



# Pemodelan Kesetimbangan Massa pada Keadaan Tunak (*Steady*) sebagai Penentuan Konsentrasi Optimum Tawas (*Aluminium Sulfate*) pada Proses Penurunan Kadar Fe pada Sumber Air Tercemar

Alfiana Adhitasari<sup>1,\*</sup>, Eko Andrijanto<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Kimia Produksi Bersih, Politeknik Negeri Bandung, Jl. Gegerkalong Hilir, Ciwaruga, Kabupaten Bandung Barat, Jawa Barat, 40559, Indonesia

<sup>2</sup>Program Studi Analis Kimia, Politeknik Negeri Bandung, Jl. Gegerkalong Hilir, Ciwaruga, Kabupaten Bandung Barat, Jawa Barat, 40559, Indonesia

\*E-mail: alfiana.adhitasari@polban.ac.id

## ABSTRAK

Air tanah merupakan andalan sumber mata air bagi masyarakat pada umumnya, beberapa sumber air tanah sering dijumpai air yang masih terkandung Fe, hal tersebut berdampak buruk bagi kesehatan oleh karena itu perlu dilakukan penurunan kadar Fe pada air sebelum digunakan. Beberapa metode yang umum dilakukan untuk menghilangkan kandungan Fe pada air adalah dengan cara koagulasi oleh tawas. Penelitian ini akan memodelkan sebuah persamaan matematika yang dapat mengkuantifikasi penurunan kadar Fe pada setiap fungsi konsentrasi tawas yang ditambahkan. Model matematika pada penelitian menggunakan penurunan rumus dari kesetimbangan masa. Dari hasil perbandingan data percobaan dengan data perhitungan didapat konstanta penurunan Fe ( $k_F$ ) pada fungsi konsentrasi tawas sebesar 1.8/mg tawas dan nilai konstanta  $R^2$  sebesar 0.935, dari data tersebut maka model matematika yang dibuat dapat mewakili fenomena proses penurunan Fe di lapangan.

**Kata kunci:** aluminium sulfat, besi, penurunan kadar Fe, tawas.

## ABSTRACT

In general groundwater is relied as source water but sometimes we found presence of Fe in some of groundwater products that could harm our health due to its toxicity, therefore it is necessary to reduce Fe content as pretreatment process. Some common methods to reduce Fe content in water are coagulation by alum. This study will build a mathematical equation to quantify the reduction of Fe content in function of alum concentration. In this study the equations were derived from mass balance equation. By comparing the experimental data with calculated data, we obtained  $k_F$  (The constant of consuming Fe) = 1.8 / mg alum and for  $R^2$  constant we obtained 0.935, from these results we conclude our derived equation can represent the phenomenon of alum-Fe reduction phenomena in the field.

**Keywords:** *aluminium sulfate ferric, reduction of Fe content, alum.*

## 1. PENDAHULUAN

Air tanah merupakan andalan sumber mata air untuk kebutuhan rumah tangga sehari-hari selain itu tubuh kita juga membutuhkan Fe sebesar 10 sampai 50 mg per hari [1-2], namun dari beberapa sumber air tanah sering dijumpai air tanah yang masih mengandung Fe (besi) diatas ambang batas yang diijinkan yaitu 0.3 ppm

[3]. Konsumsi air tanah yang mengandung Fe diatas ambang batas dapat menyebabkan permasalahan serius seperti anemia dan penurunan fungsi syaraf [4] dan dampak buruk lainnya [5-6].

Besi dari dalam air tanah berupa larutan ion  $Fe^{2+}$  (*ferrous*), saat air menuju permukaan ion  $Fe^{2+}$  tersebut teroksidasi dengan oksigen membentuk ion  $Fe^{3+}$

(ferric) kemudian ion tersebut juga bereaksi dengan gugus OH<sup>-</sup> (hidroksida) membentuk padatan tak larut dengan rumus kimia Fe(OH)<sub>3</sub> atau disebut besi (iii) oksida-hidroksida [7–11].

Di Indonesia cara yang umum dilakukan untuk mengurangi kadar besi dari air tanah adalah metode penjernihan air menggunakan tawas, alasannya karena tawas mudah didapat, murah dan dapat mengendapkan zat-zat organik lebih cepat dibanding koagulan *Poly Aluminium Chloride* [12-13].

Namun selama proses koagulasi perlu diperhatikan keefektifan penurunan kadar Fe pada fungsi konsentrasi tawas, oleh karena itu perlu dibangun model matematika berdasarkan kesetimbangan massa antara *aluminium sulfate* dengan nilai konsentrasi Fe didalam larutan cairan.

