

KINERJA ELEKTROKOAGULASI SEBAGAI PENGOLAHAN ALTERNATIF LIMBAH CAIR TINJA

Ainul Zurroh dan Tuhu Agung R

Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur

Email: ukie.ainulza@gmail.com

ABSTRAK

Elektrokoagulasi adalah proses destabilisasi suspensi, emulsi, dan larutan yang mengandung kontaminan dengan cara mengalirkan arus listrik melalui air menyebabkan terbentuknya flok yang mudah dipisahkan. Penelitian ini digunakan untuk mengolah limbah cair tinja dengan menggunakan metode elektrokoagulasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efisiensi penyisihan Total Suspended Solids (TSS) yang terkandung dalam limbah cair tinja. Kemampuan penyisihan TSS dengan variabel perlakuan antara lain tegangan sebesar 3, 5, 7, 10, dan 12 volt; waktu kontak masing-masing 5, 15, 30, 60, dan 120 menit; jarak masing-masing 3 cm, 6 cm, 9 cm, 12 cm, dan 15 cm; dan luas penampang elektroda 4,5 x 20 cm, 2(4,5 x 20 cm), dan 3(4,5 x 20 cm). Hasil terbaik dari hasil penelitian ini diperoleh dengan variabel tegangan 3 volt, waktu kontak 60 menit, jarak 3 cm, dan luas penampang elektroda 3(4,5 x 20 cm) didapat efisiensi penyisihan TSS 98,2%.

Kata kunci: elektrokoagulasi, limbah cair tinja, Total Suspended Solids (TSS)

ABSTRACT

Electrocoagulation is the process of destabilization suspensions, emulsions, and solution containing contaminants by flowing electric current through water causes the formation of flok that could be easily separated. This research is used to process black water by using electrocoagulation. This study aims to determine the removal efficiency of Total Suspended Solids (TSS) contained in the fecal liquid waste. TSS allowance with treatment variables like voltage by 3, 5, 7, 10, and 12 volts; contact time respectively 5, 15, 30, 60, and 120 minutes; distance respectively 3 cm, 6 cm, 9 cm, 12 cm, and 15 cm; and electrode cross section 4,5 x 20 cm, 2(4,5 x 20 cm), and 3(4,5 x 20 cm). The best result from this research is found in the variables combination of 3 volt, 60 minutes contact time, 3 cm distance respectively, and 3(4,5 x 20 cm) electrode cross section, obtaining TSS removal efficiency of 98,2%.

Keywords: electrocoagulation, black water, Total Suspended Solids (TSS)

PENDAHULUAN

Seiring bertambahnya kepadatan penduduk Indonesia tentunya hasil buangan berupa tinja semakin meningkat. Tinja dan urin manusia tergolong bahan organik merupakan hasil sisa pembusukan dan penyerapan dari sistem pencernaan. Berdasarkan kapasitas manusia dewasa rata-rata hasil tinja 0,20 kg/hari/jiwa. Di Kabupaten Sidoarjo sudah melakukan suatu upaya penanggulangan pencemaran tinja dengan mengolahnya di pengolahan lumpur tinja terpusat sesuai dengan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum nomor 16 tahun 2008 tentang Kebijakan dan Strategi Nasional Pengembangan Sistem Pengelolaan Air Limbah Permukiman. Permasalahan yang terjadi di IPLT Kabupaten Sidoarjo yaitu TSS (*Total Suspended Solid*) yang semakin meningkat sebesar 1140 mg/l. Kandungan pada tinja antara lain mikroba seperti (bakteri *e-coli*-tinja, bakteri *salmonela typhi*, dll), kandungan bahan organik (BOD_5), telur cacing, nutrisi antara lain senyawa nitrogen (N) dan fosfor (P). Pengertian mengenai pencemaran air menurut Undang-Undang Lingkungan Hidup Bab 1 Pasal 1 ayat 7 sudah dijelaskan.

