

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. PRA STUDI

4.1.1. Desain Alat

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah bak Elektrokoagulasi, bak *baffle channel flocculator*, bak sedimentasi, dan bak Filtrasi.

a. Bak Elektrokoagulasi

Proses elektrokoagulasi merupakan suatu proses koagulasi kontinue dengan menggunakan arus listrik searah melalui peristiwa elektrokimia yaitu gejala dekomposisi elektrolit, dimana salah satu elektrodanya terbuat dari aluminium. Dalam proses ini akan terjadi proses reaksi reduksi oksidasi, yang mengandung logam-logam akan direduksi dan diendapkan di kutup negatif sedangkan elektroda positif (Cu) akan teroksidasi menjadi $[Cu(OH)_2]$ yang berfungsi sebagai kogulan.

Elektrokoagulasi adalah bagian dari elektrokimia yang dapat mengdestabilisasikan agen-agen pencemar yang mana pencemar tersebut dapat di reduksi. Elektrokoagulasi selain bagian dari elektrokimia juga merupakan bagian dari flokulasi dan koagulasi serta penggunaan elektroda untuk mengaliri listrik di dalam larutan yang bersifat elektrolit yang biasa disebut elctrolisis.

Bak elektrokoagulasi ini diharapkan bertujuan untuk menurunkan kandungan-kandungan yang ada dalam lindi seperti BOD, COD, nitrat, nitrit, logam berat, serta TSS dan TDS.



Gambar 4.1 Bak Elektrokoagulasi dan *magnetic steer barr*

Dimensi Bak elektrokoagulasi ini adalah panjang 20 cm, lebar 20 cm, serta tinggi 30 cm. bak elektrokoagulasi ini digunakan sebagai pengaduk cepat, yang mana di bawahnya diletakkan *magnetic steer barr*, kemudian di dalam bak tersebut dimasukkan *steer barr* sebagai pengaduknya. Pengadukan dilakukan dengan kecepatan 10 rpm.

b. Bak Baffle Channel Flocculator

Pada penelitian ini sebagai pengaduk lambatnya digunakan *baffle channel flocculator*. *Baffle channel flocculator* ini termasuk jenis pengadukan hidrolis, yang mana pengadukan ini memanfaatkan gerakan air sebagai tenaga pengadukan. Pada umumnya flokulasi hidrolis mempunyai kekurangan dalam hal fleksibilitas pengaturan hf yang diperlukan sebagai energi untuk proses. Selain itu pada flokulator hidrolis, perbedaan kecepatan aliran yang terjadi pada bagian tepi dan tengah reaktor sangat besar, sehingga seringkali flok yang terjadi pecah kembali.

Bak ini bertujuan menghasilkan gerakan air yang mendorong kontak antar partikel tanpa menyebabkan pecahnya gabungan partikel yang telah terbentuk ini bisa tercapai bila energi hidrolik yang diharapkan cukup kecil. Flokulator jenis ini umumnya dibuat secara seri seiring penurunan nilai G agar diperoleh pencampuran sempurna, yaitu partikel dapat saling berkontak, sehingga diperoleh hasil akhir yang memuaskan.

Jumlah sekat dalam bak flokulator ini (aliran vertikal), ditentukan dengan rumus berikut :

$$n = \left\{ \left[\frac{2\mu t}{\rho(1.44 + f)} \right] \left[\frac{W.L.G}{Q} \right]^2 \right\}$$

Dimana : W = lebar bak (m)

L = panjang bak flokulator (m)

G = konstanta gravitasi (9,81 m/det²)

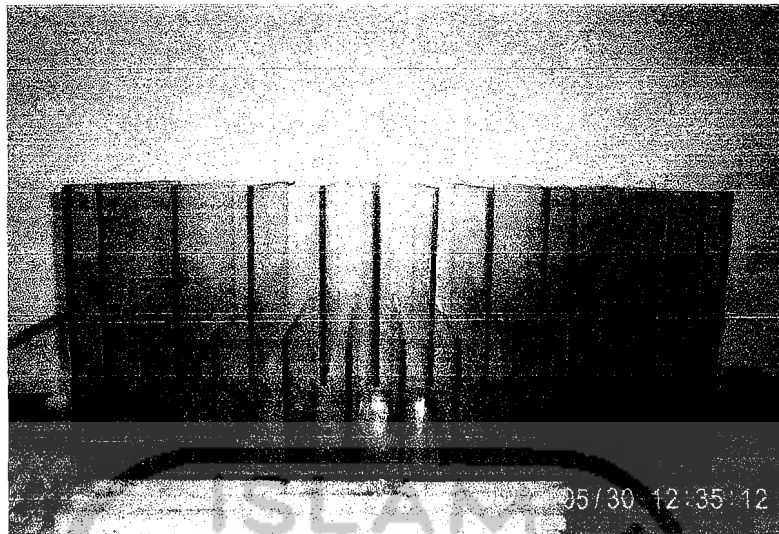
Q = debit aliran (m³/det)

μ = viskositas absolut (kg/m.det)

ρ = berat jenis air (kg/m³)

f = koefisien gesek sekat

t = waktu flokulasi (det)



Gambar 4.2 Bak *baffle channel flocculator*

Dimensi bak *baffle channel flocculator* adalah panjang 60 cm, lebar 40 cm, dan tinggi 30 cm. Bak *baffle channel flocculator* ini terdiri dari beberapa sekat dengan 3 buah kompartemen

c. Bak Sedimentasi

Pada umumnya, sedimentasi digunakan juga pada pengolahan air limbah selain tentunya juga pada pengolahan air minum. Pada penelitian ini digunakan sedimentasi tipe II, yang mana selama dalam operasi pengendapannya, ukuran partikel flokulen bertambah besar, sehingga kecepataannya juga meningkat.

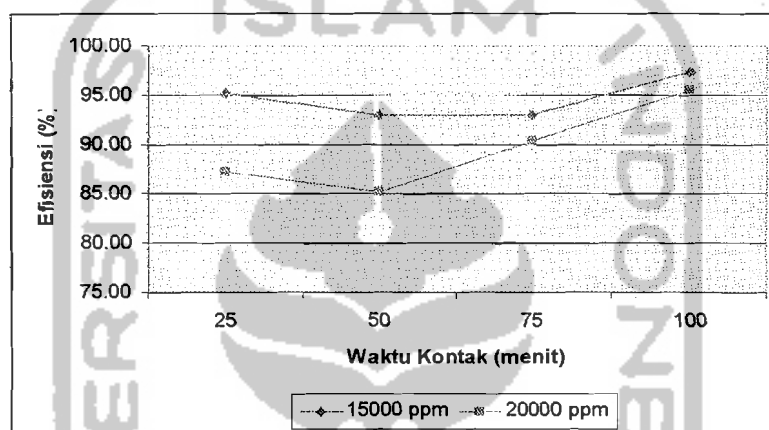
Konsep sedimentasi :

- ❖ Kecepatan yang mengendap partikel adalah jarak yang ditempuh partikel persatuan waktu.
- ❖ Beban permukaan adalah laju pergerakan cairan arah vertikal
- ❖ Efisiensi removal dari partikel diskrit yang memiliki ukuran, bentuk, densitas serta spesifik gravity yang sama tidak dipengaruhi oleh kedalaman, melainkan luas permukaan serta waktu detensi dalam bak.

Bak sedimentasi tipe II ini bertujuan untuk mengendapkan partikel hasil proses koagulasi-flokulasi pada pengolahan air limbah.

Efisiensi bak sedimentasi ini berdasarkan kriteria desain, untuk parameter BOD sebesar 30-40 % sedangkan untuk parameter TSS sebesar 30-75% (Syed R Qasim, *Wastewater Treatment Plant* 2000).

Pada parameter TSS efisiensi yang dihasilkan kecil hanya sebesar 40%, hal itu sudah sesuai dengan kriteria desain. Efisiensi TSS yang masih tergolong kecil ini tidak sesuai dengan harapan, hal ini disebabkan karena aliran air pada bak sedimentasi ini kadang turbulen, sehingga flok-flok yang terikat oleh koagulan mengalami pemecahan.

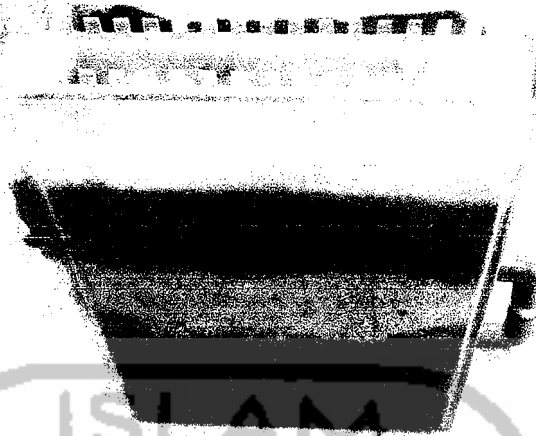


Gambar 4.5 Efisiensi krom total pada bak sedimentasi dengan dosis koagulan 15000 dan 20000 ppm terhadap waktu kontak

Pada gambar 4.5 efisiensi bak sedimentasi ini terhadap konsentrasi krom total yang paling optimum terjadi pada waktu kontak 100 menit sebesar 97, 4 % dengan dosis tawas 15000 ppm sedangkan pada dosis tawas 20000 ppm efisiensi bak sedimentasi paling optimum terjadi juga pada waktu kontak 100 menit sebesar 95,5 %.

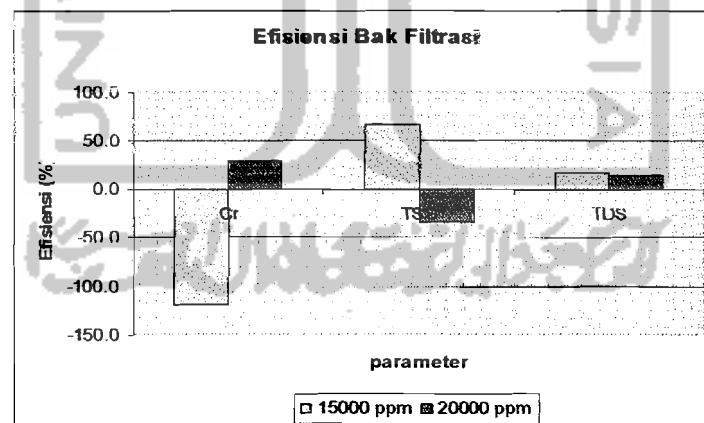
d. Bak Filtrasi

Penelitian ini menggunakan saringan pasir cepat. Saringan pasir cepat ini sebelumnya didahului dengan proses koagulasi-flokulasi dan pengendapan (sedimentasi) untuk memisahkan padatan tersuspensi yang terkandung dalam air limbah.



Gambar 4.6 Bak filtrasi

Dimensi bak filtrasi ini adalah panjang 40 cm, lebar 20 cm, dan tinggi 80 cm. Bak filtrasi ini terdiri dari berbagai macam media. Pada lapisan bawah digunakan batu sebagai penyangga. Diatas lapisan batu terdiri lapisan kerikil, diatas media kerikil terdapat media ijuk, kemudian karbon aktif, dan media paling atas adalah pasir.

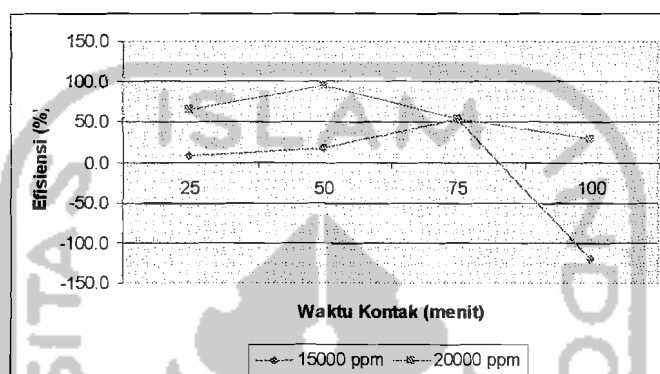


Gambar 4.7 Efisiensi bak filtrasi

Pada gambar 4.7 dapat dilihat efisiensi bak filtrasi. Efisiensi bak filtrasi ini bila dikaitkan dengan beberapa parameter berkisar antara 80-90%. Efisiensi ini sangat tinggi dibandingkan dengan efisiensi bak sedimentasi. Pada dosis tawas 15000 ppm, dapat dilihat efisiensi untuk parameter TSS sebesar 67 %.

Pada dosis 20000 ppm efisiensi bak filtrasi ini menurun sebesar -33 %, hal ini diakibatkan karena flok-flok pada bak sedimentasi terikut kedalam bak filtrasi, sehingga menutup permukaan media di bak filtrasi ini.