## 2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian meliputi alat, persiapan bahan, tahapan dan pelaksanaan penelitian.

### 2.1. ALAT

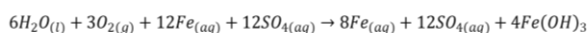
Proses koagulasi larutan Fe dengan tawas dilakukan di dalam reaktor gelas beker 1 L, proses koagulasi dilakukan dengan pengadukan, reaktor juga dilengkapi termometer untuk memantau suhu larutan.

### 2.2. BAHAN

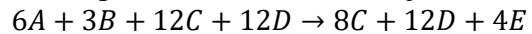
Pada penelitian ini digunakan larutan standar Fe sebagai sampel yang mewakili air tanah terkandung Fe. Larutan standar dibuat dengan melarutkan sekian gram Fe(SO)<sub>4</sub> dengan kemurnian minimum 99% kedalam aquades.

### 2.3. MODEL MATEMATIKA

Model persamaan penurunan konsentrasi Fe dalam penelitian ini diturunkan dari:



Atau dapat disederhanakan menjadi:



Maka laju pengurangan ion dapat dinyatakan dalam :

$$\frac{dC_I}{dC_A} = -k_I C_I \quad (1)$$

Jika persamaan 1 dikali oleh  $\frac{C_{A10}}{C_{C0}}$ , maka

persamaan 1 menjadi:

$$\frac{d\left(\frac{C_C}{C_{C0}}\right)}{dC_A} = -k_A \left(\frac{C_C}{C_{C0}}\right) \quad (2)$$

Atau dapat ditulis sebagai berikut:

$$\frac{dx_C}{dC_A} = -k_A x_C \quad (3)$$

Dimana  $x_C$  adalah  $\frac{C_C}{C_{C0}}$  dalam satuan tak berdimensi atau  $x_C = \frac{C_C}{C_{C0}}$ ,  $C_{A10}$  adalah konsentrasi tawas maksimum 10.000 ppm dan  $C_A$  adalah konsentrasi tawas tak berdimensi. Dengan penyelesaian umum persamaan 3 dapat ditulis:

$$x_C = e^{-k_A C_A} \quad (4)$$

## 2.4. TAHAPAN PENELITIAN

Tahapan penelitian dilakukan dengan urutan sebagai berikut : pembuatan larutan standar Fe, persiapan bahan baku, proses koagulasi dan pengukuran konsentrasi ion Fe. Lalu dari hasil pengamatan konsentrasi Fe dilakukan *curve fitting* konsentrasi Fe hitung dari persamaan (4). Untuk dicari nilai konstanta  $k_F$ .

### 2.4.1. PEMBUATAN LARUTAN STANDAR FE

Larutan standar Fe dibuat dengan cara melarutkan 100 mg Fe(SO)<sub>4</sub> kedalam 1 Liter aquades. Fe(SO)<sub>4</sub> yang digunakan berbentuk padatan dengan kemurnian minimum 99%.

### 2.4.2. PERSIAPAN BAHAN BAKU

Larutan standar Fe dimasukan kedalam reaktor yang berisi aquades 1 Liter hingga seluruh padatan Fe(SO)<sub>4</sub> lalu diaduk menggunakan magnetic stirrer hingga seluruh padatan Fe(SO)<sub>4</sub> melarut semua.

### 2.4.3. PROSES KOAGULASI

Koagulan tawas dilarutkan kedalam reaktor dengan suhu larutan sekitar 26 °C dan pH 7, larutan lalu diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 10 menit agar seluruh padatan tawas terlarut setelah itu pengaduk dimatikan lalu larutan yang berisi campuran tawas dan larutan Fe didiamkan selama 30 menit. Tabel 1 menunjukkan penggunaan 5 variasi konsentrasi tawas pada penelitian ini.

**Tabel 1.** Variasi Konsentrasi Tawas

No	Konsentrasi Tawas (mg/L)
1	0
2	200
3	410
4	620
5	1000

### 2.4.4. ANALISIS KONSENTRASI Fe

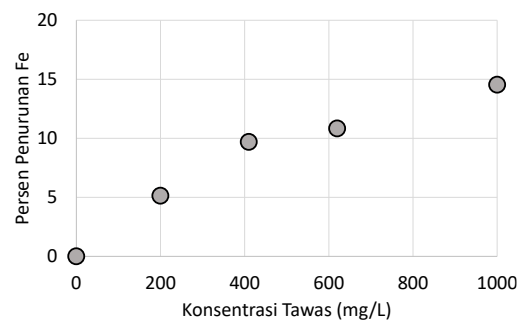
Larutan yang sudah mengalami koagulasi selama 30 menit diambil sampel sebesar 5 mL untuk dilakukan analisis konsentrasi Fe dalam larutan menggunakan analisis *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS) digunakan untuk menganalisis logam Fe yang terlarut, alasan memilih AAS sebagai metode analisis konsentrasi logam Fe adalah kepekaan AAS yang tinggi (mampu dibawah 1 ppm) [14].

