

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Limbah Cair Laboratorium

Limbah cair laboratorium adalah limbah dalam wujud cair yang dihasilkan selama proses aktivitas di laboratorium. Aktifitas penelitian maupun pengujian di laboratorium yang padat menghasilkan volume limbah cair laboratorium yang cukup signifikan. Dari sisi jumlah, sebenarnya limbah cair yang dihasilkan oleh suatu laboratorium umumnya memang relatif sedikit, akan tetapi limbah cair ini tercemar berat oleh berbagai jenis bahan kimia toksik.¹ Artinya, limbah cair laboratorium memiliki zat pencemar yang sangat variatif sehingga secara kolektif dalam jangka waktu yang lama dapat membahayakan lingkungan.

Limbah cair laboratorium dapat dijumpai dalam berbagai jenis, misalnya berupa pelarut organik, halogen dan non halogen, residu bahan anorganik beracun, bahkan garam logam berat dalam larutannya. Jenis logam berat yang tergolong memiliki tingkat toksisitas tinggi antara lain adalah Hg, Cd, Cu, Ag, Ni, Pb, As, Cr, Sn, Zn, dan Mn. Berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No.85 Tahun 1999 bahwa unsur-unsur di atas merupakan senyawa yang tergolong Bahan Berbahaya dan Beracun.² Suatu limbah digolongkan sebagai limbah B3 bila mengandung bahan berbahaya atau beracun yang sifat

¹Suprihatin dan Nastiti Siswi Indrasti, "Penyisihan Logam Berat Dari Limbah Cair Laboratorium Dengan Metode Presipitasi dan Adsorpsi", Makara Vol. 14 no. 1, Fakultas Teknologi Pertanian Institut Pertanian Bogor. (Bogor: 2010). h. 45.

²Muhammad said, *Loc Cit.*

dan konsentrasinya, baik langsung maupun tidak langsung, dapat merusak atau mencemarkan lingkungan hidup atau membahayakan kesehatan manusia. Sehingga pembuangan limbah yang terkontaminasi oleh logam berat ke dalam sumber air bersih (air tanah atau air permukaan) menjadi masalah utama pencemaran karena sifatnya yang toksik dan tidak terdegradasi secara biologis (*nonbiodegradable*). Diantara jenis logam berat yang sering dijumpai dalam limbah cair laboratorium yaitu logam Pb dan Cr. Berdasarkan peraturan Menteri Kesehatan RI No.416/Menkes/Per/IX/1990 kandungan maksimum logam berat Pb dalam air limbah 0,5 mg/L.³

B. Logam Timbal (Pb) dan Krom (Cr)

1. Timbal (Pb)

Logam timbal (Pb = *Plumbum*) berada dalam Sistem Periodik Unsur (SPU) pada golongan IV A dan periode 6 dengan nomor atom 82. Timbal (Pb) atau sering disebut juga timah hitam digolongkan sebagai logam berat karena mempunyai berat jenis lebih besar dari berat jenis air yaitu 11,34 g/cm³. Timbal mempunyai berat atom 207,21 dengan konfigurasi elektron [54Xe] 6s² 4f¹⁴ 5d¹⁰ 6p² bersifat lunak serta berwarna biru atau silver abu-abu dengan kilau logam, mempunyai titik leleh 327,4°C dan titik didih 1.620°C. Logam ini menyerap energi pada panjang gelombang 283,3 nm saat dianalisis dengan SSA.⁴ Timbal pada skala laboratorium dijumpai

³Sutanto, Danang Widjajanto dan Hidjan, "Penurunan Kadar Logam Berat Dan Kekeruhan Air Limbah Menggunakan Proses Elektrokoagulasi", Jurnal Ilmiah Elite Elektro, Vol. 2, No. 1, Politeknik Negeri Jakarta, (Depok: 2011) h. 2.

⁴Badan Standardisasi Nasional, "Air dan Air Limbah-Bagian 8: Cara Uji Timbal (Pb) Dengan Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)-Nyala". SNI 06-6989.8-2004. h. 1.

dalam senyawa $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, PbSO_4 dan lainnya. Penyebaran logam timbal di bumi sangat sedikit. Jumlah timbal yang terdapat di seluruh lapisan bumi hanyalah 0,0002% dari jumlah seluruh kerak bumi. Jumlah ini sangat sedikit bila dibandingkan dengan jumlah kandungan logam berat lainnya.