Bila didasarkan pada kriteria desain, untuk parameter TSS sebesar 50-75% (Syed R Qasim, *Wastewater Treatment Plant* 2000), pada dosis 15000 ppm untuk parameter TSS sudah memenuhi kriteria desain



Gambar 4.8 Efisiensi krom total pada bak filtrasi dengan dosis koagulan 15000 dan 20000 ppm terhadap waktu kontak

Gambar 4.8 diatas memperlihatkan grafik efisiensi pada bak filtrasi terhadap konsentrasi krom total. Pada dosis tawas 15000 ppm, efisiensi bak filtrasi ini yang paling optimum adalah pada waktu kontak 75 menit sebesar 54,3 % dan pada waktu kontak 100 menit mengalami penurunan efisiensi drastis sebesar -119,7 %. Pada dosis tawas 20000 ppm, efisiensi bak filtrasi yang paling optimum adalah pada waktu kontak 50 menit sebesar 95,6 % dan pada waktu kontak 100 menit mengalami penurunan efisiensi sebesar 28,5 %. Dari penjelasan diatas, dapat ditarik kesimpulan bahwa, bak filtrasi ini tidak sepenuhnya berperan dalam menurunkan konsentrasi krom total.

Percobaan Awal

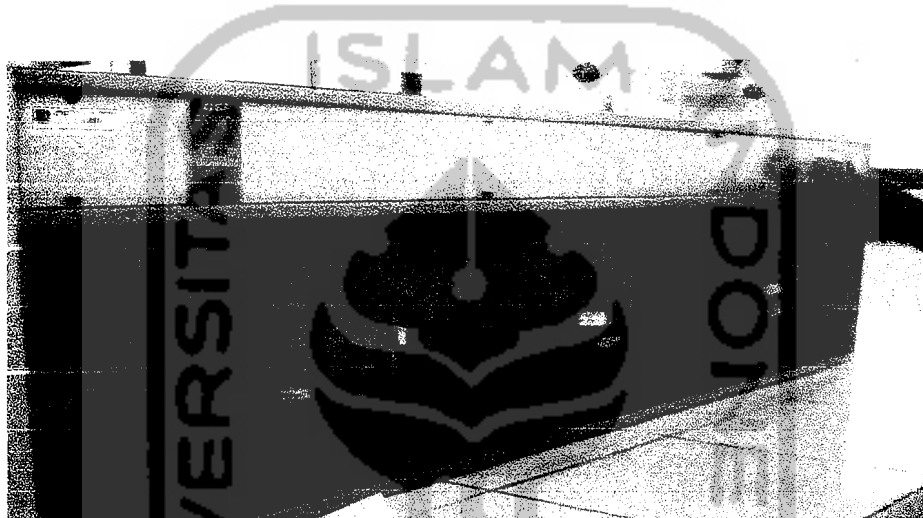
Ada beberapa hal yang dilakukan sebelum melakukan penelitian sesungguhnya. Pada penelitian ini dilakukan penelitian awal, hal ini dilakukan untuk mengetahui Jenis dan dosis koagulan, batangan elektroda dan waktu kontak yang tepat.

A. Jenis dan dosis koagulan

Pada penelitian ini, dilakukan penelitian awal untuk mengetahui jenis dan dosis koagulan yang tepat. Sebagai perbandingan, dilakukan dua macam teknik koagulasi skala laboratorium, yaitu dengan menggunakan *jar test* dan Elektrokoagulasi.

a. *Jar Test*

Pada percobaan awal ini, *jar test* dilakukan dengan menggunakan beberapa macam koagulan serta variasinya.



Gambar 4.9 Percobaan *jar test*

1. Tawas (Al_2SO_4)
 2. Ferro Sulfat (FeSO_4)
 3. Ferro Sulfat (FeSO_4) + Kapur Tohor (CaOH)
1. Tawas (Al_2SO_4)

Di ambil contoh air limbah masing-masing sebanyak 500 ml, kemudian dimasukkan kedalam beaker jar test yang berkapasitas 1000 ml sebanyak 3 buah. Beaker jar test yang berisi air baku tadi diletakkan diatas mesin pengaduk. Kemudian ditambahkan pada masing-masing beaker jar test Aluminium sulfat (alum) dengan konsentrasi 1, 3, dan 5 gr/500ml. Kemudian dilakukan pengadukan dengan kecepatan 200 rpm selama 2 menit. Setelah 2 menit, kecepatan pengadukan diturunkan menjadi 80 rpm dan diaduk selama 4 menit. Setelah 4 menit berakhir, dilakukan slow mix II dengan menurunkan kecepatan putar sampai 20 rpm dan diaduk lagi

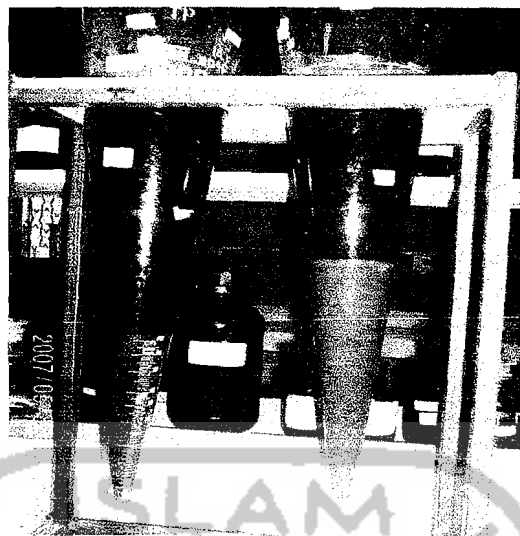
selama 4 menit. Setelah slow mix II selesai, mesin pengaduk dimatikan. Kemudian hasil percobaan tadi dimasukkan ke dalam tabung imhoff. Setelah itu waktu pengendapan, pH, serta suhu diukur. Waktu pengendapan = 30 menit; pH = 8; suhu = 27 °C.



Gambar 4.10 Percobaan *jar test* dengan menggunakan tawas

2. Ferro Sulfat (FeSO_4)

Di ambil contoh air limbah masing-masing sebanyak 500 ml, kemudian dimasukkan kedalam beaker jar test yang berkapasitas 1000 ml sebanyak 3 buah. Beaker jar test yang berisi air baku tadi diletakkan diatas mesin pengaduk. Kemudian ditambahkan pada masing-masing beaker jar test Ferro Sulfat dengan konsentrasi 1, 3, dan 5 gr/500ml. Kemudian dilakukan pengadukan dengan kecepatan 200 rpm selama 2 menit. Setelah 2 menit, kecepatan pengadukan diturunkan menjadi 80 rpm dan diaduk selama 4 menit. Setelah 4 menit berakhir, dilakukan slow mix II dengan menurunkan kecepatan putar sampai 20 rpm dan diaduk lagi selama 4 menit. Setelah slow mix II selesai, mesin pengaduk dimatikan. Kemudian hasil percobaan tadi dimasukkan ke dalam tabung imhoff. Setelah itu waktu pengendapan, pH, serta suhu diukur. Waktu pengendapan = 20 menit; pH = 8; suhu = 27 °C



Gambar 4.11 Percobaan *jar test* dengan menggunakan Ferro sulfat

3. Ferro Sulfat (FeSO_4) + Kapur Tohor (CaOH)

Di ambil contoh air limbah masing-masing sebanyak 500 ml, kemudian dimasukkan kedalam beaker jar test yang berkapasitas 1000 ml sebanyak 3 buah. Beaker jar test yang berisi air baku tadi diletakkan diatas mesin pengaduk. Kemudian ditambahkan pada masing-masing beaker jar test Ferro Sulfat dengan konsentrasi 3 gr/500ml dan Kapur Tohor (CaOH) dengan variasi konsentrasi 4, 5, 6 gr/500ml. Kemudian dilakukan pengadukan dengan kecepatan 200 rpm selama 5 menit. Setelah 5 menit, kecepatan pengadukan diturunkan menjadi 80 rpm dan diaduk selama 10 menit. Setelah 10 menit berakhir, dilakukan slow mix II dengan menurunkan kecepatan putar sampai 20 rpm dan diaduk lagi selama 15 menit. Setelah slow mix II selesai, mesin pengaduk dimatikan. Kemudian hasil percobaan tadi dimasukkan ke dalam tabung imhoff. Setelah itu waktu pengendapan, pH, serta suhu diukur. Waktu pengendapan = 25 menit; pH = 8; suhu = 27°C



Gambar 4.12 Percobaan *jar test* dengan menggunakan variasi ferro sulfat dan kapur tohor

Kesimpulan dari *jar test* ini, pH awal limbah bersifat stabil, begitu juga suhu pada semua jenis koagulan yang dipakai, sedangkan yang mengalami perubahan adalah hanya pada waktu pengendapan. Waktu pengendapan yang paling cepat adalah jenis koagulan Ferro sulfat begitu juga dengan variasi penambahan Ferro Sulfat dan Kapur Tohor. Warna air limbah bila dilihat secara visual yang agak jernih yaitu penggunaan koagulan tawas dengan konsentrasi dosis 5 gr/500ml.

Tabel 4.1 Tabel percobaan *jar test* dengan variasi koagulan

Parameter	<i>Jar Test</i>		
	Tawas (Al_2SO_4)	Ferro Sulfat ($FeSO_4$)	Ferro Sulfat ($FeSO_4$) + Kapur Tohor ($CaOH$)
pH	8	8	8
Suhu	27 °C	27 °C	27 °C
Warna	Agak Jernih	Kurang Jernih	Kurang Jernih
Waktu Pengendapan	30 menit	20 menit	25 menit

b. Elektrokoagulasi

Pada penelitian awal yang menggunakan *jar test* dihasilkan koagulan dan dosis yang bagus yaitu tawas dengan dosis 5 gr/500ml. Maka, untuk percobaan selanjutnya fokus penggunaan koagulan lebih ditekankan ke jenis koagulan tawas. Pada penelitian awal selanjutnya digunakan Elektrokoagulasi dengan tambahan aerator. Diharapkan dengan adanya aerator ini dapat meningkatkan kadar oksigen terlarut dalam air dan membantu pengadukan air. Pada percobaan ini digunakan 5, 10, 15 gr/500ml tanpa aerator, dan 4, 6, 8 gr/500ml tawas dengan menggunakan aerator.



Gambar 4.13 Percobaan elektrokoagulasi

1. Dosis tawas 5, 10, 15 gr/500 ml tanpa aerator
Ketiga percobaan ini dilakukan selama 20 menit, pada tegangan 40 volt. Langkah pertama yang dilakukan adalah mengambil air 500ml kemudian dimasukan kedalam *beaker glass* 1000 ml. Setelah itu letakkan diatas *magnetic steer barr* kemudian masukan *steer barr* ke dalam *beaker glass*. Celupkan batangan aluminium ke dalam *beaker glass*. Batangan aluminium satu disambungkan ke kutub positif adaptor sebagai anoda dan satu batang aluminium lainnya disambungkan ke kutub negatif adaptor sebagai katoda. Setelah semua siap, dimasukan 5 gr/500 ml dosis tawas, begitupun untuk dosis tawas selanjutnya. Kemudian adaptor dinyalakan di set ke tegangan sebesar 40 volt, serta *magnetic steer barr* dihidupkan

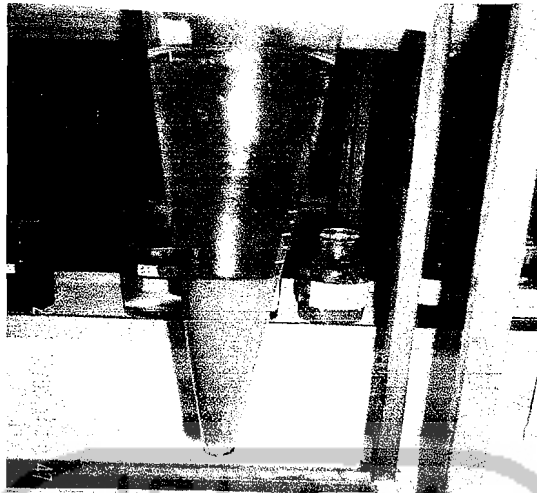
dengan putaran sebesar 10 rpm. Ditunggu selama 20 menit. Setelah 20 menit, adaptor serta *magnetic steer barr* dimatikan. Sampel diambil, kemudian dimasukkan kedalam tabung imhoff. Hasil yang dicapai :

- a. Dosis tawas 5 gr/500ml
pH = 7; suhu 40°C, waktu pengendapan = 40 menit
 - b. Dosis tawas 10 gr/500ml
pH = 7; suhu 40°C, waktu pengendapan = 35 menit
 - c. Dosis tawas 15 gr/500ml
pH = 5; suhu 44°C, waktu pengendapan = 42 menit
2. Dosis tawas 4, 6, 8 gr/500 ml dengan aerator