Pelaksanaan perbaikan sanitasi sudah berjalan dengan adanya Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) sebagai pengolahan limbah kotoran manusia sudah diterapkan di setiap kota yang diselenggarakan oleh Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia (PUPR). Berbagai pengolahan yang umum dilakukan pada limbah lumpur tinja yaitu pengendapan, aerobik, dan anaerobik. Dalam penelitian kali ini mencoba untuk menerapkan metode elektrokoagulasi sebagai salah satu alternatif untuk mengoptimalkan removal TSS pada limbah cair tinja. Penelitian sebelumnya dengan menggunakan metode elektrokoagulasi oleh Novianti (2014) dengan judul "Pengolahan Limbah Cair Industri Batik dengan Elektrokoagulasi" diperoleh penyisihan terbaik sebesar 90% dengan peubah waktu 180 menit dan kuat arus 2,5 ampere. Elektrokoagulasi adalah suatu proses koagulasi dengan menggunakan arus listrik searah melalui peristiwa elektrokimia yaitu gejala dekomposisi elektrolit yang digunakan untuk mengolah air limbah.

METODE PENELITIAN

Bak elektrokoagulasi dibuat dengan ukuran panjang 50 cm, lebar 30 cm, dan tinggi 30 cm. Bak ini dibuat dari kaca dengan tebal 0,5 cm. Elektroda terdiri dari sepasang aluminium, dua pasang aluminium dan tiga pasang aluminium masing-masing berukuran lebar 10 cm dan panjang 20 cm dengan ketebalan 0,1 cm. Elektroda dialiri arus listrik searah dan disusun secara paralel.

Dalam penelitian ini dilakukan variasi tegangan 3 volt, 5 volt, 7 volt, 10 volt dan 12 volt. Waktu kontak 5 menit, 15 menit, 30 menit, 60 menit dan 120 menit. Jarak elektroda 3 cm, 6 cm, 9 cm, 12 cm, dan 15 cm. Luas penampang elektroda 4,5 x 20 cm, 2(4,5 x 20 cm), 3(4,5 x 20 cm).

Limbah yang digunakan dalam percobaan ini adalah limbah cair tinja yang berasal dari bak pengumpul di Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) Kabupaten Sidoarjo. Parameter yang diuji meliputi *Total Suspended Solid* (TSS), pH, dan suhu. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu batch.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Tegangan, Waktu Kontak, Luas Penampang (3 (4,5 x 20 cm)), dan Jarak Elektroda (3 cm) Terhadap % Penyisihan TSS

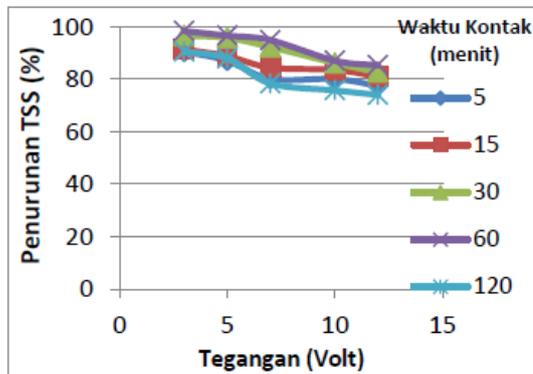
Luas penampang elektroda yang tercelup pada air limbah di dalam reaktor yaitu 4,5 x 20 cm dengan jarak yang bervariasi. Luas elektroda yang tercelup sangat mempengaruhi proses penurunan *Total Suspended Solid* (TSS) dan penurunan polutan lain. Semakin luas elektroda maka semakin bagus proses pengolahan pada air limbah cair tinja Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) karena luas penampang elektroda bisa mereduksi keseluruhan air limbah pada reaktor.

