

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Adsorpsi

2.1.1 Pengertian Adsorpsi

Adsorpsi secara umum merupakan proses penggumpalan substansi terlarut yang ada dalam larutan oleh permukaan benda atau zat penyerap. Adsorpsi adalah masuknya bahan yang mengumpul dalam suatu zat padat. Keduanya sering muncul bersamaan dengan suatu proses maka ada yang menyebutnya sorpsi. Baik adsorpsi maupun absorpsi sebagai sorpsi terjadi pada tanah liat maupun padatan lainnya, namun unit operasinya dikenal sebagai adsorpsi (Giyatmi, 2008)

Adsorpsi adalah proses perpindahan massa pada permukaan pori-pori dalam butiran adsorben. Perpindahan massa yang terjadi melalui batas antara dua fasa yaitu gas-padat, cair-padat (Asip,dkk., 2008). Proses yang terjadi selama adsorpsi yaitu perpindahan massa dari cairan ke permukaan butir, difusi dari permukaan butir ke dalam butir melalui pori, perpindahan massa dari cairan dalam pori ke dinding pori dan adsorpsi pada dinding pori. Adsorpsi dapat terjadi karena adanya energi permukaan dan gaya tarik-menarik permukaan. Sifat dari masing-masing permukaan berbeda, tergantung pada susunan dalam molekul-molekul zat.

2.1.2 Jenis-jenis Adsorpsi

Adsorpsi ada dua jenis, yaitu adsorpsi fisika dan adsorpsi kimia:

a. Adsorpsi Fisika (*Physisorption*)

Terjadi karena gaya Van der Waals dimana ketika gaya tarik molekul antara larutan dan permukaan media lebih besar daripada gaya tarik substansi terlarut dan larutan, maka substansi terlarut akan diadsorpsi oleh permukaan media. Physisorption ini memiliki gaya tarik Van der Waals yang kekuatannya relatif kecil. Molekul terikat sangat lemah dan energi yang dilepaskan pada adsorpsi fisika relatif rendah sekitar 20 kJ/mol. Contoh : adsorpsi oleh arang aktif. Aktivasi arang aktif pada temperatur yang tinggi akan menghasilkan struktur berpori dan luas permukaan adsorpsi yang besar. Semakin besar luas permukaan, maka semakin banyak substansi terlarut yang melekat pada permukaan media adsorpsi.

b. Adsorpsi Kimia (*Chemisorption*)

Chemisorption terjadi ketika terbentuknya ikatan kimia antara substansi terlarut dalam larutan dengan molekul dalam media. Chemisorpsi terjadi diawali dengan adsorpsi fisik, yaitu partikel-partikel adsorbat mendekat ke permukaan adsorben melalui gaya Van der Waals atau melalui ikatan hidrogen. Dalam adsorpsi kimia partikel melekat pada permukaan dengan membentuk ikatan kimia (biasanya ikatan kovalen), dan cenderung mencari tempat yang memaksimalkan bilangan koordinasi dengan substrat. Contoh : Ion exchange (Atkin, 1999).

Seperti yang telah dijelaskan diatas, bahwa adsorpsi secara fisika dan kimia berbeda antara satu sama lain, secara rinci perbedaannya dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut:

Tabel 2.1 Perbedaan Adsorpsi Secara Fisika dan Kimia

Adsorpsi Fisika	Adsorpsi Kimia
Molekul terikat pada adsorben oleh gaya van der Waals.	Molekul terikat pada adsorben oleh ikatan kimia.
Mempunyai entalpi reaksi -4 sampai -40 kJ/mol.	Mempunyai entalpi reaksi -40 sampai -800 kJ/mol.
Dapat membentuk lapisan <i>multilayer</i>	Membentuk lapisan <i>monolayer</i>
Adsorpsi hanya terjadi pada suhu dibawah titik didih adsorbat.	Adsorpsi dapat terjadi pada suhu tinggi.
Jumlah adsorpsi pada permukaan merupakan fungsi adsorbat.	Jumlah adsorpsi pada permukaan merupakan karakteristik adsorben dan adsorbat.
Tidak melibatkan energi aktivasi.	Melibatkan energi aktivasi tertentu.
Bersifat tidak spesifik.	Bersifat sangat spesifik.

Sumber: Atkin, 1999

2.1.3 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Adsorpsi

Daya serap adsorpsi dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya yaitu pH, temperatur, konsentrasi logam, dan luas permukaan adsorben. (Cechinel, dkk., 2013). Adapun faktor-faktor lain yang mempengaruhi daya adsorpsi yaitu :

1. Jenis Adsorbat

Ukuran molekul adsorbat Ukuran molekul adsorbat 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.

2. Suhu

Pada saat molekul-molekul adsorbat menempel pada permukaan adsorben terjadi pembebasan sejumlah energi sehingga adsorpsi digolongkan bersifat eksoterm. Bila suhu rendah maka kemampuan adsorpsi meningkat sehingga adsorbat bertambah.

3. Karakteristik Adsorben

Ukuran pori dan luas permukaan adsorben merupakan karakteristik penting adsorben. Ukuran pori berhubungan dengan luas permukaan semakin kecil ukuran pori adsorben maka luas permukaan semakin tinggi. Sehingga jumlah molekul yang teradsorpsi akan bertambah. Selain itu kemurnian adsorben juga merupakan karakteristik yang utama dimana pada fungsinya adsorben yang lebih murni yang lebih diinginkan karena kemampuan adsorpsi yang baik.

2.1.4 Mekanisme Adsorpsi

Mekanisme yang terjadi pada proses adsorpsi yaitu :

- Molekul-molekul adsorben berpindah dari fase bagian terbesar ke permukaan antara adsorben yaitu lapisan film yang melapisi permukaan adsorben.
- Molekul-molekul adsorben berpindah dari permukaan antara adsorben ke permukaan luar.
- Molekul-molekul adsorbat berpindah dari permukaan luar adsorben, dimana molekul tersebut menyebar menuju pori-pori adsorben.
- Molekul-molekul adsorbat menempel pada permukaan pori-pori adsorben.