Sama halnya dengan percobaan diatas, tetapi disini ada penambahan aerator serta dosis tawas yang berbeda. Ketiga percobaan ini dilakukan selama 50 menit, pada tegangan 40 volt. Langkah pertama yang dilakukan adalah mengambil air 500ml kemudian dimasukan kedalam *beaker glass* 1000 ml. Setelah itu letakkan diatas *magnetic steer barr* kemudian masukan *steer barr* ke dalam *beaker glass*. Celupkan batangan aluminium ke dalam *beaker glass*. Batangan aluminium satu disambungkan ke kutub positif adaptor sebagai anoda dan satu batang aluminium lainnya disambungkan ke kutub negatif adaptor sebagai katoda. Setelah semua siap, dimasukan 4 gr/500 ml dosis tawas, begitupun untuk dosis tawas selanjutnya. Kemudian adaptor dinyalakan di set ke tegangan sebesar 40 volt, serta *magnetic steer barr* dihidupkan dengan putaran sebesar 10 rpm. Ditunggu selama 50 menit. Setelah 50 menit, adaptor serta *magnetic steer barr* dimatikan. Sampel diambil, kemudian dimasukkan kedalam tabung imhoff. Hasil yang dicapai :

- a. Dosis tawas 4 gr/500ml
pH = 8; suhu 50°C, waktu pengendapan = 30 menit
- b. Dosis tawas 6 gr/500ml
pH = 8; suhu 53°C, waktu pengendapan = 41 menit
- c. Dosis tawas 8 gr/500ml
pH = 8; suhu 64°C, waktu pengendapan = 45 menit





Gambar 4.14 Percobaan elektrokoagulasi menggunakan tawas 8 gr/500ml

Kesimpulan dari keseluruhan percobaan elektrokoagulasi diatas, perubahan warna yang paling krusial terjadi pada dosis tawas 8 gr/500ml dengan menggunakan aerator. Warna yang dihasilkan lebih jernih dari 5 percobaan lainnya yang menggunakan elektrokoagulasi. Disimpulkan juga penggunaan batang aluminium dengan hantaran listrik akan memicu kenaikan suhu yang tinggi seperti yang terlihat pada dosis tawas 8 gr/500ml sebesar 64°C. Serta tidak terjadi perubahan pH pada saat percobaan dengan menggunakan aerator, sebaliknya terjadi variasi perubahan pH pada saat percobaan yang tidak menggunakan aerator. Batangan anoda pada keseluruhan percobaan ini mengalami pengikisan, peristiwa ini dinamakan "sacrificial electrodes" (Beagles, 2004).

Tabel 4.2 Tabel percobaan elektrokoagulasi dengan variasi dosis tawas

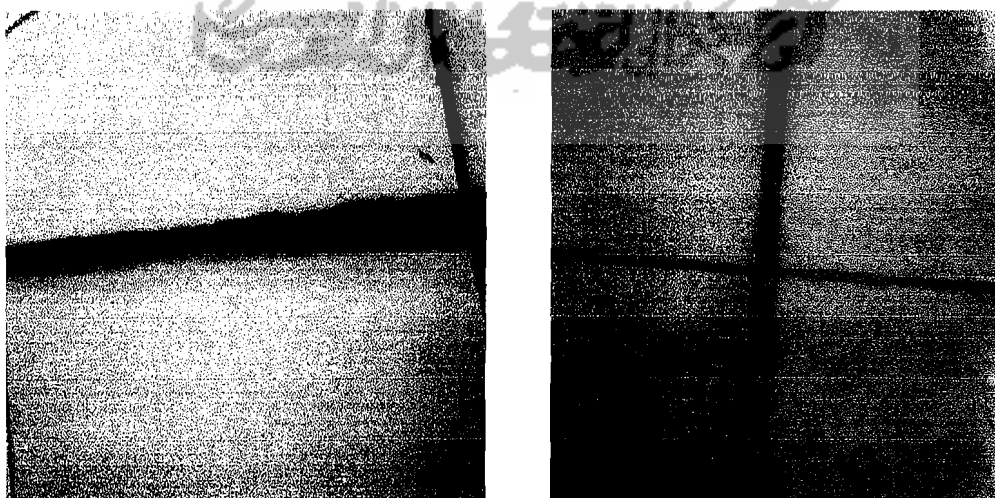
Parameter	Elektrokoagulasi					
	Tanpa Aerator (gr/500ml)			Dengan Aerator (gr/500ml)		
	5	10	15	4	6	8
pH	7	7	5	8	8	8
Suhu	40°C	40°C	44°C	50°C	53°C	64°C
Warna	Agak jernih	Agak jernih	Agak jernih	Agak jernih	Agak jernih	Jernih
Waktu pengendapan	40 menit	35 menit	42 menit	30 menit	41 menit	45 menit

Dari kesimpulan diatas, digunakan tawas 8 gr/500ml dengan elektrokoagulasi-aerator sebagai dosis yang paling tepat untuk penelitian selanjutnya, dan sebagai perbandingan digunakan tawas 10 gr/500ml.

B. Elektroda

Elektroda terdiri dari 2 buah kutub, yaitu kutub positif sebagai anoda dan kutub negatif sebagai katoda. Ketika kedua batangan elektroda ini dialiri listrik maka kutub positif sebagai anoda akan mengalami korosi karena terjadi oksidasi, sedangkan kutub negatif sebagai katoda akan bersifat pasif. Peristiwa korosi ini disebut dengan "*sacrificial electrodes*" (Beagles, 2004). Pada penelitian ini digunakan variasi batangan tembaga sebagai kutub positif (anoda), dan batangan aluminium sebagai kutub negatif (katoda).

Pemilihan tembaga sebagai anoda didasarkan pada deret volta, tembaga atau Cu berada disebelah kanan H, sedangkan Al berada disebelah kiri H. Hal ini bisa dijelaskan, semakin ke kanan unsur dari H maka unsur tersebut semakin mudah mengalami reduksi dan sukar teroksidasi, sedangkan semakin ke kiri unsur dari H maka unsur tersebut semakin mudah mengalami oksidasi dan sukar tereduksi. Pada elektrokoagulasi, anoda akan cepat teroksidasi, untuk mengatasi hal tersebut maka alternatif yang digunakan adalah mencari unsur yang sukar teroksidasi berdasarkan deret volta. Cu adalah alternatifnya, karena berdasarkan deret volta Cu adalah unsur logam yang sulit teroksidasi.



Gambar 4.15 Batangan anoda dari tembaga dan katoda dari aluminium

C. Waktu Kontak

Waktu kontak yang dipakai dalam percobaan ini adalah 25 menit, 50 menit, 75 menit dan 100 menit. Pada penelitian sebelumnya digunakan variasi rentang waktu kontak yaitu:

1. 20 menit, 40 menit, 60 menit, 80 menit dan 100 menit

Pada waktu kontak diatas pengolahannya menggunakan percobaan elektrokoagulasi, pada waktu kontak 20 menit menggunakan koagulan tawas warna yang dihasilkan kurang bagus. Sehingga kurang memenuhi kriteria desain.

2. 25 menit, 50 menit, 75 menit dan 100 menit

Pada waktu kontak diatas secara visual parameter yang dipantau adalah perubahan warna, berdasarkan pada percobaan elektrokoagulasi dengan menggunakan aerator pada waktu 50 menit perubahan warna menjadi lebih jernih.

3. 30 menit, 60 menit, 90 menit dan 120 menit

Pada waktu kontak diatas secara visual parameter yang dipantau adalah perubahan warna, berdasarkan pada penelitian awal pada percobaan *jar test* dengan koagulan Ferro sulfat + kapur tohor selama 30 menit perubahan warna yang dihasilkan tidak terlalu bagus. Sehingga waktu kontak ini tidak memenuhi kriteria.

Berdasarkan beberapa percobaan yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa waktu kontak 25 menit, 50 menit, 75 menit dan 100 menit ini paling efektif sehingga pada saat penelitian digunakan waktu 25 menit, 50 menit, 75 menit dan 100 menit.

4.1.3. Parameter Fisik

1. pH

pH mempengaruhi toksisitas senyawa kimia. pH juga berkaitan erat dengan karbondioksida dan alkalinitas. Tokisitas logam memperlihatkan peningkatan pada pH rendah.

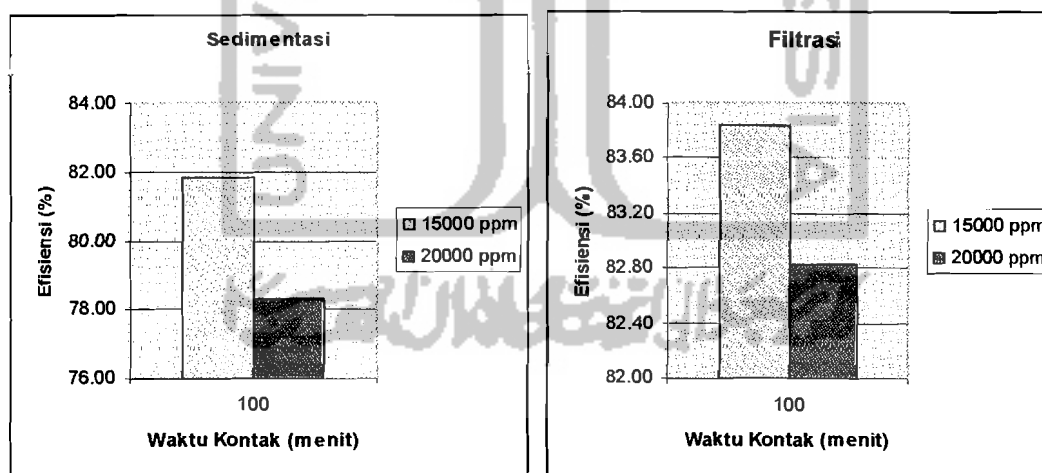
Pada tabel 4.3, pH mengalami penurunan dari 8 menjadi 7. pH ini sangat berpengaruh besar dengan parameter lain seperti logam berat, COD, BOD, nitrat,

DO dan lain-lain. Salah satu contoh pengaruh pH adalah perubahan logam berat, ion Fe^{2+} , Pb^{2+} , Cr^{2+} akan mengalami oksidasi menjadi Fe^{3+} , Pb^{3+} , Cr^{3+} . pH juga berpengaruh besar terhadap COD, bila dalam keadaan asam COD dapat mengoksidasikan semua zat organik menjadi CO_2 dan H_2O hampir sebesar 85% dan berpengaruh terhadap BOD juga karena jika pH asam maka BOD nya tinggi.

Nilai pH juga sangat mempengaruhi proses biokimiawi perairan, misalnya proses nitrifikasi akan berakhir jika pH rendah. Dengan adanya proses elektrokoagulasi serta daya hantar listrik menyebabkan penurunan pH dari kondisi basa menjadi asam yakni dari pH 8 Menjadi pH 7.

2. DHL

Konduktivitas (daya Hantar listrik/ DHL) adalah gambaran numerik dari kemampuan air untuk meneruskan aliran listrik. Oleh karena itu, semakin banyak garam-garam terlarut yang dapat terionisasi, semakin tinggi pula nilai DHL. Nilai DHL dapat diperkirakan dengan mengalikan nilai TDS dengan bilangan 0,55-0,75 (*Canadian Water Quality Guidelines* dalam Effendi, 2001). Nilai DHL biasanya lebih besar dari nilai TDS.



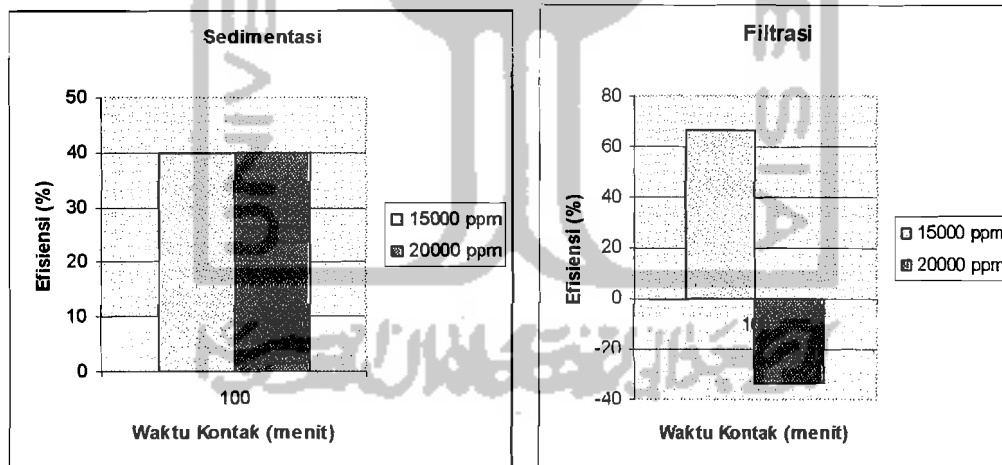
Gambar 4.16 Efisiensi DHL dengan variasi waktu kontak terhadap variasi dosis tawas

Berdasarkan gambar 4.16 diatas, terlihat nilai penurunan DHL, penurunan DHL ini dibarengi dengan penurunan nilai TDS. Penurunan ini ditandai dengan meningkatnya efisiensi. Efisiensi ini hampir 99 %. Peningkatan efisiensi ini jelas

berpengaruh besar terhadap parameter lain. DHL ini membantu proses elektrokoagulasi yakni pengaruhnya terhadap elektroda. Ketika batangan anoda dialiri listrik akan terjadi proses oksidasi sebaliknya apabila batangan katoda dialiri listrik maka akan terjadi proses reduksi. Proses redoks ini akan sangat berpengaruh terhadap parameter- parameter lain seperti COD, BOD, Nitrat dan terutama logam berat.