Tabel -1: Pengaruh Tegangan, Waktu Kontak, Luas Penampang (3 (4,5 x 20 cm)), dan Jarak Elektroda (3 cm) Terhadap % Penyisihan TSS

Waktu (menit)	Tegangan (volt)				
	3	5	7	10	12
5	90,4	86,9	80	80	77,3
15	91,3	88,6	84,3	83,3	80,8
30	96,5	95,6	92,1	86	82,6
60	98,2	96,5	94,7	86,9	85,2

Waktu (menit)	Tegangan (volt)				
	3	5	7	10	12
120	90,4	87,8	78,2	75,6	73,9

Sumber: Hasil Analisa, 2018



Grafik -1: Hubungan Antara % Penurunan *Total Suspended Solids* (TSS) dengan Tegangan pada Berbagai Waktu Kontak dan Luas Penampang Elektroda (3 (4,5 x 20 cm))

Dari grafik 1 menunjukkan bahwa tegangan terhadap penyisihan *Total Suspended Solid* (TSS) pada berbagai waktu kontak dan luas penampang elektroda hasil dari proses elektrokoagulasi, dapat dilihat dari tabel 1 bahwa hasil terbaik dari kombinasi waktu kontak dan tegangan pada grafik 1 yaitu elektroda dengan luas penampang 3 (4,5 x 20 m). Dapat dilihat bahwa penyisihan *Total Suspended Solid* (TSS) tertinggi ditunjukkan pada tegangan sebesar 3 volt dengan waktu kontak 60 menit yaitu sebesar 98,2% dari *Total Suspended Solids* (TSS) awal dengan jarak elektroda 3 cm sedangkan penyisihan terendah ditunjukkan pada tegangan 12 volt dengan waktu kontak 120 menit yaitu sebesar 73,9% dari TSS awal. Hal ini terjadi karena semakin luas penampang elektroda maka penurunan *Total Suspended Solid* (TSS) lebih banyak dan lebih cepat waktu yang dibutuhkan. Pada proses elektrokoagulasi terjadi suatu proses elektrokimia dimana peristiwa tersebut merusak elektroda sehingga menghasilkan gas hidrogen dimana gas hidrogen tersebut mengikat partikel dalam air limbah, jadi semakin banyak gas hidrogen dihasilkan maka semakin banyak polutan dalam limbah yang terdegradasi. Pada kondisi proses yang sama penggunaan tiga pasang elektroda lebih tinggi efisiensinya dibanding

dua pasang elektroda (Susanto dalam Puji, 2017).

Kenaikan persentase penyisihan *Total Suspended Solids* (TSS) yang signifikan dari tegangan 3 volt. Hal ini disebabkan karena partikel-partikel yang terkandung dalam air limbah organik umumnya bermuatan negatif karena muatan yang sejenis terjadi gaya tolak menolak antarpartikel yang menyebabkan partikel dalam keadaan stabil. Pada saat elektrokoagulasi, ion positif dan negatif yang dihasilkan oleh elektroda yang umumnya terbuat dari logam seperti aluminium akan mendestabilisasikan partikel-partikel yang ada dalam air limbah (Andik Yulianto, 2009).

Pengaruh Tegangan, Luas Penampang Elektroda, Waktu Kontak (30 menit), dan Jarak Elektroda (3 cm) Terhadap % Penyisihan *Total Suspended Solids* (TSS)

Pengaruh waktu kontak juga merupakan salah satu parameter yang cukup penting dalam proses elektrokoagulasi. Pengaruh waktu kontak terhadap proses elektrokoagulasi, beberapa percobaan dilakukan dengan waktu kontak yang berbeda, yakni 5, 15, 30, 60, dan 120 menit. Seluruh percobaan dilakukan dengan menggunakan potensial bervariasi yaitu 3, 5, 7, 10, dan 12 volt. Limbah cair tinja yang digunakan memiliki kandungan TSS 420 mg/l. Analisis *Total Suspended Solids* (TSS) menggunakan metode gravimetri yaitu penyaringan dengan kertas saring dan kemudian ditimbang agar diketahui berat padatan tersuspensi sebelum dan sesudah diproses.

