Sampel *Bottom Ash* Kering (Juliansyah, 2017)

Pemanfaatan *bottom ash* batubara terhitung minim karena kebanyakan masih sebagai bahan tambahan pada agregat buatan pada pembuatan beton dan maksimum 2,4%, sehingga pemanfaatan tergolong masih belum maksimal. Hal ini dipertegas oleh Dirjen Pengelolaan Sampah, Limbah dan B3 yang mengatakan dampak *bottom ash* tergolong berbahaya karena bila terhirup secara berkala dapat menyebabkan masalah pernapasan serius. Bila dilewati hujan, air rembesan akan mencemari lingkungan karena bersifat asam dan merusak kesuburan tanah (Pratiwi, 2016).

Upaya pemanfaatan limbah *bottom ash* menjadi adsorben mempunyai kekurangan disamping kelebihan mengandung karbon yang cukup tinggi dan telah mengalami pengurangan pada proses pembakaran. Hambatan upaya pemanfaatan *bottom ash* adalah tingginya kadar silika dan alumina yang dapat menyebabkan timbulnya lapisan kerak (*scale*) pada reaktor aktivasi. Lapisan ini muncul akibat tingginya suhu yang digunakan pada proses aktivasi yang menyebabkan silika, kalsium dan oksida anorganik lainnya meleleh dan menempel pada dinding reaktor. Dincer A.R., dkk (2007), melakukan penelitian menggunakan *bottom ash* sebagai adsorben tanpa didahului aktivasi terhadap air limbah sintetik mengandung zat warna Vertigo Blue 49 dan Orange DNA dengan hasil kapasitas adsorpsi berturut-turut 13,51 dan 4,54 mg/g. Namun karbon aktif yang terkandung dalam *bottom ash* dapat dipisahkan dengan teknik floating menggunakan air dan dihasilkan karbon sebanyak kurang lebih 40-50% volume (Rismayani, dkk. 2007).

Melalui proses pemisahan didapatkan kadar karbon yang tinggi dan kadar silika yang tertinggal dianggap sama dengan kadar dalam karbon *bottom ash* yang telah diaktivasi. Proses selanjutnya yang dilakukan adalah dengan memanaskan karbon pada suhu 1000 °C selama 1 jam sehingga diharapkan akan menaikkan luas permukaan spesifik. Bila dibandingkan antara karbon aktif *bottom ash* dan karbon aktif komersial ternyata luas permukaan spesifik yang terjadi pada karbon aktif *bottom ash* masih jauh dari karbon aktif komersial. Ukuran diameter pori yang dapat terdeteksi pada penentuan luas permukaan karbon aktif *bottom ash* ini dapat mencapai 1,5 nm, sedangkan untuk luas permukaan karbon aktif komersial mencapai 0,8-1,0 cm³/gr (Rismayani, dkk. 2007).

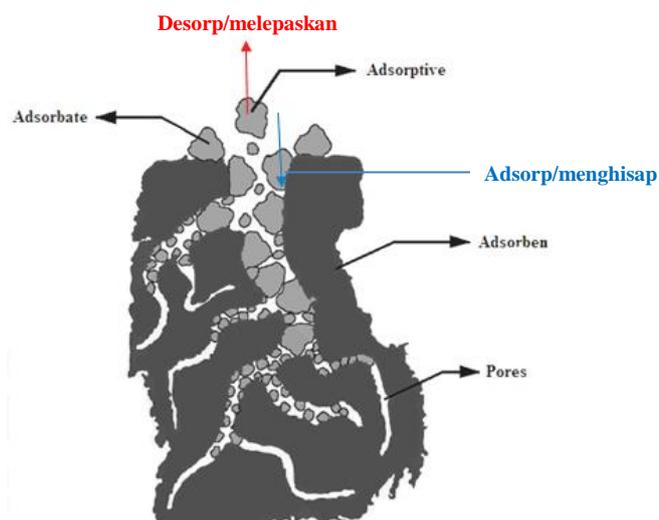
2.3 Adsorpsi

2.3.1 Pengertian Adsorpsi

Adsorpsi adalah proses dimana molekul-molekul fluida menyentuh dan melekat pada permukaan padatan (Nasruddin, 2005). Adsorpsi adalah fenomena fisik yang terjadi saat molekul-molekul gas atau cair dikontakkan dengan suatu permukaan padatan dan sebagian dari molekul-molekul tadi mengembun pada permukaan padatan tersebut (Suryawan, 2004).

Pada peristiwa adsorpsi, komponen akan berada di daerah antar muka, tetapi tidak masuk ke dalam fase. Komponen yang terserap disebut adsorbat (adsorbate), sedangkan daerah tempat terjadinya penyerapan disebut adsorben (substrate) (Ramadhan, 2019). Adsorpsi merupakan salah satu metode pengolahan air limbah. Kelebihan metode adsorpsi dibandingkan metode lain adalah development cost yang murah, desain sederhana, operasinya mudah, dan sedikit atau tidak menghasilkan substansi berbahaya pada akhir prosesnya.