Sifat yang paling utama dari adsorben adalah kemampuannya untuk menyerap. Sifat ini didasari pada padatan sifat adsorben yang memiliki luas permukaan atau pori-pori yang besar. Daya serap adsorben erat hubungannya dengan sifat keaktifan adsorben tersebut. Apabila suatu larutan terkontak dengan butiran adsorben yang berpori, maka molekul-molekul zat terlarut tertarik pada permukaan pori dan tertahan ditempat tersebut melalui gaya-gaya yang lemah.

Proses adsorpsi dibedakan menjadi 3 tahap :

1. Tahap Adsorpsi

Tahap dimana terjadi proses adsorpsi. Adsorbate tertahan pada permukaan

adsorbent (tertahannya gas atau uap atau molekul pada permukaan padatan). Pada proses adsorpsi umumnya dilakukan untuk senyawa organik dengan berat molekul (BM) lebih besar dari 46 dan dengan konsentrasi yang kecil.. Semakin besar BM maka proses adsorpsi akan semakin baik.

2. Tahap Desorpsi

Tahap ini merupakan kebalikan pada tahap adsorpsi, dimana adsorbate dilepaskan dari adsorbent (lepasnya gas atau uap atau molekul pada permukaan padatan). Desorpsi dapat dilakukan dengan beberapa cara, diantaranya adalah :

- Menaikkan temperature adsorbent di atas temperature didih adsorbent, dengan cara mengalirkan uap panas/ udara panas atau dengan pemanasan.
- Menambahkan bahan kimia atau secara kimia.
- Menurunkan tekanan.

3. Tahap Recovery

Tahap ini merupakan tahap pengolahan dari gas, uap atau molekul yang telah di desorpsi, dimana recovery dapat di lakukan dengan :

- Kondensasi
- Dibakar
- Solidifikasi

2.2 Isotermal Adsorpsi

Isoterm adsorpsi merupakan fungsi konsentrasi zat terlarut yang terserap pada padatan terhadap konsentrasi larutan. Persamaan yang dapat digunakan untuk menjelaskan data percobaan isoterm dikaji oleh Freundlich, Langmuir, serta Brunauer, Emmet dan Teller (BET). Tipe isoterm adsorpsi dapat digunakan untuk mempelajari mekanisme adsorpsi adsorpsi fase cair-padat pada umumnya menganut tipe isoterm Freundlich dan Langmuir (Atkins, 1999). Adsorben yang baik memiliki kapasitas adsorpsi dan presentase penyerapan yang tinggi.

2.2.1 Isotermal Langmuir

Menurut Benefield dalam Khan (2016), Isotermal langmuir dibuat oleh Langmuir pada tahun 1918, dan didasarkan pada asumsi bahwa nilai valensi ada di permukaan adsorben dan masing-masing site (tempat terjadinya adsorpsi di

permukaan adsorben) memiliki kemampuan untuk menjerap satu molekul dengan demikian akan ada satu lapisan. Pada tahun 1918, Langmuir menurunkan teori isoterm adsorpsi dengan menggunakan model sederhana berupa padatan yang mengadsorpsi gas pada permukaannya. Model ini mendefinisikan bahwa kapasitas adsorpsi maksimum terjadi akibat adanya lapisan tunggal (monolayer) adsorbat di permukaan adsorben (Mulyana dkk, 2003).

Pendekatan Langmuir meliputi lima asumsi mutlak, yaitu:

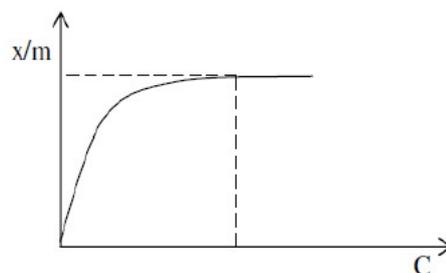
1. Gas yang teradsorpsi berkelakuan ideal dalam fasa uap.
2. Gas yang teradsorpsi dibatasi sampai lapisan monolayer.
3. Permukaan adsorbat homogen, artinya afinitas setiap kedudukan ikatan untuk molekul gas sama.
4. Tidak ada antaraksi lateral antar molekul adsorbat
5. Molekul gas yang teradsorpsi terlokalisasi, artinya mereka tidak bergerak pada permukaan.

$$\frac{x}{m} = \frac{a \cdot C}{1 + b \cdot C} \dots\dots\dots (\text{Khan, 2016})$$

$$1 + b \cdot C \dots\dots\dots (\text{Khan, 2016})$$

$$\frac{m \cdot C}{x} = \frac{1}{a} + \frac{b}{a} \cdot C \dots\dots\dots (\text{Khan, 2016})$$

Dengan membuat kurva $m \cdot C / X_m$ terhadap C akan diperoleh persamaan linear dengan intersep $1/a$ dan kemiringan (b/a) , sehingga nilai a dan b dapat dihitung, dari besar kecilnya nilai a dan b menunjukkan daya adsorpsi.



Gambar 2.1 Kurva Isoterm Langmuir (Suarsa, 2017)

2.2.2 Isotermal Freundlich

Model ini dibuat oleh Freundlich pada tahun 1926 dengan berdasarkan asumsi bahwa adsorben memiliki site yang heterogen dan adanya perbedaan energi pengikatan pada tiap site. Pendekatan isoterm adsorpsi yang cukup memuaskan dijelaskan oleh H. Freundlich. Menurut Freundlich, jika y adalah berat zat terlarut

per gram adsorben dan c adalah konsentrasi zat terlarut dalam larutan. Dari konsep tersebut dapat diturunkan persamaan sebagai berikut (Mulyana dkk, 2003)

$$\frac{xm}{m} = k \cdot \frac{C^1}{n}$$

$$\log\left(\frac{xm}{m}\right) = \log k + \frac{1}{n} \cdot \log C$$

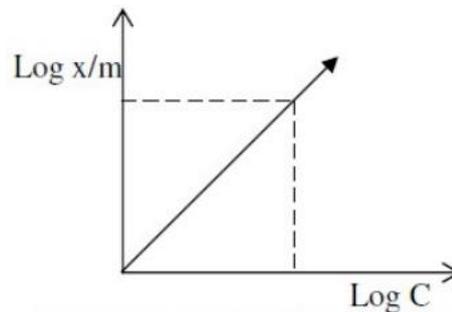
dimana:

Xm = berat zat yang diadsorpsi

m = berat adsorben

C = konsentrasi zat

Kemudian k dan n adalah konstanta adsorpsi yang nilainya bergantung pada jenis adsorben dan suhu adsorpsi. Bila dibuat kurva $\log (Xm / m)$ terhadap $\log C$ akan diperoleh persamaan linear dengan intersep $\log k$ dan kemiringan $1/n$, sehingga nilai k dan n dapat dihitung.



