

ELEKTROKOAGULASI LIMBAH CAIR INDUSTRI KERTAS MENGUNAKAN ELEKTRODA AL-AL

Herlena Ary Safitri¹, Arum Muliandari², Asrina Asfarina³, Riyanto⁴

^{1,2,3,4}Prodi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Islam
Indonesia
Yogyakarta

ABSTRAK

Pengolahan limbah cair oleh industri kertas umumnya menggunakan bahan-bahan kimia yang cenderung dapat menimbulkan permasalahan lingkungan. Disisi lain, industri kertas membutuhkan air dalam kapasitas besar dan peraturan lingkungan tentang persyaratan pembuangan air limbah yang berlalu semakin ketat. Oleh karena itu, untuk mengatasi permasalahan lingkungan tersebut diperlukan teknik pengolahan limbah cair industri kertas, yaitu menggunakan metode elektrokoagulasi dengan elektroda Al-Al. Penelitian ini bertujuan untuk menurunkan konsentrasi Chemical Oxygen Demand (COD) pada limbah cair industri kertas menggunakan metode elektrokoagulasi dengan elektroda Al-Al. Elektroda Aluminium (Al) dikarakterisasi dengan menggunakan SEM-EDX. Proses elektrokoagulasi dilakukan variasi tegangan, dan waktu elektrokoagulasi. Larutan sampel hasil elektrokoagulasi dianalisis dengan menggunakan Spektrofotometer UV-Vis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada proses elektrokoagulasi terhadap limbah cair industri kertas diperoleh kondisi optimum pada tegangan 13 V, dan waktu elektrokoagulasi 80 menit dengan konsentrasi Chemical Oxygen Demand (COD) masing-masing sebesar 1015 mg/L dan 4320 mg/L, dan presentase penurunan konsentrasi Chemical Oxygen Demand (COD) masing-masing sebesar 92,95% dan 69,98%.

Kata Kunci: elektrokoagulasi, aluminium, COD, SEM-EDX

ABSTRACT

Waste water treatment by the paper industry generally uses chemicals that tend to cause environmental problems. On the other hand, the paper industry needs large capacity water and environmental regulations regarding the requirements for disposal of wastewater that pass increasingly stringent. Therefore, to overcome these environmental problems, it is needed a technique for processing waste paper industry, which uses the electrocoagulation method with al-al electrodes. This study aims to reduce the concentration of chemical oxygen demand (cod) in paper industry liquid waste using the electrocoagulation method with al-al electrodes. Aluminum (al) electrodes were characterized using sem-edx. Electrocoagulation process is carried out variations in voltage, and electrocoagulation time. Electrocoagulation sample solution was analyzed using uv-vis spectrophotometer. The results showed that the electrocoagulation process of paper industry wastewater was obtained optimum conditions at a voltage of 13 v, and electrocoagulation time of 80 minutes with a concentration of chemical oxygen demand (cod) respectively of 1015 mg / l and 4320 mg / l, and the percentage decreased the concentration of chemical oxygen demand (cod) was 92.95% and 69.98%, respectively.

Keywords: elektrokoagulasi, aluminium, COD, SEM-EDX

1. PENDAHULUAN

Menurut Kementerian Perindustrian (2016), Indonesia merupakan produsen kertas yang menempati peringkat ke-6 dan untuk industri *pulp* peringkat ke-9 di dunia. Industri *pulp* dan kertas termasuk dalam industri kimia dan merupakan salah satu industri yang banyak membutuhkan air sebagai bahan pembantu dalam proses. Karena banyaknya kebutuhan air dalam proses, maka industri ini akan menghasilkan limbah cair yang cukup besar pula. Dalam hal ini, dilaporkan dalam literatur bahwa industri *pulp* dan kertas menghasilkan limbah cair sebanyak 60 m³/ton kertas yang dihasilkan (Thompson dkk., 2001).

Menurut Ksibi dkk. (2003), limbah cair industri kertas mengandung 50% lignin. Lignin merupakan campuran senyawa polifenol dengan struktur kimia kompleks yang tahan terhadap proses pengolahan secara biologis karena sifatnya yang tidak dapat terurai (*non-biodegradable*) alami. Keberadaan lignin dalam limbah cair dapat menyebabkan tingginya kandungan *Biological Oxygen Demand* (BOD) dan *Chemical Oxygen Demand* (COD). Konsentrasi *Chemical Oxygen Demand* (COD) dalam limbah cair industri *pulp* dan kertas dilaporkan sebesar 11.000 mg/L (Thompson dkk., 2001). Tingginya konsentrasi COD menyebabkan limbah tersebut bersifat toksik, yang sampai saat ini menjadi masalah utama pencemaran lingkungan dan merupakan ancaman bagi kesehatan manusia. Untuk mengatasi permasalahan tentang limbah cair dari industri *pulp* dan kertas yaitu dengan mengembangkan metode pengolahan limbah cair yang efektif.