Proses adsorpsi dapat berlangsung jika suatu permukaan padatan dan molekul-molekul gas atau cair, dikontakkan dengan molekul-molekul tersebut, maka didalamnya terdapat gaya kohesif termasuk gaya hidrostatis dan gaya ikatan *hydrogen* yang bekerja diantara molekul seluruh material. Gaya-gaya yang tidak seimbang pada batas fasa tersebut menyebabkan perubahan-perubahan konsentrasi molekul pada interface solid/fluida. Untuk mengetahui karakteristik yang terjadi dalam proses adsorpsi dapat diilustrasikan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Gambar Adsorpsi dan Desorpsi (Ginting, 2008)

Ada dua jenis adsorpsi berdasarkan penyerapannya, yaitu adsorpsi fisika dan adsorpsi kimia (Herawaty, 1993).

1. Adsorpsi Fisika

Adsorpsi fisis adalah adsorpsi yang terjadi karena adanya gaya Van Der Waals (gaya tarik-menarik yang relatif lemah) antara adsorbat dengan permukaan adsorben. Adsorpsi ini terjadi apabila suatu adsorbat dialirkan pada permukaan adsorben yang bersih. Pada adsorpsi fisis, adsorbat tidak terikat kuat pada permukaan adsorben sehingga adsorbat dapat bergerak dari suatu bagian permukaan ke bagian permukaan lainnya, dan pada permukaan yang ditinggalkan oleh adsorbat yang satu dapat digantikan oleh adsorbat lainnya. Adsorpsi fisis adalah suatu peristiwa yang reversibel, sehingga jika kondisi operasinya diubah akan membentuk kesetimbangan baru. Peristiwa adsorpsi gas terjadi sangat cepat. Proses adsorpsi disertai dengan pengeluaran panas sesuai dengan prinsip Le Chatelier.

Panas yang terjadi atau dikeluarkan pada peristiwa adsorpsi disebut panas adsorpsi. Panas adsorpsi fisis umumnya rendah (5 – 10 kkal/gmol gas) dan terjadi pada temperatur rendah yaitu di bawah temperatur didih adsorbat. Hal ini yang menyebabkan kesetimbangan dari proses adsorpsi fisis reversibel dan berlangsung sangat cepat. Proses adsorpsi fisis terjadi tanpa memerlukan energi aktivasi, sehingga pada proses tersebut akan membentuk lapisan *multilayer* pada permukaan adsorben. Ikatan yang terbentuk dalam adsorpsi fisika dapat diputuskan dengan mudah, yaitu dengan cara pemanasan pada temperatur 150 – 200°C selama 2 – 3 jam.

2. Adsorpsi Kimia

Adsorpsi kimia adalah adsorpsi yang terjadi karena terbentuknya ikatan kovalen dan ion antara molekul-molekul adsorbat dengan adsorben. Adsorpsi ini bersifat spesifik dan melibatkan gaya yang jauh lebih besar daripada adsorpsi fisika. Panas yang dilibatkan adalah sama dengan panas reaksi kimia. Menurut Langmuir, molekul teradsorpsi ditahan pada permukaan oleh gaya valensi yang tipenya sama dengan yang terjadi antara atom-atom dalam molekul. Karena adanya ikatan kimia maka pada permukaan adsorben akan terbentuk suatu lapisan, di mana terbentuknya lapisan tersebut akan menghambat proses penyerapan

selanjutnya oleh bantuan adsorben sehingga efektivitasnya berkurang. Ikatan yang terbentuk merupakan ikatan yang kuat sehingga lapisan yang terbentuk adalah lapisan *monolayer*. Untuk adsorpsi kimia, yang paling penting adalah spesifikasi dan kepastian pembentukan *monolayer*. Pendekatannya adalah dengan menentukan kondisi reaksi, sehingga hanya adsorpsi kimia yang terjadi dan hanya terbentuk *monolayer*. Adsorpsi kimia bersifat tidak reversible dan umumnya terjadi pada temperatur tinggi di atas temperatur kritis adsorbat, sehingga panas adsorpsi yang dilepaskan juga tinggi (10 – 100 kkal/grmol), sedangkan untuk dapat terjadinya peristiwa desorpsi dibutuhkan energi lebih tinggi untuk memutuskan ikatan yang terjadi antara adsorben dan adsorbat. Energi aktivasi pada adsorpsi kimia berkisar antara 10 – 60 kkal/gmol. Perbedaan adsorpsi fisika dan adsorpsi kimia dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Perbedaan Adsorpsi Fisika dan Adsorpsi Kimia