Timah hitam (Pb) merupakan bahan toksik yang mudah terakumulasi dalam organ tubuh manusia, misalnya lewat konsumsi air minum yang tercemar logam Pb sehingga teradsorpsi oleh usus dan masuk ke dalam darah lalu menyebar ke seluruh tubuh dan terdeposit hingga ke organ-organ vital. Penyebaran tersebut dapat mengakibatkan gangguan kesehatan berupa anemia, gangguan fungsi ginjal, gangguan sistem syaraf dan otak serta kulit. Timbal yang masuk ke dalam tubuh dijumpai dalam bentuk timbal-organik seperti *tetra ethyl lead* (TEL), dan timbal anorganik seperti oksida timbal. Toksisitas timbal (Pb) baru akan terlihat bila Pb terkonsumsi lebih dari 2 mg per hari, ambang batas dari Pb yang diperkenankan adalah 0,2-2,0 mg per hari.



Sumber : www.skylighter.com

Gambar II.1. Kristal $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ atau timbal (II) nitrat

Seperti halnya substansi-substansi toksik lain, efek Pb berhubungan dengan konsentrasi paparannya. Pada konsentrasi yang tinggi menyebabkan

keracunan akut yang ditandai dengan gejala klinis. Hal ini perlu diwaspadai karena Pb mempunyai sifat afinitas yang kuat terhadap gugus sulfhidril dari sistein, gugus amino dari lisin, gugus karboksil dari asam aspartat dan glutamat, dan gugus hidroksil dari tirosin. Pb juga dapat berikatan dan memodifikasi struktur tersier protein dengan demikian menginaktifkan properti enzimatik, terlebih lagi enzim-enzim yang kaya akan gugus -SH. Oleh sebab itu dapat dikatakan bahwa setiap atom Pb dapat menginduksi kerusakan biokimia tubuh.⁵

2. Krom (Cr)

Krom (Cr = *Kromium*) merupakan salah satu unsur di dalam sistem periodik yang memiliki nomor atom 24. Kromium mempunyai konfigurasi elektron $[\text{18Ar}] 4s^1 3d^5$, sangat keras, mempunyai titik leleh dan titik didih tinggi di atas titik leleh dan titik didih unsur-unsur transisi deret pertama lainnya. Bilangan oksidasi yang umum dijumpai adalah +2, +3 dan +6. Jika dalam keadaan murni melarut dengan lambat sekali dalam asam encer membentuk garam kromium (II)⁶. Krom mempunyai titik didih 2.671°C dengan massa jenis $7,15 \text{ g/cm}^3$ dimana lebih berat dibandingkan massa jenis air sehingga digolongkan sebagai logam berat, berwarna kelabu dan keras dan menyerap energi pada panjang gelombang $357,9 \text{ nm}$ saat diukur

⁵Manahan dalam Sukssmerri, "Dampak Pencemaran Logam Timaah Hitam (Pb) Terhadap Kesehatan", Sebuah Studi Literatur, Jurnal Kesehatan Masyarakat Poltekes Padang, (Padang: 2008). h. 201.

⁶Hiskia Achmad, *Kimia Unsur dan Radiokimia*. (Bandung: 2001), h. 138 .

menggunakan SSA.⁷ Pada skala laboratorium, krom sering dijumpai dalam bentuk K_2CrO_4 (kalium kromat) dan $K_2Cr_2O_7$ (kalium dikromat).



Sumber : www.commons.wikimedia.org

Gambar II.2. Kristal kalium dikromat ($K_2Cr_2O_7$)

Krom khususnya dalam trivalen merupakan komponen mikronutrien bagi manusia. Cr (III) dibutuhkan untuk metabolisme hormon insulin dan pengaturan kadar glukosa darah. Namun, tetap bersifat toksik dalam dosis tinggi.⁸ Daya racun yang dimiliki oleh krom sebenarnya ditentukan oleh valensi ionnya. Logam Cr (VI) merupakan bentuk yang paling banyak dipelajari sifat racunnya dikarenakan Cr (VI) merupakan toksik yang sangat kuat dan dapat mengakibatkan terjadinya keracunan akut dan keracunan kronis. Salah satu dampak dari keracunan kromium adalah kerusakan hati.

⁷Badan Standardisasi Nasional, "Air dan Air Limbah- Bagian 17: Cara Uji Kadar Krom (Cr) Total Dengan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) Secara Ekstraksi", SNI 06-6989.17-2005, h. 1.