3. TSS

Pengujian Konsentrasi TSS pada pengujian ini menggunakan metode penguapan dengan hasil uji limbah dari proses elektrokoagulasi dengan menggunakan dosis 15000 ppm dan 20000 ppm dan waktu kontak 100 menit di dapatkan hasil yang sangat signifikan yaitu konsentrasi TSS pada limbah pada dosis 15000 ppm dan 20000 ppm dibawah batas maksimal sesuai dengan SK Gubernur Kepala Daerah Istimewa Yogyakarta nomor 281/KPTS/1998 tentang Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kegiatan Industri di Propinsi DIY yaitu sebesar 200 ppm.



Gambar 4.17 Efisiensi TSS dengan variasi waktu kontak terhadap variasi dosis tawas

Perlakuan limbah pada saat proses elektrokoagulasi pada setiap unit juga mempengaruhi nilai TSS misalnya pada unit elektrokoagulasi pemberian dosis mempengaruhi ukuran flok yang terbentuk karena dalam hal ini tawas sebagai koagulan dan di pengaruhi oleh arus listrik dapat mengikat lumpur halus, pasir

halus dan jasad- jasad renik sebagai pembentuk TSS terbentuk menjadi flok, proses ini merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi turunnya nilai TSS. Selain itu pada bak sedimentasi aliran limbah mempengaruhi nilai TSS karena jika aliran pada bak sedimentasi laminar maka flok yang berasal dari proses sebelumnya yaitu elektrokoagulasi akan mudah mengendap dan untuk flok yang tidak terendap akan mengalir bersama air limbah.

Unit terakhir sebagai outlet yaitu filtrasi pada unit ini efisiensi penurunan nilai TSS pada dosis 15000 ppm lebih besar dari pada pada dosis 20000 ppm seperti terlihat pada gambar 4.17. Hal ini diakibatkan karena pada dosis tawas 15000 ppm kondisi bak filtrasi bersih karena media pasirnya sudah dicuci bersih. Sedangkan pada dosis tawas 20000 ppm, walaupun bak filtrasi sudah di *backwash*, tetapi karena di bak sedimentasi aliran yang terbentuk turbulen, sehingga flok-flok yang sudah terbentuk di bak tersebut pecah, dan mengalir ke bak filtrasi, seiring dengan waktu kontak yang semakin lama, maka endapan flok-flok tersebut semakin menumpuk dan menutup media pasir sebagai media paling atas pada bak filtrasi ini.

4. TDS

Dalam air alam ditemui dua kelompok zat, yaitu zat terlarut seperti garam, dan molekul organis, dan zat padat tersuspensi dan koloidal seperti tanah liat, kwarts. Perbedaan utama antara kedua zat tersebut adalah ditentukan melalui ukuran/diameter partikel-partikel tersebut.

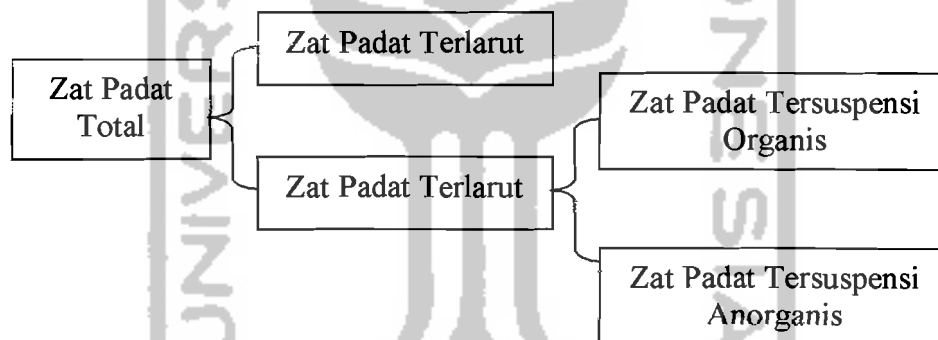
Analisa zat padat dalam air, sangat penting bagi penentuan komponen-komponen air secara lengkap, juga untuk perencanaan serta pengawasan proses-proses pengolahan data dalam bidang air minum maupun dalam bidang air buangan. Zat-zat padat yang berada dalam suspensi dapat dibedakan menurut ukurannya sebagai partikel tersuspensi koloidal (partikel koloid) dan partikel tersuspensi biasa (partikel tersuspensi).

Jenis partikel koloid tersebut adalah penyebab kekeruhan dalam air (efek tyndall) yang disebabkan oleh penyimpangan sinar nyata yang menembus suspensi tersebut. Partikel-partikel koloid tidak terlihat secara visual sedangkan larutannya (tanpa partikel koloid) yang terdiri dari ion-ion dan molekul-molekul

tidak pernah keruh. Larutan menjadi keruh bila terjadi pengendapan yang merupakan komponen kejenuhan dari suatu senyawa kimia.

Partikel-partikel tersuspensi biasanya, mempunyai ukuran lebih besar dari partikel koloid dan dapat menghalangi sinar yang akan menembus suspensi, sehingga suspensi tidak dapat dikatakan keruh, karena sebenarnya air diantara partikel-partikel tersuspensi tidak keruh dan sinar tidak menyimpang seperti halnya ion-ion dan molekul-molekul (zat yang terlarut), zat padat koloidal dan zat padat tersuspensi dapat bersifat inorganis (tanah liat, kwarts) dan organis (protein, sisa tanaman).

Dalam metode analisa zat padat, pengertian zat padat total adalah semua zat-zat yang tersisa sebagai residu dalam suatu bejana, bila sampel air didalam bejana tersebut dikeringkan pada suhu tertentu. Zat padat total terdiri dari zat padat terlarut, dan zat padat tersuspensi yang dapat bersifat organis dan inorganis seperti pada skema dibawah ini :



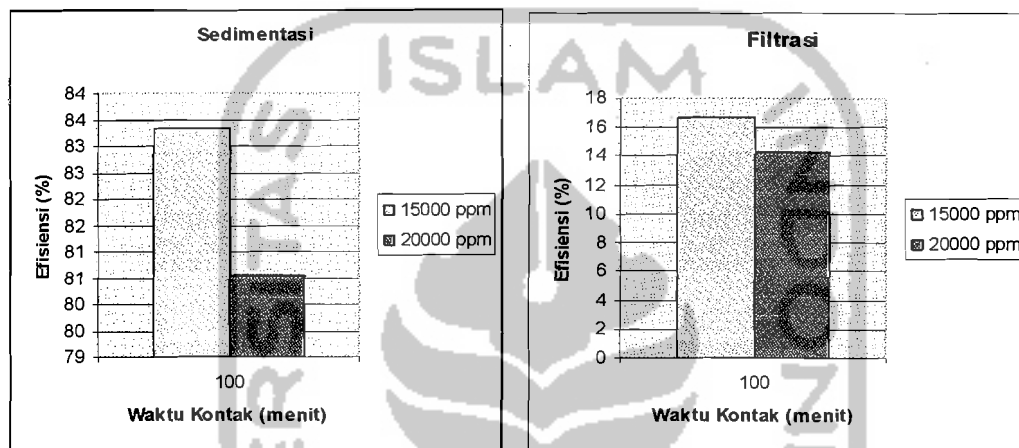
Gambar 4.18 Skema Zat Padat Total

Zat padat tersuspensi sendiri dapat diklasifikasikan sekali lagi menjadi antara lain zat padat terapung yang selalu bersifat organis dan zat padat terendap yang dapat bersifat organis dan inorganis. Zat padat terendap adalah zat padat dalam keadaan suspensi yang dalam keadaan tenang dapat mengendap setelah waktu tertentu karena pengaruh gaya beratnya.

Penentuan zat padat ini dapat melalui volumenya, yang disebut analisa volume lumpur (sludge volume), dan dapat melalui beratnya disebut analisa lumpur kasar atau umumnya disebut zat padat terendap (*settleable solids*). Dimensi dari zat-zat padat tersebut diatas adalah dalam mg/L atau g/L, namun

sering pula ditemui ” % berat ” yaitu kg zat padat / kg larutan, atau ” % volume ” yaitu dalam dm^3 zat padat / liter larutan.

Padatan terlarut total (*Total Dissolved Solids*) adalah bahan-bahan terlarut (diameter $> 10^{-6}$ mm) dan koloid (diameter $> 10^{-6} - 10^{-3}$ mm) yang berupa senyawa-senyawa kimia dan bahan-bahan lain, yang tidak tersaring pada kertas saring berdiameter 0,45 μm (Rao dalam Effendi, 2003). TDS berhubungan erat dengan nilai DHL. Nilai DHL biasanya lebih besar dari nilai TDS.



Gambar 4.19 Efisiensi TDS dengan variasi waktu kontak terhadap variasi dosis tawas

Pada gambar 4.19 terlihat efisiensi TDS dengan dosis 15000 ppm pada bak sedimentasi dan filtrasi sangat tinggi, ini dipengaruhi oleh aliran yang laminar sehingga partikel-partikel yang tersuspensi itu tidak mengapung keatas, sedangkan pada dosis tawas 20000 ppm di bak sedimentasi dan filtrasi terlihat penurunan efisiensi TDS yang sangat drastis, ini dipengaruhi oleh aliran yang terbentuk pada saat itu adalah aliran turbulen. Banyak faktor yang mempengaruhi hal tersebut salah satunya adalah suhu.

5. Warna

Warna adalah senyawa yang dapat dipergunakan dalam bentuk larutan sehingga penampangnya berwarna. Warna air limbah dapat dibedakan menjadi dua, yaitu warna sejati dan warna semu. Warna yang disebabkan oleh warna organik yang mudah larut dan beberapa ion logam ini disebut warna sejati, jika air

tersebut mengandung kekeruhan atau adanya bahan tersuspensi dan juga oleh penyebab warna sejati maka warna tersebut dikatakan warna semu dan juga karena adanya bahan-bahan yang tersuspensi yang termasuk koloid.

Warna akibat suatu bahan terlarut atau tersuspensi dalam air, disamping adanya bahan pewarna tertentu yang kemungkinan mengandung logam berat. Warna air limbah menunjukkan kualitasnya, air limbah yang baru akan berwarna abu-abu, dan air limbah yang sudah basi atau busuk akan berwarna gelap. Warna tertentu dapat menunjukkan adanya logam berat yang terkandung dalam air buangan.

Kecerahan dipengaruhi oleh warna lain, semakin dalam penetrasi sinar matahari dapat menembus air, semakin produktif pula perairan tersebut. Hal ini seiring dengan banyaknya fitoplankton di perairan tersebut. Kekeruhan ialah suatu istilah yang digunakan untuk menyatakan derajat kegelapan didalam air yang disebabkan oleh bahan-bahan yang melayang. Kekeruhan sangat berhubungan erat dengan warna perairan, sedangkan konsentrasinya sangat mempengaruhi kecerahan dengan cara membatasi tranmisi sinar matahari kedalamnya.

5.1 Penggolongan zat warna

Jenis zat warna ada dua, yaitu:

1. Zat Warna Alam

Zat warna alam adalah zat warna yang berasal dari alam, baik yang berasal dari tanaman, hewan, maupun bahan metal.

A. Zat warna yang berasal dari tumbuhan

Zat warna yang berasal dari tumbuhan antara lain : Alzarin, Indanthreen dan Indigosol.