Gambar 2.2 Kurva isoterm Freundlich (Suarsa, 2017)

2.3 Adsorben

Adsorben dapat didefinisikan sebagai zat padat yang dapat menyerap komponen tertentu dari suatu fase fluida (Arfan, 2006). Adsorben adalah zat atau mineral yang mempunyai kemampuan untuk meningkat dan mempertahankan cairan atau gas didalamnya (Suryawan, 2004). Adsorben merupakan material berpori, dan proses adsorpsi berlangsung di dinding pori-pori atau pada lokasi tertentu.

Adsorben dapat digolongkan menjadi 2 jenis, yaitu adsorben tidak berpori dan adsorben berpori (Arfan, 2006)

a. Adsorben tidak berpori (non-porous sorbents)

Adsorben tidak berpori dapat diperoleh dengan cara presipitasi deposit kristalin seperti BaSO₄ atau penghalusan padatan kristal. Adsorben tidak berpori seperti filter karet dan karbon gitam bergrafit adalah jenis adsorben tidak berpori yang telah mengalami perlakuan khusus sehingga luas permukaannya dapat mencapai ratusan m²/g.

b. Adsorben berpori

Luas permukaan spesifik adsorben berpori berkisar antara 100-1000 m²/g. Biasanya digunakan sebagai penyangga katalis, dehidrator, dan penyeleksi komponen. Adsorben ini umumnya berbentuk granular.

Beberapa jenis adsorben berpori yang telah digunakan secara komersial antara lain adalah karbon aktif, zeolit, silika gel, dan activated alumina. Kriteria yang harus dipenuhi suatu adsorben untuk dapat menjadi adsorben komersial adalah (Arfan, 2006):

- Memiliki permukaan yang besar per unit massanya sehingga kapasitas adsorpsinya akan semakin besar pula.
- Secara alamiah dapat berinteraksi dengan adsorbat pasangannya.
- Ketahanan struktur fisik yang tinggi
- Mudah diperoleh, harga tidak mahal, tidak korosif, dan tidak beracun
- Tidak ada perubahan volume yang berarti selama proses adsorpsi,
- Mudah dan ekonomis untuk diregenerasi.

Karakteristik adsorben yang dibutuhkan untuk adsorpsi yang baik :

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

2.4 Aktivasi

Proses aktivasi merupakan hal yang penting diperhatikan disamping bahan baku yang digunakan. Aktivasi adalah suatu perlakuan terhadap arang yang bertujuan untuk memperbesar pori yaitu dengan cara memecahkan ikatan hidrokarbon atau mengoksidasi molekul-molekul permukaan sehingga arang mengalami perubahan sifat, baik fisika maupun kimia, yaitu luas permukaannya bertambah besar dan berpengaruh terhadap daya adsorpsi (Sembiring, 2003).

Metode aktivasi yang umum digunakan adalah:

1. Aktivasi Secara Kimia

Aktivasi kimia merupakan proses pemutusan rantai karbon dari senyawa organik dengan pemakaian bahan-bahan kimia (Sembiring, 2003). Aktivasi secara kimia biasanya menggunakan bahan-bahan pengaktif seperti garam kalsium klorida (CaCl_2), magnesium klorida (MgCl_2), seng klorida (ZnCl_2), natrium hidroksida (NaOH), natrium karbonat (Na_2CO_3) dan natrium klorida (NaCl). Selain garam mineral biasanya digunakan ialah berbagai asam dan basa organik seperti asam sulfat (H_2SO_4), asam klorida (HCl), asam hipoklorit (H_3PO_4), kalium hidroksida (KOH), dan natrium hidroksida (NaOH).

Kerugian penggunaan bahan-bahan mineral sebagai pengaktif terletak pada proses pencucian bahan-bahan mineral tersebut kadang-kadang sulit dihilangkan lagi dengan pencucian. Sedangkan keuntungan penggunaan bahan-bahan mineral sebagai pengaktif adalah waktu aktivasi yang relatif pendek, karbon aktif yang dihasilkan lebih banyak dan daya adsorpsi terhadap suatu adsorbat akan lebih baik (Jankowska, 1991).

Bahan-bahan pengaktif tersebut berfungsi untuk mendegradasi atau penghidrasi molekul organik selama proses karbonisasi, membatasi pembentukan tar, membantu dekomposisi senyawa organik pada aktivasi berikutnya, dehidrasi air yang terjebak dalam rongga-rongga karbon, membantu menghilangkan endapan hidrokarbon yang dihasilkan saat proses karbonisasi dan melindungi permukaan karbon sehingga kemungkinan terjadinya oksidasi dapat dikurangi (Manocha, 2003).

2. Aktivasi Secara Fisika

Aktivasi fisika merupakan proses pemutusan rantai karbon dari senyawa organik dengan bantuan panas, uap dan CO₂ (Sembiring, 2003). Metode aktivasi secara fisika antara lain dengan menggunakan uap air, gas karbon dioksida, oksigen, dan nitrogen. Gas-gas tersebut berfungsi untuk mengembangkan struktur rongga yang ada pada arang sehingga memperluas permukaannya, menghilangkan konstituen yang mudah menguap dan membuang produksi tar atau hidrokarbonhidrokarbon pengotor pada arang.

Aktivasi fisika dapat mengubah material yang telah dikarbonisasi dalam sebuah produk yang memiliki luas permukaan yang luar biasa dan struktur pori. Tujuan dari proses ini adalah mempertinggi volume, memperluas diameter pori yang terbentuk selama karbonisasi dan dapat menimbulkan beberapa pori yang baru. Fluidized bed reactor dapat digunakan untuk proses aktivasi fisika. Tipe reaktor ini telah digunakan untuk pembuatan karbon aktif dari batu (Swiatkowski,1998).

