

JRL	Vol.9	No.1	Hal. 31 - 46	Jakarta, Juni 2016	ISSN : 2085.3866 No.376/AU1/P2MBI/07/2011
-----	-------	------	--------------	-----------------------	--

## **TINJAUAN TEKNOLOGI PENGOLAHAN AIR LIMBAH INDUSTRI DENGAN PROSES ELEKTROKOAGULASI**

**Taty Hernaningsih**

Pusat Teknologi Lingkungan, Badan  
Pengkajian dan Penerapan Teknologi  
Email : putu.angga@bppt.go.id

### **Abstrak**

Pengolahan air limbah oleh industri biasanya menggunakan bahan kimia yang cenderung menyebabkan penambahan beban pencemaran lingkungan. Di sisi lain, kebutuhan air makin meningkat dan peraturan lingkungan mengenai persyaratan pembuangan air limbah yang berlaku semakin ketat. Untuk itu diperlukan teknik pengolahan limbah yang mengakomodasi persyaratan tersebut. Proses elektrokoagulasi merupakan teknik pengolahan air limbah yang banyak dipilih karena teknik ini bersifat ramah lingkungan. Makalah ini akan meninjau beberapa penelitian atau aplikasi proses elektrokoagulasi yang dilakukan terhadap air limbah industri. Jenis air limbah industri yang ditinjau antara lain: industri-industri batik, sarung, tekstil, kelapa sawit, pemotongan hewan, pangan, penyamakan kulit, laundry, pulp dan paper. Tinjauan yang diulas dalam penelitian ini meliputi proses pengolahan limbah pada beberapa variasi pengolahan seperti: perubahan waktu, aliran listrik dan jenis elektroda. Hasil yang didapat dari penelitian dengan proses elektrokoagulasi di industri adalah efisiensi penghilangan TSS, COD, BOD5, khrom, fosfat, surfaktan, kekeruhan warna yang dipengaruhi beberapa faktor diantaranya waktu, kuat arus, tegangan, jarak dan jenis elektroda dan pH. Diharapkan informasi yang disajikan dalam tulisan ini dapat menjadi rujukan bagi penelitian sejenis untuk peningkatan penelitian tentang proses elektrokoagulasi.

**Kata kunci** : elektrokoagulasi, efisiensi penghilangan, ramah lingkungan

# REVIEWS OF ELECTROCOAGULATION PROCESS ON WASTE WATER TREATMENT TECHNOLOGY

## **Abstract**

*Waste water treatment by industry usually uses chemicals that may lead to additional environmental pollution load. On the other hand, water demand increases and environmental regulations regarding waste water disposal requirements that apply more stringent. It is necessary for waste treatment technique that accommodate this requirement. Electrocoagulation process is a technique of wastewater treatment that has been chosen because the technique is environmentally friendly. This paper will review some of the research or application electrocoagulation process which is conducted on industrial waste water. Types of industrial waste water that is to be reviewed include: industries batik, sarongs, textiles, palm oil, slaughterhouses, food, leather tanning, laundry, pulp and paper. Overview reviewed in this research include the waste water treatment process in several processing variations such as: change in time, electricity and kind of electrodes. The results of the research with electrocoagulation process in the industry are the removal efficiency of TSS, COD, BOD5, Chrome, phosphate, surfactants, color turbidity influenced by several factors including time, strong current, voltage, distance and type of electrode and pH. The results of the study with electrocoagulation process in the industry is the removal efficiency of TSS, COD, BOD5, chromium, phosphate, surfactant, turbidity color that are influenced by several factors including time, strong current, voltage, distance and type of electrode and pH. It is hoped the information presented in this article can be a reference for similar research for the improvement of research on the process elektrokoagulasi.*

**Key words:** *elektrocoagulation, removal efficiency, environmental friendly*

## I. PENDAHULUAN

Pengolahan air limbah industri di Indonesia kebanyakan dilakukan dengan proses yang menggunakan bahan kimia. Padahal pemakaian bahan kimia sebagai bahan utama maupun bahan pembantu pada proses pengolahan limbah perlu dipertimbangkan karena beban pencemaran lingkungan yang ditimbulkan semakin besar. Penggunaan bahan kimia selektif hanya dianjurkan pada pengolahan limbah yang memiliki kadar kontaminan logam berat cukup tinggi dan diarahkan pada proses *recovery*. Pengolahan dengan bahan kimia pada pengolahan limbah B3 fase cair biasanya hanya mampu mengatasi persoalan limbah dengan karakteristik tertentu, karena air yang dihasilkan dari proses pengolahan kimia biasanya masih mengandung sedikit logam berat dan zat padat terlarut sehingga belum dapat dibuang ke lingkungan (Susetyaningsih R dkk., 2008).

Di antara proses yang digunakan untuk mengelola air limbah tanpa menggunakan bahan kimia dan ramah lingkungan adalah dengan proses elektrokoagulasi. Proses elektrokoagulasi merupakan gabungan dari proses elektrokimia dan proses flokulasi-koagulasi. Elektrokoagulasi telah dikenal selama lebih dari satu abad dan proses ini berbasis besi Aluminium dan dipatenkan di AS tahun 1900. Elektrokoagulasi telah dipelajari secara ekstensif di abad ke-20 di Amerika Serikat dan Uni Soviet, tetapi pada waktu itu tidak ditemukan kelayakannya untuk pengolahan air. Sehingga teknologi ini belum digunakan secara luas oleh industri disebabkan oleh mahalnya investasi awal untuk membangun instalasi pengolahan tersebut dibandingkan dengan terhadap teknologi

pengolahan air limbah yang lainnya (Djajadiningrat, Asiz, H, 2004).

## II. TUJUAN

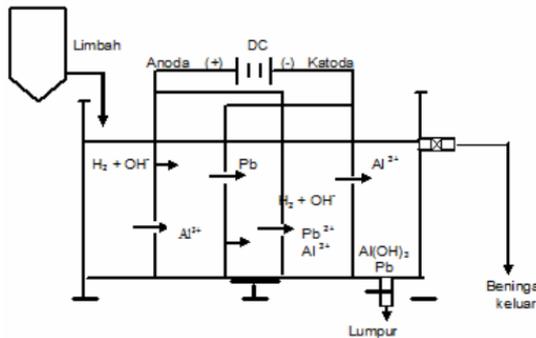
Tujuan dari makalah ini adalah untuk melakukan tinjauan terhadap proses elektrokoagulasi dalam pengolahan air limbah yang telah dilakukan dari penelitian di laboratorium ataupun aplikasinya di industri yang ada di Indonesia. Tinjauan ini menyajikan gambaran proses pengolahan air limbah dengan elektrokoagulasi, termasuk latar belakang, metoda dan kinerja yang dihasilkan.

