

## **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

### **2.1 Logam Berat**

Logam berat adalah unsur logam yang mempunyai massa jenis lebih besar dari 5 g/cm<sup>3</sup>. Logam berat ialah unsur logam dengan berat molekul tinggi. Dalam kadar rendah logam berat pada umumnya sudah beracun bagi tumbuhan dan hewan, termasuk manusia (Suarsa, 2015). Logam berat dapat mencemari lingkungan udara, tanah maupun air. Masuknya logam berat ke dalam badan air dapat melalui proses alami maupun diakibatkan oleh perbuatan manusia. Logam berat dapat menyebabkan pencemaran lingkungan dan berpengaruh pada kesehatan manusia karena bersifat toksik, dapat terakumulasi pada rantai makanan dan bersifat persisten (Suarsa, 2016).

Menurut (Suarsa, 2015), faktor yang menyebabkan logam berat termasuk dalam kelompok zat pencemar adalah karena adanya sifat-sifat logam berat yang tidak dapat terurai (non-degradable) dan mudah diabsorpsi. Adanya logam berat di perairan, berbahaya baik secara langsung terhadap kehidupan organisme, maupun efeknya secara tidak langsung terhadap kesehatan manusia. Hal ini terkait dengan sifat-sifat logam berat, yaitu:

1. Sulit didegadasi, sehingga mudah terakumulasi dalam lingkungan perairan dan keberadaannya secara alami sulit terurai (dihilangkan)
2. Dapat terakumulasi dalam organisme termasuk kerang dan ikan, dan akan membahayakan kesehatan manusia yang mengkonsumsi organisme tersebut
3. Mudah terakumulasi di sedimen, sehingga konsentrasinya selalu lebih tinggi dari konsentrasi logam dalam air. Disamping itu sedimen mudah tersuspensi karena pergerakan massa air yang akan melarutkan kembali logam yang dikandungnya ke dalam air, sehingga sedimen menjadi sumber pencemar potensial dalam skala waktu tertentu.

Menurut Kementerian Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup (1990) unsur Hg, Cd, Pb, Cu, dan Zn adalah logam berat yang bersifat toksik tinggi. Salah

satu logam berat yang termasuk bahan beracun dan berbahaya adalah tembaga (Cu) dan timbal (Pb).

### 2.1.1 Logam Tembaga (Cu)

Logam Cu merupakan salah satu logam berat yang banyak dimanfaatkan dalam industri, terutama dalam industri elektroplating, tekstil dan industri logam (alloy). Ion  $\text{Cu}^{2+}$  dapat terakumulasi di otak, jaringan kulit, hati, pankreas dan miokardium (Fitriyah dkk., 2013).

Tembaga di perairan, berbahaya baik secara langsung terhadap kehidupan organisme, maupun efeknya secara tidak langsung terhadap kesehatan manusia. Logam Cu termasuk logam berat esensial, jadi meskipun beracun tetapi sangat dibutuhkan manusia dalam jumlah yang kecil (Astandana dkk., 2016). Tembaga merupakan suatu unsur yang penting dan berguna untuk metabolisme. Batas dari unsur ini yang mempengaruhi rasa pada air berkisar antara 11-5 mg/l merupakan batas konsentrasi tertinggi untuk mencegah timbulnya rasa yang tidak enak. Sifat fisik tembaga dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut.

**Tabel 2.1** Sifat Fisik Tembaga (Cu)

Identitas	Keterangan
Nama	Tembaga
Simbol	Cu
Nomor atom	29
Massa atom relatif	63,546 g.mol <sup>-1</sup>
Titik didih	1083,0 °C (1356,15 K, 1981,4 °F)
Titik leleh	2567,0 °C (2840,15 K, 4652,6 °F)
Nomor proton elektron	29
Nomor neutron	35
Klasifikasi	Logam transisi
Struktur Kristal	Kubik
Densitas pada 293 K	8,96 g.cm <sup>-3</sup>
Warna	Merah

*Sumber: Apsari dan Fitriasti, 2010*

Secara umum sumber masuknya logam Cu ke dalam tatanan lingkungan adalah secara alamiah dan non alamiah. Berikut ini adalah proses masuknya Cu ke alam (Apsari dan Fitriasti, 2010):

- a. Secara alamiah Cu masuk ke dalam suatu tatanan lingkungan sebagai akibat peristiwa alam. Unsur ini dapat bersumber dari peristiwa pengikisan (erosi)

dari batuan mineral, dari debu-debu dan atau partikulat-partikulat Cu yang ada dalam lapisan udara yang turun bersama hujan.