Dalam proses elektrokoagulasi sangat berpengaruh pada besarnya tegangan dan waktu kontak. Semakin besar tegangan, kuat arus, dan waktu kontak maka penurunan atau penyisihan kandungan dalam limbah akan semakin besar juga. Hal ini diperkuat dengan persamaan Hukum Ohm sederhana berikut (Riyanto, 2013):

$$V = I \times R \tag{1}$$

dimana:

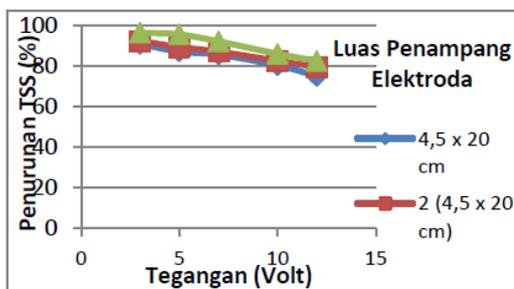
- V : tegangan (volt)
- I : kuat arus (ampere)
- R : hambatan (ohm)

Dari persamaan di atas dapat dilihat bahwa tegangan berbanding lurus dengan arus, maka jika tegangan diperbesar maka arus yang mengalir ke elektroda juga semakin besar. Teori tersebut juga diperkuat dengan Hukum Faraday I yang menyatakan bahwa “massa zat yang dihasilkan di elektroda selama proses elektrolisis berbanding lurus dengan banyaknya mol elektron (kuantitas kelistrikan yang diberikan ke elektroda”. Hal ini ditunjukkan pada tabel 2 hubungan antara waktu kontak dan tegangan dengan persentase penyisihan TSS sebagai berikut:

Tabel -2: Pengaruh Tegangan, Luas Penampang Waktu Kontak (30 menit), dan Jarak Elektroda (3 cm) Terhadap % Penyisihan *Total Suspended Solids* (TSS)

Tegangan	Luas Penampang Elektroda		
	4,5 x 20 cm	2 (4,5 x 20 cm)	3 (4,5 x 20 cm)
3	90,9	92,4	95,5
5	87,1	89,4	95,6
7	85,6	87,1	92,1
10	80,3	82,6	86
12	75	79,6	82,6

Sumber: Hasil Analisa, 2018



Grafik -2: Penurunan TSS dengan Tegangan (volt) pada Berbagai Luas Penampang (cm), Waktu kontak (30 menit), dan Jarak Elektroda (3cm)

Dari grafik 2 dan tabel 2 menunjukkan bahwa pengaruh tegangan dengan waktu kontak 30 menit dengan luas penampang 4,5 x 20 cm, 2 (4,5 x 20 cm), 3 (4,5 x 20 cm) pada penyisihan *Total Suspended Solid* (TSS) terbesar ditunjukkan pada tegangan 3 volt dengan luas penampang 3 (4,5 x 20 cm). Peristiwa ini terjadi karena pada saat tegangan 3 volt yang paling mengontrol yaitu peristiwa elektrokoagulasi dan saat tegangan semakin tinggi peristiwa yang mengontrol yaitu elektrokimia dan elektrolisa. Pada kondisi

tegangan semakin tinggi penyisihan *Total Suspended Solids* (TSS) semakin rendah diakibatkan pengambilan sampel pada tegangan tersebut flok sudah pecah karena gas hidrogen keluar dari dalam air limbah sehingga menembus flok yang mengakibatkan bahan organik terlarut kembali. Hal ini berhubungan dengan penelitian sebelumnya yaitu besarnya kuat arus dan tegangan listrik yang diberikan pada saat proses elektrokoagulasi berlangsung, semakin besar kuat arus yang diberikan semakin banyak pula flok yang dihasilkan yang dapat mengikat kontaminan yang terdapat pada air limbah (Setianingrum, Novie Putri, dkk., 2016).

Pengaruh luas penampang elektroda pada berbagai tegangan dan dan waktu kontak 30 menit yaitu pada tegangan 3 volt dengan persentase penurunan *Total Suspended Solids* (TSS) sebesar 96,5% dan ditunjukkan dengan persentase terendah pada tegangan 12 volt yaitu 75%. Hal ini terjadi karena pengaruh luas penampang pada tegangan yang besar maka semakin cepat proses pengikatan polutan pada air limbah. Semakin cepat prosesnya maka pada waktu kontak yang lama dan tegangan yang besar akan mengakibatkan semakin banyaknya bahan organik yang terurai kembali pada air limbah cair tinja tersebut. Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Novianti, 2014), penyisihan *Total Suspended Solids* (TSS) dengan metode elektrokoagulasi menggunakan enam plat aluminium diperoleh penyisihan terbaik sebesar 90% dengan peubah waktu 180 menit dan kuat arus 2,5 ampere.