## III. PRINSIP ELEKTROKOAGULASI

Fungsi elektrokoagulasi adalah proses destabilisasi suspensi, emulsi dan larutan yang mengandung kontaminan, dengan cara mengalirkan arus listrik searah melalui air sehingga terbentuk gumpalan yang mudah dipisahkan. Elektrokoagulasi merupakan proses elektrolisis yang membutuhkan tenaga listrik, penghantar listrik dan elektroda. Elektroda biasanya terbuat dari aluminium, besi, atau sedikit *stainless*, karena logam ini yang murah, mudah didapat, terbukti efektif, dan tidak beracun.

Proses elektrokoagulasi meliputi beberapa tahap yaitu proses ekualisasi, proses elektrokimia (flokulasi-koagulasi) dan proses pengendapan. Proses ekualisasi dimaksudkan untuk menyeragamkan limbah cair yang akan diolah terutama kondisi pH, pada tahap ini tidak terjadi reaksi kimia. Pada proses elektrokimia akan terjadi pelepasan  $Al^{3+}$  dari plat elektrode (anoda) sehingga membentuk flok  $Al(OH)_3$  yang mampu mengikat kontaminan dan partikel-partikel dalam limbah (Susetyaningsih R dkk., 2008). Reaksi yang terjadi pada

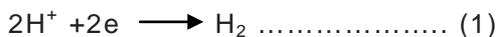
proses ini adalah:



Gambar 1. Proses Elektrokoagulasi (Sumber: Susetyaningsih R dkk., 2008)

Apabila dalam suatu elektrolit ditempatkan dua elektroda dan dialiri arus listrik searah, maka akan terjadi peristiwa elektrokimia yaitu gejala dekomposisi elektrolit, dimana ion positif (kation) bergerak ke katoda dan menerima elektron yang direduksi dan ion negatif (anion) bergerak ke anoda dan menyerahkan elektron yang dioksidasi (Djajadiningrat Asiz, H, 2004).

Pada katoda, ion H<sup>+</sup> dari suatu asam akan direduksi menjadi gas hidrogen yang akan bebas sebagai gelembung-gelembung gas.



Larutan yang mengalami reduksi adalah pelarut (air) dan terbentuk gas hidrogen (H<sub>2</sub>) pada katoda



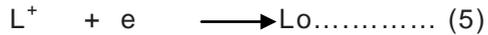
Pada Anoda yang biasanya terbuat dari logam aluminium akan mengalami oksidasi.



Ion OH<sup>-</sup> dari basa akan mengalami oksidasi membentuk gas oksigen (O<sub>2</sub>)



Jika dalam larutan limbah mengandung ion-ion logam lain maka ion-ion logam akan direduksi menjadi logamnya dan terdapat pada batang katoda.



Contoh :



Dari reaksi tersebut, pada anoda akan dihasilkan gas, buih dan flok Al(OH)<sub>3</sub>. Selanjutnya flok yang terbentuk akan mengikat logam Pb yang ada di dalam limbah, sehingga flok akan memiliki kecenderungan mengendap. Selanjutnya flok yang telah mengikat kontaminan Pb tersebut diendapkan pada bak sedimentasi (proses sedimentasi) dan sisa buih akan terpisahkan pada unit filtrasi.

Menurut Putero, dkk (2008) faktor – factor yang mempengaruhi proses elektrokoagulasi antara lain: suhu, kerapatan arus listrik, waktu operasi, tegangan, kadar asam (pH), ketebalan plat dan jarak elektroda.

Kelebihan proses pengolahan limbah dengan elektrokoagulasi antara lain (Purwaningsih, 2008): flok yang dihasilkan elektrokoagulasi ini sama dengan flok yang dihasilkan koagulasi biasa, lebih cepat mereduksi kandungan koloid/partikel yang paling kecil, hal ini disebabkan pengaplikasian listrik ke dalam air akan mempercepat pergerakan kolodi/partikel di dalam air dengan demikian akan memudahkan proses, gelembung-gelembung gas yang dihasilkan pada proses elektrokoagulasi ini dapat membawa polutan ke atas air sehingga dapat dengan mudah dihilangkan, mampu memberikan efisiensi proses yang cukup tinggi untuk berbagai

kondisi, dikarenakan tidak dipengaruhi temperatur, tidak memerlukan pengaturan pH, serta tidak perlu menggunakan bahan kimia tambahan.

Kekurangan dari proses pengolahan limbah dengan metode elektrokoagulasi adalah (Purwaningsih, 2008): tidak dapat digunakan untuk mengolah air limbah yang mempunyai sifat elektrolit cukup tinggi dikarenakan akan terjadi hubungan singkat antar elektroda, besarnya reduksi logam berat dalam air limbah dipengaruhi oleh besar kecilnya arus voltase listrik searah pada elektroda, luas sempitnya bidang kontak elektroda dan jarak antar elektroda, penggunaan listrik yang mungkin mahal, dan batangan anoda yang mudah mengalami korosi sehingga harus selalu diganti.

#### **IV. PENERAPAN PENGOLAHAN AIR LIMBAH INDUSTRI DENGAN PROSES ELEKTROKOAGULASI**

Penerapan proses elektrokoagulasi telah dilakukan di laboratorium terhadap air limbah dari industri, diantaranya industri: batik sarung, tekstil, kelapa sawit, pemotongan hewan, pangan, penyamakan kulit, *laundry*, *pulp* dan *paper*. Penelitian dan aplikasi yang telah dilakukan pada proses elektrokoagulasi dalam mengolah air limbah industri disampaikan pada bagian berikut ini.