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 PENGARUH KADAR TAWAS TERHADAP KONSENTRASI ION Fe

Proses koagulasi dijalankan pada *run* 1 hingga *run* 5 dengan variasi kadar tawas 0, 200, 410, 620 dan 1000 mg, sedangkan konsentrasi ion Fe dibuat tetap yaitu 100 mg/L. Suhu larutan standar 26 °C dan waktu reaksi 30 menit. Persen penurunan kadar Fe dapat dilihat pada Gambar 1. Hubungan antara konsentrasi Fe dengan konsentrasi tawas adalah semakin tinggi kadar tawas (dari 0 mg/L hingga 1000

mg/L), maka persen penurunan Fe semakin tinggi. Berdasarkan grafik diatas kadar Fe terus menurun untuk konsentrasi tawas yang semakin tinggi, karena afinitas dari Al (OH)<sub>3</sub> yang mampu menarik ion Fe sehingga semakin banyak tawas yang dilarutkan maka semakin banyak Al (OH)<sub>3</sub> yang terbentuk, maka semakin banyak ion Fe yang terikat oleh afinitas Al (OH)<sub>3</sub>.



**Gambar 1.** Grafik Hubungan Persen Penurunan Fe terhadap Konsentrasi Tawas

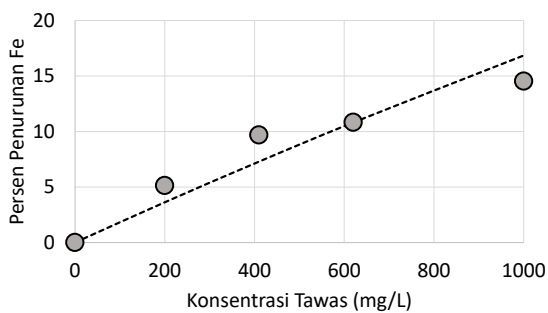
Penurunan konsentrasi Fe tidak disebabkan oleh pengendapan Fe akibat reaksi dengan O<sub>2</sub> dan OH yang membentuk Fe (OH)<sub>3</sub> melainkan disebabkan oleh reaksi terhadap Al(OH)<sub>3</sub> yang dibuktikan dengan adanya perubahan konsentrasi Al(OH)<sub>3</sub> pada setiap variasi konsentrasi tawas.

### 3.2 UJI MODEL MATEMATIKA LAJU PENURUNAN ION Fe

Pengaruh laju penurunan konsentrasi Fe digunakan untuk memperoleh nilai konstanta reaksi k. Pengukuran kadar Fe yang tersisa diambil setiap proses koagulasi pada konsentrasi tawas tertentu. Seluruh hasil pengukuran dan hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 2. Berdasarkan Tabel 2., dapat dihitung nilai konstanta penurunan konsentrasi Fe (*k*) dengan persamaan 6 yaitu:  $x_F = e^{-k_F C_A}$ . Didapat nilai *k<sub>F</sub>* sebesar 1.8. Hasil yang diperoleh ditunjukkan pada Gambar 2. sebagai berikut:

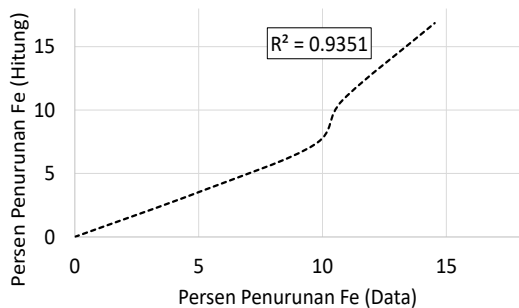
**Tabel 2.** Tabel Hasil *Curve Fitting*

No	X (konsentrasi tawas tak berdimensi)	Konsentrasi Fe (mg/L)	Y <sub>data</sub> (konsentrasi Fe tak berdimensi)	Y <sub>hitung</sub>	Selisih
1	0.000	13.37	1.000	1.000	0.00
2	0.020	12.69	0.949	0.965	1.59
3	0.041	12.08	0.903	0.929	2.57
4	0.062	11.92	0.892	0.894	0.27
5	0.100	11.43	0.855	0.835	1.94
					6.38



**Gambar 2.** Hasil *Fitting* Hubungan Persen Penurunan Fe vs Konsentrasi Tawas

Dari uji *crossplot* menggunakan metode *R-Squared* [15] antara hasil perhitungan vs data didapat nilai koefisien  $R^2$  sebesar 0.931 yang menandakan model matematika yang telah dibuat dapat mewakili fenomena reaksi pengurangan kadar tawas pada percobaan di laboratorium. Hasil analisis *crossplot* dapat dilihat pada Gambar 3.