B. Zat warna yang berasal dari hewan

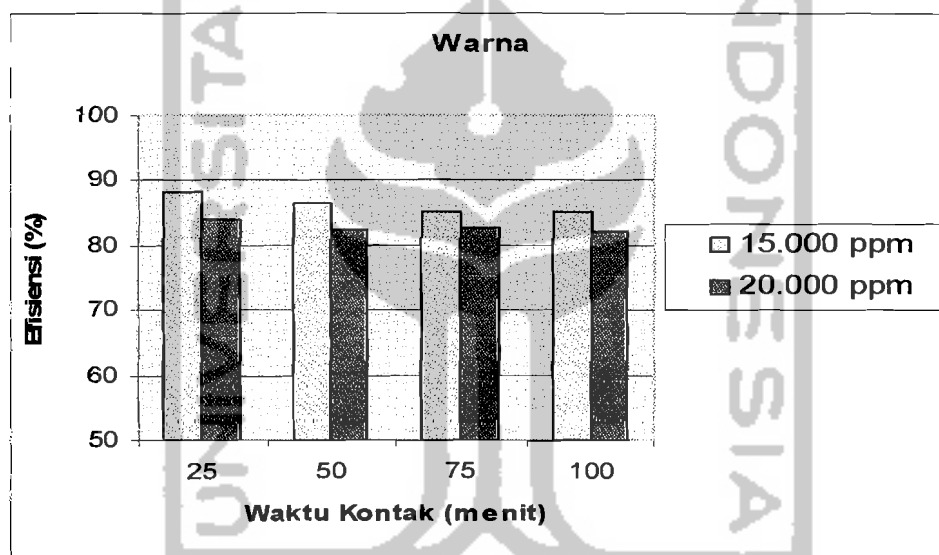
Jenis hewan yang biasa dijadikan zat warna misalnya: Kerang (Tyran Purple), Insekta (Coechikal) dan Insekta merah (Loe)

2. Zat Warna Sintesis

Zat Warna Sintesis adalah zat warna buatan dengan bahan dasar buatan misalnya: Hidrokarbon Aromatik dan naftalena yang berasal dari batu bara.

Warna dapat diamati secara visual (langsung) ataupun diukur berdasarkan skala platinum kobalt (dinyatakan dengan satuan PtCo), dengan membandingkan warna air sampel dengan warna standar. Air yang memiliki nilai kekeruhan rendah biasanya memiliki nilai warna tampak dan warna sesungguhnya yang sama dengan standar. Intensitas warna cenderung meningkat dengan meningkatnya nilai pH.

Efisiensi Penurunan warna diperoleh dari pengalihan konsentrasi yang diperoleh dari data hasil laboratorium yang menggunakan Spektrofotometri dengan jumlah pengenceran. Hasil penurunan kadar warna pada lindi dapat dilihat dalam tabel sebagai berikut :



Gambar 4.20 Variasi waktu kontak terhadap variasi dosis tawas

Dari gambar 4.20 terlihat persentase penurunan kadar warna yang cukup besar setelah melalui proses elektrokoagulasi dan sedimentasi. Penurunan yang optimum terjadi pada 25 menit di filtrasi, pada dosis tawas 15000 ppm sebesar 88.17% dan dosis tawas 20000 ppm sebesar 83.90%.

Seperti yang telah ditunjukkan pada tabel 4.3 ternyata kadar warna yang telah mengalami pengolahan secara elektrokoagulasi dan dilanjutkan sedimentasi serta filtrasi, mengalami penurunan. Hasil pengolahan yang optimum didapatkan pada pengolahan filtrasi, yaitu dari 3799.55 PtCo menjadi 453.075 PtCo pada 25 menit filtrasi dengan dosis tawas 15.000 ppm dan 611.85 PtCo pada 25 menit

filtrasi dengan dosis tawas 20.000 ppm. Dari pengolahan tersebut dapat diamati secara visual karena terjadi perubahan warna dari yang berwarna coklat kehitam-hitaman menjadi berwarna kuning bening. Hal ini disebabkan karena adanya penambahan koagulan tawas. Warna yang timbul pada perairan disebabkan oleh buangan industri di hulu sungai atau dapat juga berasal dari bahan hancuran sisi-sisi tumbuhan oleh bakteri. Industri-industri yang mengeluarkan warna adalah kertas dan pulp, tekstil, petrokimia dan kimia.

Warna juga dapat menghambat penetrasi cahaya ke dalam air dan mengakibatkan terganggunya proses fotosintesis yang mengandung 50 warna. Air yang digunakan masyarakat umum diijinkan dengan kriteria bahwa air tersebut tidak lebih dari 75 unit warna (standar kobal-platinum), sedangkan yang disarankan tidak lebih dari 10 warna. Hal ini penting mengingat zat-zat warna banyak mengandung logam-logam berat yang bersifat toksis. Untuk kepentingan keindahan, warna air sebaiknya tidak melebihi dari 15 PtCo. Sumber air untuk kepentingan air minum sebaiknya memiliki nilai warna antara 5-50 PtCo. Perbedaan warna pada kolom air menunjukkan indikasi bahwa semakin dalam perairan, semakin tinggi nilai warna karena terlarutnya bahan organik yang terakumulasi di dasar perairan.

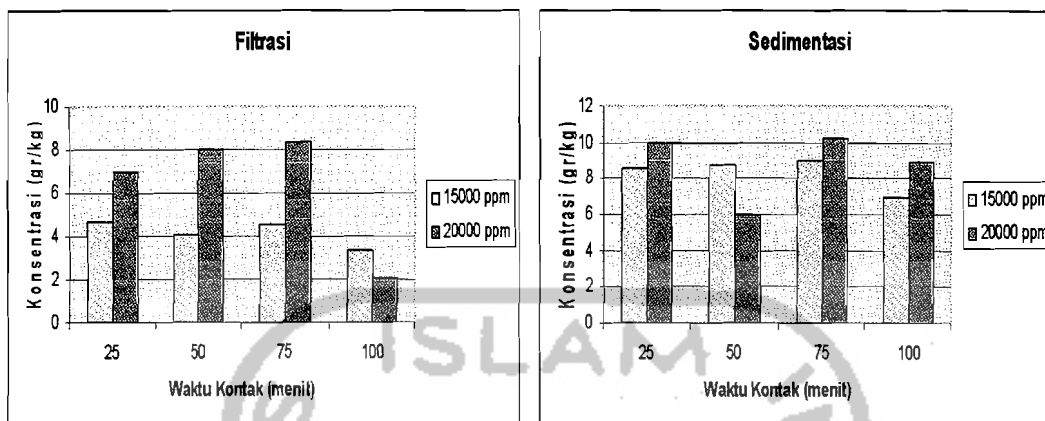
Warna perairan pada umumnya disebabkan oleh partikel koloid bermuatan negatif, sehingga penghilangan warna di perairan dapat dilakukan dengan penambahan koagulan yang bermuatan positif, misalnya aluminium dan besi.

6. Salinitas

Salinitas adalah konsentrasi total ion yang terdapat di perairan. Salinitas (garam NaCl) menggambarkan padatan total di dalam air, setelah semua karbonat dikonversi menjadi oksida, semua bromida dan iodida diganti oleh klorida, dan semua bahan organik telah dioksidasi.

Berdasarkan hasil pemeriksaan awal air limbah lindi sebelum proses elektrokoagulasi dari parameter salinitas (garam NaCl) hasilnya sangat tinggi sehingga air limbah lindi menjadi kecoklatan dan dapat mencemari lingkungan. Hasil salinitas yang dihasilkan melebihi ambang batas. Proses penurunan dan kenaikan salinitas dengan menggunakan proses elektrokoagulasi, dengan adanya

perubahan waktu kontak dan dosis koagulan maka akan berpengaruh terhadap terjadinya penurunan nilai konsentrasi salinitas dalam limbah cair leachete (lindi) yang terdapat pada tempat pembuangan akhir (TPA) Piyungan.



Gambar 4.21 Variasi waktu kontak terhadap konsentrasi salinitas

Pada dosis tawas 15000 ppm menunjukkan bahwa sebelum adanya proses elektrokoagulasi nilai konsentrasi salinitas sangat tinggi yaitu 6,1 gr/kg. Pada sedimentasi mengalami kenaikan, dengan adanya proses elektrokoagulasi ini belum dapat menurunkan kadar salinitas hingga mencapai hasil yang sesuai dengan baku mutu. Pada filtrasi dengan waktu kontak 25 menit sampai waktu kontak 100 menit mengalami penurunan kadar salinitas (garam NaCl).

Pada dosis tawas 20000 ppm menunjukkan bahwa sebelum adanya proses elektrokoagulasi nilai konsentrasi salinitas sangat tinggi yaitu 6,1 gr/kg. Pada sedimentasi dengan waktu kontak 25 menit sampai waktu kontak 100 menit mengalami kenaikan, pada filtrasi dengan waktu kontak 25 menit sampai waktu kontak 75 menit juga mengalami kenaikan. Proses elektrokoagulasi ini belum dapat menurunkan kadar salinitas hingga mencapai hasil yang sesuai dengan baku mutu. Pada filtrasi dengan waktu kontak 25 menit sampai waktu kontak 100 menit mengalami penurunan kadar salinitas (garam NaCl).

Berdasarkan hasil penelitian menggunakan proses elektrokoagulasi mampu menurunkan kadar salinitas (garam NaCl) pada air lindi. Variasi waktu kontak dan dosis koagulan, memiliki kemampuan yang berbeda untuk menurunkan kadar salinitas (NaCl). Pada sedimentasi hasilnya belum dapat menurunkan kadar salinitas (garam NaCl) hingga mencapai hasil yang sesuai

dengan baku mutu air bersih sesuai dengan peraturan Menteri Kesehatan No. 416/Menkes/Per/IX/1990 karena dengan variasi waktu kontak dan dosis koagulan yang berbeda maka mengalami kenaikan dan penurunan yang berbeda yang masih belum maksimal dan dengan adanya aliran air yang turbulen juga dapat mengakibatkan kenaikan kadar salinitas, maka sesudah dari pengolahan sedimentasi dilanjutkan kembali pada proses filtrasi sehingga kadar salinitas mengalami penurunan, sehingga didapatkan hasil yang memenuhi baku mutu air bersih.

7. Suhu

Suhu suatu badan air dipengaruhi oleh musim, waktu dalam hari, sirkulasi udara, dan aliran serta kedalaman badan air. Perubahan suhu ini sangat berpengaruh terhadap proses fisika, kimia, dan biologi badan air. Pada penelitian ini, terjadi variasi perbedaan suhu. Variasi perbedaan itu ditandai dengan peningkatan dan penurunan suhu pada tiap waktu kontak. Peningkatan suhu mengakibatkan peningkatan viskositas, reaksi kimia, evaporasi, dan volatilisasi (Effendi, 2003). Kenaikan suhu ini dipengaruhi oleh tegangan listrik, pada penelitian awal, dengan menggunakan tegangan 40 volt suhu air mencapai 64 °C, sehingga pada penelitian selanjutnya, tegangan coba diturunkan menjadi 10 volt, agar suhu tidak mengalami kenaikan yang tajam. Pada penelitian ini suhu awal 27°C naik menjadi 28 °C.

8. DO

Oksigen terlarut merupakan parameter untuk mengetahui kandungan oksigen dalam air maupun air buangan. Jumlah oksigen terlarut juga dipengaruhi oleh suhu. Hubungan suhu dan DO berbanding terbalik yaitu bila suhu tinggi kandungan oksigen terlarut rendah dan sebaliknya bila suhu rendah DO tinggi. Dari hasil penelitian, pada saat proses pengujian sampel awal didapat hasil DO nya 9,67 mg/l karena Volume sampel yang dipakai 25 ml dan selanjutnya dipakai volume sampel 250 ml. hasil DO segera awal pengencer = 8,17 mg/l. Kemudian di dapat hasil pemeriksaan DOsegera sampel dengan kadar tawas sebesar 15.000 ppm di sedimentasi pada waktu 25 menit = 8.75 mg/l; pada waktu

50 menit = 6.44 mg/l; pada waktu 75 menit = 7.9 mg/l; pada waktu 100 menit = 6.44 mg/l. selanjutnya di Rapid sand filter didapatkan hasil pada waktu 25 menit = 7,43 mg/l ; pada waktu 50 menit = 7,18 mg/l ; pada waktu 75 menit = 6,19 mg/l; pada waktu 100 menit = 6,19 mg/l, dapat dilihat dari hasil diatas terlihat penurunan pada media sedimentasi ke Rapid sand filter.

Selanjutnya DO segera sampel dengan kadar tawas sebesar 20.000 ppm di sedimentasi pada waktu 25 menit = 13.36 mg/l; pada waktu 50 menit = 13.04 mg/l; pada waktu 75 menit = 9.74 mg/l; pada waktu 100 menit = 9.4 mg/l. selanjutnya di Rapid sand filter didapatkan hasil pada waktu 25 menit = 10.24 mg/l ; pada waktu 50 menit = 9.4 mg/l ; pada waktu 75 menit = 9.74 mg/l; pada waktu 100 menit = 8.08 mg/l, dapat dilihat dari hasil diatas terlihat penurunan pada media sedimentasi ke Rapid sand filter. Nilai yang didapat diatas selanjutnya untuk mengetahui kandungan BOD yang di inkubasikan selama 5 hari dalam suhu 20°C.