##### **4.1. Proses Elektrokoagulasi Air Limbah Industri Batik, Tekstil Dan Sarung**

- Air limbah Industri Batik  
Industri batik merupakan salah satu penghasil air limbah yang berasal dari proses pewarnaan, dengan kandungan zat warnanya

tinggi dan bahan-bahan sintetik yang sukar larut atau sukar diuraikan. Proses pewarnaan menghasilkan air limbah yang berwarna keruh dan warna ini yang menyebabkan masalah terhadap lingkungan.

Limbah zat warna yang dihasilkan dari industri batik umumnya merupakan senyawa organik *non-biodegradable* yang dapat menyebabkan pencemaran lingkungan terutama perairan. Salah satu contoh warna yang banyak dipakai industri batik adalah *remazol* black, red dan golden yellow. Dalam perwarnaan, senyawa ini hanya digunakan sekitar 5% sedangkan sisanya 95% akan dibuang sebagai limbah. Senyawa ini cukup stabil sehingga sangat sulit untuk terdegradasi di alam dan berbahaya bagi lingkungan apalagi dalam konsentrasi yang sangat besar karena dapat menaikkan COD (*Chemical Oxygen Demand*).

Penelitian pengolahan air limbah ini dilakukan di laboratorium dengan proses elektrokoagulasi secara *batch* (Lestari N D. dan Agung T., 2012). Alat elektrokoagulasi yang dibuat terdiri dari dua komponen yaitu bak elektrokoagulasi dan plat elektroda. Bak elektrokoagulasi dibuat dengan ukuran panjang 15 cm, lebar 15 cm dan tinggi 20 cm. elektroda terdiri dari 3 buah katoda dan 3 buah anoda yang terbuat dari bahan aluminium. Dalam penelitian ini dilakukan variasi kuat arus yaitu 0,5, 1, 1,5, 2 dan 2,5 Ampere dan variasi waktu kontak 20, 60, 100, 140 dan 180 menit dengan tegangan tetap 12 volt dan jarak antar elektroda 1 cm, pada gambar 1.



Gambar 1. Alat Elektrokoagulasi untuk air limbah batik<sup>4)</sup>

Air limbah yang digunakan dalam penelitian adalah limbah asli yang berasal dari bak penampung yang merupakan *outflow* dari proses industri batik.

Berdasarkan penelitian di atas dapat diketahui hasilnya yang dicantumkan pada tabel 1, dapat dilihat efisiensi penghilangan COD sebesar 22,2% dengan waktu 20 menit, kuat arus 0,5 A sedangkan efisiensi penghilangan COD sebesar 83,33% dengan waktu 180 menit, kuat arus 2,5 A. Demikian pula efisiensi penghilangan TSS sebesar 10 % pada waktu 180 menit, kuat arus 0,5 A sedangkan efisiensi penghilangan TSS sebesar 90% pada waktu 180 menit, kuat arus 2,5 A. Jadi disimpulkan bahwa semakin lama waktu kontak dan semakin besar kuat arus maka efisiensi penghilangan COD dan TSS juga semakin besar. Hal ini disebabkan proses oksidasi dan reduksi didalam reaktor elektrokoagulasi. Pada elektroda - elektroda terbentuk gas oksigen dan hidrogen yang akan mempengaruhi reduksi COD. Berdasarkan teori *double layer*, penurunan COD disebabkan flok yang terbentuk oleh ion senyawa organik berikatan dengan ion koagulan yang bersifat positif.

Dalam industri batik ini, warna

yang digunakan adalah warna sintesis yaitu naphtol dan itu merupakan warna semu, warna semu adalah warna yang disebabkan oleh adanya kekeruhan atau bahan tersuspensi penyebab warna sejati termasuk koloid. Penurunan warna disebabkan oleh proses adsorpsi, substansi molekul meninggalkan larutan limbah dan bergabung pada permukaan zat padat atau koagulan pada proses elektrokoagulasi. Setelah proses elektrokoagulasi terjadi penurunan sebesar 88,51% dan efisiensi ini tidak tergantung dengan lamanya waktu proses.

#### - Air Limbah Industri Tekstil

Penelitian pengolahan air limbah dengan proses elektrokoagulasi dilakukan terhadap air limbah industri tekstil dari dikawasan industri di daerah Cisirung Jalan Muhamad Toha kabupaten Bandung. Sumber limbah cair ini berasal dari dari proses pencelupan, *printing* dan pencucian (P Bambang Hari dan Harsanti Mining, 2010). Air limbah ini diindikasikan mengandung bahan-bahan kimia dan logam berat beracun (B3), sehingga menurunkan kualitas air sungai. Dampak negatif lainnya terlihat dari penurunan jumlah produksi padi yang menggunakan sumber air terdekat yaitu sungai Citarum yang sudah tercemar dari limbah industri tekstil.

Pengolahan air limbah yang dilakukan pada proses elektrokoagulasi dengan plat Al – Al 6 (enam) lembar dan menggunakan tangki volume 5 liter menunjukkan bahwa secara umum terjadi penghilangan polutan yang efektif. Kadar TSS mengalami perubahan yang cukup signifikan dengan efisiensi penghilangan sebesar 76,27% dengan waktu proses 15 menit dan efisiensi ini semakin meningkatnya menjadi 80% dalam waktu proses 30 menit.

Konsentrasi kekeruhan

mengalami pengurangan yang lebih signifikan dibandingkan dengan kadar TSS yaitu efisiensi penghilangan mencapai 90,18% dan penghilangan ini semakin meningkat terhadap lamanya proses, sehingga efisiensi penghilangan dapat mencapai 96,36% dengan waktu proses 30 menit. Kadar COD (*Chemical Oxygen Demand*) mengalami penurunan mencapai 77,03%, dan penurunan tertinggi pada proses elektrokoagulasi dengan waktu 25 menit dengan penurunan sebesar 79,69%. Kadar BOD (*biochemical oxygen demand*) mengalami pengurangan mencapai 77,23% dan penurunan tertinggi mencapai angka 79,87%. pada proses elektrokoagulasi dengan waktu 25 menit.

Sedangkan nilai pH tidak mengalami perubahan yang berarti dan ada kecenderungan stagnan pada penggunaan 6 (enam) plat Al-Al, hal ini dimungkinkan karena ion  $Al^{2+}$  dapat menimbulkan suasana basa dalam limbah. Proses elektrokoagulasi melepaskan energi berupa panas atau perubahan suhu dalam limbah, semakin lama waktu proses elektrokoagulasi telah terjadi peningkatan suhu. Kekurangan dari proses ini dalam mengolah limbah cair dari industri tekstil, adalah kadar bau belum dapat dikurangi.