⁸Dwi Yuliani, "Penentuan Kadar Logam Mangan (Mn) dan Krom (Cr) Dalam Air Minum Hasil Penyaringan *Yamaha Water Purifier* Dengan Metode SSA", Skripsi Dept. Kimia USU, (Medan: 2009) h. 8

C. Belimbing Wuluh (*Averrhoa bilimbi*)

1. Pengenalan Umum dan Kandungan Belimbing Wuluh (*Averrhoa bilimbi*)

Belimbing wuluh merupakan tumbuhan berjenis pepohonan yang hidup di ketinggian dari 5 sampai 500 meter di atas permukaan laut. Buahnya lonjong, warna buahnya hijau muda bila masih muda, jika sudah matang berwarna kekuningan kusam, mengandung banyak air dan rasanya asam.⁹ Berikut klasifikasi umum untuk belimbing wuluh (*Averrhoa bilimbi*).

Kingdom	: <i>Plantae</i> (tumbuh-tumbuhan)
Divisi	: <i>Spermatophyta</i> (tumbuhan berbiji)
Sub-divisi	: <i>Angiospermae</i> (berbiji tertutup)
Kelas	: <i>Dicotyledoneae</i> (biji berkeping dua)
Ordo	: <i>Oxalidales</i> (suku belimbing-belimbingan)
Famili	: <i>Oxalidaceae</i>
Genus	: <i>Averrhoa</i>
Spesies	: <i>Averrhoa bilimbi</i> Linnaeus (belimbing wuluh)

⁹Linn Dalam Dewi Nugrahawati, *et al.*, "Pemanfaatan Buah Belimbing Wuluh (*Averrhoa Bilimbi*) Sebagai Cairan Akumulator Secara Alami Dan Ramah Lingkungan". Proposal Program Kreativitas Mahasiswa Penelitian Universitas Sebelas Maret Surakarta (Surakarta: 2009) h. 1.



Sumber : <http://massaidi.blogspot.com>

Gambar II.3. Belimbing Wuluh (*Averrhoa bilimbi*)

Buah belimbing wuluh (*Averrhoa bilimbi*) mengandung senyawa kimia antara lain asam format, asam sitrat, asam askorbat (vitamin C), saponin, tanin, glukosid, flavonoid, dan beberapa mineral terutama kalsium dan kalium dalam bentuk kalium sitrat dan kalsium oksalat.¹⁰ Carangal *et al.* melaporkan bahwa belimbing wuluh mengandung senyawa asam organik yang ditampilkan pada Tabel II.1.¹¹

Tabel II.1. Kandungan Senyawa Organik Buah Belimbing Wuluh

Asam Organik	Satuan	Jumlah
Asam Asetat	mEq/100 g total padatan	1,6-1,9
Asam Sitrat	mEq/100 g total padatan	92,6-133,8
Asam Format	mEq/100 g total padatan	0,4-0,9
Asam Laktat	mEq/100 g total padatan	0,4-1,2
Asam Oksalat	mEq/100 g total padatan	5,5-8,9

Sumber : Carangal *et al.* (1960).

¹⁰Marlianis. *Op Cit.*, h. 20.

¹¹Ibid.

2. Asam Sitrat sebagai Pengkhelat Logam

Berdasarkan **Tabel. II.1**, komposisi asam organik tertinggi yang dimiliki oleh belimbing wuluh (*Averrhoa bilimbi*) adalah asam sitrat dengan jumlah 92,6-133,8 mEq/100 g total padatan. Mili equivalen adalah satuan yang mencerminkan aktivitas kimia suatu elektrolit berdasarkan valensinya. Bobot equivalen suatu zat dapat ditentukan dengan rumus berikut:

$$\text{mEq} = \frac{\text{mg} \times \text{valensi}}{\text{bobot molekul}}$$

Asam sitrat adalah zat padat kristalin yang sangat larut dalam air, tidak berhidrat pada suhu 55°C dan melebur pada suhu 160°C. Ia merupakan asam tribasa, dan karenanya menghasilkan tiga deret garam.¹² Menurut Ditjend POM (1995) dalam Layani Pransiska Nainggolan, rumus kimia untuk asam sitrat yaitu C₆H₈O₇ dengan berat molekul relatif 192,10 dimana serbuk berwarna putih, tidak berbau dan berasa sangat asam.¹³

Asam sitrat yang mempunyai gugus karboksilat dikenal sebagai sekuestran (pengkhelat) pada logam yang nantinya bertindak sebagai ligan. Hal ini dapat terjadi karena logam berat dapat berikatan dengan atom yang memiliki ion bebas, sedangkan asam sitrat memiliki empat elektron bebas pada kompleks (pengikat logam) yaitu pada gugus karboksilat yang dapat diberikan pada ion logam sehingga menyebabkan terbentuknya ion kompleks yang dengan mudah larut dalam air. Terjadinya reaksi antara zat

¹²Vogel, *Analisis Anorganik kualitatif makro dan semimakro* edisi kelima. PT. Kalman Media Pusaka. (Jakarta:1990). h.399.

