

Pengaruh waktu dan jarak elektroda pada pengolahan lindi dengan metode elektrokoagulasi-adsorpsi zeolit

Effect of time and inter-electrode distance of leachate treatment using electrocoagulation-zeolite adsorption method

Trisnaawati^{1*}, Herry Purnama²,

Program Studi Teknik Kimia, Universitas Muhammadiyah Surakarta

**Email: trisnawati185@gmail.com*

Abstrak

Banyaknya sampah yang menumpuk di TPA dapat mencemari air tanah karena adanya resapan dari sampah. Secara umum, lindi dicirikan oleh tingginya tingkat kebutuhan oksigen kimia (COD), total padatan tersuspensi (TSS), dan pH. Salah satu metode alternatif yang tepat dalam pengolahan air lindi agar kadar COD, TSS dan pH adalah metode elektrokoagulasi dan adsorpsi. Pada penelitian ini dilakukan pengolahan lindi dengan metode elektrokoagulasi elektroda besi dan metode adsorpsi menggunakan adsorben zeolit. Elektrokoagulasi merupakan proses elektrokimia yang sangat dipengaruhi oleh berbagai variabel elektrokimia seperti potensial, jenis elektroda, waktu kontak, jarak elektroda, dan suhu. Proses elektrokoagulasi diuji dengan tegangan 30 volt dan elektroda besi. Penelitian ini dikembangkan dengan menggunakan (30, 60, 90) menit waktu proses elektrokoagulasi dan (1, 1,5, 2) cm jarak elektroda. Setelah proses elektrokoagulasi, dilakukan proses adsorpsi menggunakan adsorben zeolit dengan massa 30 gram dan waktu adsorpsi 2 jam. Hasil pemrosesan diperiksa untuk nilai COD, TSS, dan pH. Hasil penelitian menunjukkan proses elektokoagulasi-adsorpsi zeolit memiliki efisiensi *removal* kadar COD hingga 98,73% dan kadar TSS sebesar 99,54% dengan variasi waktu kontak 90 menit dan jarak elektroda 1 cm. Untuk nilai pH didapatkan hasil semakin lama waktu elektrokoagulasi-adsorpsi, semakin tinggi nilai pH yang didapat.

Kata Kunci: Adsorpsi, Besi, Elektrokoagulasi, Lindi

Abstract

The amount of waste that accumulates in the TPA can contaminate ground water due to infiltration from the waste. In general, leachate is characterized by high levels of chemical oxygen demand (COD), total suspended solids (TSS), and pH. One of the appropriate alternative methods in the treatment of leachate so that the levels of COD, TSS and pH are electrocoagulation and adsorption methods. In this study, leachate treatment was carried out using the iron electrode of electrocoagulation method and the adsorption method using a zeolite adsorbent. Electrocoagulation is an electrochemical process that is strongly influenced by various electrochemical variables such as potential, type of electrode, contact time, electrode distance, and temperature. The electrocoagulation process was tested with a voltage of 30 volts and iron electrodes. This research was developed using (30, 60, 90) minutes of electrocoagulation process time and (1, 1,5, 2) cm of electrode distance. After the electrocoagulation process, the adsorption process was carried out using a zeolite adsorbent with a mass of 30 grams and an adsorption time of 2 hours. The processing results were checked for COD, TSS, and pH values. The results showed that the electrocoagulation-adsorption zeolite process had a COD removal efficiency of up to 98,73% and a TSS level of 99,54% with a contact time variation of 90 minutes and an

electrode distance of 1 cm. For the pH value, the longer the electrocoagulation-adsorption time, the higher the pH value obtained.

Keywords: Adsorption, Electrocoagulation, Iron, Leachate

1. PENDAHULUAN

Pertumbuhan penduduk secara tidak langsung berdampak pada masalah sampah. Limbah sebagai produk sampingan dari kegiatan menimbulkan masalah serius bagi lingkungan dan penanganan serta pengelolaan limbah. Banyaknya sampah yang menumpuk di TPA dapat mencemari air tanah karena adanya resapan dari sampah tersebut. Secara umum, lindi dicirikan oleh tingginya tingkat *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Total Suspended Solid* (TSS), pH, nitrogen amoniak, dan logam berat. Selain itu, air lindi umumnya memiliki warna yang kuat dan bau yang tidak sedap (Alabiad *et al.*, 2017).