Pengaruh Waktu Kontak dan Jarak Elektroda pada Tegangan 5 Volt Terhadap % Penyisihan *Total Suspended Solids* (TSS)

Proses elektrokoagulasi dengan menggunakan variasi jarak elektroda 3 cm, 6 cm, 9 m, 12 cm, dan 15 cm dengan menggunakan sepasang elektroda dan tegangan yang digunakan adalah 3 volt, 5 volt, 7 volt, 10 volt, dan 12 volt. Proses ini dilakukan di dalam reaktor dengan ukuran 50 cm x 30 cm x 30 cm dengan metode sistem *batch* tanpa pengadukan. Elektroda yang digunakan adalah aluminium dengan ukuran 10 x 20 cm.

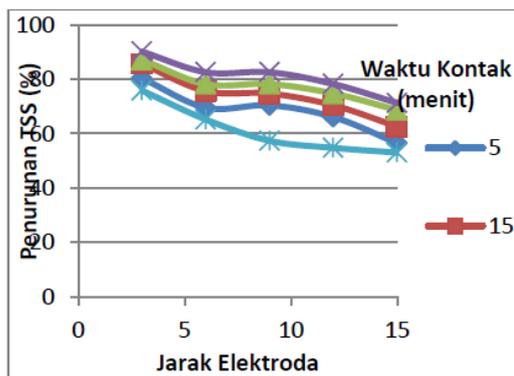
Salah satu faktor yang dapat mempengaruhi proses elektrokoagulasi adalah jarak antar elektroda. Jarak elektroda akan mempengaruhi besarnya hambatan elektrolit karena semakin besar jaraknya maka semakin besar hambatannya sehingga semakin kecil arus yang mengalir. Arus yang kecil menyebabkan reaksi yang terjadi tidak maksimal karena jumlah Al^{3+} menjadi sedikit sehingga polutan yang terendapkan pun juga semakin sedikit (Siringi-ringo, Elfridawati, 2013).

Data hasil penelitian penyisihan *Total Suspended Solids* (TSS) pada limbah cair tinja setelah melalui proses elektrokoagulasi dengan volume 5 liter dengan jarak yang bervariasi ditunjukkan pada tabel 3 dan grafik 3 sebagai berikut:

Tabel -3: Pengaruh Waktu Kontak, Jarak Elektroda, dan Tegangan 5 Volt Terhadap % Penyisihan *Total Suspended Solids* (TSS)

Waktu	Jarak elektroda (cm)				
	3	6	9	12	15
5	80,3	69,5	70,4	66	56,5
15	85,6	75,6	74,7	70,4	62,6
30	87,1	78,2	78,2	74,7	68,6
60	90,1	82,6	82,6	78,2	71,3
120	75,8	65,2	57,3	76,5	62,6

Sumber: Hasil Analisa, 2018



Grafik -3: Hubungan Antara Waktu Kontak dan Tegangan 5 Volt Terhadap % Penyisihan *Total Suspended Solids* (TSS) pada Berbagai Jarak Elektroda