¹³Layani Pransiska Nainggolan. "Pengaruh Variasi Berat Asam Gelugur (*Garcinia Atroviridis*, Griff) Terhadap Penurunan Kadar Logam Pb, Cd dan Cr Pada Perebusan Kerang Bulu (*Anadara antiquata*) dari Perairan Belawan", Skripsi S1 Fakultas Farmasi USU (Medan: 2009). h 11.

pengikat logam dengan ion logam melalui ikatan koordinasi menyebabkan ion logam kehilangan sifat ionnya dan mengakibatkan logam berat tersebut kehilangan sebagian besar toksisitasnya. Asam sitrat sendiri mampu mengikat logam-logam berat misalnya yang bervalensi 2 (bivalen).¹⁴ Pada umumnya, proses pembentukan ikatan tersebut dapat terjadi melalui:

1. Atom karbon, dan akan membentuk senyawa organik logam.
2. Gugus karboksilat (misalnya asam sitrat, tartrat, dan lainnya)
3. Atom-atom yang mempunyai elektron bebas dalam senyawa organik atau gugus yang mempunyai ikatan *phi*, lalu membentuk kompleks.

Marlianis melaporkan bahwa larutan belimbing wuluh dapat menurunkan kadar logam Pb yang terdapat dalam limbah simulasi. Dengan penurunan tertinggi yaitu 52,06% pada sampel yang dicampur dengan belimbing wuluh pada konsentrasi 45% dan pada waktu pencampuran 60 menit.¹⁵

D. Elektrokoagulasi

Elektrokoagulasi merupakan sebuah teknologi pengolahan limbah cair secara elektrokimia dengan memanfaatkan pelarutan anoda sehingga menghasilkan prekursor-prekursor koagulan yang aktif.¹⁶ Proses elektrokoagulasi merupakan gabungan dari proses elektrokimia dan proses

¹⁴ Fitri Refelita, "Pengaruh Konsentrasi Tiga Macam Asam Organik Terhadap Pengawetan Daging", Skripsi S1 FMIPA Kimia UNAND (Padang: 1992) h. 15

¹⁵ Marlianis, *Loc Cit.*

¹⁶ Sajjad Farhadi., *et al.* "Comparison of COD removal from pharmaceutical wastewater by electrocoagulation, photoelectrocoagulation, peroxi-electrocoagulation and peroxi-photoelectrocoagulation processes". J. Hazardous Materials by Elsevier. Departement of Civil and environmental Engineering, Graduate Faculty of Environment, University of Teheran, (Iran: 2012), h. 2.

flokulasi-koagulasi.¹⁷ Flokulasi merupakan proses pengendapan pencemar dalam limbah cair dengan penambahan bahan koagulan utama dan koagulan pendukung sehingga terjadi penggumpalan.¹⁸ Sedangkan koagulasi adalah proses destabilisasi partikel senyawa koloid dalam limbah cair dengan cara penambahan bahan koagulan. Elektrokoagulasi sendiri sering disebut dengan koagulasi secara fisika. Hal ini dikarenakan penyerapan polutan yang akan digumpalkan terjadi melalui proses adsorpsi dan tidak membentuk senyawaan baru. Metode ini meliputi proses destabilisasi suspensi, emulsi dan larutan yang mengandung kontaminan dengan cara mengalirkan arus listrik melalui air, sehingga menyebabkan terbentuknya gumpalan yang mudah dipisahkan. Mekanisme penyisihan umum yang terjadi dalam elektrokoagulasi dibagi menjadi tiga, yaitu:

1. Terbentuknya koagulan sebagai akibat proses oksidasi elektrolisis pada elektroda.
2. Destabilisasi kontaminan, partikel tersuspensi dan pemecah emulsi.
3. Agregatisasi dari hasil destabilisasi hingga membentuk flok.