Parameter	Adsorpsi Fisika	Adsorpsi Kimia
Jenis Ikatan	Fisika	Kimia
Panas Adsorpsi	5-10 kkal/gmol gas	10-100 kkal/gmol gas
Energi Aktivasi	Kurang dari 1 kkal/gmol	10-60 kkal/gmol
Reversibilitas	Reversibel	Irreversible
Tebal Lapisan	Jamak (multilayer)	Tunggal (monolayer)
Jumlah Zat Teradsorpsi	Sebanding dengan kenaikan tekanan	Sebanding dengan banyaknya inti aktif adsorben yang dapat bereaksi dengan adsorbat
Kecepatan Adsorpsi	Besar	Kecil

Sumber: (Herawaty, 1993)

2.3.2 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Adsorpsi

Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi proses adsorpsi, yaitu:

1. Luas Permukaan

Semakin luas permukaan adsorben, maka semakin banyak zat yang teradsorpsi. Luas permukaan adsorben ditentukan oleh ukuran partikel dan jumlah dari adsorben (Syauqiah, 2011).

2. Jenis Adsorbat

Peningkatan polarisabilitas adsorbat akan meningkatkan kemampuan adsorpsi molekul yang mempunyai polarisabilitas yang tinggi (polar) dibandingkan molekul yang tidak dapat membentuk dipol (non polar). Peningkatan berat molekul adsorbat dapat meningkatkan kemampuan adsorpsi. Adsorbat dengan rantai yang bercabang biasanya lebih mudah diadsorpsi dibandingkan rantai yang lurus (Syauqiah, 2011).

3. Konsentrasi Adsorbat

Semakin besar konsentrasi adsorbat pada larutan maka semakin banyak substansi yang terkumpul dalam permukaan adsorben (Syauqiah, 2011).

4. Temperatur

Pemanasan atau pengaktifan adsorben akan meningkatkan daya serap adsorben terhadap adsorban menyebabkan pori-pori adsorben lebih terbuka. Pemanasan yang terlalu tinggi menyebabkan rusaknya adsorben sehingga kemampuan penyerapannya menurun (Syauqiah, 2011).

5. pH

pH larutan mempengaruhi kelarutan ion logam, aktivasi gugus fungsi pada biosorben dan kompetisi ion logam dalam proses adsorpsi (Syauqiah, 2011).

6. Kecepatan Pengadukan

Kecepatan pengadukan menentukan kecepatan waktu kontak adsorben dan adsorbat. Bila pengadukan terlalu lambat maka proses adsorpsi berlangsung lambat pula, tetapi bila pengadukan terlalu cepat maka kemungkinan struktur adsorben cepat rusak, sehingga proses adsorpsi kurang optimal (Syauqiah, 2011).

7. Waktu Kontak

Penentuan waktu kontak yang menghasilkan adsorpsi maksimum terjadi pada waktu kesetimbangan (Syauqiah, 2011).

2.4 Isoterm Adsorpsi

Isoterm adsorpsi merupakan interaksi antara adsorbat dan adsorben yang digunakan untuk menghilangkan polutan organik. Kapasitas adsorpsi (q) jumlah adsorbat yang teradsorb atau terikat pada adsorben yang dapat dihitung menggunakan persamaan (1) berikut:

$$q_e = [(C_o - C_e)] \frac{V}{W} \dots \dots \dots (1)$$

Dengan ketentuan q_e adalah kapasitas adsorpsi (mg/g), C_o adalah konsentrasi analit sebelum proses adsorpsi (mg/L), C_e adalah konsentrasi analit sesudah proses adsorpsi (mg /L), V adalah volume larutan (L), W adalah massa adsorben (g) (Liu, dkk. 2010).

Terdapat beberapa jenis persamaan isoterm adsorpsi yang sering digunakan secara luas, yaitu Isoterm Langmuir dan Isoterm Freundlich.

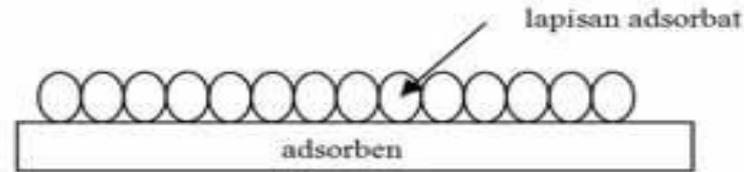
2.4.1 Persamaan Langmuir

Langmuir menurunkan teori isoterm adsorpsi dengan menggunakan model sederhana berupa padatan yang mengadsorpsi gas pada permukaannya. Model ini mendefinisikan bahwa kapasitas adsorpsi maksimum mengakibatkan adanya lapisan tunggal (*monolayer*) adsorbat di permukaan adsorben.