**Gambar 3.** Hasil Uji *crossplot* antara persen penurunan Fe (data) vs persen penurunan Fe (hitung)

#### 4. KESIMPULAN

Model matematika penurunan konsentrasi Fe dapat digunakan untuk mengestimasi laju penurunan Fe dengan nilai konstanta  $R^2$  sebesar 0.9351. Nilai konstanta yang diperoleh pada percobaan ini meliputi nilai  $k_F$  sebesar  $\frac{1.8}{\text{gram tawas}}$  dan nilai  $C_{A10}$  sebesar 10.000 yang berarti persamaan ini dapat digunakan untuk konsentrasi tawas maksimum 10.000 ppm. Penurunan nilai Fe disebabkan oleh penyerapan  $Al(OH)_3$  karena pada setiap peningkatan  $Al(OH)_3$  menyebabkan penurunan nilai konsentrasi ion Fe dalam air.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Kumar, A. Puri, A review of permissible limits of drinking water, *Indian J. Occup. Environ. Med.*, vol. 16, no. 1. hal. 40–44, 2012.
- [2] B. Gassmann, Requirements of Vitamin A, Iron, Folate and Vitamin B12. Report of Joint FAO/WHO Expert Consultation. 107 Seiten, 5 Abb., 24 Tab. Food and Agriculture Organization of the United Nations; Rome 1988., *Nahrung*, 1991.
- [3] Permenkes No. 492/Th.2010, Persyaratan Kualitas Air Minum,

- Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia*, 2010.
- [4] N. Abbaspour, R. Hurrell, R. Kelishadi, Review on iron and its importance for human health, *J Res Med Sci.*, vol. 19, no. 2, hal. 164-174, 2014.
- [5] J. L. K. Bacon, Bruce R., Stanley L. Schrier, Treatment of hereditary hemochromatosis, artikel *UpToDate*, 2011.
- [6] World Health Organization, Iron in drinking-water. WHO Guidelines for drinking-water quality, *Who/Sde/Wsh/03.04/08*, 2003.
- [7] W. Stumm, G. F. Lee, Oxygenation of ferrous iron, *Ind. Eng. Chem.*, vol. 53, no. 2, hal. 143-146, 1961.
- [8] E. J. Roekens, R. Van Grieken, Kinetics of iron(II) oxidation in seawater of various pH, *Mar. Chem.*, vol. 13, no. 3, hal. 195-202, 1983.
- [9] J. M. Trapp, F. J. Millero, The oxidation of iron(II) with oxygen in NaCl brines, *J. Solution Chem.*, vol. 36, hal. 1479-1493, 2007.
- [10] G. R. Watzlaf, K. T. Schroeder, C. L. Kairies, Modeling of iron oxidation in a passive treatment system, in: 18th Annual Meeting of the ASSMR, New Mexico, June 3-7, 2001.
- [11] B. Morgan, O. Lahav, The effect of pH on the kinetics of spontaneous Fe(II) oxidation by O<sub>2</sub> in aqueous solution - basic principles and a simple heuristic description, *Chemosphere*, vol. 68, no. 11, hal. 2080-2084, 2007.
- [12] D. Sianita, I. Nurchahyati, Kajian pengolahan limbah cair industri batik, kombinasi aerob – anaerob dan penggunaan koagulan, in: Seminar Penelitian S1 Jurusan Teknik Kimia UNDIP 2009, Jurusan Teknik Kimia Universitas Diponegoro, 2009.
- [13] R. Raimon, M. Said, Laboratory effluent Treatment by using coagulant alum sulphate and poly aluminium chloride (PAC), *Indones. J. Fundam. Appl. Chem.*, vol. 2, no. 2, hal. 47-51, 2017.
- [14] W. Jackaman, Regional stream sediment and water geochemical data; Terrace & Prince Rupert (NTS 103I & 103J), British Columbia, *Geosci. bc Rep.*, 2008.
- [15] C. Watson, How to Calculate R2 Excel, 11-09-2019. [Online]. Available: [www.techwalla.com/articles/how-to-calculate-r2-excel](http://www.techwalla.com/articles/how-to-calculate-r2-excel).