Metode ini mempunyai reaktor elektrokoagulasi sebagai suatu sistem yang menjadi tempat terjadinya elektrolisis, koagulasi dan flokulasi. Sel ini merupakan sel elektrokimia yang memiliki komponen-komponen penting meliputi elektroda-elektroda, sumber arus listrik, serta larutan elektrolit.

¹⁷Retno Susetyaningsih, *et. al.* dalam Nurafrina, "Pengaruh Metode Elektrokoagulasi Terhadap Penurunan Kadar Minyak dan Jumlah Padatan Tersuspensi pada Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit". Skripsi S1 Pendidikan Kimia UIN SUSKA Riau (Pekanbaru: 2012). h. 31.

¹⁸Mia Azamia. "Pengolahan Limbah Cair Laboratorium Kimia dalam Penurunan Kadar Organik dan Logam Berat Fe, Mn, Cr, dengan Metode Koagulasi dan Adsorpsi". Skripsi Sarjana Departemen Kimia FMIPA UI. (Depok: 2012). h.9

Elektroda-elektroda tersebut terdiri atas anoda dan katoda dimana anoda bermuatan positif dan katoda bermuatan negatif. Elektroda-elektroda biasanya dihubungkan pada arus listrik yang bertegangan 10-30 V. Sedangkan yang bertindak sebagai larutan elektrolit adalah larutan yang hendak dianalisis. Reaksi yang terjadi pada elektroda adalah reaksi reduksi dan oksidasi. Reaksi reduksi dan oksidasi ditandai oleh adanya transfer elektron dari zat yang dioksidasi (reduktor) menjadi zat yang direduksi (oksidator).

Elektroda-elektroda yang biasa digunakan adalah elektroda aluminium (Al) dan besi (Fe). Elektroda yang paling banyak digunakan adalah elektroda aluminium karena dianggap lebih murah dan ekonomis.¹⁹ Reaktor yang mempergunakan aluminium dikedua elektroda yaitu anoda dan katoda dilaporkan bahwa proses pelarutan aluminium dapat mencapai 100%. Retno Susetyoningsih, *et al* menyebutkan bahwa elektrokoagulasi dapat mereduksi logam Pb dengan nilai efisiensi sebesar 99,16% pada kuat arus 5,0 Ampere dan waktu operasi 120 menit menggunakan pasangan elektroda aluminium pada limbah cair yang mengandung kadar awal Pb 10 ppm pada sistem aliran kontinu²⁰. Sedangkan Prayitno *et al* mendapatkan efisiensi elektrokoagulasi kontaminan Cr total sebesar 98,222% pada kuat arus 2,5 Ampere dalam waktu operasi elektrokoagulasi selama 120 menit pada sampel limbah cair

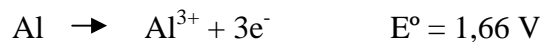
¹⁹Karina Rindang Trapsilasiwi, "Aplikasi Elektrokoagulasi Menggunakan Pasangan Elektroda Aluminium Untuk Pengolahan Air Untuk Sistem Kontinyu". Tugas Akhir Jurusan Teknik Lingkungan FTSP Institut Teknologi Sepuluh Noverber (Surabaya: 2010), h. 3

²⁰Retno Susetyaningsih., Endro Kismolo., dan Prayitno. 2008. "Kajian Proses Elektrokoagulasi Untuk Pengolahan Limbah Cair". Jurnal Seminar Nasional IV SDM, Teknologi Nuklir ISSN 1978-0176 (Yogyakarta: 2008) h. 342.

radioaktif simulasi.²¹ Elektroda Al-Al pada sistem elektrokoagulasi maksudnya adalah baik katoda dan anoda sama-sama menggunakan elektroda aluminium. Penggunaan aluminium pada kedua elektroda, reaksinya dapat berupa berikut:

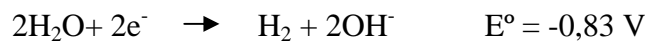
Reaksi pada permukaan elektroda positif (anoda):

1. Pada permukaan anoda

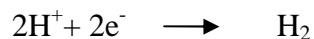


Reaksi pada elektroda negatif (katoda)

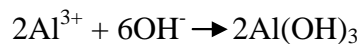
1. Jika larutan berada pada suasana netral atau basa