Ada banyak faktor yang mempengaruhi kualitas lindi seperti umur, variasi cuaca musiman, endapan, jenis sampah dan komposisi sampah, komposisi lindi TPA terutama tergantung pada umur TPA. Pra-pengolahan diperlukan agar lindi TPA memenuhi standar pembuangannya untuk dibuang langsung ke air permukaan atau selokan (Bharath, Krishna and Manoj Kumar, 2020).

Lindi mengandung senyawa organik (hidrokarbon, asam humat, sulfat, tanat, dan galat) dan anorganik (natrium, kalium, kalsium, magnesium, klor, sulfat, fosfat, fenol, nitrogen dan senyawa logam berat) yang sangat mencemari lingkungan tanah. Konsentrasi komponen-komponen tersebut dalam air lindi dapat mencapai 1000 sampai 5000 kali lebih tinggi dari konsentrasi di air tanah (Rusdianasari *et al.*, 2020).

Salah satu alternatif pengolahan lindi yang tepat adalah elektrokoagulasi dan adsorpsi sehingga nilai COD, TSS, dan pH sesuai dengan ambang batas yang ditetapkan oleh peraturan baku mutu lindi TPA Kementerian Lingkungan Hidup. Tabel 1 merupakan baku mutu lindi TPA (Sumber: Permen LHK RI Nomor P.59/Menlhk/Setjen/Kum.1/7/2016).

Tabel 1. Baku Mutu Lindi Kegiatan Akhir Sampah.

Parameter	Kadar Paling Tinggi	
	Nilai	Satuan
pH	6-9	-
BOD	150	mg/L
COD	300	mg/L
TSS	100	mg/L
N Total	60	mg/L

Elektrokoagulasi adalah proses pengolahan air secara elektrokimia dimana anoda melepaskan koagulan aktif ke dalam larutan berupa ion logam dan terjadi reaksi elektrolisis berupa pelepasan gas hidrogen pada katoda (Sinaga, Amri and HS, 2019). Prinsip dasar elektrokoagulasi adalah reaksi reduksi dan oksidasi (redoks). Pada sel elektrokoagulasi, oksidasi terjadi pada elektroda (+), yaitu anoda, sedangkan Reduksi pada elektroda (-), yaitu katoda (Wiyanto *et al.*, 2014). Elektrokoagulasi merupakan proses elektrokimia yang sangat dipengaruhi oleh berbagai variabel elektrokimia seperti potensial, jenis elektroda, keasaman (pH), waktu kontak, jarak elektroda, dan suhu.

Hasil yang optimal dapat diperoleh dari kombinasi metode elektrokoagulasi dan adsorpsi. Hal ini dapat dilihat dari hasil penelitian yang dilakukan oleh Bazrafshan, Alipour and Mahvi (2016) kadar COD, BOD₅ dan penghilangan zat warna dari air limbah sebesar 98, 94,2, dan 99,9% dicapai dengan proses gabungan elektrokoagulasi-adsorpsi. Adsorpsi merupakan suatu proses penyerapan oleh padatan tertentu terhadap zat tertentu yang terjadi pada permukaan zat padat karena adanya gaya tarik atom atau molekul pada permukaan zat padat tanpa meresap ke dalam (Takwanto, Mustain and Sudarminto, 2018). Adsorpsi ini dapat dilakukan dengan bahan bermacam-macam seperti karbon aktif, zeolit dan silika gel. Zeolit menjadi pilihan dalam melakukan pengolahan lindi metode adsorpsi.

Untuk pengolahan air lindi, Hassani *et al* (2016) melakukan percobaan dengan metode elektrokoagulasi menggunakan aluminium dan besi sebagai anoda didapatkan efisiensi penurunan kadar COD sebesar 45% dan 65%, kadar TSS 47% dan 58,7%. Sedangkan dengan menggunakan elektroda besi didapatkan penurunan kadar COD sebesar 86,9% dan TSS 88,7%. Oumar *et al* (2016) telah melakukan penelitian pengolahan air lindi dengan menggunakan metode elektrokoagulasi yang diolah secara biologis menggunakan anoda berbasis magnesium dan mencapai 53% COD dan 85% penghilangan warna.