Metode yang telah dikembangkan untuk pengolahan limbah cair industri *pulp* dan kertas yaitu metode elektrokoagulasi. Metode ini menjadi salah satu metode sederhana yang efektif dan menjanjikan dengan konsep elektrokimia yang telah dikembangkan berdasarkan fiturnya yang unik seperti degradasi polutan secara lengkap, pembentukan lumpur endapan yang lebih sedikit, mudah dioperasikan, ramah lingkungan (tidak menggunakan senyawa kimia), aman dan ekonomis (Kalyani dkk., 2009; Wang dkk., 2009).

Berdasarkan permasalahan tersebut, maka perlu dilakukan suatu penelitian untuk menurunkan salah satu parameter pencemar perairan yaitu konsentrasi *Chemical Oxygen Demand* (COD). Pada penelitian ini memanfaatkan metode elektrokoagulasi untuk melihat pengaruhnya dalam menurunkan kadar COD, sehingga melalui metode ini diharapkan limbah cair hasil produksi industri kertas yang mengandung kadar COD tinggi dapat diolah secara maksimal.

2. METODE

2.1 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu sel elektrokoagulasi, *power supply* buatan *Zhaoxin DC Power Supply PS-3005D*, *magnetic stirrer* buatan ST-2B, peralatan gelas laboratorium, oven *Faithful*, timbangan analitik, *stopwatch*, seperangkat alat refluks tertutup, *Scanning Electron Microscope-Electron Dispersive X-Ray Spectroscopy* (SEM-EDX) *Oxford INCA 400*, dan Spektrofotometer UV-Vis *Hitachi UH5300*. Sedangkan, bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu limbah cair industri kertas, plat Aluminium (Al), Ag₂SO₄ Merck, K₂Cr₂O₇ Merck, H₂SO₄ p.a Merck, HgSO₄ Merck, Kalium Hidrogen Ftalat (HOCC₆H₄COOK, KHP) Merck, akuades dan kertas saring.

2.2 Tahapan Penelitian

2.2.1 Analisis Kadar Unsur pada Elektroda Aluminium (Al)

Plat elektroda aluminium (Al), harus dianalisis terlebih dahulu kadar logam utamanya menggunakan SEM-EDX (*Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-ray*).

2.2.2 Elektrokoagulasi Limbah Cair Industri Kertas dengan Variasi Tegangan dan Waktu

Proses elektrokoagulasi dilakukan dengan menggunakan sel sederhana dengan menggunakan sel sederhana yang terdiri dari sel elektrokoagulasi, *power supply*, elektroda aluminium, limbah cair industri kertas dan *magnetic stirrer*. Untuk mengetahui pengaruh variasi tegangan dan waktu elektrolisis pada limbah cair kertas dapat dilakukan dengan cara 50 mL limbah cair industri kertas, plat elektroda Al (anoda dan katoda) dimasukkan ke dalam reaktor

elektrokoagulasi. Dialirkan tegangan sebesar 9, 11 dan 13 V selama 40 menit dengan pengadukan (*stirer*) untuk mengetahui tegangan optimum. Sedangkan, untuk mengetahui waktu elektrolisis optimum dilakukan perlakuan yang sama dengan variasi waktu 40, 60 dan 80 menit pada tegangan optimum.