#### - Air Limbah Industri Sarung

Analisis dilakukan pada air limbah salah satu sentra industri sarung batik Samarinda yang berada di Kelurahan Masjid Kecamatan Samarinda Seberang, yang terletak di pinggir sungai Mahakam (Ika Yulianti dkk., 2015). Air limbah dari proses pencelupan kain terindikasi mengandung bahan-bahan kimia beracun dan logam berat beracun misalnya logam berat, khususnya tembaga (Cu), krom (Cr) dan seng (Zn) sehingga dapat menurunkan kualitas air sungai.

Peralatan proses elektrokoagulasi dilakukan pada *batch* volume sebanyak 450 mL dengan jarak elektroda 1 cm. Kuat tegangan adaptor pada tegangan diatur 9 volt dan proses dilakukan dengan waktu kontak selama 120 menit, setelah itu dilakukan elektrolisis setiap 30 menit.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penurunan nilai kadar logam Cr tergantung dari dengan bertambahnya jarak dari kedua elektroda aluminium yang digunakan. Hal ini berkaitan dengan bertambahnya jarak yang harus ditempuh oleh ion-ion yang dihasilkan sebagai koagulan dari kedua elektroda, sehingga untuk penghilangan Cr membutuhkan waktu lebih lama jika jarak kedua elektroda makin bertambah. Penghilangan parameter Cr makin besar dengan jarak elektroda yang lebih kecil jaraknya dibandingkan dengan penghilangan parameter tersebut jika jarak elektrodanya diperbesar.

Pada proses elektrokimia, pada saat yang sama adanya arus listrik di anoda akan terjadi reaksi oksidasi terhadap anion (ion negatif), anoda yang terbuat dari logam seperti aluminium akan mengalami reaksi oksidasi menghasilkan  $Al^{3+}$  dan akan mengikat ion ( $OH^-$ ) membentuk flok  $Al(OH)^{3-}$  yang dapat mengikat ion-ion  $Cr^{2+}$  serta menangkap sebagian logam Cr0 yang tidak terdeposit pada batang katoda. Kondisi ini yang memungkinkan terjadinya penurunan kadar Cr dalam limbah.

Hasil proses elektrokoagulasi terhadap penurunan kadar logam Cr dengan proses kontak optimum 30 menit yang menghasilkan efisiensi penghilangan hingga 38,302 %. Sedangkan parameter ini dengan kuat tegangan optimum 4,5 volt menghasilkan efisiensi penghilangan hingga 57,897 %. Efisiensi penghilangan parameter Cr pada jarak kedua elektroda optimum 1 cm mencapai 64,610 %.

#### 4.2. Proses Elektrokoagulasi Limbah Industri Kelapa Sawit

Penelitian proses elektrokoagulasi dilakukan dengan air limbah kelapa sawit yang berasal dari air drab, air kondensat, air proses dan air *hydrocyclone*. Bahan-bahan yang terkandung dalam limbah tersebut antara lain minyak-grease,  $\text{NH}_3\text{-N}$ , COD, BOD, dan TSS dengan konsentrasi yang sangat tinggi. Dalam limbah industri kelapa sawit konsentrasi COD sangat tinggi yang ada berkisar 40.000 – 120.000 mg/L, sedangkan batasan maksimum baku mutu limbah kelapa sawit yang diijinkan Kep.05/MENKLH/II/2014 hanya sebesar 350 mg/L. Kandungan kekeruhan dalam air limbah tersebut sangat berkaitan dengan kadar COD.

Metoda proses elektrokoagulasi yang digunakan dalam mengolah air limbah yaitu adalah memasukkan air limbah ke dalam reaktor elektrokoagulasi sebanyak 500 ml. Kemudian elektroda logam dimasukkan dalam air limbah tersebut dan dihubungkan dengan adaptor, sehingga terbentuk sirkuit listrik. Proses ini berlangsung selama waktu tertentu (30 menit – 120 menit) dengan variasi tegangan listrik (3-12 volt) dan jenis elektroda (aluminium dan besi) dalam reaktor, kemudian limbah tersebut dialirkan ke bak sedimentasi.

Setelah terjadi proses pengendapan, filtrat atau supernatant dianalisa kembali konsentrasi COD dan kekeruhan. Tahap-tahap di atas diulangi untuk variasi jenis elektroda, variasi waktu tinggal dan variasi tegangan listrik (voltase).

Penggunaan aluminium sebagai elektroda menunjukkan bahwa variasi waktu kontak dan tegangan listrik yang diberikan menghasilkan efisiensi penghilangan COD yang

sangat baik yaitu sebesar 84,57 % dengan waktu kontak 120 menit dan tegangan listrik 12 volt. Untuk penggunaan elektroda besi, diperoleh efisiensi penghilangan COD paling besar dengan waktu kontak 120 menit dan tegangan listrik 12 volt yaitu sebesar 77,14 %.

#### 4.3. Proses Elektrokoagulasi Limbah Pemotongan Hewan

Proses elektrokoagulasi ini untuk mengolah air limbah dari usaha pemotongan hewan menghasilkan air limbah yang mencemari lingkungan karena air limbahnya tidak diolah sebelum dialirkan ke badan air. Penelitian dilakukan pada volume reaktor 1.000 ml dengan variabel tetap kecepatan pengadukan 400 rpm, waktu reaksi 10 menit, dan perbandingan konsentrasi limbah dan air adalah 2:3 yaitu 400 ml limbah dan 600 ml air. Jumlah elektroda yang digunakan dengan memvariasikan empat buah elektroda (Al-Fe, Al-Fe) dan dua buah elektroda (Al-Fe). Untuk pencuci elektroda digunakan HCl 30% 8).

Percobaan dimulai dengan mengencerkan limbah dengan perbandingan konsentrasi tersebut. Kemudian dialirkan arus listrik dalam elektroda sehingga terjadi reaksi dan terbentuk flokulan. Reaksi dijalankan pada suhu ruangan  $32^\circ\text{C}$  dengan pengadukan menggunakan magnetik stirer. Hasil pengolahan disaring setiap waktu reaksi kemudian dianalisa kadar TSS dan TDS, serta diukur pH menggunakan pH meter dan diukur hingga nilai *turbidity* konstan.