2.5 Natrium Hidroksida (NaOH)

Natrium hidroksida (NaOH) juga dikenal sebagai soda kaustik, soda api, atau sodium hidroksida adalah sejenis basa logam kaustik. Natrium Hidroksida terbentuk dari oksida basa Natrium Oksida dilarutkan dalam air. Natrium hidroksida membentuk larutan alkalin yang kuat ketika dilarutkan ke dalam air. Ia digunakan di berbagai macam bidang industri, kebanyakan digunakan sebagai basa dalam proses produksi bubur kayu dan kertas, tekstil, air minum, sabun dan deterjen. Natrium hidroksida adalah basa yang paling umum digunakan dalam laboratorium kimia (Kesumayadi dan Heri, 2015).



Gambar 2.3 Natrium Hidroksida (Mammoria, 2016)

Pemanfaatan NaOH pada laboratorium biasanya digunakan untuk meneralkan asam sedangkan di bidang industri untuk memurnikan minyak tanah, pembuatan sabun dan detergen, pembuatan pulp dan kertas, penetralan asam pada limbah dan membuat garam-garam natrium (Oktari, 2014).

NaOH murni memiliki warna putih jernih dan umumnya diproduksi dalam bentuk *flake*. NaOH sangat mudah larut dan memiliki kelarutan yang tinggi dalam air dibanding dalam ethanol atau methanol.

Berikut sifat fisik NaOH:

Rumus Kimia	: NaOH
Bentuk	: Padat
Berat Molekul	: 40 g/mol
Titik Didih	: 318° C
Titik Lebur	: 1390° C
Larut dalam	: air
Densitas	: 2,1 g/ml
Spesific Grafity	: 2,1
Kelarutan	: 111 g/100 ml (20°C)
Larut Dalam	: Air, Metanol (Kirk dan Othmer, 1952)

Sedangkan sifat-sifat kimia dari NaOH ialah sebagai berikut :

1. Natrium hidroksida memiliki sifat mudah menguap
2. Higroskopis yang artinya zat yang dapat menyerap air
3. Natrium hidroksida ini juga merupakan zat kimia yang mudah terionisasi
4. Larutannya merupakan elektrolit kuat karena terionisasi sempurna pada air
5. Bisa didapat dari reaksi NaOH dan HCl sehingga pHnya netral.

2.6 Asam Klorida (HCl)

Asam klorida adalah larutan akuatik dari gas hidrogen klorida. Asam klorida ini merupakan asam kuat, dan terbuat dari atom hidrogen dan klorin. Asam klorida bersifat korosif, yang berarti akan merusak dan mengikis jaringan biologis bila tersentuh. Uap HCl bisa menyebabkan iritasi saluran pernapasan, HCl dapat juga menyebabkan kerusakan besar internal jika terhirup atau tertelan. Untuk alasan ini, disarankan bahwa seseorang menangani HCl menggunakan sarung tangan, kacamata, dan masker saat bekerja dengan asam ini (Oktari, 2014).



Gambar 2.4 Asam Klorida (Dokumen Pribadi, 2021)

Sifat – sifat fisika HCl (ScienceLab, 2009):

Berat molekul	: 36,5 gr/mol
Densitas	: 1,19 gr/ml
Titik didih	: 50,50 °C (1atm)
Titik lebur	: -250 C (1 atm)
Tekanan uap	: 16 kPa (20° C)
Berbau tajam	

Sifat-sifat kimia HCl (Greenwood dkk, 1997) :

- Bersifat volatil (mudah menguap).
- Merupakan asam kuat.
- Berasap di udara karena mudah mengembun bersama dengan uap air.
- Dapat teroksidasi oleh oksidator kuat (MnO_2 , KMnO_4 , atau $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$).

- Larut dalam air.
- Bereaksi dengan air yang merupakan reaksi eksoterm.
- Pada konsentrasi tinggi sangat korosif dan mudah melarutkan zat organik.

Kegunaan asam klorida dalam kehidupan sehari-hari :

1. HCl merupakan bahan baku pembuatan besi (III) klorida (FeCl_3) dan polyaluminium chloride (PAC), yaitu bahan kimia yang digunakan sebagai bahan baku koagulan dan flokulan. Koagulan dan flokulan digunakan pada pengolahan air.
2. Sebagai bahan baku pembuatan vinyl klorida, yaitu monomer untuk pembuatan plastik polyvinyl chloride atau PVC.
3. Asam klorida digunakan pada industri logam untuk menghilangkan karat atau kerak besi oksida dari besi atau baja.
4. Asam klorida dimanfaatkan pula untuk mengatur pH (keasaman) air limbah cair industri, sebelum dibuang ke badan air penerima.
5. HCl digunakan pada proses produksi gelatin dan bahan aditif pada makanan.
6. Di laboratorium, asam klorida biasa digunakan untuk titrasi penentuan kadar basa dalam sebuah larutan.
7. Asam klorida juga berguna sebagai bahan pembuatan cairan pembersih porselen.
8. HCl digunakan pula dalam proses regenerasi resin penukar kation (cation exchange resin).
9. Kegunaan-kegunaan lain dari asam klorida diantaranya adalah pada proses produksi baterai, kembang api dan lampu blitz kamera.
10. Campuran asam klorida dan asam nitrat (HNO_3) atau biasa disebut dengan aqua regia, adalah campuran untuk melarutkan emas.
11. Pada skala industri, HCl juga digunakan dalam proses pengolahan kulit.

2.7 Cangkang Telur

Cangkang telur merupakan lapisan luar dari telur yang berfungsi melindungi semua bagian telur dari luka atau kerusakan. Cangkang telur merupakan bagian yang sangat penting terutama sebagai pelindung dari isi telur. Cangkang telur

tersusun oleh bahan anorganik 95.1%, protein 3.3%, dan air 1.6%. Namun, komposisi ini dapat berbeda-beda pada setiap spesies unggas (Darmono 1995).



Gambar 2.5 Cangkang Telur (Dokumen Pribadi, 2021)

Cangkang telur mengandung sekitar 98 % CaCO_3 (calcium carbonat) dan memiliki 10.000 - 20.000 pori-pori sehingga diperkirakan dapat menyerap suatu solute dan dapat digunakan sebagai adsorben. Disamping itu kandungan terbesar cangkang telur adalah kalsium karbonat, dimana kalsium karbonat ini termasuk ke dalam adsorben polar (Hajar, 2016).