2.2.3 Pembuatan Pereaksi COD berdasarkan SNI 6989.2. 2009

a. Pembuatan *Digestion Solution*

Sebanyak 10,216 g $K_2Cr_2O_7$ yang telah dikeringkan pada suhu 150 °C selama 2 jam lalu ditambahkan kedalam 500 mL aquades, selanjutnya ditambahkan 167 mL H_2SO_4 pekat dan 33,3 g $HgSO_4$ kemudian didinginkan pada suhu ruang dan diencerkan sampai 1000 mL.

b. Pembuatan Larutan Pereaksi Asam Sulfat

Sebanyak 10,12 g serbuk atau kristal Ag_2SO_4 ditambahkan ke dalam 1000 mL H_2SO_4 dan diaduk hingga larut.

c. Pembuatan Larutan Baku Kalium Hidrogen Ptalat (KHP) \approx COD 1000 mg O_2/L

Digerus terlebih dahulu KHP secara perlahan, lalu dikeringkan sampai berat konstan pada suhu 110 °C. Kemudian 425 mg KHP dilarutkan ke dalam air bebas organik dan ditepatkan sampai 1000 mL. Larutan ini diencerkan untuk memperoleh larutan standar berkonsentrasi 0 mg/L, 100 mg/L, 300 mg/L, 500 mg/L, 800 mg/L, 1000 mg/L. Larutan blanko berisi akuades yang juga akan dioksidasi oleh $K_2Cr_2O_7$. Larutan ini stabil bila disimpan dalam kondisi dingin pada temperatur 4 ± 2 °C dan dapat digunakan sampai 1 minggu selama tidak ada pertumbuhan mikroba.

d. Proses *Digestion*

Dipipet volume contoh uji atau larutan kerja, ditambahkan *digestion solution* dan larutan pereaksi asam sulfat. Kemudian dimasukkan kedalam tabung kultur, seperti yang dinyatakan dalam Tabel 1. Tabung kultur ditutup dan dikocok perlahan sampai homogen. Kemudian tabung diletakkan pada pemanas yang telah dipanaskan pada suhu 150 °C, dilakukan refluks selama 2 jam.

Tabel 1. Contoh Uji dan Larutan Pereaksi untuk *Digestion Vessel*

<i>Digestion Vessel</i> (Tabung kultur)	Contoh uji (mL)	<i>Digestion Solution</i> (mL)	Larutan pereaksi Asam Sulfat (mL)	Total Volume (mL)
16 x 100	2,50	1,50	3,50	7,50
Standar A 10 MI	2,50	1,50	3,50	7,50

Sumber : Standar Nasional Indonesia 6989.2:2009 Air dan Air limbah

2.2.4 Pengukuran Nilai COD Larutan Standar dan Larutan Uji dengan Metode Kalibrasi

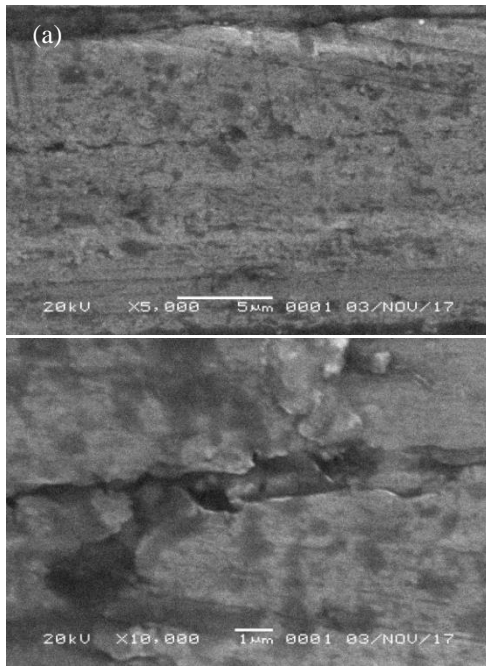
Spektrofotometer UV-Vis dioptimalkan sesuai petunjuk penggunaan alat untuk pengujian kadar COD dengan panjang gelombang 600 nm. Kemudian dilakukan pengukuran serapan masing-masing larutan standar, dicatat dan diplotkan terhadap kadar COD. Dibuat kurva kalibrasi dan ditentukan persamaan garis lurus nya dari data tersebut. Selanjutnya, pengukuran COD larutan uji dilakukan dengan cara didinginkan perlahan-lahan contoh uji yang sudah direfluks sampai suhu ruang. Kemudian, diukur serapan contoh uji pada panjang gelombang yang telah ditentukan (600 nm). Dihitung

kadar COD berdasarkan persamaan linier kurva kalibrasi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