Pada penggunaan 4 buah elektroda terjadi penurunan konsentrasi TSS dan TDS dengan efisiensi penghilangan 99,6391% dan 99,7277%. Penurunan konsentrasi TSS dan TDS sebanding dengan waktu reaksi, dimana semakin lama

reaksi berlangsung maka padatan yang tereduksi semakin besar. Sedangkan menggunakan dua buah elektroda, proses mampu menurunkan TSS dan TDS sebesar 98.26855 % dan 97.1831 %.

Dari penelitian ini ditunjukkan bahwa waktu yang dibutuhkan untuk hasil *recovery* maksimal dengan 4 buah elektroda lebih singkat yaitu 70 menit, sedangkan dengan 2 buah elektroda membutuhkan waktu 90 menit. Penggunaan 4 buah elektroda menunjukkan hasil yang lebih efektif dari pada menggunakan 2 buah elektroda. Hal ini ditunjukkan dengan penurunan kadar TSS dan TDS serta *recovery* yang lebih besar dari pada dengan dua buah elektroda. Dan waktu reaksi relatif lebih pendek pada penggunaan 4 buah elektroda dari pada dua buah elektroda.

Nilai pH cenderung naik selama proses ini. Penggunaan empat buah elektroda menunjukkan kenaikan pH yang lebih besar yaitu rata-rata menjadi 7,80. Sedangkan dengan dua buah elektroda, pH rata-rata menjadi 7,05 dengan waktu yang lebih lama. pH larutan dipengaruhi oleh waktu operasi elektrokoagulasi. Dimana pH berkisar antara 6-8. Dengan bertambahnya waktu, pH limbah cenderung naik. Proses ini menunjukkan terjadinya pembentukan  $Al(OH)_3$  yang berbentuk presipitat dan tidak larut dalam air sehingga akan membantu mempercepat proses koagulasi.

Oleh karena itu semakin lama waktu operasi, konsentrasi limbah akan semakin berkurang. Dari proses menunjukkan bahwa kekeruhan semakin menurun dengan bertambahnya waktu operasi. Hal ini menunjukkan pengaruh positif dari proses elektrokoagulasi, dimana larutan menjadi semakin jernih. Waktu operasi yang semakin lama akan menyebabkan limbah yang tereduksi semakin besar, sehingga padatan-padatan dalam limbah

semakin berkurang. Dengan berkurangnya padatan dalam limbah, maka air limbah yang telah diolah menjadi jernih.

#### 4.4. Proses Elektrokoagulasi Air limbah Industri Pangan

Industri pangan dalam melaksanakan kegiatannya bervariasi dalam proses, bahan baku serta bahan pembantu. Air limbah industri ini akan menyebabkan masalah karena mengandung karbohidrat, protein, lemak, garam-garam mineral dan sisa-sisa bahan kimia yang digunakan dalam pengolahan dan pembersihan. Untuk mengurangi pencemar di air limbah industri pangan dilakukan pengolahan tertier dengan elektrokoagulasi (Gameisaa M.W dkk, Juli 2012).

Proses elektrokoagulasi ini dilaksanakan dalam *batch* yang berskala 1 L untuk air limbah. Penelitian dilakukan dengan variabel bebas yaitu tegangan antara 9 -12 V dan waktu kontak elektrolisis antara 30, 45 dan 60 menit. Pengendalian dilakukan terhadap hasil elektrokoagulasi selama 30 menit supaya flok-flok yang terbentuk dapat dipisahkan. Berdasarkan penelitian terhadap proses elektrokoagulasi yang dilaksanakan 30 menit, maka pH meningkat menjadi 7,83; 7,94; 7,88; 7,84; 7,93 dengan tegangan 9, 12, 15, 18 dan 24 V. Selain itu ditunjukkan bahwa pH meningkat jika waktu kontak lebih lama yang dibuktikan dengan waktu kontak yang meningkat dari 45 menit menjadi 60 menit.

Efisiensi penghilangan tertinggi yang dicapai dari proses tersebut terhadap parameter TSS, kekeruhan, warna, konsentrasi fosfat dan COD masing-masing sebesar 88,02%, 78,65%, 77,49%, 100% dan 77,78%. Nilai tertinggi pH dari proses elektrogulasi 8,29. Efisiensi

penghilangan terbaik dengan tegangan 24 Volt dan waktu kontak 60 menit. Dari penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi tegangan dan waktu kontak maka kualitas akhir efluen menjadi semakin baik.

#### **4.5. Proses Elektrokogulasi Air limbah Penyamakan Kulit**

Industri penyamakan kulit banyak menggunakan bahan-bahan pembantu berupa bahan kimia dan air dalam proses produksinya. Air limbahnya mengandung krom total (Cr), *Total Suspended Solid* (TSS), amoniak, *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan *Biochemical Oxygen Demands* (BOD5). Secara fisik air Sungai Ciwalen berwarna kehitaman, berbau dan banyak limbah padat terlarut. Selain itu industri penyamakan kulit juga menghasilkan limbah berbagai bahan kimia berbahaya.

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Air Jurusan Teknik Lingkungan Itenas dengan pelaksanaan mengacu kepada metode yang berlaku. Tahap penelitian pendahuluan sampel limbah diambil dari industri penyamakan kulit PT. X sehingga didapat karakteristik eksisting dari limbah tersebut berupa parameter-parameter pencemar. Pada tahap penelitian utama akan dilakukan variasi waktu dan voltase dengan menggunakan air sampel limbah asli yang berasal dari industri penyamakan kulit PT. X di Sukaregang, Kabupaten Garut, Jawa Barat (Wardani E. dkk, 12 Juli 2012).

Pada penelitian yang telah dilakukan dengan voltase 3 Volt dengan waktu operasi 3 jam mampu menurunkan Cr, COD, BOD5 dan TSS masing-masing sebesar 99,19%, 96,06% , 88,20% dan 17,37%.