- b. Secara non alamiah Cu masuk ke dalam suatu tatanan lingkungan sebagai akibat dari suatu aktifitas manusia. Jalur dari aktifitas manusia ini untuk memasukkan Cu ke dalam lingkungan ada berbagai macam cara. Salah satunya adalah dengan pembuangan oleh industri yang memakai Cu dalam proses produksinya.

Sebagai logam berat, Cu berbeda dengan logam berat lainnya seperti Hg, Cd dan Cr. Toksisitas yang dimiliki Cu baru akan bekerja bila telah masuk ke dalam tubuh organisme dalam jumlah yang besar atau melebihi nilai toleransi organisme terkait. Toksisitas logam tembaga pada manusia, khususnya anak-anak biasanya terjadi karena tembaga sulfat. Beberapa gejala keracunan tembaga adalah sakit perut, mual, muntah, diare dan beberapa kasus yang parah dapat menyebabkan gagal ginjal dan kematian.

### 2.1.2 Logam Timbal (Pb)

Timbal (Pb) merupakan salah satu jenis logam berat yang sering juga disebut dengan istilah timah hitam. Timbal memiliki titik lebur yang rendah, mudah dibentuk, memiliki sifat kimia yang aktif sehingga biasa digunakan untuk melapisi logam agar tidak timbul perkaratan. Timbal adalah logam yang lunak berwarna abu-abu kebiruan mengkilat dan memiliki bilangan oksidasi +2 (Tapani, 2019). Sifat fisik Pb dapat dilihat pada Tabel 2.2 berikut.

**Tabel 2.2** Sifat Fisik Timbal (Pb)

Identitas	Keterangan
Nama	Timbal (Pb)
Nomor atom	82
Densitas (g/cm <sup>3</sup> )	11,34
Titik lebur (°C)	327,46
Titik didih (°C)	1.749
Kalor peleburan (kJ/mol)	4,77
Kalor penguapan (kJ/mol)	179,5
Kapasitas pada 250C (J/mol.K)	26,65
Konduktivitas termal pada 300K (W/m K)	35,5
Ekspansi termal 250C (µm/ m K)	28,9

Sumber: Tapani, 2019

Timbal (Pb) merupakan salah satu jenis logam berat yang memiliki tingkat toksisitas tinggi. Sumber utama timbal yang masuk ke lingkungan berasal dari limbah industri seperti industri baterai, industri bahan bakar, pengecoran maupun pemurnian, industri tekstil dan industri kimia lainnya. Polutan logam berat tersebut dapat menimbulkan resiko yang sangat berbahaya bagi makhluk hidup apabila dibuang langsung ke lingkungan. Disamping itu, penyebaran logam berat tersebut dapat dipengaruhi oleh siklus alamiah di alam seperti rantai makanan dan daur alami (Safrianti dkk., 2012).

Efek Pb terhadap kesehatan terutama terhadap sistem haemotopoetic (system pembentukan darah), adalah menghambat sintesis hemoglobin dan memperpendek umur sel darah merah sehingga akan menyebabkan anemia. Pb juga menyebabkan gangguan metabolisme Fe dan sintesis globin dalam sel darah merah dan menghambat aktivitas berbagai enzim yang diperlukan untuk sintesis heme. Anak yang terpapar Pb akan mengalami degradasi kecerdasan alias idiot. Pada orang dewasa Pb mengurangi kesuburan, bahkan menyebabkan kemandulan atau keguguran pada wanita hamil, walaupun tidak keguguran, sel otak tidak bisa berkembang. Dampak Pb pada ibu hamil selain berpengaruh pada ibu juga pada embrio/janin yang dikandungnya. Selain penyakit yang diderita ibu sangat menentukan kualitas janin dan bayi yang akan dilahirkan juga bahan kimia atau obat-obatan, misalnya keracunan Pb organik dapat meningkatkan angka keguguran, kelahiran mati atau kelahiran premature (Suarsa, 2016).

## **2.2 Karbon Aktif**

Karbon atau biasa disebut arang adalah suatu bahan padat berpori yang merupakan hasil pembakaran bahan yang mengandung karbon. Bahan dasar utama yang digunakan sebagai karbon aktif adalah material organik dengan kandungan karbon yang tinggi (Sembiring, 2003). Seiring dengan perkembangan metode adsorpsi, kebutuhan akan karbon aktif sebagai adsorben semakin meningkat, sehingga pengembangan tentang pembuatan karbon aktif masih potensial untuk dilakukan.