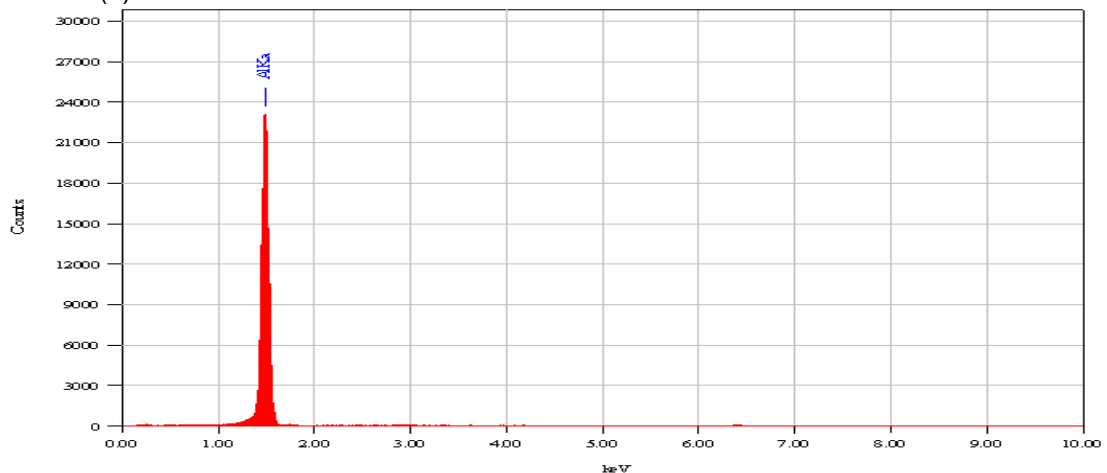
3.1 Karakterisasi Elektroda Aluminium (Al) Menggunakan SEM-EDX

Elektroda Aluminium (Al) dilakukan karakterisasi terlebih dahulu menggunakan *Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-ray Spectroscopy* (SEM-EDX) sebelum digunakan pada proses elektrokoagulasi. Hal tersebut bertujuan untuk mengetahui struktur morfologi permukaan dan kadar unsur utama dari elektroda tersebut. Hasil karakterisasi elektroda Al menggunakan SEM-EDX ditunjukkan pada Gambar 1 dan Gambar 2.



Gambar 1. Citra SEM dari Elektroda Aluminium, (a) Perbesaran 5000x dan (b) Perbesaran 10.000x

Gambar 1. menunjukkan hasil karakterisasi dari elektroda aluminium menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM). Dari citra SEM yang diperoleh, Gambar 1a menunjukkan morfologi plat elektroda aluminium dengan perbesaran 5000x. Struktur morfologi plat elektroda aluminium terlihat berpori dengan ukuran pori yang tidak beraturan dan terdapat patahan horizontal. Gambar 1b menunjukkan morfologi plat elektroda aluminium dengan perbesaran 10.000x. Struktur morfologi plat elektroda aluminium terlihat lebih jelas ukuran pori-porinya besar, patahan horizontalnya dan permukaannya lebih kasar dengan bentuk korundum karena berdasarkan kandungannya, elektroda aluminium ini termasuk aluminium oksida, yang memiliki bentuk korundum. Korundum merupakan aluminium oksida berbentuk kristal yang paling umum terbentuk secara alami di alam.



Gambar 2. Spektrum EDX Elektroda Al

Gambar 2. menunjukkan adanya komposisi unsur yang terdapat dalam elektroda Al secara kualitatif dan diketahui pada puncak merah yang terdeteksi adanya unsur Al, sehingga dapat dibuktikan bahwa elektroda Al benar mengandung unsur Aluminium (Al). Sedangkan secara kuantitatif, komposisi unsur yang terdapat dalam elektroda Al dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Komposisi Unsur Elektroda Al

Nama Unsur	Simbol	Kadar (%)
Aluminium	Al	52,39
Oksigen	O	47,07

Tabel 2. menunjukkan komposisi unsur yang terdapat dalam elektroda Al, yaitu unsur Aluminium (Al) dengan kadar 52,39%, dan Oksigen (O) dengan kadar 47,07%.

Keberadaan unsur Oksigen (O) tersebut tidak permanen dalam permukaan elektroda Al, hal ini dikarenakan di alam bebas aluminium (Al) tidak murni sehingga dapat mengikat unsur lainnya, yaitu salah satunya unsur oksigen. Sehingga oksigen bebas yang terperangkap didalam plat elektroda tersebut akan mengikat aluminium untuk mencapai kestabilan membentuk aluminium oksida (Al₂O₃).