Penelitian ini bertujuan melakukan studi penurunan kadar COD, TSS dan pH air lindi dengan metode elektrokoagulasi-adsorpsi yang selanjutnya dilihat dari pengaruh lama pengolahan dan jarak elektroda terhadap efisiensi penurunan kadar COD, TSS dan pH air lindi.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Fakultas Teknik Kimia Universitas Muhammadiyah Surakarta. Bahan yang digunakan yaitu lindi yang didapatkan pada TPA Sukosari Jumantono, Kabupaten Karanganyar dan aquades. Percobaan elektrokoagulasi dilakukan pada sebuah reaktor kaca dengan dimensi reaktor adalah 15 x 15 x 15 cm³. Elektroda (anoda dan katoda) yang digunakan adalah besi dengan ukuran 17 cm x 10 cm dan tebal 5 mm. Elektroda dihubungkan dengan DC Power Supply dengan voltase pada 30 volt. Gambar 1 merupakan rangkaian alat elektrokoagulasi.



Gambar 1. Rangkaian Alat Penelitian

Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh waktu dan jarak elektroda dengan metode elektrokoagulasi-adsorpsi pada limbah cair lindi menggunakan elektroda besi terhadap penurunan COD, TSS dan pH. Pada percobaan limbah air lindi dengan metode elektrokoagulasi yang uji COD, TSS dan pH dengan pengaruh waktu (30; 60; 90) menit dan jarak elektroda (1; 1,5; 2) cm dengan variabel kontrol tegangan 30 volt, massa lindi 1 liter, massa adsorben zeolit 30 gr dan waktu tinggal adsorpsi 2 jam. Percobaan dirancang dengan menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) dengan desain penelitian disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Desain Penelitian

Jarak Elektroda (cm)	Waktu (menit)		
	30 (x)	60 (y)	90 (z)
1 (A)	Ax	Ay	Az
1,5 (B)	Bx	By	Bz
2 (C)	Cx	Cy	Cz

Prosedur Penelitian:

1. Pengenceran Air Lindi dari TPA
Air lindi yang diambil dari TPA Sukosari diencerkan terlebih dahulu sebelum

dilakukan pengolahan. Perbandingan air lindi dan aquades yaitu 2 : 1.

2. Pengujian Karakteristik Awal Air Lindi
Air lindi yang telah diencerkan dilakukan pemeriksaan karakteristik awal (COD, TSS, pH) sebelum melakukan pengolahan.
3. Pengolahan Air Lindi
 - a. Elektrokoagulasi
Elektroda besi dimasukkan ke dalam reaktor yang berisi air lindi. Kemudian dilakukan reaksi elektrokoagulasi menggunakan elektroda besi dengan variasi jarak elektroda (1; 1,5; 2) cm dan waktu elektrokoagulasi (30; 60; 90) menit.
 - b. Adsorpsi
Air lindi hasil elektrokoagulasi dimasukkan ke dalam wadah yang sudah diisi zeolit kemudian selama 2 jam.
4. Uji Karakteristik
Hasil pengolahan dianalisa kadar COD berdasarkan SNI 6989.2-2019, kadar TSS dan Nilai pH berdasarkan SNI 06-6989.11-2019.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Kandungan COD, TSS dan pH Air Lindi

Air lindi yang diperoleh pada TPA Sukosari Jumantono, Kabupaten Karanganyar berwarna coklat dan bau menyengat. Tabel 3 merupakan karakteristik dari air lindi TPA Sukosari Jumantono, Kabupaten Karanganyar.

Tabel 3. Karakteristik Air Lindi

Parameter	Kadar	Satuan
COD	7300	mg/L
TSS	2210	mg/L
pH	8,3	-

Berdasarkan Tabel 3 didapatkan untuk kadar COD dan TSS sangat tinggi. Kadar COD dan TSS masing-masing yaitu 7300 mg/L dan 2210 mg/L sedangkan untuk nilai pH didapatkan hasil sebesar 8,3.