Kalsium karbonat (CaCO_3) merupakan penyusun utama cangkang telur berupa serbuk, tidak berasa, tidak berbau, putih, stabil di udara, tidak larut dalam air, kelarutan dalam air meningkat dengan adanya sedikit garam amonium atau karbondioksida, larut dalam asam nitrat dengan membentuk gelembung gas. Salah satu sifat kimia dari kalsium karbonat adalah dapat menetralisasi asam. Cangkang telur memiliki sifat-sifat adsorpsi yang baik, seperti bentuk pori, kalsium karbonat dan protein asam mukopolisakarida yang dapat dijadikan sebagai adsorben. Cangkang telur memiliki luas permukaan yang besar, sehingga memiliki daya adsorpsi yang tinggi. Cangkang telur juga dapat dijadikan adsorben dalam keadaan tidak diaktivasi maupun diaktivasi (Ratnasari, 2017).

Di seluruh bagian kulit telur terdapat banyak pori-pori dengan ukuran yang berbeda-beda. Umumnya pada setiap cm^2 kulit telur terdapat 7500 buah pori-pori dengan penyebaran yang berbeda-beda. Pori-pori telur ayam mempunyai ukuran lebar sekitar 9 - 38 mikron dan panjang sekitar 14 - 54 mikron (Widyantara, 2016). Beberapa jenis mineral penting yang menyusun cangkang telur seperti tabel 2.2

Tabel 2.2 Berat absolut dan relatif dari mineral penyusun cangkang telur

Mineral	% dari Berat Total	g/berat total
Kalsium (Ca)	37,30	2,30
Magnesium (Mg)	0,38	0,02
Fosfor (P)	0,35	0,02
Karbonat (CO)	58,00	3,50
Mangan (Mn)	7	Ppm

Sumber: Yuwanta (2010)

Tabel 2.3 Komposisi Nutrisi Cangkang Telur

Nutrisi	Cangkang Telur (%berat)
Air	29 – 35
Protein	1,4 – 4
Lemak murni	0,10 – 0,20
Abu	89,9 – 91,1
Kalsium	35,1 – 36,4
Kalsium karbonat (CaCO ₃)	90,9
Fosfor	0,12
Sodium	0,15 – 0,17
Magnesium	0,37 – 0,40
Pottasium	0,10 – 0,13
Sulfur	0,09 – 0,19
Alanin	0,45
Arginin	0,56 – 0,57

Sumber : Irmawati,2018.

Tabel 2.4 Komposisi Kimia Dari Kulit Cangkang telur

Mineral total	% dari berat
Kalsium (Ca)	39
Protein	1,71
Lemak	0,36
air	0,93

Sumber : Irmawati, 2018.

Selain itu menurut penelitian yang dilakukan di ITB, bahan-bahan yang terkandung dalam cangkang telur ayam ras dapat dilihat pada tabel 2.5

Tabel 2.5 Bahan yang terkandung dalam Cangkang Telur Ayam Ras Komersil

Bahan – bahan yang terkandung	Jumlah (%)
Bahan kering (BK)	98,77
Protein Kasar (PK)	5,06
Serat kasar (SK)	8,47
Beta- N	26, 46
Calsium (Ca)	19, 20
Phosphor (P)	0, 39
Tembaga (Cu)	Td
Crom (Cr)	Td
Timbal (Pb)	Td
Magnesium (Mg)	2,501
Zinc (Zn)	0,001
Natrium (Na)	0,084
Besi (Fe)	0,037
Kalium (K)	0,047
Aspartat	0,44
Threonin	0,21
Histidin	0,15
Argini	0,34
Lysin	0,14
Leusin	0,25
Valin	0,29
Tyrosin	0,11
Alanin	0,20
Glisin	0,31
Serin	0,26
Glutamat	0,61

Sumber : Irmawati, 2018.

2.7.1 Struktur Cangkang Telur

Cangkang telur tersusun atas struktur berlapis tiga, yaitu lapisan kutikula, lapisan sponge (busa) dan lapisan lamellar. Lapisan kutikula merupakan protein transparan yang melapisi permukaan cangkang telur. Lapisan ini melapisi pori-pori pada cangkang telur, tetapi sifatnya masih dapat dilalui gas sehingga keluarnya uap air dan gas CO₂ masih dapat terjadi (Kusumawati, 2019).

Lapisan sponge (busa) dan lamellar membentuk matriks yang tersusun oleh serat-serat protein yang terikat dengan kristal kalsium karbonat (CaCO₃) atau disebut juga kalsit dengan perbandingan 1:50. Lapisan busa ini merupakan bagian

terbesar dari lapisan cangkang telur. Lapisan ini terdiri dari protein dan lapisan kapur yang terdiri dari kalsium karbonat, kalsium fosfat, magnesium karbonat, dan magnesium fosfat (Kusumawati, 2019).

Lapisan lamellar (*mamillary*) merupakan lapisan ketiga dari cangkang telur yang terdiri dari lapisan yang berbentuk kerucut dengan penampang bulat atau lonjong. Lapisan ini sangat tipis dan terdiri dari anyaman protein dan mineral. Di bawah lapisan lamellar terdapat lapisan membran yang merupakan bagian lapisan cangkang telur yang terdalam. Lapisan membrana terdiri dari dua lapisan selaput yang menyelubungi seluruh isi telur dan tebalnya lebih kurang 65 mikron. Lapisan membran (membran shell) terdiri dari lapisan membran dalam dan membran luar, keduanya mirip dinding yang menghalangi bakteri masuk dalam telur. Membran shell sendiri terdiri dari serabut-serabut protein yang membentuk membran yang semipermeabel (Wirakusumah, 2011).