Hasil penelitian variasi voltase 2,5 volt dengan waktu operasi 3 jam, untuk kondisi optimum pada parameter BOD5 menunjukkan bahwa terjadi penurunan kadar BOD5 yang cukup tinggi dengan efisiensi penghilangan 96,58 %. Penelitian mengenai parameter COD yang telah dilakukan, hasil optimum yang didapat pada parameter ini terjadi pada voltase 3 volt dengan waktu operasi 3 jam dengan efisiensi penghilangan tertinggi yaitu 96,06%.

Berdasarkan hasil optimum penelitian utama, penurunan massa plat besi untuk variasi voltase 3 Volt menghasilkan arus 3,18 A dengan waktu operasi 3 jam (10.800 detik) dapat diketahui penurunan massa elektroda berdasarkan Hukum Faraday adalah sebanyak 4 kali pemakaian.

Proses pengolahan dengan elektrokoagulasi terhadap parameter TSS belum memenuhi baku mutu yang dipersyaratkan yaitu SK Gubernur TK 1 Jawa Barat No. 6 Tahun 1999 tentang Baku Mutu Limbah Cair Untuk Industri Penyamakan Kulit. Sehingga diperlukan pengolahan pendahuluan untuk menunjang proses elektrokoagulasi supaya dihasilkan kualitas air yang sesuai baku mutu yang disyaratkan. Berdasarkan hasil penelitian plat besi yang digunakan memiliki umur pakai sebanyak 4 kali berdasarkan perhitungan Hukum Faraday dengan kondisi optimum yang harus diperhatikan yaitu: voltase 3 Volt, waktu operasi 3 jam, dan penambahan NaCl ke dalam air limbah sebagai elektrolit support.

#### **4.6. Proses Elektrokogulasi Air limbah Laundry**

Air limbah laundry umumnya mengandung surfaktan dan bahan

organik yang cukup tinggi. Salah satu alternatif pengolahan yang dapat digunakan untuk mengolah air limbah *laundry* adalah elektrokoagulasi.

Pada penelitian dengan proses ini digunakan dua jenis konfigurasi elektroda pada reaktor elektrokoagulasi yaitu monopolar dan bipolar (Agustiningsih Ratna, 2014). Penelitian ini ditujukan untuk membandingkan antara kedua konfigurasi tersebut di dalam mengolah air limbah *laundry* dan mengetahui laju pelepasan ion aluminium pada kedua konfigurasi beserta distribusi spesies senyawa aluminium. Reaktor elektrokoagulasi dioperasikan secara *batch* dan kontinyu dengan menggunakan limbah dari jasa *laundry*. Elektroda yang digunakan adalah aluminium dengan kemurnian 99,7%. Variasi kerapatan arus yang digunakan adalah 50, 75 dan 100.A/m<sup>2</sup>.

Parameter yang diukur adalah surfaktan, COD, fosfat, kekeruhan, konduktivitas, pH dan suhu. Semua percobaan dilakukan pada suhu ruangan, yaitu sekitar 25° C. Metode Ferron digunakan untuk menentukan distribusi spesies senyawa aluminium pada proses elektrokoagulasi. Hasil percobaan menunjukkan bahwa untuk konfigurasi monopolar dan bipolar dengan waktu detensi 30 menit tingkat efisiensi penghilangan surfaktan mencapai 70%, COD dan fosfat mencapai 80%, sedangkan kekeruhan mencapai 98%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa konfigurasi monopolar tidak menunjukkan perbedaan dengan konfigurasi bipolar di dalam mengolah air limbah *laundry*.

#### **4.7. Proses Elektrokoagulasi Air limbah Methylen Blue Pulp dan Paper**

Industri kertas menghasilkan sejumlah air limbah yang

mengandung lignin dengan konsentrasi tinggi yang menyebabkan warna coklat dan nilai COD (*Chemical Oxygen Demand*) yang tinggi. Air limbah dari industri pulp dan kertas biasanya memiliki kandungan senyawa anorganik (seperti Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>S, NaOH dan NaCl) dan organik (seperti lignin, polisakarida, alkohol dan asam karboksilat) yang tinggi. Diantara berbagai kontaminan di atas, kandungan senyawa organik dan intensitas warna merupakan masalah yang paling besar. (Carter, 1996). Warna yang ada pada air limbah dari pabrik *pulp* dan kertas merupakan senyawa organik di alam dan terdiri dari ekstraktif kayu, resin tanin, pewarna sintesis, lignin dan produk degradasi yang terbentuk karena klorin pada lignin (Sakam, 1987).

Pada penelitian ini, dilakukan analisa spektrometri sinar tampak terhadap larutan model metilen biru dan air limbah industri pulp dan kertas. Sel elektrokoagulasi dirancang dengan elektroda aluminium. Dan aluminium dipotong menjadi tiga bagian lalu disusun secara paralel. Elektrokoagulasi ini dilakukan dengan sistem batch pada suhu kamar. Untuk mengetahui pengaruh variasi pH, waktu elektrolisis, konsentrasi NaCl, dan tegangan digunakan larutan model metilen biru (Agustiningsih Ratna, 2014).

Hasil analisa menunjukkan pada waktu elektrolisis 40 menit, pH larutan 6, konsentrasi NaCl 600 ppm, dan tegangan 15 V menghasilkan penghilangan warna larutan metilen biru hingga 96,55%. Sel elektrokoagulasi kemudian diaplikasikan pada pengolahan air limbah industri *pulp* dan kertas. Efisiensi penghilangan warna air limbah sebesar 91,31% dan COD sebesar 83,53% diperoleh pada waktu elektrolisis 40 menit, pH larutan 8, tegangan 2 V, dan

konsentrasi NaCl 600 ppm.

Percobaan elektrokoagulasi yang telah dirakit menunjukkan potensi untuk diimplementasikan pada pengolahan air limbah industri pulp dan kertas. Proses elektrokoagulasi terhadap larutan model metilen biru menghasilkan kondisi optimum pada waktu elektrolisis selama 40 menit, pH 6, konsentrasi NaCl sebesar 600 ppm, dan tegangan sebesar 15 V dengan presentase penghilangan warna sebesar 96,55%. Pada pengolahan terhadap air limbah, diperoleh efisiensi penghilangan warna air limbah sebesar 91,31% dan COD sebesar 83,53% dengan waktu elektrolisis 40 menit, pH larutan 8, tegangan 2 V dan konsentrasi NaCl 600 ppm.