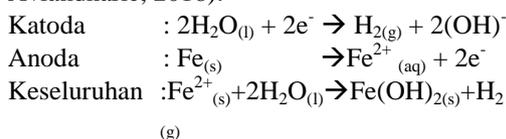
3.2 Proses Elektrokoagulasi

Elektrokoagulasi didasarkan pada prinsip dasar reaksi reduksi dan oksidasi (redoks). Pada sel elektrokoagulasi, oksidasi terjadi pada anoda elektroda (+) dan reduksi terjadi pada katoda elektroda (-). Selanjutnya, kotoran dari air baku dan flokulan yang mengikat partikel (Amri, Febri Awalsya and Irdoni, 2020).

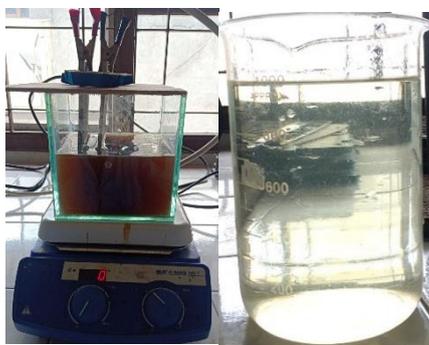
Proses elektrokoagulasi melibatkan reaksi utama, yaitu (Abbas and Ali, 2018):

1. Reaksi elektrolit pada elektroda
2. Pembentukan koagulan
3. Adsorpsi polutan
4. Penghilangan koloid dengan sedimentasi/flotasi

Mekanisme oksidasi dan reduksi yang disederhanakan pada anoda dan katoda elektroda besi. Reaksi berikut terjadi pada elektroda besi yaitu sebagai berikut (Jati and Aviandharie, 2018):



Gambar 2 merupakan hasil pengolahan dengan metode elektrokoagulasi-adsorpsi zeolit.



Gambar 2. Hasil Pengolahan

3.3 Proses Adsorpsi

Metode adsorpsi merupakan salah satu metode pemurnian yang dilakukan dengan memisahkan bahan dari campuran gas atau cair, dan bahan tersebut dapat dipisahkan oleh permukaan adsorben. Pemilihan adsorben yang baik didasarkan pada luas permukaannya yang besar (Susilo, Nurirenia and Sumarla, 2017).

Adsorpsi pada karbon aktif telah terbukti menjadi alternatif yang sukses dan efisien untuk menghilangkan senyawa organik dan anorganik dalam air limbah. Namun, adsorpsi sebagai proses tunggal untuk mengolah air limbah memerlukan adsorben yang berlebih. Untuk mengurangi potensi pencemaran, solusi terbaik untuk air limbah industri adalah kombinasi dari dua atau lebih teknologi yang efisien (Hanastasia, Setiawan and Ramadani, 2020)

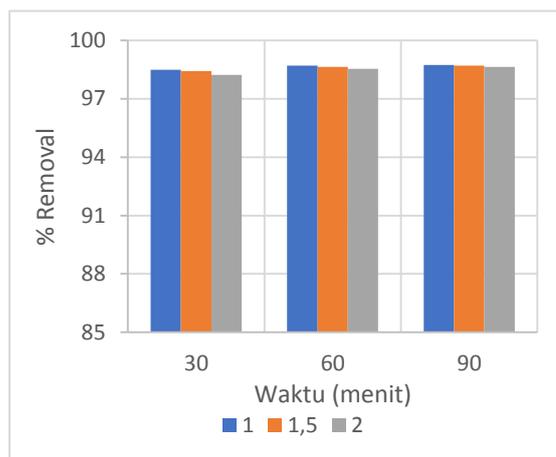
Zeolit merupakan salah satu mineral yang banyak terdapat di tanah Indonesia dan pemanfaatannya belum maksimal. Bentuk kristal dari zeolit relatif teratur, dengan rongga-rongga yang saling terhubung ke segala arah, yang memungkinkan permukaan zeolit menjadi sangat luas dan dapat digunakan secara penuh sebagai adsorben (Widiyati, 2013).