2.8 Air Rawa

Air rawa merupakan limbah, sebab air rawa memiliki kandungan logam Fe, Mn dan mikroorganisme berbahaya. pH air rawa cenderung bersifat asam. Turbidity atau kekeruhan dari air disebabkan oleh adanya partikel-partikel dalam air atau suspended yang larut tetapi berwarna atau juga dapat dikelompokkan kedalam zat organik dan nonorganik, plankton serta mikroorganisme lainnya. Jadi turbidity adalah tingkat atau ukuran kekeruhan suatu fluida atau cairan yang digunakan untuk standar dibolehkannya atau ukuran kekeruhan suatu produk untuk kebutuhan manusia dan lingkungan. Kekeruhan itu tidak bisa dikorelasikan dengan persentase berat dari suspended-suspended dalam air itu karena ia mempunyai hubungan erat dengan cahaya (sifat-sifat optiknya), ukuran dan bentuk partikel itu sendiri. Rawa, berdasarkan Peraturan pemerintah Republik Indonesia Nomor 27 tahun 1991, adalah lahan genangan air secara alamiah yang terjadi terus-menerus atau musiman akibat drainase alamiah yang terhambat serta mempunyai ciri-ciri khusus terutama keadaan tanahnya cekung; ciri kimiawi, terutama derajat keasaman airnya rendah; dan ciri biologis, terutama terdapat ikan-ikan rawa, tumbuhan rawa dan hutan rawa. Kualitas air menyatakan tingkat kesesuaian air untuk dipergunakan bagi pemenuhan kehidupan manusia seperti untuk kebutuhan langsung, air minum,

mandi dan sebagainya. Untuk keperluan air bersih faktor yang harus diperhatikan adalah kandungan besi, kesadahan CaCO_3 , klorida, mangan, nitrat, nitrit, pH dan kandungan sulfat. Air rawa tidak memenuhi syarat-syarat kesehatan untuk air minum karena derajat keasamannya rendah (Agmalini, 2013).

2.9 Logam Berat

Logam berat terbagi menjadi 2 jenis yakni logam berat esensial dan logam berat non esensial. Logam berat esensial adalah logam dalam jumlah tertentu sangat dibutuhkan oleh organisme. Sedangkan dalam jumlah yang berlebihan, logam tersebut bisa menimbulkan efek toksik. Contohnya adalah Zn, Cu, Fe, Co, Mn, dan lain sebagainya, sedangkan logam berat tidak esensial adalah logam yang keberadaannya dalam tubuh masih belum diketahui manfaatnya, bahkan bersifat toksik seperti Hg, Cd, Pb, Cr, dan lain-lain (Darmono, 1995). Menurut Palar (2004), logam berat termasuk golongan logam dengan kriteria-kriteria yang sama dengan logam-logam lain. Perbedaannya terlihat jelas ketika logam berat ini berikatan atau masuk ke dalam tubuh organisme hidup.

Menurut Palar (2004), Logam berat berdasarkan racunnya dapat dikelompokkan menjadi 4 golongan antara lain :

- a. Sangat beracun yakni logam yang mengakibatkan kematian ataupun gangguan kesehatan yang pulih dalam waktu singkat, seperti Pb, Hg, Cd, Cr, dan As,
- b. Moderat yakni logam yang mengakibatkan gangguan kesehatan baik yang pulih maupun tidak dalam waktu yang relatif lama, seperti Ba, Be, Cu, Li, Au, Mn, Se, Te, Co, dan Rb,
- c. Kurang beracun yakni logam yang mengakibatkan gangguan kesehatan dalam jumlah yang besar, seperti Al, Bi, Co, Mg, K, Ni, Ag, Ti, Fe, dan Zn,
- d. Tidak beracun yakni logam yang tidak menimbulkan gangguan kesehatan, seperti Na, Sr, dan Ca.

Pencemaran logam berat akan semakin meningkat sejalan dengan meningkatnya industrialisasi. Meningkatnya perkembangan industri di Indonesia dapat menyebabkan pencemaran limbah logam berat juga meningkat. Pencemaran

logam berat di lingkungan dapat disebabkan oleh tingkat keracunan yang sangat tinggi pada seluruh aspek kehidupan makhluk hidup. Efek ion logam berat dengan konsentrasi rendah dapat berpengaruh langsung hingga terakumulasi pada rantai makanan, dengan adanya logam berat di lingkungan dapat memberikan pengaruh terhadap kesehatan manusia (Suhendrayatna, 2001).

Pencemaran logam berat dalam lingkungan bisa menimbulkan bahaya kesehatan pada manusia, hewan, tumbuhan, maupun lingkungan. Efek gangguan logam berat terhadap kesehatan manusia tergantung pada bagian mana dari logam berat tersebut yang terikat dalam tubuh serta seberapa besar dosis paparan. Efek toksik dari logam berat mampu menghalangi kerja enzim sehingga mengganggu metabolisme tubuh dan menyebabkan alergi, beberapa logam berat yang sangat berbahaya bagi manusia antara lain timbal, merkuri, tembaga, kadmium, dan krom (Suyanto, 2010).

2.10 Logam Besi (Fe) pada Air

Air tanah mengalami kontak dengan berbagai macam material yang terdapat di dalam bumi. Sehingga pada umumnya air tanah mengandung kation dan anion terlarut dan beberapa senyawa anorganik seperti silika (SiO_2). Ion-ion yang biasanya terkandung dalam air tanah meliputi kalsium, besi, magnesium, natrium, kalium, klorida. Sedangkan gas-gas terlarut meliputi nitrogen, karbondioksida, metana, oksigen, dan hidrogen sulfida (Fetter, 1999)

Besi (Fe) adalah logam berwarna putih keperakan, liat dan dapat dibentuk. Fe dalam susunan unsur berkala termasuk logam golongan VIII B, dengan berat atom 55,85 g.mol^{-1} , nomor atom 26, berat jenis 7,86 g.cm^{-3} dan umumnya mempunyai valensi 2 dan 3 (selain 1, 4, 6). Besi (Fe) adalah logam yang dihasilkan oleh bijih besi, jarang dijumpai dengan keadaan bebas, untuk mendapatkan unsur besi campuran lain harus dipisahkan melalui beberapa proses-proses kimia. (Eaton, 2005).

Pada umumnya besi dalam air dapat bersifat:

1. Terlarut sebagai Fe^{2+} (Ferro) atau Fe^{3+} (Ferri).
2. Tersuspensi sebagai butir koloidal (diameter $< 1 \mu\text{m}$) atau yang lebih besar seperti Fe_2O_3 , FeO , $\text{Fe}(\text{OH})_3$, dan sebagainya.