3.2 Hasil Penurunan Konsentrasi COD Limbah Cair Industri Kertas

Elektrokoagulasi merupakan proses koagulasi kontinyu yang menggunakan arus listrik searah (DC) melalui reaksi elektrolisis pada permukaan elektroda. Adanya arus listrik tersebut menyebabkan ion-ion yang ada di dalam limbah cair industri kertas bergerak, yaitu ion positif (kation) akan bergerak ke katoda dan menerima elektron yang direduksi, sedangkan ion negatif (anion) akan bergerak ke anoda dan menyerahkan elektron yang dioksidasi. Rangkaian alat sel elektrokoagulasi dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.



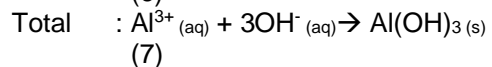
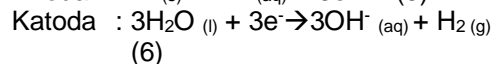
Gambar 3. Proses Elektrokoagulasi Limbah Cair Industri Kertas

Pada proses elektrokoagulasi yang ditunjukkan pada Gambar 3, terjadi reaksi reduksi-oksidasi (redoks). Berikut adalah reaksi redoks yang terjadi pada proses elektrokoagulasi:

1. Reaksi oksidasi di anoda
 1. $\text{Al}_{(s)} \rightarrow \text{Al}^{3+}_{(aq)} + 3e^{-}$
 $E^0 = 1,66 \text{ V}$ (1)
 2. $4\text{OH}^{-}_{(aq)} \rightarrow \text{O}_2(g) + 2\text{H}_2\text{O}_{(l)} + 4e^{-}$
 $E^0 = -0,401 \text{ V}$ (2)
3. Reaksi reduksi di katoda

1. $2\text{H}_2\text{O}_{(l)} + 2e^{-} \rightarrow 2\text{OH}^{-}_{(aq)} + \text{H}_2(g)$
 $E^0 = -0,83 \text{ V}$ (3)
2. $\text{Al}^{3+}_{(aq)} + 3e^{-} \rightarrow \text{Al}_{(s)}$
 $E^0 = -1,66 \text{ V}$ (4)

Reaksi yang terjadi di anoda, yaitu dimana logam Al teroksidasi menjadi Al³⁺. Selain itu, air juga dapat mengalami oksidasi dengan menghasilkan gas oksigen (O₂). Sedangkan reaksi yang terjadi di katoda, yaitu air yang akan tereduksi menghasilkan gas hidrogen (H₂). Selain itu, ion Al³⁺ juga dapat tereduksi menjadi Al bila dalam sel elektrokoagulasi dialirkan arus listrik searah (DC) dengan tegangan minimal 1,66 V. Hal tersebut sesuai dengan nilai potensial elektroda standar (E⁰) yang dimiliki oleh aluminium. Selama proses elektrokoagulasi, ion Al³⁺ yang terlepas dari anoda akan berikatan dengan ion OH⁻ yang dihasilkan dari reduksi air membentuk aluminium hidroksida (Al(OH)₃). Menurut Mollah dkk. (2001), reaksi pembentukan koagulan adalah sebagai berikut:



Aluminium hidroksida (Al(OH)₃) juga sering disebut koagulan. Koagulan tersebut akan mendestabilkan kontaminan dalam limbah cair, yang kemudian akan mengikat atau mengabsorpsi kontaminan maupun partikel yang ada dalam limbah cair industri kertas membentuk flok. Flok yang terbentuk akan terangkat ke atas permukaan reaktor dengan adanya gas hidrogen (H₂). Seiring berjalannya waktu proses elektrokoagulasi, flok yang terbentuk akan semakin banyak dan saling bertumbukan sehingga akan menyebabkan berat jenis flok meningkat yang kemudian akan jatuh ke dasar reaktor dalam bentuk lumpur (*sludge*). Berikut adalah limbah cair industri kertas sebelum dan sesudah dielektrokoagulas menggunakan elektroda aluminium yang ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Limbah Cair Industri Kertas (a) Sebelum diolah (b) Sesudah diolah

Gambar 4. menunjukkan limbah cair industri kertas sebelum dan sesudah dielektrokoagulasi. Pada Gambar 4a menunjukkan limbah cair yang sebelum dielektrokoagulasi terlihat berwarna abu-abu pekat, keruh dan memiliki bau yang khas. Sedangkan, Gambar 4b menunjukkan limbah cair industri kertas sesudah dielektrokoagulasi terlihat berubah menjadi jernih karena koagulan yang terbentuk akan menggumpalkan padatan tersuspensi sehingga air

menjadi jernih (Holt dkk., 1999). Pada penelitian ini dilakukan pengamatan terhadap penurunan konsentrasi COD pada limbah cair industri kertas menggunakan metode elektrokoagulasi dengan variasi tegangan dan waktu elektrokoagulasi.