Karbon aktif adalah karbon yang mengalami proses pengaktifan dengan menggunakan bahan pengaktif sehingga pori-porinya terbuka, luas permukaan

karbon menjadi lebih besar, dan kapasitas adsorpsinya menjadi lebih tinggi (Muna, 2011). Proses aktivasi adalah perlakuan terhadap karbon yang bertujuan untuk memperbesar pori yaitu dengan memecahkan ikatan hidrokarbon sehingga karbon aktif mengalami perubahan fisika maupun kimia yaitu luas permukaan bertambah luas dan berpengaruh terhadap adsorpsi. Proses aktivasi terdapat dua macam yaitu aktivasi kimia dan aktivasi fisika. Pada proses aktivasi kimia digunakan zat-zat kimia. Pada proses aktivasi fisika dilakukan dengan mengalirkan uap atau udara ke dalam reaktor pada suhu tinggi. Proses aktivasi pada dasarnya bertujuan untuk menghilangkan unsur-unsur hidrogen serta oksigen ataupun zat-zat dalam pori sehingga hanya terdapat karbon yang merupakan unsur dominan dalam karbon aktif (Baryatik, 2015).

Berbeda dari intan dan grafit yang komposisinya terdiri atas karbon murni maka arang aktif adalah material karbon yang masih tercampur unsur-unsur lain, biasanya hidrogen dan oksigen ataupun yang lain bergantung pada unsur-unsur pembentuknya (Muna, 2011). Karbon aktif mengandung 85-95% karbon, dihasilkan dari bahan-bahan yang mengandung karbon atau dari arang yang diperlakukan dengan cara khusus untuk mendapatkan permukaan yang lebih luas. Luas permukaan karbon aktif berkisar antara 300-3500 m<sup>2</sup>/gram dan ini berhubungan dengan struktur pori internal yang menyebabkan karbon aktif mempunyai sifat sebagai adsorben (Sembiring & Sinaga, 2003). Permukaan internal adalah tumpukan lapisan berongga yang tertata sedemikian rupa sehingga menyerupai spon (sponge) (Muna, 2011). Karbon aktif dapat mengadsorpsi gas dan senyawa-senyawa kimia tertentu atau sifat adsorpsinya selektif, tergantung pada besar atau volume pori-pori dan luas permukaan. Daya serap karbon aktif sangat besar, yaitu 25-1000% terhadap berat karbon aktif (Sembiring dan Sinaga, 2003).

Karbon aktif merupakan adsorben dengan permukaan lapisan yang luas dengan bentuk butiran (*granular*) atau serbuk (*powder*). Karbon aktif tersedia dalam berbagai bentuk misalnya pelet (gravel, 0,8 - 5 mm), lembaran fiber, bubuk (PAC : powder active carbon, 0,18 mm atau US mesh 80) dan butiran-butiran kecil (GAC : Granular Active carbon, 0,2 - 5 mm) (Suarsa, 2015). Karbon aktif bersifat sangat aktif dan akan menyerap apa saja yang kontak dengan karbon tersebut. Dalam waktu 60 jam biasanya karbon aktif tersebut menjadi jenuh dan tidak aktif

lagi. Oleh karena itu biasanya karbon aktif dikemas dalam kemasan yang kedap udara sampai tahap tertentu. Beberapa jenis karbon aktif dapat di reaktivasi kembali, meskipun demikian tidak jarang yang disarankan untuk sekali pakai. Reaktivasi karbon aktif sangat tergantung dari metode aktivasi sebelumnya, oleh karena itu perlu diperhatikan keterangan pada kemasan produk tersebut (Hafiyah, 2013).

Karbon aktif merupakan bahan yang multifungsi dimana hampir sebagian besar telah dipakai penggunaannya oleh berbagai macam jenis industri. Aplikasi terhadap penggunaan karbon aktif dapat dilihat dari Tabel 2.3 di bawah ini (Suarsa, 2015).