3. Tergabung dengan zat organik atau zat padat yang inorganik seperti tanah liat.

Pada air permukaan jarang ditemui kadar Fe lebih besar dari 1 mg/Liter, tetapi dalam air tanah kadar Fe dapat jauh lebih tinggi. Konsentrasi Fe yang tinggi ini dapat dirasakan dan dapat menodai kain, perkakas dapur, dan alat sanitasi. Kehadiran mangan dalam air tanah bersamaan dengan besi yang berasal dari tanah dan bebatuan. Mangan dalam air berbentuk mangan bikarbonat ($\text{Mn}(\text{HCO}_3)_2$), mangan klorida (MnCl_2) dan mangan sulfat (MnSO_4) (Febrina dan Astrid, 2014).

Kandungan Fe di bumi sekitar 6.22 %, di tanah sekitar 0.5 – 4.3%, di sungai sekitar 0.7 mg/l, di air tanah sekitar 0.1 – 10 mg/l, air laut sekitar 1 – 3 ppb, pada air minum tidak lebih dari 200 ppb. Pada air permukaan biasanya kandungan zat besi relatif rendah yakni jarang melebihi 1 mg/L sedangkan konsentrasi besi pada air tanah bervariasi mulai dari 0,01 mg/l sampai dengan ± 25 mg/l. Di alam biasanya banyak terdapat di dalam bijih besi *hematite*, *magnetite*, *taconite*, *limonite*, *goethite*, *siderite* dan *pyrite* (FeS), sedangkan di dalam air umumnya dalam bentuk terlarut sebagai senyawa garam ferri (Fe^{3+}) atau garam ferro (Fe^{2+}); tersuspensi sebagai butir koloidal (diameter < 1 mm) atau lebih besar seperti, $\text{Fe}(\text{OH})_3$; dan bergabung dengan zat organik atau zat padat yang anorganik (seperti tanah liat dan partikel halus terdispersi). Senyawa ferro dalam air yang sering dijumpai adalah FeO , FeSO_4 , $\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$, FeCO_3 , $\text{Fe}(\text{OH})_2$, FeCl_2 sedangkan senyawa ferri yang sering dijumpai yaitu FePO_4 , Fe_2O_3 , FeCl_3 , $\text{Fe}(\text{OH})_3$. (Eaton, 2005).

Besi menyusun 5% dari kerak bumi dan merupakan unsur keempat terbanyak setelah oksigen, silikon dan aluminium. Rata-rata kandungan Fe dalam tanah diperkirakan 3,8% (Hardjowigeno, 1993). Berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan RI No. 492/MENKES/PER/IV/2010 tentang persyaratan kualitas air, kadar besi (Fe) yang diizinkan untuk air bersih adalah 0,3 mg/L. Apabila konsentrasi besi terlarut dalam air melebihi ambang batas, maka akan menyebabkan berbagai masalah, diantaranya:

1. Endapan $\text{Fe}(\text{OH})_3$ bersifat korosif terhadap pipa dan akan mengendap pada saluran pipa, sehingga mengotori bak yang terbuat dari seng, wastafel dan kloset.

2. 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. Senyawa besi dalam jumlah kecil didalam tubuh manusia berfungsi sebagai pembentuk sel-sel darah merah (7-35 mg/hari), 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 dan menyebabkan terjadinya iritasi pada mata dan kulit.

Hal-Hal yang Mempengaruhi Kelarutan Fe dalam Air:

1. Kedalaman Air

Hujan yang turun jatuh ke tanah dan mengalami infiltrasi masuk ke dalam tanah yang mengandung FeO akan bereaksi dengan H_2O dan CO_2 dalam tanah dan membentuk $Fe(HCO_3)_2$ dimana semakin dalam air yang meresap ke dalam tanah semakin tinggi juga kelarutan besi karbonat dalam air tersebut.

2. pH

pH air akan terpengaruh terhadap kesadahan kadar besi dalam air, apabila pH air rendah akan berakibat terjadinya proses korosif sehingga menyebabkan larutnya besi dan logam lainnya dalam air, pH yang rendah kurang dari 7 dapat melarutkan logam. Dalam keadaan pH rendah, besi yang ada dalam air berbentuk ferro dan ferri, dimana bentuk ferri akan mengendap dan tidak larut dalam air serta tidak dapat dilihat dengan mata sehingga mengakibatkan air menjadi berwarna, berbau dan berasa.

3. Suhu

Suhu adalah temperatur udara. Temperatur yang tinggi menyebabkan menurunnya kadar O_2 dalam air, kenaikan temperatur air juga dapat mengguraikan derajat kelarutan mineral sehingga kelarutan Fe pada air tinggi.

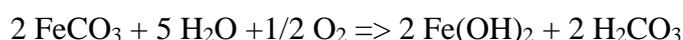
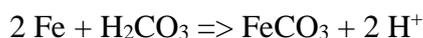
4. Bakteri besi

Bakteri besi (Crenothrix, Lepothrix, Galleanella, Sinderocapsa dan Spherothylus) adalah bakteri yang dapat mengambil unsur ber dari sekeliling

lingkungan hidupnya sehingga mengakibatkan turunnya kandungan besi dalam air, dalam aktifitasnya bakteri besi memerlukan oksigen dan besi sehingga bahan makanan dari bakteri besi tersebut. Hasil aktifitas bakteri besi tersebut menghasilkan presipitat (oksida besi) yang akan menyebabkan warna pada pakaian dan bangunan. Bakteri besi merupakan bakteri yang hidup dalam keadaan anaerob dan banyak terdapat dalam air yang mengandung mineral. Pertumbuhan bakteri akan menjadi lebih sempurna apabila air banyak mengandung CO₂ dengan kadar yang cukup tinggi.