Hubungan antara BOD dengan DO dalam perairan yakni jika DO di dalam air tersebut tinggi maka kandungan BOD nya rendah. Test BOD sesungguhnya dimaksudkan untuk menirukan atau memodelkan keadaan yang terjadi apabila air limbah memasuki sungai namun hanya ada sedikit hubungan antara kondisi test dan yang berlangsung dalam instalasi pengolahan limbah secara biologi. Test BOD menggunakan biakan (kultur) mikroorganisme yang sedikit untuk menstabilkan material- material organik dalam kondisi diam dan suhu tetap dengan suplai DO yang terbatas. Dalam instalasi pengolahan limbah secara biologi, mikroorganisme dengan konsentrasi tinggi di aduk terus menerus supaya terjadi kontak dengan substrat dan DO disuplai dalam jumlah yang berlebihan.

Peningkatan suhu sebesar 1°C akan meningkatkan konsumsi oksigen sekitar 10%. Dekomposisi bahan organik dan oksidasi bahan anorganik dapat mengurangi kadar oksigen terlarut hingga mencapai nol(anaerob). Hubungan antara kadar oksigen terlarut jenuh dan suhunya yakni bahwasemakin tinggi suhu, kelarutan oksigen semakin berkurang. Kelarutan oksigen dan gas-gaslain juga berkurang dan meningkatnya salinitas sehingga kadar oksigen di laut cenderung lebih rendah daripada kadar oksigen di perairan tawar.

Tabel 4.3 Parameter fisik

No.	Waktu Kontak	Parameter Fisik							
		TDS (ppm)	TSS (ppm)	DHL / Tegangan (μ S/m)	pH	DO (ppm)	Suhu ($^{\circ}$ C)	Warna (PtCO)	Salinitas (gr/kg)
1	Sampel Awal	0.36	0.05	0.198	8	96.67 ppm	27 $^{\circ}$ C	3800 PtCO	6,1 gr/kg
Koagulan tawas 15000 ppm									
2	25 mnt sedimentasi				7	8.7	26	1191	8,6
3	50 mnt sedimentasi				7	6.4	26	1414	8,7
4	75 mnt sedimentasi				7	7.9	27	1418	9,0
5	100 mnt sedimentasi	0.06	0.03	0.036	7	6.4	27	1285	7,0
6	25 mnt filtrasi				7	7.4	27	453	4,7
7	50 mnt filtrasi				7	7.2	27.5	514	4,1
8	75 mnt filtrasi				7	6.2	27.5	561	4,5
9	100 mnt filtrasi	0.05	0.01	0.03	7	6.2	28	563	3,3
Koagulan tawas 20000 ppm									
10	25 mnt sedimentasi				7	13.4	26	907	10
11	50 mnt sedimentasi				7	13.04	26	1094	6,0
12	75 mnt sedimentasi				7	9.7	26	1032	10,2
13	100 mnt sedimentasi	0.07	0.03	0.04	7	9.4	27	1136	8,9
14	25 mnt filtrasi				7	10.2	27	612	7,0
15	50 mnt filtrasi				7	9.4	27	665	8,0
16	75 mnt filtrasi				7	9.7	27	655	8,4
17	100 mnt filtrasi	0.06	0.04	0.03	7	8.1	27	675	2,1

4.2 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.2.1. Konsentrasi Cr Total dalam lindi TPA Piyungan

Penelitian ini dimulai dengan melakukan pengujian awal terhadap kandungan krom pada lindi TPA Piyungan yang berasal dari sampah-sampah dengan menggunakan bahan-bahan berbahaya. Konsentrasi awal logam Cr total dalam lindi TPA Piyungan dapat dilihat pada tabel 4.1 dibawah ini:

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Awal Konsentrasi Cr Total

No.	Absorbansi	Konsentrasi Cr Total (mg/L)	Alat Uji	Metode Uji
1.	0.0061	1.3319	AAS	SNI 06-6989.17-2004

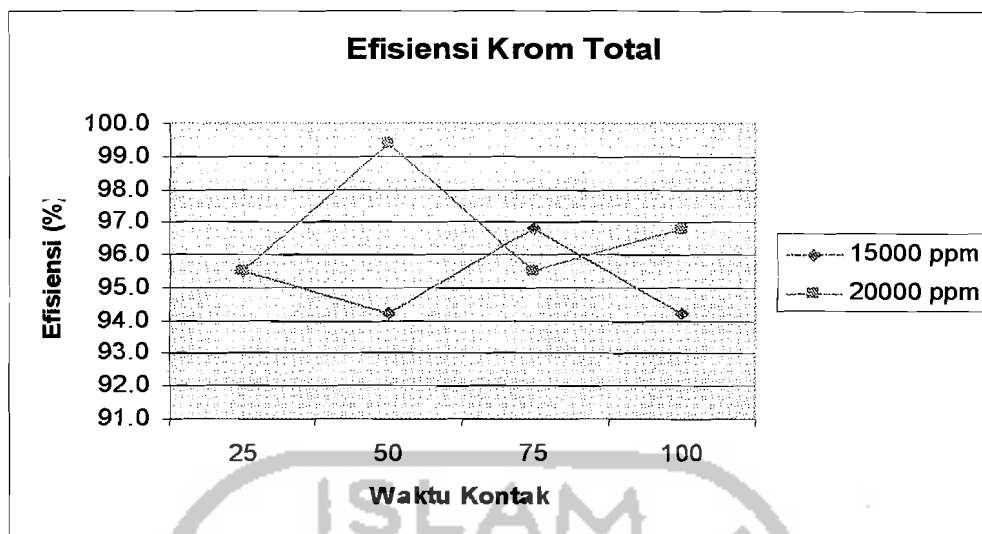
Sumber : Data Primer 2007

Dari hasil tersebut menunjukkan bahwa kualitas air lindi TPA Piyungan untuk parameter Cr total belum memenuhi syarat untuk dapat dibuang ke badan air karena masih jauh di batas ambang sebesar 0.01 mg/L dari PP No. 82 tahun 2001.

4.2.2. Dosis koagulan tawas 15000 dan 20000 ppm

Pada penelitian ini digunakan aluminium sulfat (tawas) sebagai koagulan. Penggunaan tawas sebagai koagulan disini didasarkan pada penelitian awal, dengan melakukan berbagai percobaan disimpulkan bahwa tawas memiliki keunggulan di bandingkan berbagai koagulan lainnya. Antara lain didasarkan atas nilai ekonomisnya yang murah dibanding PAC, Ferro sulfat, dan kapur tohor. Selain itu, hasil dari penggunaan tawas dengan variasi dosis yang diberikan memberikan hasil lebih bagus dibandingkan koagulan yang lain berupa warna secara visual lebih jernih, walaupun waktu pengendapannya lebih lama dibandingkan koagulan lain. Dosis koagulan tawas disini bervariasi yaitu sebesar 15000 ppm dan 20000 ppm.

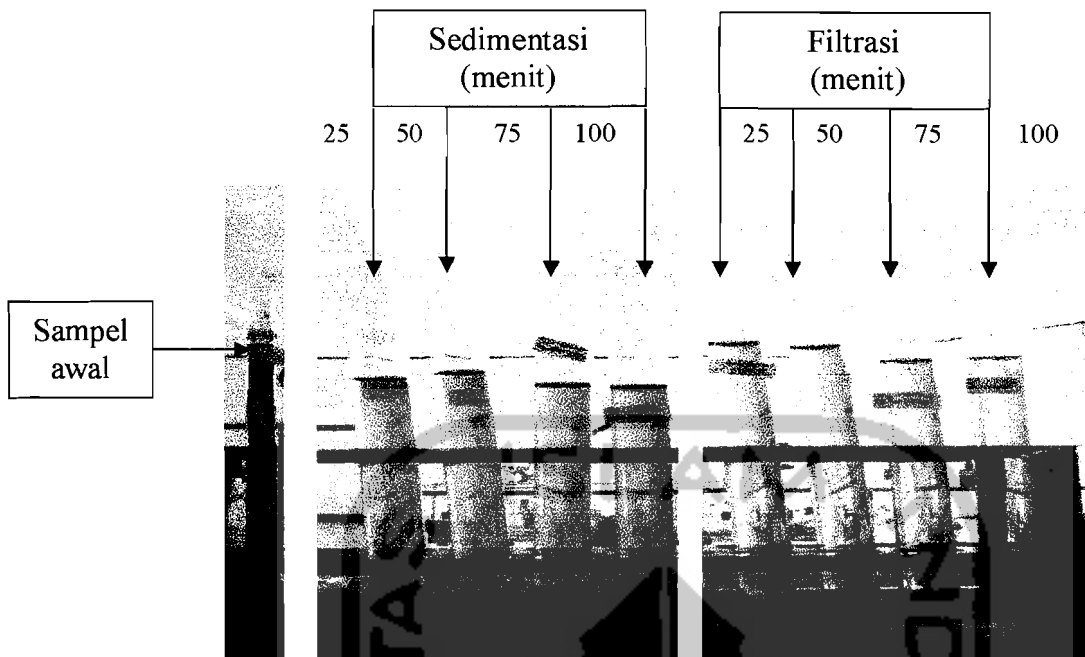
Berikut ini hasil efisiensi konsentrasi Cr total dosis tawas 15000 dan 20000 ppm terhadap waktu kontak.



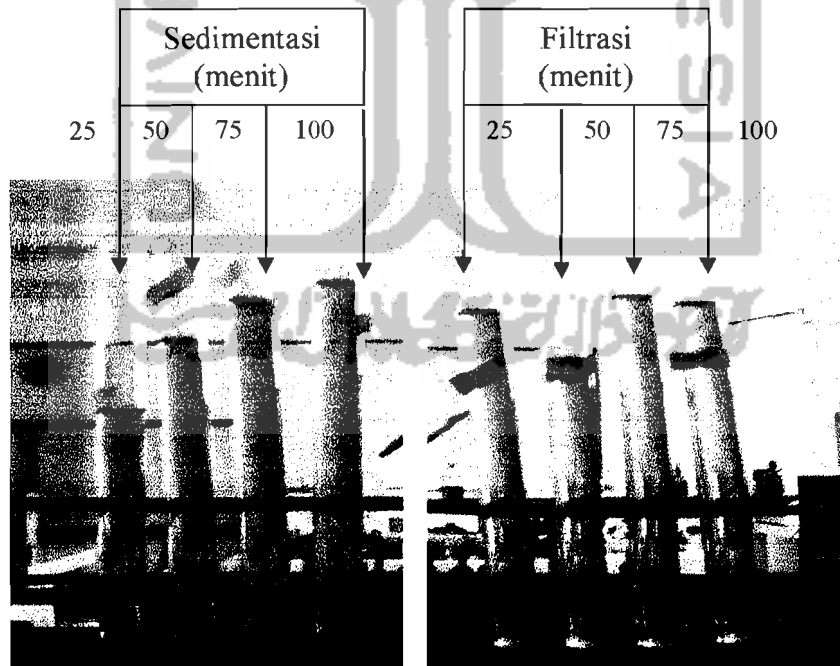
Gambar 4.22 Efisiensi krom total pada dosis tawas 15000 dan 20000 ppm

Dari gambar 4.22 dapat dilihat efisiensi penurunan konsentrasi krom total. Pada dosis tawas 15000 ppm, efisiensi paling tinggi terjadi pada waktu kontak 75 menit sebesar 96,8 %, sedangkan pada waktu kontak 50 dan 100 menit efisiensinya sama yaitu sebesar 94,2 %. Pada dosis tawas 20000 ppm, waktu kontak 25 menit efisiensinya adalah 95,5%, 50 menit efisiensinya adalah 99,4%, 75 menit efisiensinya 95,5%, dan 100 menit efisiensinya 96,8%. Efisiensi krom total pada bagian output paling tinggi terjadi pada dosis tawas 20000 ppm dengan waktu kontak 50 menit sebesar 99,4 % sedangkan efisiensi paling rendah terjadi pada dosis tawas 15000 ppm dengan waktu kontak 50 dan 100 menit sebesar 94,2 %.

a. Dosis tawas 15000 ppm



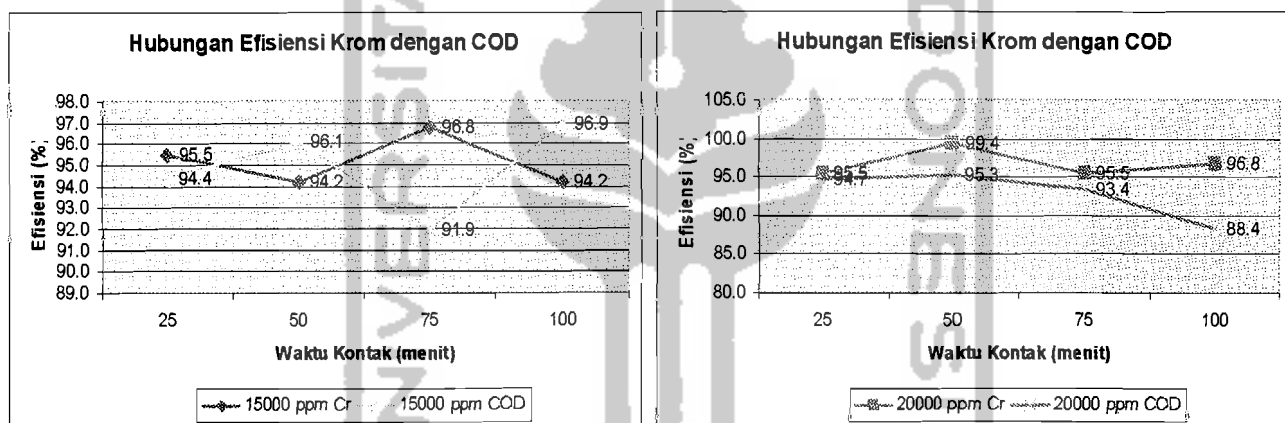
b. Dosis tawas 20000 ppm



Gambar 4.23 Lindi hasil proses elektrokoagulasi a). dosis tawas 15000 dan b). 20000 ppm

Penambahan tawas akan semakin meningkatkan reduksi COD dan BOD. Selain itu, ion tembaga dalam reaktor elektrokoagulasi juga berfungsi sebagai koagulan yang mampu menurunkan konsentrasi logam berat seperti Cr dan Pb. Hal ini disebabkan karena terjadinya proses oksidasi dan reduksi didalam reaktor elektrokoagulasi tersebut.