2. Jika larutan berada pada kondisi asam



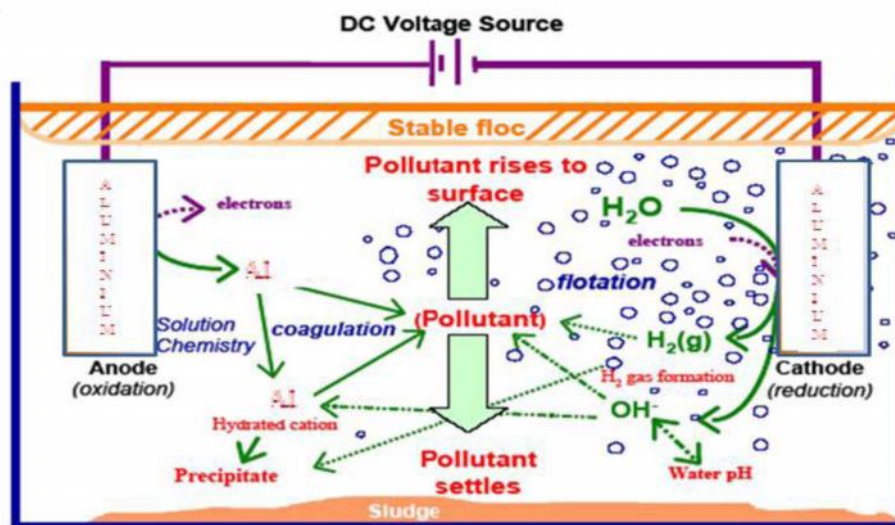
Maka, pada sekitar anoda dan katoda:



Bila dalam reaktor elektrokoagulasi yang berisi larutan elektrolit ditempatkan dua elektroda dan dialiri arus listrik searah, maka akan terjadi peristiwa elektrokimia. Peristiwa elektrokimia yang dimaksud yaitu gejala dekomposisi elektrolit dimana elektroda yang bermuatan positif (anoda) akan teroksidasi dan menghasilkan ion positif (kation) dari logamnya yang akan bergerak ke elektroda yang bermuatan negatif (katoda). Secara simultan, terjadi transfer elektron ke elektroda yang bermuatan negatif (katoda) dimana yang tereduksi adalah air dan menghasilkan gas hidrogen dan ion negatif berupa ion

²¹Prayitno dan Endro Kismolo. "Penurunan Kadar Logam Berat dan Keketuhan Air Limbah Menggunakan Proses Elektrokoagulasi". Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah - Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan – BATAN ISSN 0216 – 3128 (Yogyakarta: 2012). h. 98.

hidroksil OH^- (anion) yang akan bergerak ke elektroda yang bermuatan positif (anoda). Interaksi kation logam dengan ion hidroksil membentuk sebuah flok (prekursor koagulan) berupa hidroksida dengan sifat adsorpsi yang tinggi dan mampu mengikat kontaminan dan partikel-partikel limbah. Sedangkan gas hidrogen sebagai gas hasil elektrolitik menimbulkan efek pengapungan yang memindahkan polutan ke permukaan cairan. Hal ini sesuai dengan prinsip kerja dari elektrokoagulasi yaitu destabilisasi partikel koloid dengan cara mengurangi semua gaya yang mengikat kemudian menurunkan energi penghalang dan membuat partikel menjadi flok.



Gambar II.4. Mekanisme elektrokoagulasi menurut P. Holt²²

Proses ini bergantung pada karakteristik fisik dan kimia dari larutan, jenis polutan dan koagulan, serta jenis mekanisme elektrolisis yang terjadi. Sedangkan pada reaktor elektrokoagulasi, mekanisme koagulasi yang dominan

²²P. Holt dalam Sofia Novita. "Pengaruh Variasi Kuat Arus Listrik dan Waktu Pengadukan Pada Proses Elektrokoagulasi Untuk Penjernihan Air Baku PDAM Tirtanadi Ipa Sunggal". Skripsi S1 Departemen Fisika FMIPA Universitas Sumatera Utara (Medan: 2012), h. 15.

terjadi akan bervariasi tergantung kondisi pengoperasian reaktor, jenis dan konsentrasi koagulan.