3.4 Pengaruh Waktu dan jarak elektroda pada proses elektrokoagulasi-adsorpsi terhadap kadar COD

Dari penelitian ini didapatkan kadar COD pada variasi waktu dan jarak elektroda yang digunakan pada saat proses elektrokoagulasi-adsorpsi dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Hasil Penurunan kadar COD

Jarak elektroda (cm)	Waktu kontak (menit)		
	30	60	90
1	110	95	92,5
1,5	115	100	95
2	130	107,5	100



Gambar 3. Efisiensi Penurunan COD

Dari tabel 4 dapat diketahui bahwa semakin besar waktu kontak proses elektrokoagulasi-adsorpsi maka kadar COD pada lindi semakin kecil. Hal ini disebabkan semakin lama proses elektrokoagulasi berlangsung maka semakin banyak karena proses oksidasi dan reduksi yang terjadi. Pada elektroda-elektroda terbentuk gas O_2 dan H_2 yang menyebabkan terjadi proses pengikatan koloid-koloid yang membentuk flok berukuran besar dan terflotasi diatas cairan (Wiyanto *et al.*, 2014). Sedangkan untuk jarak elektroda didapatkan hasil semakin kecil jarak elektroda, semakin besar efisiensi penuruna kadar COD. Jarak antar elektroda mempengaruhi laju transfer elektron antara anoda yang menerima

elektron dan katoda sebagai tempat terjadinya proses reduksi. Ketika jarak antara elektroda meningkat, efisiensi pemrosesan menurun, resistansi arus meningkat, dan konduktivitas menurun (Edy Saputra and Farida Hanum, 2017).

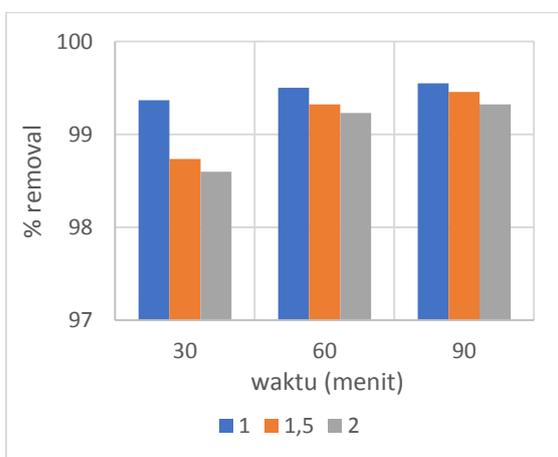
Penurunan kadar COD yang ditunjukkan pada tabel dan gambar pada grafik jarak elektroda 1 cm dengan variasi waktu 30;60;90 menit dan adsorpsi zeolit 2 jam didapat penurunan kadar COD sebesar 110 mg/L, 95 mg/L dan 92,5 mg/L. Untuk grafik jarak elektroda 2 cm dengan variasi waktu 30;60;90 menit dan adsorpsi zeolit 2 jam didapatkan penurunan kadar COD sebesar 115 mg/L, 100 mg/L dan 95 mg/L dan untuk grafik jarak elektroda 2 cm dengan variasi waktu 30;60;90 menit dan adsorpsi zeolit 2 jam didapatkan hasil penurunan kadar COD sebesar 130 mg/L, 107,5 mg/L dan 100 mg/L.

3.5 Pengaruh Waktu dan jarak elektroda pada proses elektrokoagulasi-adsorpsi terhadap kadar TSS

Dari penelitian ini didapatkan kadar TSS pada variasi waktu dan jarak elektroda yang digunakan pada saat proses elektrokoagulasi-adsorpsi dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5. Hasil Penurunan kadar TSS

Jarak elektroda (cm)	Waktu kontak (menit)		
	30	60	90
1	14	11	10
1,5	28	15	12
2	31	17	15



Gambar 4. Grafik efisiensi penurunan kadar TSS

Berdasarkan tabel 4 didapatkan hasil penurunan kadar TSS dengan jarak elektroda 1 cm, variasi waktu 30;60;90 menit dan adsorpsi zeolit 2 jam didapat penurunan kadar TSS sebesar 14 mg/L, 11 mg/L dan 10 mg/L untuk grafik jarak elektroda 2 cm dengan variasi waktu 30;60;90 menit dan adsorpsi zeolit 2 jam didapatkan penurunan kadar TSS sebesar 28 mg/L, 15 mg/L dan 12 mg/L. Untuk grafik jarak elektroda 2 cm dengan variasi waktu 30;60;90 menit dan adsorpsi zeolit 2 jam didapatkan hasil penurunan kadar TSS sebesar 31 mg/L, 17 mg/L dan 15 mg/L.