Penurunan konsentrasi krom total ada kaitannya dengan penurunan konsentrasi parameter lain semisal COD. Apabila kadar COD dalam limbah tinggi maka kadar logam berat yang pada limbah tersebut akan tinggi sehingga apabila dalam limbah kadar COD tinggi maka kadar logam berat juga tinggi. Sampel awal konsentrasi COD sebesar 8069,7 mg/l berpengaruh terhadap konsentrasi krom total yang tinggi pula sebesar 1,33 mg/l.



Gambar 4.24 Hubungan efisiensi krom dengan COD pada bagian outlet dengan dosis tawas 15000 dan 20000 ppm

Pada dosis tawas 20000 ppm efisiensi antara COD dengan krom ada hubungannya. Pada waktu kontak 50 menit efisiensi COD dan krom sama-sama mengalami peningkatan dan pada waktu kontak 75 menit efisiensi COD dan krom sama-sama mengalami penurunan. Ini menunjukkan adanya kaitan antara COD dan krom, artinya semakin besar efisiensi COD diikuti juga dengan efisiensi krom begitu juga sebaliknya. Turunnya konsentrasi COD disebabkan karena tingginya suplay oksigen dalam bak elektrokoagulasi. Oksigen ini dibutuhkan untuk mereduksi kandungan COD.

Efisiensi krom total yang berfluktuatif dipengaruhi oleh beberapa hal seperti yang akan dijelaskan di bawah ini.

A. Pengaruh koagulan terhadap penurunan konsentrasi Cr Total

Pada penelitian ini, fenomena yang terjadi adalah adanya dua koagulan. Koagulan pertama adalah koagulan tawas. Penambahan koagulan tawas ini dengan dosis 15000 dan 20000 ppm, sedangkan koagulan yang kedua adalah koagulan yang berasal dari batangan tembaga akibat reaksi oksidasi pada batangan.. Untuk lebih jelasnya, akan coba dijabarkan kedua-duanya.

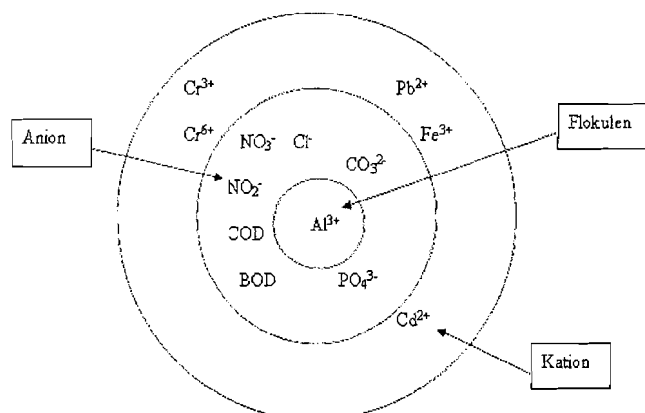
1. Koagulan tawas

Penambahan koagulan tawas ini adalah bagian dari peristiwa koagulasi. Pada proses koagulasi, didalamnya terjadi suatu mekanisme untuk mendestabilisasi partikel koloid. Pada umumnya hampir semua partikel koloid dalam air bermuatan listrik, dimana muatan itu cenderung menghasilkan gaya tolak-menolak antara partikel sehingga untuk menggumpalkan partikel koloid harus dilakukan usaha mendestabilisasikan koloid tersebut.

Ada tiga mekanisme dalam proses destabilisasi koloid yang dapat menjelaskan proses koagulasi, yaitu:

a. Pemanfaatan lapisan difusi (*double layer compression*)

Kestabilan partikel koloid disebabkan oleh adanya lapisan bermuatan listrik pada permukaan partikel koloid, yang disebabkan oleh ionisasi atom, hidrasi molekul H_2O , pertukaran elemen atau adsorpsi dari air, ion-ion yang melekat kuat pada permukaan koloid akan menarik ion dengan muatan yang berlawanan dari media sekitarnya dan membentuk lapisan ion-ion.



Gambar 4.25 *Double layer compression*

Lapisan difusi yang berperan adalah lapisan molekul air yang mengalami hidrasi (pada permukaan koloid) dan lapisan ion terluar yang mengalami difusi disekitar partikel koloid.

Lapisan difusi mempunyai dua fungsi yang saling membantu sehingga koloid dikatakan stabil, yaitu:

1. Akan menimbulkan tenaga yang dapat mengalami usaha pendekatan antar partikel koloid yang bermuatan sama (gaya tolak-menolak elektrostatis).
2. Akan menimbulkan gaya tarik-menarik (*attractive force*) antar partikel, yang disebut sebagai gaya tarik-menarik *van der waals* yang disebabkan oleh tenaga kohensif atom tersebut.

Pada gambar 4.25 dapat dilihat proses pembentukan flok. Seperti yang dijelaskan diatas, ion-ion yang melekat kuat pada permukaan koloid (Al^{3+}) adalah ion-ion yang bermuatan berlawanan dengan Al^{3+} yaitu bermuatan negatif seperti ion-ion Cl^- , NO_2^- , NO_3^- , dan lain-lain. akan dari media sekitarnya dan membentuk lapisan ion-ion. Sedangkan ion-ion bermuatan positif, akan melekat karena ada tarikan dari ion-ion negatif. Cr^{3+} contohnya akan melekat pada ion-ion negatif. Begitu seterusnya sampai membentuk sebuah *double layer*.

b. Netralisasi muatan adsorpsi

1. Interaksi koagulan dengan koloid

Yang berperan disini adalah kemampuan interaksi yang dihasilkan kedua substansi untuk mengatasi efek elektrostatik.

2. Interaksi koagulan dengan pelarut

Proses adsorpsi koagulan pada pertemuan koloid dan pelarut, dengan digunakan zat aktif permukaan maka akan terjadi pergeseran ion dari permukaan koloid akibat akumulasi zat aktif tersebut.

3. Proses adsorpsi koagulan pada pertemuan partikel koloid dan pelarut, dengan digunakan zat aktif permukaan maka akan terjadi pergeseran ion dari permukaan koloid akibat akumulasi zat aktif tersebut.

4. Interaksi koloid dan pelarut

Molekul air terikat sangat kuat dengan partikel koloid, ikatan tersebut harus dilenyapkan jika diinginkan terbentuknya ikatan langsung koagulan dengan koloid, disini diperlukan energi untuk menguraikan molekul air dari permukaan koloid.

c. Pembentukan jembatan polimer

Usaha destabilisasi dengan adanya polimer-ionik sebagai pengikat kimia, dimana jika suatu rangkaian polimer mengadakan kontak dengan koloid, sebagian akan terserap pada permukaan koloid ruang bebas dan sebagian lagi bebas berada dalam larutan. Ketika partikel lain dengan kondisi yang sama mendekat dan terjadi tarik-menarik maka akan terbentuk ikatan yang kompleks antar koloid dengan polimer sebagai jembatan penghubung.

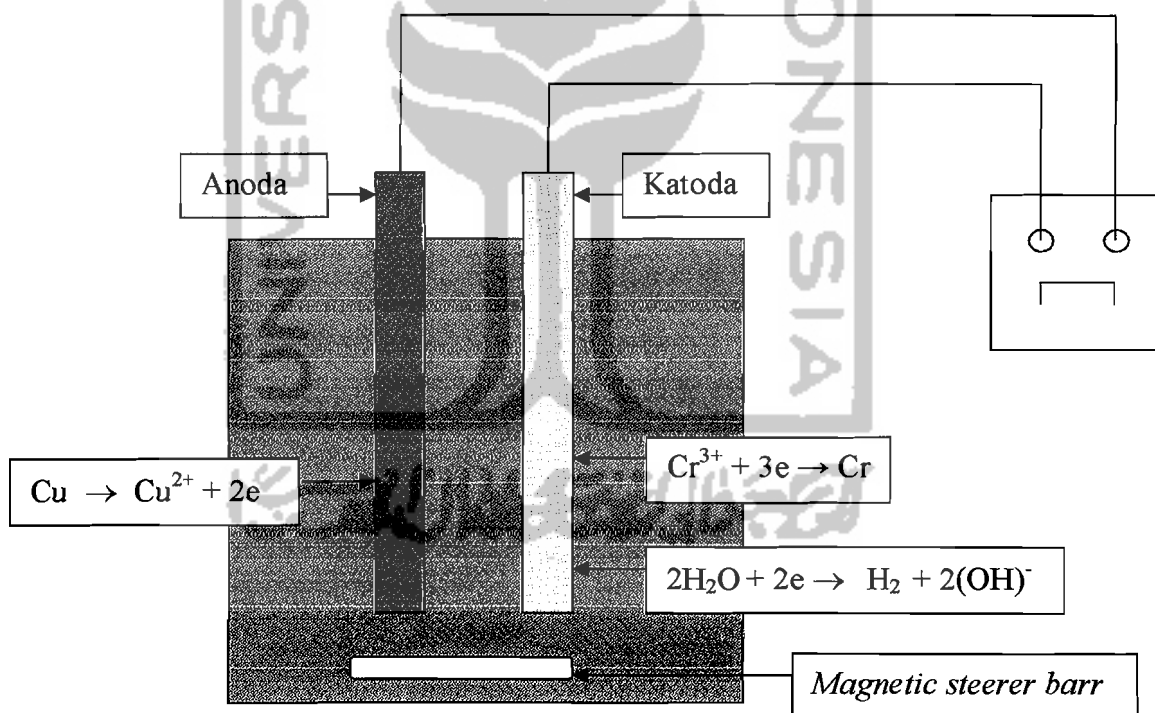
Aluminium sulfat atau tawas $Al_2(SO_4)_3$ merupakan salah satu jenis koagulan yang biasa digunakan dalam proses koagulasi. Pada umumnya partikel koloid penyebab kekeruhan bersifat *hydrophobic* yang bermuatan negatif. Agar terjadi penggabungan diperlukan destabilisasi yang hanya dapat dicapai dengan penambahan elektrolit yang bermuatan positif, sehingga diharapkan gaya tolak menolak antar partikel dapat diperkecil. Selanjutnya diperlukan suatu gaya yang dapat memperkecil jarak antar partikel yakni dengan mengadakan tumbukan

antar partikel. Oleh karena itu dalam proses elektro-koagulasi diperlukan turbulensi yang cukup tinggi untuk meratakan koagulan ke seluruh bagian zat cair dan memungkinkan terbentuknya inti-inti flok.

2. Koagulan tembaga

Proses elektrokoagulasi ini adalah suatu proses mengalirkan arus listrik searah melalui batangan tembaga dan aluminium yang dipasang secara paralel dalam suatu bak persegi empat. Anoda akan melepaskan ion Cu^{2+} untuk mendestabilisasi koloid dan katoda akan melepaskan gas hidrogen menyebabkan partikel yang terdestabilisasi dalam bentuk flok akan mengapung ke atas.

Proses elektrokoagulasi ini merupakan penggabungan proses elektrolisis dan proses koagulasi. Peristiwa elektrolisis ini bisa dilihat pada gambar 4.26.