Beberapa keuntungan terdapat dari metode elektrokoagulasi ini, diantaranya sebagai berikut:

1. Elektrokoagulasi membutuhkan peralatan yang sederhana dan mudah dioperasikan.
2. Air limbah yang diolah yang diproses dengan elektrokoagulasi menghasilkan efluen yang jernih, tidak berwarna dan tidak berbau.
3. Jumlah lumpur yang dihasilkan sedikit, relatif stabil dan mudah dipisahkan terutama yang berasal dari oksida logam.
4. Flok yang terbentuk pada proses elektrokimia memiliki kesamaan dengan flok yang dihasilkan pada proses koagulasi kimia. Perbedaannya flok dari hasil elektrokimia berukuran lebih besar dan memiliki kandungan air yang sedikit, lebih stabil dan mudah dipisahkan cepat dengan filtrasi.
5. Efisiensi yang diperoleh tinggi untuk berbagai kondisi karena tidak dipengaruhi oleh temperatur
6. Proses elektrokoagulasi tidak memerlukan pemakaian bahan kimia berlebih sehingga memungkinkan tidak dilakukannya pengolahan limbah selanjutnya jika terjadi penambahan senyawa kimia yang terlalu tinggi.
7. Gelembung gas yang dihasilkan dari proses elektrolisis membawa polutan yang diolah untuk naik ke permukaan (flotasi) dimana flok tersebut dengan mudah terkonsentrasi, dikumpulkan dan dipisahkan.

Meskipun memiliki banyak keuntungan, ternyata elektrokoagulasi juga masih mempunyai sedikit kelemahan, yaitu:

1. Elektroda yang digunakan harus diganti secara teratur
2. Terbentuknya lapisan di elektroda, menurunkan efisiensi pengolahan
3. Teknologi ini memiliki konduktivitas yang lebih tinggi dibandingkan air limbah yang diolah.

E. Filtrasi

Proses filtrasi bertujuan memisahkan padatan dari campuran fasa cair dengan perbedaan tekanan sehingga mendorong fasa cair melewati lapisan pada medium filter. Prinsip dasar metode filtrasi adalah perbedaan ukuran partikel antara pelarut dan zat terlarutnya. Penyaring akan menahan zat padat yang mempunyai ukuran partikel lebih besar dari pori saringan dan meneruskan pelarut ke tempat penampungan. Pemisahan ini sangat cocok untuk campuran heterogen dimana jumlah cairannya lebih besar dibandingkan partikel zat padatnya.²³ Pada proses filtrasi, pemisahan padatan akan tertahan pada medium penyaring. Sedangkan fasa cair yang melewati medium filter berupa limbah atau hasil sampingnya.

Pada filtrasi konvensional, biasanya menggunakan kertas saring yang beberapa ukuran pori tertentu. Keuntungan yang dapat diperoleh bila menggunakan kertas saring sebagai media filtrasi, yaitu:

²³<http://tsffaunsoed2009.wordpress.com/2012/05/24/sekilas-tentang-filtrasi-konvensional-versus-filtrasi-modern-dibidang-farmasi/>, diakses tanggal 1 Mei 2013,

1. Murah, mudah didapat, efisiensi penyaringan tinggi disebabkan antara lain karena permukaannya yang luas, teknik dan peralatan penunjangnya sederhana.
2. Untuk kecepatan penyaringan tersedia kertas dengan pori-pori halus medium, dan kasar.
3. Untuk menyaring digunakan corong dengan kerucut bersudut 60 derajat. Endapan yang akan dipijarkan harus disaring dengan kertas saring tak berabu.

Namun terdapat kelemahan pada penggunaan kertas saring, yaitu:

1. Dapat rusak oleh asam dan basa kuat
2. Kekuatan mekanisnya kurang dan mudah sobek jika terkena pengaduk sehingga bocor dan mengotori endapan karena serat-seratnya terbawa
3. Dapat mengadsorpsi bahan-bahan dari larutan yang disaring



Sumber: dokumentasi penulis

Gambar II.5. Filtrasi konvensional menggunakan kertas saring

F. Spektrofotometri Serapan Atom (*Atomic Absorption Spectrophotometry*)

Spektrofotometri serapan atom (SSA) merupakan suatu metode dari spektrofotometri serapan yang digunakan untuk mendeteksi atom-atom logam dalam fase gas. Metode ini menggunakan nyala untuk mengubah logam dalam larutan sampel menjadi atom-atom logam berbentuk gas yang digunakan untuk analisa kuantitatif dari logam dalam sampel. Nyala pada pengujian sampel menggunakan SSA dapat bersumber dari berbagai jenis gas bakar dan gas pengoksidanya, salah satunya antara asetilen dengan udara yang mampu menganalisis sekitar 35 unsur dengan temperatur 2300 °C.