3.3 Pengaruh Tegangan terhadap Hasil Penurunan Konsentrasi COD

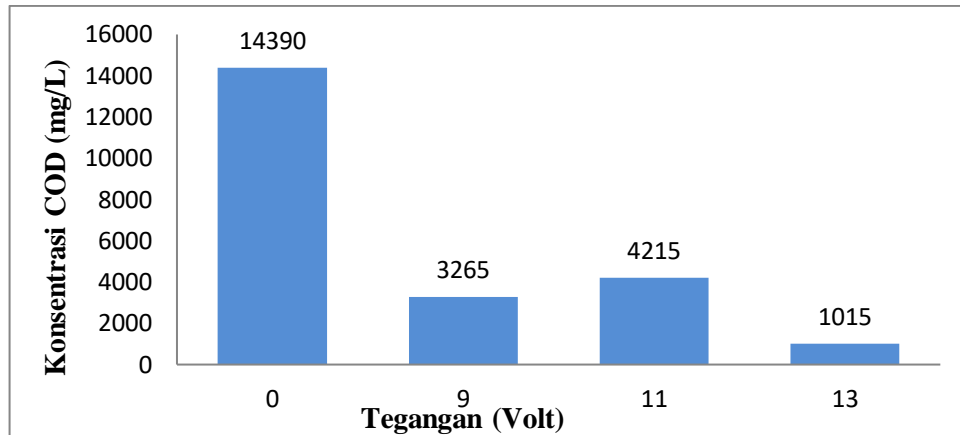
Pada penelitian ini dilakukan variasi tegangan 9, 11 dan 13 V bertujuan untuk menentukan tegangan optimum dalam menurunkan konsentrasi COD pada limbah cair industri kertas. Perbedaan besarnya tegangan tersebut dapat mempengaruhi penurunan konsentrasi COD pada limbah cair industri kertas dan pembentukan koagulan pada proses elektrokoagulasi. Penurunan konsentrasi COD limbah cair industri kertas dengan variasi tegangan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Penurunan Konsentrasi COD Limbah Cair Industri Kertas Variasi Tegangan

No	Tegangan (Volt)	Waktu Elektrokoagulasi (menit)	Konsentrasi COD (mg/L)	% Penurunan COD (%)
1	0	-	14390	-
2	9	40	3265	77,31
3	11	40	4215	70,71
4	13	40	1015	92,95

Berdasarkan Tabel 3. menunjukkan bahwa dari variasi tersebut diperoleh tegangan optimum dalam menurunkan konsentrasi COD, yaitu pada tegangan 13 V dengan

konsentrasi COD sebesar 1015 mg/L. Pengaruh tegangan terhadap penurunan konsentrasi COD limbah cair industri kertas dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik Hubungan Tegangan dengan Konsentrasi COD

Gambar 5. menunjukkan penurunan konsentrasi COD dari variasi tegangan, dari gambar tersebut diperoleh tegangan terbaik dalam menurunkan konsentrasi COD limbah cair industri kertas adalah tegangan 13 V dengan konsentrasi 1015 mg/L dan presentase penurunan konsentrasi COD sebesar 92,95%. Konsentrasi COD menurun dengan semakin tingginya tegangan yang diberikan. Hal ini dapat dikatakan bahwa tegangan memberikan pengaruh terhadap penurunan konsentrasi COD pada limbah cair industri kertas.