Gambar 4.26 Proses reduksi-oksidasi pada peristiwa elektrokoagulasi

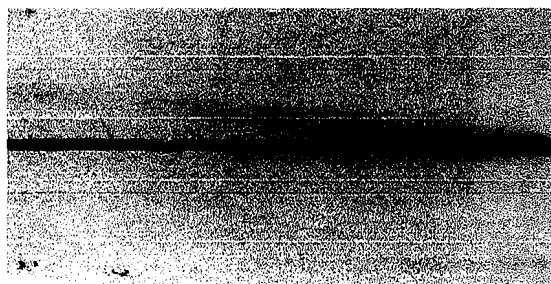
Apabila dalam suatu larutan elektrolit ditempatkan dua elektroda dan dialiri arus listrik searah, maka terjadilah peristiwa yang dinamakan peristiwa elektrolisis, yaitu gejala dekomposisi elektrolit.

Seperti pada gambar 4.26, dapat dilihat reaksi kimia yang terjadi pada proses elektrolisis yaitu oksidasi-reduksi sebagai akibat adanya tegangan listrik. Pada reaksi ini terjadi pergerakan dari ion-ion yaitu ion positif bergerak menuju katoda, ion-ion ini dinamakan kation sedangkan ion-ion negatif bergerak ke anoda yang bermuatan positif yang kemudian ion-ion tersebut dinamakan anion.

Faraday mempelajari hubungan antara jumlah listrik yang digunakan pada elektrolisis dengan massa produk yang dihasilkan, hukum faraday pertama mengenai elektrolisis menyatakan bahwa jumlah perubahan kimia yang terjadi pada proses elektrolisis bergantung pada jumlah muatan listrik yang melalui sel elektrolisis tersebut. Hukum faraday kedua menyatakan bahwa dalam elektrolisis jumlah muatan listrik yang sama akan menghasilkan jumlah ekuivalen yang sama pula tanpa bergantung pada jenis zat yang terlibat dalam reaksi elektrolisis.

Proses elektrolisis ini adalah salah satu teknik untuk mereduksi ion-ion logam. Dengan cara ini, elektroda yang dialiri tegangan listrik dapat menangkap ion-ion logam berat yang bermuatan positif, sehingga dapat menurunkan kadar logam berat seperti krom dalam air limbah.

Pada saat elektrolisis, penggunaan batang metal seperti besi, aluminium, tembaga dan lain-lain, pada umumnya digunakan sebagai *sacrificial electrodes* untuk melanjutkan produksi ion dalam sistem. *sacrificial electrodes* ini terjadi pada batangan anoda yaitu batangan tembaga karena pada batangan tembaga terjadi reaksi oksidasi, sehingga elektron-elektron pada batangan tembaga tersebut terlepas dan menyebabkan korosi hal ini seperti yang terlihat pada gambar 4.27.



Gambar 4.27 Batangan tembaga mengalami korosi akibat proses oksidasi pada anoda

Sebelumnya elektroda dalam proses elektrolisis ini sangat penting, karena elektroda merupakan salah satu alat untuk menghantarkan atau menyampaikan arus listrik kedalam larutan agar larutan tersebut terjadi suatu reaksi redoks.

Pemilihan elektroda ini didasarkan pada deret volta atau deret potensial redoks, karena hal ini sangat mempengaruhi proses elektrokoagulasi. Logam Cu sebagai elektroda positif dipilih karena logam Cu berada disamping kanan unsur H, sehingga logam Cu sukar mengalami oksidasi, sedangkan logam Al bila dibandingkan dengan deret volta berada disebelah kiri, ini berarti logam Al lebih mudah mengalami oksidasi, sehingga memiliki kekurangan dibandingkan dengan logam Cu.

Proses elektrokoagulasi yang merupakan penggabungan proses elektrolisis dan koagulasi. Fenomena-fenomena yang terjadi pada proses elektrokoagulasi ini dapat dijabarkan dengan reaksi dibawah ini :

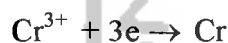
1. Pada permukaan elektroda positif (anoda)



2. Sekitar elektroda



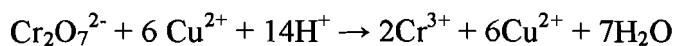
3. Pada permukaan elektroda negatif (katoda)



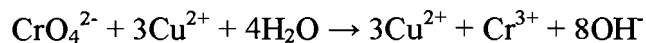
Pada permukaan elektroda positif ini, Cu akan melepaskan elektronnya menjadi Cu^{2+} sebagai akibat dari peristiwa oksidasi. Cu^{2+} akan mengikat OH^- membentuk $\text{Cu}(\text{OH})_2$. $\text{Cu}(\text{OH})_2$ ini nantinya akan menjadi koagulan.

Limbah yang mengandung ion-ion Cr^{6+} ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) dapat direduksi dengan teknik elektrokoagulasi menggunakan tembaga sebagai *sacrificial anode*.

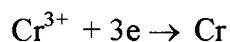
Ion tembaga Cu^{2+} ini secara alami dengan elektrokoagulasi akan teroksidasi dari anoda tembaga serta akan mereduksi Cr^{6+} menjadi Cr^{3+} dalam kondisi alkalin dan oksidasi tembaga itu dapat dilihat sebagai berikut :



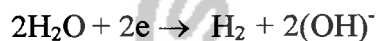
Ion Cr^{3+} akan terpresipitasi sebagai $\text{Cr}(\text{OH})_3$ dengan menaikkan pH sebagai solusinya. ion-ion Cu^{2+} dapat mereduksi CrO_4^{2-} dibawah kondisi asam sesuai persamaan dibawah ini:



Sebagian ion-ion Cr^{3+} akan tereduksi pada batangan katoda seperti pada reaksi kimia berikut:



Pada batangan katoda, akan melepaskan gas hidrogen menyebabkan partikel yang terdestabilisasi dalam bentuk flok akan mengapung ke atas.



Dari rumus kimia diatas terlihat pembentukan gas, gas seperti oksigen dan hidrogen ini akan mempengaruhi pereduksian COD dan BOD serta TDS begitu juga logam berat. Gas hidrogen yang diakibatkan dari katoda akan membantu kontaminan mengapung atau terangkat, hal ini lah yang menyebabkan tereduksinya TDS termasuk flok $\text{Cu}(\text{OH})_2$ yang mengikat ion-ion Cr^{3+} serta menangkap sebagian logam Cr^{3+} yang tidak terdeposit pada batang katoda. Flok $\text{Cu}(\text{OH})_2$ ini akan terendap di bak sedimentasi yaitu karena adanya pertumbuhan massa flok sehingga berat jenis flok menjadi besar dan akhirnya mengendap.

Berdasarkan penjelasan diatas, dapat diambil kesimpulan bahwa efisiensi krom total yang berubah-ubah dapat dijabarkan sebagai berikut:

1. Kenaikan efisiensi krom total ini dipengaruhi oleh koagulan yang dihasilkan dari batangan anoda yaitu ion-ion Cu yang terlepas akan menjadi ion Cu^{2+} , apabila berikatan dengan ion OH^- akan membentuk $\text{Cu}(\text{OH})_2$. Senyawa $\text{Cu}(\text{OH})_2$ ini berfungsi sebagai koagulan.
2. Turunnya efisiensi krom total ini dipengaruhi oleh daftar E° (deret potensial logam atau deret volta). Dari daftar ini maka akan diketahui bahwa reduksi terhadap air limbah lebih mudah berlangsung dari pada reduksi terhadap pelarutnya (air) : K, Ba, Ca, Na, Mg, Al, Zn, Cr, Fe, Cd, Fe, Cd, Co, Ni, Sn, Pb, (H), Sb, Bi, Cu, Hg, Ag, Pt, Au.

3. Pada deret volta diatas, Cu berada disebelah kanan dari unsur H, ini artinya Makin ke kanan letak suatu logam dalam deret volta, harga E° makin besar. Hal ini berarti bahwa logam-logam di sebelah kanan mudah mengalami reduksi serta sukar mengalami oksidasi.
4. Bila didasarkan pada peristiwa yang terjadi pada batangan tembaga, semakin lama waktu kontak maka batangan tembaga semakin lama semakin teroksidasi. Pada gambar 4.22, terlihat grafik efisiensi krom total yang turun, ini disebabkan karena batangan tembaga yang lama-kelamaan akan terus teroksidasi menyebabkan batangan tembaga tersebut mengalami korosi.

Berdasarkan data di atas, konsentrasi outlet krom total bila didasarkan pada Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air Baku Mutu Golongan IV bisa dikatakan krom total hasil proses ini masih jauh dari baku mutu yang dipersyaratkan yaitu sebesar 0.01 ppm.

B. Pengaruh kuat arus terhadap penurunan konsentrasi Cr total

Pada penelitian ini kuat arus sangat berpengaruh terhadap penurunan krom total ini. A.K. Golder dkk telah melakukan penelitian yang mana sebagai variabel penelitian adalah pengaruh kuat arus terhadap penurunan konsentrasi krom. Kombinasi kuat arus akan memberi efek terhadap kuat sel dan permukaan area elektroda. Kuat arus yang tinggi akan menyebabkan beberapa fenomena antara lain :

1. Berdasarkan hukum Faraday, ion logam akan mengalami pemisahan/pengkroposan apabila dialiri listrik di dalam cairan, dengan tingginya formasi monomerik dan polimerik dari tembaga hidroksida menghasilkan perubahan yang signifikan terhadap reduksi Cr^{3+} yang sebagian besar diakibatkan oleh ko-presipitasi bentuk menjadi padat.
2. Pemisahan dari senyawa-senyawa yang dapat larut seperti Cu^{2+} dengan generasi dari ion OH^- pada permukaan katoda pada saat proses elektrokoagulasi akan meningkatkan pH sebagai solusinya. Pada pH yang

tinggi, kedua-duanya krom dan tembaga hidroksida cenderung terpresipitasi sehingga meningkatkan pereduksian krom.

3. Dalam kaitannya dengan anoda, banyak *sludge* dari logam elektroda yang dihasilkan.
4. Banyak gelembung-gelembung udara yang dihasilkan, hal ini akan meningkatkan proses pengadukan dan pereduksian.

Berdasarkan deret volta, logam Cu cenderung akan sukar mengalami proses oksidasi, tetapi karena kuat arus yang dialirkan sebesar 10 ampere, ini akan mempercepat proses oksidasi logam Cu menjadi senyawa Cu^{2+} semakin lama waktu kontak sama artinya dengan semakin lama logam Cu teraliri listrik.

C. Pengaruh waktu kontak terhadap penurunan konsentrasi Cr Total

Berdasarkan waktu kontak 25, 50, 75, dan 100 menit pada bak sedimentasi dan filtrasi dengan variasi dosis tawas sebesar 15000 dan 20000 ppm, terlihat kecenderungan bahwa makin lama waktu kontak maka makin terjadi fluktuasi efisiensi konsentrasi krom total. Hal ini bisa dijelaskan bahwa, makin lama waktu kontak, maka kecenderungan bahwa logam tembaga sebagai anoda akan lama-kelamaan habis karena terkorosi terus-menerus akibat proses oksidasi, ini berpengaruh terhadap efisiensi krom total. Semisal pada dosis tawas 20000 ppm dibagian outlet pada waktu kontak 50 menit efisiensi krom total sebesar 99,4 % tetapi pada waktu kontak selanjutnya yaitu pada waktu kontak 75 dan 100 menit berturut-turut terjadi penurunan efisiensi krom total sebesar 95,5 % dan 96,8 %. Ini diakibatkan kemampuan tembaga yang semakin lama waktu kontak semakin teroksidasi dan menjadi terkorosi.

D. Pengaruh aerasi terhadap penurunan konsentrasi Cr Total

Pada gambar 4.22 terlihat grafik efisiensi krom total yang berfluktuatif, hal ini bisa dijelaskan seperti berikut ini. Pada saat percobaan, dilakukan penambahan alat aerator, hal ini bisa bermanfaat juga bisa merugikan. Manfaat penambahan aerator ini adalah untuk meningkatkan kandungan oksigen kedalam air, yang tentunya akan mampu mereduksi kandungan COD, BOD, nitrat, nitrit, dan beberapa parameter lainnya didalam lindi. Aerator juga bisa merugikan, karena O_2

yang dihasilkan akan mengikat ion Cu membentuk 2CuO , hal ini akan mempengaruhi kinerja $\text{Cu}(\text{OH})_2$ sebagai salah satu koagulan sehingga senyawa $\text{Cu}(\text{OH})_2$ akan terganggu. Kedepannya perlu diperhatikan tenaga aerator yang diperlukan sehingga tidak sampai mempengaruhi kinerja $\text{Cu}(\text{OH})_2$.