Prinsip dasar spektrofotometri serapan atom adalah interaksi antara radiasi elektromagnetik dengan sampel. Spektrofotometri serapan atom merupakan metode yang sangat tepat untuk analisis zat pada konsentrasi rendah. Cara kerja spektrofotometri serapan atom ini berdasarkan atas penguapan larutan sampel dimana logam yang terkandung di dalamnya diubah menjadi atom bebas. Atom tersebut mengabsorpsi radiasi dari sumber cahaya yang dipancarkan dari lampu katoda (*Hollow Cathode Lamp*) yang mengandung unsur yang akan ditentukan. Setiap pengukuran dengan SSA harus menggunakan *hollow cathode* spesifik, misalnya menentukan konsentrasi tembaga dari suatu cuplikan, maka harus menggunakan *hollow cathode* khusus yang akan memancarkan energi radiasi yang sesuai dengan energi yang diperlukan untuk transisi elektron elektron atom.²⁴ Besarnya penyerapan radiasi diukur pada panjang gelombang tertentu menurut jenis logamnya.

²⁴Sumar Hendaya, *Kimia Analitik Instrumen* edisi kesatu. (Semarang: 2001), h. 235

Panjang gelombang yang dihasilkan oleh sumber radiasi sama dengan panjang gelombang yang diabsorpsi oleh atom dalam nyala. Komponen-komponen penting pada spektrofotometri serapan atom:

1. Sumber Sinar, berupa lampu katoda berongga (*hollow cathode lamp*).

Lampu ini terdiri atas tabung kaca tertutup yang mengandung katoda dan anoda. Katoda berbentuk silinder berongga terbuat dari logam atau dilapisi dengan logam tertentu. Tabung logam ini diisi dengan gas mulia (neon atau argon) dengan tekanan rendah (10-15 torr). Aspek kuantitatif dari metode spektrofotometri diterangkan oleh hukum Lambert-Beer, yaitu:

$$A = \epsilon \cdot b \cdot c \text{ atau } A = a \cdot b \cdot c$$

Keterangan :

A = Absorbansi b = Tebal nyala (nm) a = Absorptivitas
 = Absorptivitas molar c = Konsentrasi (mg/l)



Sumber : Dokumentasi Penulis

Gambar II.6. Spektrofotometri Serapan Atom

2. Tempat Sampel, yaitu sebagai tempat dimana sampel akan dianalisis menggunakan instrumen SSA.
3. Monokromator, merupakan alat yang berfungsi untuk memisahkan radiasi yang tidak diperlukan dari spektrum radiasi lain yang dihasilkan oleh *hallow cathode lamp*.
4. Detektor, digunakan untuk mendeteksi dan mengukur intensitas cahaya yang melalui tempat pengatoman.
5. *Readout*, merupakan suatu alat penunjuk atau dapat juga diartikan sebagai sistem pencatatan hasil dan terdiri dari unit komputer. Biasanya pada pencatatan hasil didapatkan konsentrasi logam dalam bentuk mg/L (ppm).

Untuk alur pengujian menggunakan SSA dapat dimulai dari:

1. Preparasi sampel, yakni sampel yang akan dianalisis biasanya diberikan larutan asam agar harga pH sampel turun, biasanya menggunakan HNO_3 . Suasana asam ini dimaksudkan untuk menjaga kejernihan larutan. Suatu sifat dari beberapa logam ketika bereaksi dengan suatu basa akan menghasilkan endapan. Endapan yang dihasilkan akan menyumbat pipa kapiler dalam alat. Pipa kapiler yang tersumbat tidak dapat menghantarkan larutan masuk kedalam AAS, artinya pengukuran tidak dapat dilakukan.²⁵
2. Pembuatan larutan blanko dan larutan standar (kerja), Larutan blanko merupakan larutan yang memiliki konsentrasi zat yang akan dianalisis

²⁵<http://tivachemchem.blogspot.com/2010/10/penentuan-kadar-cu-ii-dalam-sampel-uji.html>, diakses tanggal 2 Mei 2013.

sebesar 0 ppm yang hanya terdiri atas larutan pengencer. Sedangkan larutan standar adalah larutan yang telah diketahui konsentrasinya.

3. Pengukuran absorbansi larutan standar dan sampel dengan alat SSA, dilakukan dengan tujuan mendapatkan nilai absorbansinya, sehingga kadar logam dapat diketahui. Hasil dari pengukuran tersebut disajikan dalam suatu kurva kalibrasi dan regresi linier.