3.4 Pengaruh Waktu Elektrokoagulasi terhadap Hasil Penurunan Konsentrasi COD

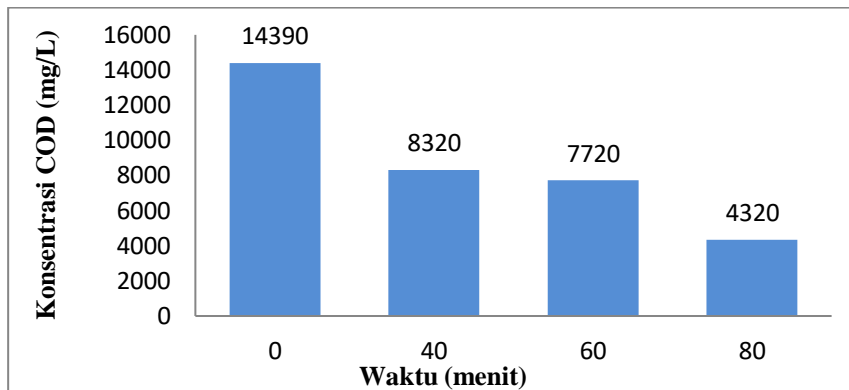
Pada penelitian ini dilakukan variasi waktu elektrokoagulasi 40, 60 dan 80 menit pada tegangan optimum, yaitu 13 V. Variasi waktu tersebut bertujuan untuk menentukan waktu elektrokoagulasi optimum untuk menurunkan konsentrasi COD pada limbah cair industri kertas. Penurunan konsentrasi COD limbah cair industri kertas dengan variasi tegangan dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Penurunan Konsentrasi COD Limbah Cair Industri Kertas Variasi Waktu Elektrokoagulasi

No	Tegangan (Volt)	Waktu Elektrokoagulasi (menit)	Konsentrasi COD (mg/L)	% Penurunan COD (%)
1	0	-	14390	-
2	13	40	8320	42,18
3	13	60	7720	46,35
4	13	80	4320	69,98

Berdasarkan Tabel 4. menunjukkan bahwa dari variasi tersebut diperoleh waktu optimum dalam menurunkan konsentrasi COD, yaitu 80 menit dengan konsentrasi COD sebesar

4320 mg/L. Pengaruh waktu elektrokoagulasi terhadap penurunan konsentrasi COD limbah cair industri kertas dapat dilihat pada Gambar 6



Gambar 6. Grafik Hubungan Waktu dengan Konsentrasi COD

Gambar 6. menunjukkan hasil penurunan konsentrasi COD yang terbaik diperoleh pada waktu elektrokoagulasi selama 80 menit dengan konsentrasi COD menjadi 4320 mg/L dan presentase penurunan konsentrasi COD sebesar 69,98%. Konsentrasi COD menurun dengan semakin lamanya waktu elektrokoagulasi yang diberikan. Hal ini dapat dikatakan bahwa waktu elektrokoagulasi juga memberikan pengaruh terhadap penurunan konsentrasi COD.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian pengolahan limbah cair industri kertas dengan elektrokoagulasi menggunakan elektroda Al-Al, dapat disimpulkan kondisi optimum untuk menurunkan konsentrasi COD pada limbah cair industri kertas menggunakan metode elektrokoagulasi dengan elektroda Al-Al, yaitu pada tegangan 13 V, waktu elektrokoagulasi 80 menit dapat menurunkan konsentrasi COD masing-masing sebesar 92,95% dan 69,98%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kami sampaikan kepada Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi yang telah mendanai penelitian ini melalui Program Kreativitas Mahasiswa Penelitian (PKM-P) tahun 2019. Terima kasih juga kami sampaikan kepada Bapak Prof. Riyanto, Ph. D selaku Dosen Pendamping atas bimbingan dan arahan kepada Tim PKM kami.

REFERENSI

- Holt, P. K., Barton, G. W., and Mitchell C. A., 2002, "A Quantitative Comparison between Chemical Dosing and Electrocoagulation", *Journal of Colloid and Surfaces*, Vol. 211, 233- 248.
- Kementrian Perindustrian Republik Indonesia, 2016, *Industri Pulp dan Kertas Berpotensi Tumbuh Signifikan*, Jakarta.
- Ksibi, M. S., Ben A. S., Cherif, E., and Elaloui, 2003, Photodegradation of Lignin from Black Liquor Using A UV/TiO₂ System, *Journal Photochem. Photobiol*, 154, 211-218.
- Mollah, M. Y. A., Schennach, R., Parga, J. R., and Cocke, D. L., 2001, Electrocoagulation (EC)-science and applications. *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 84(1), 29–41.
- SNI 6989.2 2009, Cara Uji Kebutuhan Oksigen Kimiawi COD dengan refluks tertutup secara spektrofotometri.
- Thompson, G., Swain, J., Kay, M., Forster, C.F., 2001, "The Treatment of Pulp and Paper Mill Effluent : A Review", *Bioresour Technol.*, 77, 275–286.
- Wang, C. T., Chou, W. L., Kuo, Y. M., 2009, Removal of COD from Laundry Wastewater by Electrocoagulation/Electroflotation, *J. Hazard Mater*, 164, 283-91.