Dari gambar 4 dapat diketahui bahwa semakin besar waktu elektroda pada proses elektrokoagulasi-adsorpsi maka kadar TSS pada lindi semakin kecil dikarenakan partikel-partikel pada limbah cair lindi bermuatan negatif, sehingga saat proses elektrokoagulasi dengan hasil ion positif dan ion negatif pada elektroda besi mendestabilkan partikel pada limbah cair lindi. Pada elektroda anoda terjadi reaksi oksidasi yang dapat mengikat polutan dan pada katoda terjadi proses reduksi yang menghasilkan gas H₂ yang menyebabkan terangkatnya flok yang terbentuk pada atas permukaan cairan (Andesgur, Hakim and Julianto, 2014).

Pada pengaruh jarak elektroda pada proses elektrokoagulasi-adsorpsi didapatkan hasil semakin kecil jarak elektroda semakin besar nilai efisiensi penurunan kadar TSS. Jarak antar elektroda mempengaruhi kecepatan transfer antara anoda yang melepas elektron dan katoda sebagai tempat terjadinya proses reduksi. Jika jarak antar elektroda terlalu kecil, koagulan yang terbentuk akan berada di sekitar elektroda dan tidak akan dapat menjangkau semua padatan tersuspensi. Jika celah elektroda terlalu besar, interaksi antar molekul akan lemah (Nugraha, Amri and HS, 2018).

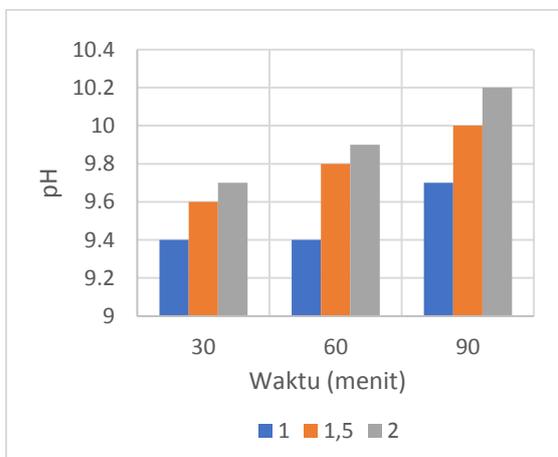
3.6 Pengaruh Waktu dan jarak elektroda pada proses elektrokoagulasi-adsorpsi terhadap nilai pH

Dari penelitian ini didapatkan nilai pH pada variasi waktu dan jarak elektroda yang digunakan pada saat proses elektrokoagulasi-adsorpsi dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6. Hasil nilai pH

Jarak elektroda (cm)	Waktu kontak (menit)		
	30	60	90

1	9,4	9,4	9,7
1,5	9,6	9,8	10
2	9,7	9,9	10,2



Gambar 5. Nilai pH

Dari tabel 6 diatas didapatkan hasil nilai pH meningkat setelah dilakukan proses elektrokoagulasi-adsorpsi. Hasil peningkatan pada jarak elektroda 1 cm dengan variasi waktu 30, 60 dan 90 menit masing-masing sebesar 13,25%, 13,25% dan 16,86%. Pada jarak elektroda 1,5 cm dengan variasi waktu 30, 60 dan 90 menit masing-masing sebesar 15,66%, 18,07% dan 20,48%. Sedangkan hasil peningkatan pada jarak 2 cm dengan variasi waktu 30, 60 dan 90 menit masing-masing sebesar 16,86%, 19,27% dan 22,89%. Peningkatan nilai pH ini dikarenakan pada proses elektrokoagulasi terjadi peningkatan ion OH⁻ yang menyebabkan energi yang dibutuhkan gas H₂ atau O₂ semakin rendah sehingga meningkatkan kinerja flotasi (Fendriani *et al.*, 2020).

4. KESIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian ini yaitu metode elektrokoagulasi-adsorpsi zeolit dapat menurunkan kadar COD dan TSS tetapi dapat meningkatkan nilai pH. Waktu kontak dan jarak elektroda berpengaruh pada efisiensi COD, TSS dan pH. Variabel yang optimal untuk penyisihan kadar COD dan TSS didapatkan pada waktu 90 menit dan jarak elektroda 1 cm yang menghasilkan efisiensi sebesar 98,73% dan 99,54%. Sedangkan untuk nilai pH didapatkan hasil meningkatnya nilai pH setelah dilakukan proses Elektrokoagulasi-Adsorpsi zeolit. Adsorpsi zeolit dapat menurunkan kadar COD dan TSS. Waktu kontak dan jarak elektroda berpengaruh pada efisiensi COD, TSS dan pH. Variabel yang optimal

untuk penyisihan kadar COD dan TSS didapatkan pada waktu 90 menit dan jarak elektroda 1 cm yang menghasilkan efisiensi sebesar 98,73% dan 99,54%. Sedangkan untuk nilai pH didapatkan hasil meningkatnya nilai pH setelah dilakukan proses Elektrokoagulasi-Adsorpsi zeolit dengan peningkatan paling besar yaitu 22,89% dengan variabel jarak elektroda 2 cm dan waktu 90 menit.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Ir. Herry Purnama, M.T., Ph.D.,IPM. selaku pembimbing penelitian, Laboratorium Teknik Kimia Universitas Muhammadiyah Surakarta dan pihak TPA Sukosari Jumantono, Kabupaten Karanganyar. Ucapan terimakasih pula penulis kepada Rosa Amalia Putri dan Anisa Nur Fadhila atas kontribusinya dalam penelitian ini serta semua pihak yang terlibat dalam penelitian sehingga penelitian ini dapat dituangkan dalam bentuk tulisan dan diinformasikan kepada khalayak umum.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbas, S. H. and Ali, W. H. (2018) 'Electrocoagulation Technique Used To Treat Wastewater: A Review', *American Journal of Engineering Research (AJER)*, 7(10), pp. 74–88. Available at: www.ajer.org.
- Alabiad, I. *et al.* (2017) 'Treatment of Landfill Leachate: COD, BOD and TSS Removal in Padang Siding Perlis Using Bio-Electrochemical Process', *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 45(5), pp. 223–232. doi: 10.14445/22315381/ijett-v45p247.
- Amri, I., Febri Awalsya and Irdoni (2020) 'Pengolahan limbah cair industri pelapisan logam dengan proses elektrokoagulasi secara kontinyu', *Chempublish Journal*, 5(1), pp. 15–26. doi: 10.22437/chp.v5i1.7650.
- Andesgur, I., Hakim, L. and Julianto, T. S. (2014) 'Pengolahan Lindi (Leachate) Dari TPA Dengan Proses Elektrokoagulasi – Sedimentasi Dan Filtrasi', *Jurnal Sains dan Teknologi*, 13(1), pp. 28–34. doi: http://dx.doi.org/10.31258/jst.v13.n1.p%25p.
- Bazrafshan, E., Alipour, M. R. and Mahvi, A. H. (2016) 'Textile wastewater treatment by application of combined chemical coagulation, electrocoagulation, and adsorption processes', *Desalination and Water Treatment*, 57(20), pp. 9203–9215. doi: https://doi.org/10.1080/19443994.2015.1027960.
- Bharath, M., Krishna, B. M. and Manoj Kumar, B. (2020) 'Degradation and biodegradability improvement of the landfill leachate using electrocoagulation with iron and aluminum electrodes: A comparative study', *Water*