**Tabel 2.3** Penggunaan Karbon Aktif Berdasarkan Ukuran Partikel

No.	Pemakai	Kegunaan	Ukuran Partikel (Mesh)
1.	Industri obat dan makanan	Menyaring, penghilangan bau dan rasa	8×30, 325
2.	Minuman keras dan ringan	Penghilangan warna, bau pada minuman	4×8, 4×12
3.	Kimia perminyakan	Penyulingan bahan mentah	4×8, 4×12, 8×30
4.	Pembersih air	Penghilangan warna, bau penghilangan resin	
5.	Budi daya udang	Pemurnian, penghilangan ammonia, nitrit, penol, dan logam berat	4x8,4x12
6.	Industri gula	Penghilangan zat-zat warna, menyerap proses penyaringan menjadi lebih sempurna	4x8, 4x12
7.	Pelarut yang digunakan kembali	Penarikan kembali beberapa pelarut	4x8,4x12,8x30
8.	Pemurnian gas	Menghilangkan sulfur, gas beracun, bau busuk asap	4x8, 4x12
9.	Katalisator	Reaksi katalisator pengangkut vinil khlorida, vinil asetat	4x8, 4x30
10.	Pengolahan pupuk	Pemurnian, penghilangan Bau	8x30

Sumber: Hafiyah, 2013

### 2.3 Adsorpsi

Adsorpsi adalah peristiwa menempelnya atom atau molekul suatu zat pada permukaan zat lain karena ketidakseimbangan gaya dalam permukaan. Zat yang teradsorpsi disebut adsorbat dan zat pengadsorpsi disebut adsorben (Ramadhani, 2013). Proses adsorpsi dapat digambarkan seperti pada gambar 2.1 yaitu proses molekul meninggalkan larutan dan menempel pada permukaan zat penyerap akibat ikatan fisika dan kimia (Muna, 2011).



(sumber: Baryatik, 2015)

**Gambar 2.1** Proses Adsorpsi

Mekanisme peristiwa adsorpsi meliputi molekul adsorbat berdifusi melalui suatu lapisan batas ke permukaan luar adsorben (disebut difusi eksternal). Sebagian ada yang teradsorpsi di permukaan luar namun sebagian besar terdifusi lanjut kedalam pori-pori adsorben (disebut difusi internal). Bila kapasitas adsorpsi masih sangat besar, sebagian akan teradsorpsi dan terikat dipermukaan, namun bila permukaan sudah jenuh atau mendekati jenuh dengan adsorbat, dapat terjadi dua kemungkinan. Pertama, terbentuk lapisan adsorpsi kedua dan seterusnya diatas adsorbat yang telah terikat di permukaan. Gejala ini disebut adsorpsi multilayer. Kedua, tidak terbentuk lapisan kedua dan seterusnya sehingga adsorbat yang belum teradsorpsi berdifusi keluar pori dan kembali ke arus fluida (Hafiyah, 2013).

Ada dua metode adsorpsi yaitu adsorpsi secara fisika (*physiosorption*) dan adsorpsi secara kimia (*chemisorption*). Pada proses adsorpsi secara fisika gaya yang mengikat adsorbat oleh adsorben adalah gaya-gaya van der Waals. Molekul

terikat sangat lemah dan energi yang dilepaskan pada adsorpsi fisika relatif rendah ( $< 20$  kJ/mol) (Ramadhani, 2013). Adsorpsi fisik umumnya terjadi pada temperatur rendah dan dengan bertambahnya temperatur jumlah adsorpsi berkurang dengan mencolok. Pada proses adsorpsi secara kimia, adsorpsi memerlukan energi aktivasi dan nilai kalor adsorpsi besar mencapai 100 KJ/mol, ini dibutuhkan agar terjadi interaksi ikatan-ikatan kimia. Molekul-molekul yang teradsorpsi pada permukaan bereaksi secara kimia, sehingga terjadi pemutusan atau pembentukan ikatan. Teradsorpsinya molekul pada antar muka, menyebabkan pengurangan tegangan permukaan dan adsorpsi akan berlangsung terus sampai energi bebas permukaan mencapai minimum (Muna, 2011).

Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi daya adsorpsi suatu bahan yaitu (Yahya, 2018):

- a. Karakteristik fisik dan kimia adsorben, antara lain luas permukaan, ukuran pori, adsorpsi kimia dan sebagainya.
- b. Karakteristik kimia adsorbat, antara lain ukuran molekul, polaritas molekul, komposisi kimia dan sebagainya.
- c. Konsentrasi adsorbat dalam larutan
- d. Karakteristik larutan, antara lain pH dan temperatur
- e. Lama waktu adsorpsi.