## V. DISKUSI

Kebanyakan penelitian yang dilakukan dengan proses elektrokoagulasi menggunakan reaktor skala kecil laboratorium yaitu antara 450 – 5.000 ml yang dioperasikan dengan mode *batch*. Sistem ini dioperasikan secara kontinyu dan telah diteliti untuk di tingkatkan kapasitasnya. Dengan penelitian ini proses elektrokoagulasi diharapkan dapat lebih banyak diaplikasikan di masa datang.

Penelitian dengan elektrokoagulasi telah dilakukan hampir di seluruh daerah di Indonesia dan yang terutama banyak dilakukan di universitas atau lembaga pendidikan. Jumlah penelitian dengan proses elektrokoagulasi yang menggunakan sampel air limbah asli lebih banyak daripada sampel sintesis. Peminat yang menggunakan proses ini untuk mengolah air limbah kelihatannya makin meningkat. Air limbah yang merupakan limbah asli berasal dari industri batik daerah

Sidoarjo, sarung Samarinda, tekstil di Bandung kelapa sawit, pemotongan hewan, penyamakan kulit dan pencucian motor. Sedangkan air limbah yang merupakan limbah buatan atau sintesis berasal dari metylene blue pulp dan paper dan air limbah radio aktif.

Proses ini relatif layak digunakan, tidak terlalu mahal dan ramah lingkungan. Hampir semua penelitian ini menggunakan material elektroda yang berupa aluminium atau besi dengan komposisi yang berbeda, walaupun demikian hasil kinerjanya mirip. Dalam memilih material ini biaya pengolahan dan efisiensi bukan merupakan faktor penentu tetapi ada aspek lainnya yang perlu dipertimbangkan yaitu aspek teknis seperti pembentukan flok, warna air dan lain - lainnya. Jarak antara elektroda berfluktuasi antara 1- 2 cm; Namun, sebagian besar penelitian tidak disebutkan jarak elektrodanya. Suhu dan kecepatan pengadukan menyebabkan efek yang bervariasi pada efisiensi penghilangan pencemar dalam air limbah. Penggunaan lebih banyak elektroda lebih mempercepat terbentuknya flok-flok sehingga kinerja penghilangan polutan semakin lebih baik. Demikian juga waktu yang dibutuhkan untuk pengolahan limbah dengan jumlah elektroda lebih banyak akan memperpendek waktu proses elektrokoagulasi.

Proses elektrokoagulasi berfungsi dengan baik pada berbagai nilai pH, walaupun demikian proses optimal terjadi pada kisaran pH yang relatif sempit (tergantung pada bahan elektroda yang digunakan). Kisaran pH ini sebagian besar terjadi mendekati nilai-nilai pH netral. Dalam proses ini tidak dianalisa biaya perawatan dan konsumsi listrik pada proses elektrokoagulasi yang optimal.

Tabel 1. Efisiensi Penghilangan Polutan Dengan Proses Elektrokoagulasi

No	Sumber	Parameter	Kuat Arus (A)	Waktu kontak (menit)	Penghilangan (%)
1	Batik	TSS	2,5/1,5/0,5	180/100/20	90/50/10
		COD	2,5/1,5/0,5	180/20	83,33/60,61/22,2
		Warna	2,5	180/20	88,51
2	Air limbah radio katif	Pb	5	120 menit	99,16
		TSS	5	120 menit	80,24
No	Sumber	Parameter	Jarak elektroda (cm)	Waktu kontak (menit)	Penghilangan (%)
3	Sarung	Cr	1/1,5/2		64,61/28,53/56,51
		TDS	4/2	70/90	99,7277/97.1831
		Parameter	Tegangan (volt) /Al	Waktu kontak (menit)	Penghilangan (%)
		Cr	12/9/4,5	30	59,921/58,588/57,897
No	Sumber	Parameter	Tegangan (volt) /Al	Waktu kontak (menit)	Penghilangan (%)
4	Pangan	TSS	24/9	60/30	88,02/42,98
		Kekeruhan	24/9	60/30	77,47/9,04
		Warna	24/9	60/30	77,49/10,56
		Fosfat	24/9	60/30	100/84,5
		COD	24/9	60/30	78/9,83
5	Penyamakan Kulit	Cr	2/2,5/3	180	15,85/56,99/99.19
			2/2,5/3	120	10,17/29/84,11
		BOD5	2/2,5/3	180	94,81/96,58/88,20
			2/2,5/3	120	94,93/94,70/94,08
		COD	2/2,5/3	180	88,17/90,14/96.06
			2/2,5/3	120	80,28/90,14,94,08
TSS	2/2,5/3	180	45,50/38,42,19,55		
	2/2,5/3	120	40,2/49,33/19,55		
6	Methylen blue dan Pulp Paper	Warna metilen biru	15	40	96,55
		Warna	2	40	91,31
		COD			83,53
7	Laundry	Surfaktan	Kerapatan arus A/m <sup>2</sup> (Al 97%)		70
		COD	50-100		80
		Fosfat			80
		kekeruhan			98
8	Tekstil	TSS		15/30	76,2/80
		Kekeruhan		15/30	90,18/96,36
		COD		15/25	77,03/79,69
		BOD5		15/30	77,23/79,87

Hasil penelitian pada tabel 1 menunjukkan bahwa nilai efisiensi penghilangan TSS tinggi, sebagian besar melebihi 80% hanya efisiensi penghilangan air limbah penyamakan kulit yang lebih kecil yaitu 17%. Penghilangan TSS makin rendah jika waktu kontak proses ini makin kecil dan ini terlihat pada penghilangan TSS dalam air limbah industri batik sebesar 10%. Tetapi Penghilangan BOD5 dalam air limbah penyamakan kulit cukup besar yaitu 88,2% dan untuk tekstil lebih besar dari 77%. Penghilangan parameter COD rata-rata cukup tinggi hampir mendekati 80%. Nilai penghilangan COD makin besar dengan makin bertambahnya waktu proses elektrokoagulasi. Efisiensi Penghilangan kekeruhan juga cukup besar dengan proses ini yaitu rata-rata lebih besar dari 77%.