Dari grafik 3 menunjukkan bahwa pengaruh jarak terhadap penyisihan *Total Suspended Solids* (TSS) pada proses elektrokoagulasi dengan tegangan 5 volt yaitu semakin besar jarak maka semakin besar hambatannya dan

penyisihan *Total Suspended Solids* (TSS) juga semakin sedikit. Ditunjukkan pada jarak elektroda 15 cm dengan persentase penurunan 56,5% pada waktu 5 menit dimana jarak antara anoda dan katoda sangat jauh sehingga saat proses berlangsung gas hidrogen dalam air limbah juga sangat sedikit dalam kurun waktu selama 120 menit dan di jarak tersebut sangat tidak efisien untuk menurunkan *Total Suspended Solids* (TSS). Semakin dekat jarak antar elektroda maka penurunan konsentrasi *Total Suspended Solids* (TSS) semakin besar dan semakin jauh jarak antar elektroda maka lintasan perputaran arus listrik semakin sedikit sehingga efisiensi proses penurunan konsentrasi *Total Suspended Solids* (TSS) yang terjadi semakin kecil (Setianingrum, Novie Putri, 2016).

Pengaruh waktu kontak terhadap jarak elektroda pada persentase penyisihan *Total Suspended Solids* (TSS) tertinggi yaitu 90,1% dengan jarak elektroda 3 cm. Hal ini terjadi karena jarak antarplat elektroda sangat berpengaruh pada proses penurunan konsentrasi *Total Suspended Solids* (TSS). Semakin dekat jarak antar elektroda maka penurunan *Total Suspended Solids* (TSS) lebih besar sehingga dapat dikatakan penggunaan jarak antar elektroda yang berbeda mempunyai pengaruh terhadap penurunan konsentrasi *Total Suspended Solids* (TSS). Pada penelitian Andik Yulianto (2009), efisiensi yang terjadi pada tegangan 12 volt dengan jarak elektroda 3 cm didapatkan sebesar 33% sedangkan untuk efisiensi pada tegangan 25 volt dengan jarak antar elektroda yang sama terjadi peningkatan yaitu sebesar 54%. Dengan kuat arus yang sama yaitu 1 ampere dengan tegangan sebesar 12 volt dengan jarak elektroda 1,5 cm menunjukkan tingkat efisiensi yang lebih besar dari pada jarak sebelumnya yakni meningkat menjadi 59%.

Pengaruh Tegangan dan Waktu Kontak Terhadap Kenaikan pH

Pada saat proses elektrokoagulasi terjadi perubahan pH (kadar keasaman). Pada analisis awal pH limbah cair tinja sebesar 7 setelah proses elektrokoagulasi, pH mengalami kenaikan seiring dengan lamanya waktu kontak. Perubahan pH disebabkan oleh

karena terjadinya proses elektrolisis air yang menghasilkan gas hidrogen dan ion hidroksida. Semakin lama waktu kontak maka semakin cepat pembentukan gas hidrogen dan ion hidroksida. Apabila ion hidroksida yang dihasilkan lebih banyak maka akan menaikkan pH. Hal ini dapat ditunjukkan pada tabel 4 pengaruh tegangan dan waktu kontak terhadap pH pada proses elektrokoagulasi:

Tabel -4: Pengaruh Tegangan dan Waktu Kontak Terhadap pH

Waktu (menit)	Jarak Elektroda (cm)				
	3	5	7	10	12
5	7	7,2	7,7	7,1	7,3
15	7,4	7,4	7,5	7,8	7,3
30	7,5	7,9	8,3	8,3	7,9
60	7,9	8,2	8,5	8,4	8
120	8,4	8,6	8,7	8,9	8,4

Sumber: Hasil Analisa, 2018

KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini adalah:

1. Elektrokoagulasi dapat menurunkan kandungan *Total Suspended Solids* (TSS) pada limbah cair tinja Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) Sidoarjo dengan penyisihan maksimum 98,2%.
2. Peubah yang berpengaruh pada proses elektrokoagulasi adalah waktu, jarak, tegangan, dan luas penampang elektroda. Seluruh peubah yang dikerjakan menjadi faktor yang penting pada proses elektrokoagulasi.
3. Pengaruh tegangan, dan waktu kontak, pada luas penampang (3 (4,5 x 20 cm) diperoleh penyisihan *Total Suspended Solids* (TSS) sebesar 98,2%.
4. Pengaruh tegangan dan luas penampang elektroda pada waktu kontak (30 menit) diperoleh Penyisihan *Total Suspended Solids* (TSS) sebesar 96,5%.
5. Pengaruh waktu kontak dan jarak elektroda pada tegangan 5 volt diperoleh penyisihan *Total Suspended Solids* (TSS) sebesar 90,1%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Saya ucapkan terimakasih sebanyak-banyaknya kepada seluruh dosen yang membantu memberikan masukan dan saran pada skripsi saya serta segala pihak yang bersangkutan dalam penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Gunawan, Dwi Ananda. (2017). Elektrokoagulasi Menggunakan Aluminium Sebagai Pretreatment pada Mikrofiltrasi Air Permukaan yang Mengandung NOM. *Jurnal Teknik Kimia Insitut Teknologi Bandung*.
- Lestari, Dwi Novianti. (2014). *Pengolahan Limbah Cair Industri Batik dengan Elektrokoagulasi*. Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur. Surabaya.
- Lestari, Puji, dkk. (2017). Efektifitas Jumlah Pasangan Elektroda Aluminium pada Proses Elektrokoagulasi Terhadap Penurunan Kadar Fosfat Limbah Cair Laundry. *JKL Poltekkes Kemenkes Yogyakarta*, 9(1)
- Lirrey, Ferdinand Jesaya. (2010). *Pengolahan Limbah Cair Industri Pembekuan Menggunakan Teknologi Plasma*. Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur. Surabaya.
- Metcalf dan Eddy. (2004). *Wastewater Engineering Treatment Disposal Reuse*. Fourth Edition. McGraw-Hill Inc. New York, St. Fransisco, Auckland.
- Mollah, M. Y. A. Schennach., R. Parga J. R. (2001). Electrocoagulation (EC)-Science and Aplication. *Journal of Hazardous Material*.
- Prasmono, Bayu. (2010). *Pengolahan Air Limbah Cold Storage Menggunakan Proses Elektrokoagulasi*. Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur. Surabaya.
- Rachmawati, B., Surya, Y. P., dan Mirwan, M. (2014). Proses Elektrokoagulasi Pengolahan Limbah Laundry. *Jurnal Ilmiah TEKLING*,(6)1.
- Riyanto. (2013). *Elektrokimia dan aplikasinya*. Edisi Pertama. Graha Ilmu. Yogyakarta.

- Sariadi. (2013). *Pengolahan Limbah Kopi dengan Metode Elektrokoagulasi Secara Batch*. Politeknik Negeri Lhokseumawe
- Setianingrum, Novie Putri., dkk. (2016). Pengaruh Tegangan dan Jarak Antar Elektroda Terhadap Pewarna Remazol Red RB dengan Metode Elektrokoagulasi. *Jurusan Teknik Kimia Universitas Gajah Mada Yogyakarta*, 1(2)
- Siringi-ringo, Elfridawati. (2013). Penggunaan Metode Elektrokoagulasi pada Pengolahan Limbah Industri Penyamakan Kulit Menggunakan Alumunium Sebagai Sacrificial Electrode. *Jurusan Pendidikan Kimia Universitas Pendidikan Indonesia*, 4(2)
- Sutanto, Widjajanto., dkk. (2011). Penurunan Kadar Logam dan Kekeruhan Air Limbah Menggunakan Proses Elektrokoagulasi. *Jurnal Ilmiah Elektro Politeknik Negeri Jakarta*, 2(1)
- Wiratini, Ni Made, dkk. (2016). Dampak Rangkaian Sel Elektroda Al-C dalam Elektrokimia untuk Mendegradasi Limbah Tekstil. *Jurusan Pendidikan Kimia Universitas Diponegoro*, 16(2).
- Yesicha, Fitria. (2016). *Penyisihan TSS dan Warna pada Limbah Batik dengan Metode Elektrokoagulasi*. Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik UPN “Veteran” Jawa Timur. Surabaya
- Yulianto, Andik, dkk. (2009). Pengolahan Limbah Cair Industri Batik pada Skala Laboratorium dengan Menggunakan Metode Elektrokoagulasi. *Jurusan Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia*, 5(1)