## 2.4 Isoterm Adsorpsi

Isoterm adsorpsi adalah proses adsorpsi yang berlangsung pada temperatur tetap. Isoterm adsorpsi merupakan hubungan kesetimbangan antara konsentrasi pada fase cair dan konsentrasi pada partikel adsorben pada suhu tertentu. Adsorben yang baik memiliki kapasitas adsorpsi dan efisiensi adsorpsi yang tinggi, kapasitas adsorpsi dan efisiensi adsorpsi dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$Q = \left( \frac{C_0 - C_e}{m} \right) \times V \quad (\text{kapasitas adsorpsi})$$

$$\% E = \left( \frac{C_{\text{awal}} - C_{\text{akhir}}}{C_{\text{awal}}} \right) \times 100\% \quad (\text{efisiensi adsorpsi})$$

Dimana :  $q_e$  = kapasitas adsorpsi per bobot molekul(mg/g)

$C_0$  = konsentrasi awal larutan (mg/L)

$C_e$  = konsentrasi akhir larutan (mg/L)

V = volume larutan (mL)

m = massa adsorben yang digunakan (g)

%E = Efisiensi adsorpsi

Model isoterm adsorpsi yang paling umum dan banyak digunakan dalam adsorpsi adalah model isoterm Langmuir dan model isoterm Freundlich (Hafiyah, 2013).

a. Isoterm Freundlich

Isoterm adsorpsi Freundlich mengasumsikan bahwa terdapat lebih dari satu lapisan permukaan (*multilayer*) dan situs bersifat heterogen, yaitu adanya perbedaan energi pengikat pada tiap-tiap situs dimana proses adsorpsi di tiap-tiap sisi adsorpsi mengikuti isoterm Freundlich. Freundlich menyatakan isoterm adsorpsi ini sebagai berikut (Purnamasari dan Supraptiah, 2017):

$$q_e = K_F \cdot C_e^{1/n} \quad (1)$$

dimana:  $q_e$  = Jumlah zat yang teradsorpsi per gram adsorben (mg/g)

$C_e$  = Konsentrasi zat terlarut dalam larutan setelah terjadi kesetimbangan adsorpsi.

$K_F$  dan  $n$  = kapasitas adsorpsi dan intensitas adsorpsi

Sedangkan bentuk liniernya dapat terlihat dalam persamaan :

$$\log q_e = \log K_F + 1/n \log C_e \quad (2)$$

Persamaan ini mengungkapkan bahwa bila suatu proses adsorpsi mengikuti isoterm Freundlich maka  $\log q_e$  terhadap  $\log C_e$  akan menghasilkan garis lurus. Selanjutnya akan dapat ditentukan tetapan  $K_F$  dan tetapan  $n$ .

b. Isoterm Adsorpsi Langmuir

Menurut Oscik (1982) teori Langmuir menjelaskan bahwa pada permukaan adsorben terdapat sejumlah tertentu situs aktif yang sebanding dengan luas permukaan. Setiap situs aktif hanya satu molekul yang dapat diadsorpsi. Pengikatan adsorben oleh adsorbat dapat terjadi secara kimia atau fisika, tetapi harus cukup kuat untuk mencegah terjadinya perpindahan molekul

adsorpsi pada permukaan. Adsorpsi isoterm Langmuir didasarkan pada asumsi bahwa:

- a. ada permukaan adsorben terdapat situs-situs aktif yang proporsional dengan luas permukaan adsorben. Pada masing-masing situs aktif hanya dapat mengadsorpsi satu molekul saja, dengan demikian adsorpsi terbatas pada pembentukan lapis tunggal (monolayer).
- b. Pengikat adsorbat pada permukaan adsorben dapat secara kimia atau fisika, tetapi harus cukup kuat untuk mencegah perpindahan molekul teradsorpsi pada permukaan (adsorpsi terlokalisasi).
- c. Energi adsorpsi tidak tergantung pada penutupan permukaan.

Model isoterm adsorpsi langmuir dapat diterapkan untuk mempelajari dan menjelaskan data adsorpsi yang diperoleh dari eksperimen. Data kesetimbangan biasanya digambarkan dalam bentuk kurva isoterm adsorpsi. Pendekatan dengan model terhadap kurva isotherm dapat membantu menganalisis karakteristik isoterm berupa kapasitas adsorpsinya (Amri, dkk., 2004). Untuk mengevaluasi adsorpsi adsorbat dengan adsorben digunakan persamaan Langmuir (Purnamasari dan Supraptiah, 2017):

$$q_e = q_m \cdot K_L \frac{C_e}{1 + K_L \cdot C_e} \quad (3)$$

Sedangkan bentuk liniernya dapat terlihat dalam persamaan :

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_m \cdot K_L} + \frac{C_e}{q_m} \quad (4)$$

- Dimana:
- $C_e$  = Konsentrasi adsorbat dalam kesetimbangan (mg/L)
  - $q_e$  = Jumlah zat yang teradsorpsi per gram adsorben (mg/g)
  - $q_m$  = Kapasitas adsorpsi maksimum (mg/g)
  - $K_L$  = Konstanta adsorpsi Langmuir (L/mg)

Konstanta  $q_m$  dan  $K_L$  dapat diperoleh dari perpotongan dan kemiringan pada plot linear antara  $C_e/q_e$  terhadap  $C_e$ .