5. CO₂ agresif

Karbon dioksida (CO₂) merupakan salah satu gas yang terdapat dalam air. Berdasarkan bentuk dari gas Karbon dioksida (CO₂) di dalam air, CO₂ dibedakan menjadi: CO₂ bebas yaitu CO₂ yang larut dalam air, CO₂ dalam kesetimbangan, CO₂ agresif. Dari ketiga bentuk Karbon dioksida (CO₂) yang terdapat dalam air, CO₂ agresif-lah yang paling berbahaya karena kadar CO₂ agresif lebih tinggi dan dapat menyebabkan terjadinya korosi sehingga berakibat kerusakan pada logam – logam dan beton. CO₂ bebas yang asam akan merusak logam apabila CO₂ tersebut bereaksi dengan air. karena akan merusak logam. Reaksi ini dikenal sebagai teori asam, dengan reaksi sebagai berikut:



Dalam reaksi di atas dapat dilihat bahwa asam karbonat tersebut secara terus-menerus akan merusak logam, karena selain membentuk FeCO₃ sebagai hasil reaksi antara Fe dan H₂CO₃, selanjutnya FeCO₃ bereaksi dengan air dan gas oksigen (O₂) menghasilkan zat 2Fe(OH)₂ dan 2H₂CO₃ dimana H₂CO₃ tersebut akan menyerang logam kembali sehingga proses pengrusakan logam akan berjalan secara terus-menerus mengakibatkan kerusakan yang semakin lama semakin besar pada logam tersebut (Gultom, 2019)

2.11 Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)

Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) Metode SSA (Spektrofotometri Serapan Atom) berprinsip pada absorpsi cahaya oleh atom. Atom-atom menyerap

cahaya tersebut pada panjang gelombang tertentu, tergantung pada sifat unsurnya.



Gambar 2.6 Spektrofotometri Serapan Atom (Dokumen Pribadi, 2021)

Sumber cahaya pada SSA adalah sumber cahaya dari lampu katoda yang berasal dari elemen yang sedang diukur kemudian dilewatkan ke dalam nyala api yang berisi sampel yang telah teratomisasi, kemudian radiasi tersebut diteruskan ke detektor melalui monokromator. Detektor akan menolak arah searah arus (DC) dari emisi nyala dan hanya mengukur arus bolak-balik dari sumber radiasi atau sampel. Atomisasi terjadi melalui beberapa tahap yaitu awal mula larutan disemprotkan ke dalam nyala api kemudian terjadi desolvasi pelarut menghasilkan sisa partikel padat yang halus pada nyala. Partikel ini berubah menjadi gas dan selanjutnya mengalami disosiasi menjadi atom - atom. Setelah itu atom - atom tersebut menyerap radiasi sinar yang dihasilkan Hollow Cathode Lamp. Kemudian menuju ke monokromator, detektor, dan selanjutnya diubah menjadi data (Khopkar, 1990).

1. Dalam Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) dengan nyala, biasanya terdapat empat jenis nyala yang digunakan sebagai bahan bakar pada SSA, yaitu: Acetylene – Udara, campuran ini paling banyak digunakan dalam SSA (35 unsur). Suhu yang dihasilkan oleh campuran ini adalah sekitar 2300-2400 °C dengan *burning velocity* ± 160 cm/det.
2. Nitrous oksida – acetylene, campuran ini dapat menghasilkan nyala dengan panas ± 3200 °C, tetapi *burning velocity* nya cukup besar yaitu ± 220 cm/det.
3. Udara – hidrogen

4. Argon – Udara – hidrogen (Suryana, 2001).

Kelebihan analisis dengan SSA antara lain analisis dapat dilakukan dengan cepat, ketelitian tinggi sampai tingkat runtu dan tidak memerlukan pemisahan (Khopkar, 1990).

Keuntungan metode SSA adalah sebagai berikut :

- a. Dari satu larutan yang sama, beberapa unsur yang berlainan dapat diukur.
- b. Pengukuran dapat langsung dilakukan terhadap larutan contoh, jadi berbeda dengan kolorimetri (yang membutuhkan pembentukan senyawa berwarna), gravimetri (endapan perlu dikeringkan terlebih dahulu), dan sebagainya, preparasi contoh sebelum pengukuran cukup sederhana.
- c. Output data (absorban) dapat langsung dibaca.
- d. Dapat diaplikasikan kepada jenis unsur dalam banyak jenis.

2.12 Penelitian Terdahulu

Penelitian ini mengacu pada penelitian terdahulu yang memiliki kesamaan dengan penelitian yang akan dilakukan. Kesamaan yang dimaksud meliputi bahan adsorben yang digunakan yaitu Cangkang Telur. Daftar penelitian sebelumnya yang dijadikan referensi pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 2.6

Tabel 2.6 Daftar Penelitian Terdahulu

Judul Penelitian	Penulis	Parameter yang dianalisa	Hasil Penelitian
Pengaplikasian Cangkang Telur dan Karbon Aktif Sebagai Adsorben Logam Timbal (2018)	Sestry Misfadhila, Zikra Azizah, Rusdi, Cynthia Diane Putri Chaniago	Efektivitas Adsorpsi	Cangkang telur dan karbon aktif dapat digunakan sebagai adsorben logam timbal dan kapasitas adsorpsi cangkang telur terhadap cemaran logam timbal lebih baik daripada kapasitas adsorpsi karbon aktif.
Pemanfaatan Serbuk Cangkang Telur Ayam Sebagai Adsorben Logam Berat Kadmium (Cd) pada Limbah Cair Industri Batik Jetis Sidoarjo (2018)	Vania Maharani, Sunu Kuntjoro, Novita Kartika Indah	Efektivitas Adsorpsi	Perbedaan konsentrasi serbuk cangkang telur ayam berpengaruh terhadap penurunan logam berat Cd pada limbah cair.
Pemanfaatan Limbah Cangkang Telur Sebagai Biosorben Untuk Adsorpsi Logam Pb Dan Cd (2017)	Mamay Maslahat, Agus Taufiq, Prima Wahyu Subagja	Efektivitas Adsorpsi dan Waktu Kontak Optimum	Persentase adsorpsi untuk logam berat Pb sebesar 65,99% waktu kontak 20 menit
Pemanfaatan Limbah Cangkang Telur Ayam Sebagai Media Adsorben Dalam Penurunan Kadar Logam Kromium Heksavalen (Cr6+) Pada Limbah Cair Industri Elektroplating (2017)	Terry Novriyani Susanto, Atmono, Natalina	Efektivitas Adsorpsi	Persentase adsorpsi untuk logam berat Cd sebesar 93,16%