Model Isoterm Langmuir ini didasarkan pada asumsi bahwa laju adsorpsi akan bergantung pada faktor ukuran dan struktur molekul adsorbat, sifat pelarut dan porositas adsorben, situs pada permukaan yang homogen, dan adsorpsi terjadi secara *monolayer*. Proses adsorpsi memiliki dua tahap yaitu perpindahan adsorbat dari fasa larutan ke permukaan adsorben dan adsorpsi pada permukaan adsorben. Tahap pertama akan bergantung pada sifat pelarut dan adsorbat yang terkontrol.

Pendekatan Langmuir meliputi lima asumsi mutlak, yaitu:

- a. Gas yang teradsorpsi berkelakuan ideal dalam fasa uap.
- b. Gas yang teradsorpsi dibatasi sampai lapisan *monolayer*.
- c. Permukaan adsorbat homogen, artinya afinitas setiap kedudukan ikatan untuk molekul gas sama.
- d. Tidak ada antaraksi lateral antar molekul adsorbat.
- e. Molekul gas yang teradsorpsi terlokalisasi, artinya mereka tidak bergerak pada permukaan.



Gambar 2.3. Ilustrasi Adsorpsi dengan persamaan Langmuir

Persamaan Langmuir (2) dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\frac{C_e}{q_e} = \left(\frac{1}{K_L \cdot q_m} + \frac{1}{q_m} C_e \right) \dots \dots \dots (2)$$

Dimana:

C_e = Konsentrasi adsorbat pada kesetimbangan pada fasa cair (mg/L)

q_e = Konsentrasi adsorbat pada adsorben (mg/g)

K_L = Konstanta adsorpsi Langmuir (L/mg)

q_m = Kapasitas adsorpsi maksimum (mg/g)

$1/K_L \cdot q_m$ = Intersep

$1/q_m$ = Kemiringan atau sensitifitas

$K_L \cdot q_m$ = Konstanta keseimbangan

2.4.2 Persamaan Freundlich

Model Freundlich menjelaskan bahwa proses adsorpsi terjadi pada permukaan yang heterogen dan kapasitas adsorpsi berhubungan dengan konsentrasi adsorbat. Persamaan umum Freundlich (3) (4) dapat dijelaskan dengan persamaan berikut:

$$\text{Log } q_e = \text{log } K_f + \frac{1}{n} \text{log } C_e \dots \dots \dots (3)$$

$$q_e = K_f \cdot C_e^{1/n} \dots \dots \dots (4)$$

Dimana:

C_e = Konsentrasi adsorbat pada kesetimbangan pada fasa cair (mg/L)

q_e = Konsentrasi adsorbat pada adsorben (mg/g)

K_f = Konstanta/Kapasitas adsorpsi (mg/g)

n = Ukuran penyimpangan linearitas

Kurva persamaan garis lurus *Langmuir* dan *Freundlich* diperoleh

dengan memplot berturut-turut C_e/q_e terhadap C_e dan $\log q_e$ terhadap $\log C_e$, dan dari persamaan isoterm tersebut dapat dicari kapasitas adsorpsi optimum adsorben terhadap adsorbat.

Persamaan *Langmuir* juga digunakan untuk memperoleh nilai R_L yang menggambarkan dimensi parameter kesetimbangan atau faktor pemisahan dengan Persamaan (5).

$$R_L = \frac{1}{1 + K_L C_e} \dots \dots \dots (5)$$

Berdasarkan nilai R_L , bentuk isoterm dapat ditafsirkan sebagai $R_L > 1$ menggambarkan adsorpsi yang kurang baik, $R_L = 1$ adsorpsi linear, $0 < R_L < 1$ adsorpsi yang bagus, $R_L = 0$ adsorpsi *irreversible*. Persamaan *Langmuir* banyak digunakan untuk membahas adsorpsi *monolayer* (lapisan tunggal) sedangkan persamaan *Freundlich* digunakan untuk adsorpsi bersifat *bilayer* (Zakaria, 2009).

2.5 Adsorben

Penyerapan adsorben dipengaruhi oleh volume yang dipakai, dan luas permukaan spesifik.

Karakteristik adsorben yang dibutuhkan untuk adsorpsi yang baik:

- Luas permukaan adsorben. Semakin besar luas permukaan maka semakin besar pula daya adsorpsinya, karena proses adsorpsi terjadi pada permukaan adsorben.
- Tidak ada perubahan volume yang berarti selama proses adsorpsi dan desorpsi.
- Kemurnian adsorben. Adsorben yang memiliki tingkat kemurnian tinggi, daya adsorpsinya lebih baik.
- Jenis/gugus fungsi atom yang ada pada permukaan adsorben. Sifat – sifat atom di permukaan berkaitan dengan interaksi molekuler antara adsorbat dan adsorben yang lebih besar pada adsorbat tertentu.