- Practice and Technology*, 15(2), pp. 540–549. doi: 10.2166/wpt.2020.041.
- Edy Saputra and Farida Hanum (2017) ‘Pengaruh Jarak Antara Elektroda Pada Reaktor Elektrokoagulasi Terhadap Pengolahan Effluent Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit’, *Jurnal Teknik Kimia USU*, 5(4), pp. 33–38. doi: 10.32734/jtk.v5i4.1552.
- Fendriani, Y. *et al.* (2020) ‘Pengaruh Variasi Jarak Elektroda Dan Waktu Terhadap Ph Dan Tds Limbah Cair Batik Menggunakan Metode Elektrokoagulasi’, *Journal Online of Physics*, 5(2), pp. 59–64. doi: 10.22437/jop.v5i2.9869.
- Hanastasia, R. L., Setiawan, A. and Ramadani, T. A. (2020) ‘Treatment of Pb(II) Metal in Wastewater Using Combination Method of Electrocoagulation – Activated Carbon Adsorption’, *Jurnal Presipitasi Media Komunikasi dan Pengembangan Teknik Lingkungan*, 17(2), pp. 96–103. Available at: <http://journal.ppns.ac.id/index.php/CPWTT/article/view/1298>.
- Hassani, G. *et al.* (2016) ‘Optimization of Landfill Leachate Treatment Process by Electrocoagulation, Electroflotation and Sedimentation Sequential Method’, *International Journal of ELECTROCHEMICAL SCIENCE*, 11(2016), pp. 6705–6718. doi: 10.20964/2016.08.10.
- Jati and Aviandharie (2018) ‘Kombinasi Teknologi Elektrokoagulasi dan Fotokatalisis dalam Mereduksi Limbah Berbahaya dan Beracun Cr (VI)’, *Jurnal kimia kemasan*, 27(2), pp. 133–140. doi: <http://dx.doi.org/10.24817/jkk.v37i2.1822>.
- Nugraha, A., Amri, I. and HS, I. (2018) ‘Pengaruh Pola dan Jarak Elektroda pada Proses Elektrokoagulasi Limbah Cair Industri Tahu’, *Jom FTEKNIK*, 5(2), pp. 1–5. Available at: <https://jom.unri.ac.id/index.php/JOMFTEKNIK/article/view/22067/21356>.
- Oumar, D. *et al.* (2016) ‘Coupling biofiltration process and electrocoagulation using magnesium-based anode for the treatment of landfill leachate’, *Journal of Environmental Management*, 181(2016), pp. 477–483. doi: 10.1016/j.jenvman.2016.06.067.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia No. P59/Menlhk/Setjen/Kum.1/7/2016, Baku Mutu Air Lindi bagi Usaha Tempat Pemrosesan Akhir Sampah.
- Rusdianasari *et al.* (2020) ‘Combination of electrocoagulation and aeration processes by addition nacl for leachate treatment’, *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 10(1), pp. 400–406. doi: 10.18517/ijaseit.10.1.11012.
- Sinaga, H., Amri, I. and HS, I. (2019) ‘Pemanfaatan Teknologi Elektrokoagulasi Untuk Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu Menggunakan Elektroda Al-AI Dengan Variabel Jarak Elektroda Dan Kuat Arus’, *Jom FTEKNIK*, 6(1), pp. 1–6. Available at: <https://jom.unri.ac.id/index.php/JOMFTEKNIK/article/view/24282>.
- Susilo, B., Nurirenia, D. F. and Sumarla, S. H. (2017) ‘Pemurnian Bioetanol Menggunakan Proses Distilasi Dan Adsorpsi Dengan Penambahan Asam Sulfat (H₂SO₄) Pada Aktivasi Zeolit Alam Sebagai Adsorben’, *Jurnal Keteknik Pertanian Tropis dan Biosistem*, 5(1), pp. 19–26. Available at: <https://jkptb.ub.ac.id/index.php/jkptb/article/view/394>.
- Takwanto, A., Mustain, A. and Sudarminto, H. P. (2018) ‘Penurunan Kandungan Polutan pada Lindi dengan Metode Elektrokoagulasi-Adsorpsi Karbon Aktif untuk Memenuhi Standar Baku Mutu Lingkungan’, *Jurnal Teknik Kimia dan Lingkungan*, 2(1), p. 11. doi: 10.33795/jtkl.v2i1.37.
- Widiyati, C. (2013) ‘Pemanfaatan Zeolit Untuk Penurunan COD dan BOD Limbah Pengolahan Kulit’, *Berkala Penelitian Teknologi Kulit, Sepatu, dan Produk Kulit*, 12(2), pp. 26–39. Available at: <http://www.e-jurnal.atk.ac.id/index.php/bptkspk/article/view/62>.
- Wiyanto, E. *et al.* (2014) ‘Penerapan Elektrokoagulasi Dalam Proses Penjernihan Limbah Cair’, *Jurnal Tadris Kimiya*, 12(1), pp. 19–36. doi: 10.25105/jetri.v12i1.1449.