Kuat arus yang digunakan pada proses elektrokoagulasi juga menentukan kinerja penghilangan polutan pada industri batik dan pengolahan air limbah, yaitu makin besar kuat arus makin besar efisiensi Penghilangan TSS, COD dan BOD5. Selain itu tegangan listrik mempengaruhi efisiensi penghilangan, kondisi ini terjadi dalam pengolahan Cr dari air limbah radio aktif dan industri sarung. Tegangan listrik makin tinggi dan waktu proses makin lama menyebabkan meningkatnya efisiensi penghilangan pada Cr, BOD dan COD pada air limbah penyamakan kulit. Tetapi meningkatnya tegangan listrik dan waktu proses makin lama menyebabkan menurunnya efisiensi penghilangan TSS.

## VI. KESIMPULAN

Penelitian proses elektrokoagulasi untuk pengolahan air limbah industri telah berkembang pesat di Indonesia. Penelitian yang

dibahas dalam proses ini dapat menghasilkan efisiensi penghilangan polutan yang optimum dalam kisaran waktu 40 – 180 menit. Arus listrik dilakukan pada 0,5 – 5 A dan tegangan yang digunakan sekitar 2 – 24 volt. Meskipun proses elektrokoagulasi di kebanyakan penelitian, berbagai nilai pH tampaknya berfungsi dengan baik, tetapi pH optimum terjadi dalam kisaran pH kecil. Kisaran pH ini sebagian besar ditemukan dekat dengan nilai pH netral.

Efisiensi penghilangan polutan dalam proses ini yang tergantung atas beberapa faktor diantaranya waktu, kuat arus, tegangan, jarak dan jenis elektroda, pH. Sehingga dapat disimpulkan bahwa proses elektrokoagulasi memiliki potensi besar dalam pengolahan berbagai jenis air limbah dan menjadi alternatif yang layak serta ekonomis dalam pengolahan air limbah. Meskipun demikian diperlukan penelitian lebih lanjut, terutama untuk diterapkan pada skala yang lebih besar.

## DAFTAR PUSTAKA

- Susetyaningsih R dkk., 25-26 Agustus 2008, *Kajian Proses Elektrokoagulasi Untuk Pengolahan Air limbah*, Sekolah Tinggi Teknik Lingkungan, YLH – Yogyakarta. Dalam Seminar Nasional IV, SDM Teknologi Nuklir Yogyakarta, ISSN 1978-0176.
- Djajadiningrat, Asiz, H, 2004, *Pengolahan Limbah Cair Tanpa Bahan Kimia*, ITB, Bandung.
- Karti Putero, S. H, dkk. 2008, *Pengaruh Tegangan dan Waktu pada Pengolahan Limbah Radioaktif yang Mengandung Sr-90 Menggunakan Metode Elektrokoagulasi*. Dalam Prosiding Seminar Nasional ke-14 Teknologi dan Keselamatan PLTN Serta Fasilitas Nuklir ISSN : 0854 – 2910 Bandung, 5 Nopember 2008.

- Lestari N D. dan Agung T., 2012, *Penurunan TSS Dan Warna Limbah Industri Batik Secara Elektro Koagulasi*, Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan Vol. 6 No.1.
- P Bambang Hari dan Harsanti Mining, 26 Januari 2010, *Pengolahan Air limbah Tekstil Menggunakan Proses Elektrokoagulasi Dengan Sel Al – Al*, Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia “Kejuangan” Pengembangan Teknologi Kimia untuk Pengolahan Sumber Daya Alam Indonesia, ISSN 1693 – 4393.
- Ika Yulianti dkk., 2015, *Penurunan Kadar Ion Logam Kromium Pada Limbah Industri Sarung Samarinda Dengan Menggunakan Metode Elektrokoagulasi*, Jurnal Kimia Mulawarman Volume 13, Nomor 1 November 2015, Kimia Fmipa Unmul, ISSN 1693-5616, E-ISSN 2476-9258
- Purwaningsih, I. 2008, *Pengolahan Air limbah Industri Batik CV. Batik Indah Raradjonggrang Yogyakarta Dengan Metode Elektrokoagulasi Ditinjau Dari Parameter Chemical Oxygen Demand (COD) dan Warna*, Tugas Akhir Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Lingkungan, UII, Yogyakarta.
- Ardhani Fitri dkk, 2008, *Penanganan Air limbah Rumah Pematangan Hewan Dengan Metode Elektrokoagulasi*, "Seminar Tugas Akhir S1 Teknik Kimia UNDIP 2009", Jurusan Teknik Kimia UNDIP. (Unpublished)
- Gameisaa M.W dkk, Juli 2012, *Pengolahan Tersier Air limbah Industri Pangan Dengan Teknik Elektrokoagulasi Menggunakan Elektroda Stainless Steel*, E-Jurnal Agroindustri Indonesia, Vol. 1No.1, p 31-37, ISSN:2252 – 3324.
- Dewi Ratna dkk., *Penyisihan COD Air limbah PKS Dengan Metode Elektrokoagulasi*, 2009, Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Lhokseumawe.
- Wardani E. Dkk., 12 Juli 2012, *Penerapan Metode Elektrokoagulasi Dalam Pengolahan Air Limbah Industri Penyamakan Kulit*, Seminar Ilmiah Nasional, Penelitian Masalah Lingkungan Di Indonesia ,Kampus Universitas Gadjah Mada.
- Hudori., 2008, *Pengolahan Limbah Laundry dengan Menggunakan Elektrokoagulasi*. Tugas Akhir, Institut Teknologi Bandung.
- Agustiniingsih Ratna, 2014, *Aplikasi Metode Elektrokoagulasi Pada Penghilangan Warna Metilen Biru dan Air limbah Industri Pulp Dan Kertas*. Skripsi Diajukan Untuk Memenuhi Sebagian Dari Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Sains Jurusan Pendidikan Kimia Program Studi Kimia, Universitas Pendidikan Indonesia.
- Carter H.A., 1996, *The Chemistry of Paper Preservation : Part 2. The Yellowing of Paper and Conservation Bleaching*, *Journal of Chemical Education*. 73 (11), 1068
- Sakam N. M., 1987, *Industrial Effluent, origin characteristic, Effect Analysis and Treatment*, Sakthi. Publication, India.