## 2.5 Kinetika Adsorpsi

Kinetika adsorpsi menyatakan adanya proses penyerapan suatu zat oleh adsorben dalam fungsi waktu. Adsorpsi terjadi pada permukaan zat padat karena adanya gaya tarik atom atau molekul pada permukaan zat padat. Molekul-molekul pada permukaan zat padat atau zat cair, mempunyai gaya tarik ke arah dalam, karena tidak ada gaya-gaya lain yang mengimbangi. Adanya gaya-gaya ini menyebabkan zat padat dan zat cair, mempunyai gaya adsorpsi (Hafiyah, 2013).

Disamping kondisi kesetimbangan dari proses adsorpsi (isoterm adsorpsi), kinetika adsorpsi juga merupakan salah satu faktor yang turut berpengaruh dalam merancang suatu proses adsorpsi dalam pengolahan limbah. Biosorben yang baik adalah biosorben yang mampu menyerap zat warna dengan cepat sehingga waktu kontak antara larutan dengan biosorben cukup singkat. Kinetika menggambarkan laju penyerapan solut yang selanjutnya akan mengontrol waktu penyerapan adsorbat pada interface antara padatan dan larutan. Penentuan kinetika adsorpsi memiliki peranan yang penting dalam menentukan laju penyerapan (logam) dari larutan. Kinetika adsorpsi pada pengolahan limbah juga berguna untuk mengetahui mekanisme adsorpsi yang terjadi (Widjanarko dkk., 2018).

Analisis kinetika didasarkan pada kinetika reaksi terutama orde pertama dan orde kedua (Halimah, 2016). Kinetika adsorpsi menggambarkan tingkat laju penyerapan yang terjadi pada adsorben terhadap adsorbat. Karakteristik kemampuan penyerapan adsorben terhadap adsorbat dapat dilihat dari laju adsorpsinya. Laju adsorpsi dapat diketahui dari konstanta laju adsorpsi ( $k$ ) dan orde reaksi yang dihasilkan dari suatu model kinetika adsorpsi. Tahap pengujian laju adsorpsi dapat dilakukan dengan menduga orde reaksi (Hafiyah, 2013).

Orde reaksi adalah jumlah pangkat konsentrasi-konsentrasi yang menghasilkan suatu garis lurus. Model kinetika orde 1 dan orde 2 dinyatakan oleh persamaan (Hafiyah, 2013):

### 1. Kinetika Orde Satu

$$-\frac{dC}{dt} = k.C$$

$$\frac{dC}{C} = -k.dt$$

$$\int_{C=0}^{C=e} \frac{dC}{C} = -k \int_{t=0}^{t=t} dt$$

$$\ln C_e - \ln C_0 = -k.t$$

$$\ln C_e = -k.t + C_0$$

## 2. Kinetika Orde dua

$$-\frac{dC}{dt} = k.C^2$$

$$-\frac{dC}{C^2} = k.dt$$

$$-\int_{C=0}^{C=e} \frac{dC}{C^2} = k \int_{t=0}^{t=t} dt$$

$$-\left(\frac{1}{C_e} - \frac{1}{C_0}\right) = k.t$$

$$\frac{1}{C_e} - \frac{1}{C_0} = k.t$$

$$\frac{1}{C_e} = k.t + \frac{1}{C_0}$$

Notasi  $C_e$  adalah konsentrasi setelah adsorpsi selama  $t$  menit,  $C_0$  adalah konsentrasi awal,  $k_1$ ,  $k_2$  adalah konstanta laju reaksi orde 1 dan reaksi orde 2. Model kinetika reaksi orde 1 dan orde 2 masing-masing parameter dihitung dengan menggunakan grafik  $\ln C_e$  terhadap  $t$  dan  $(1/C_e)$  terhadap  $t$ , Model yang sesuai dengan hasil penelitian adalah model kinetika dengan harga  $R^2$  paling tinggi.