

Pengaruh Jarak Elektroda dan Tegangan terhadap Efektivitas Pengolahan Air Lindi dengan Metode Elektrokoagulasi-Adsorpsi Zeolit

Effect of Electrode Distance and Voltage on the Effectiveness of Leachate Treatment Using Electrocoagulation-Zeolite Adsorption Method

Anisa Nur Fadhila*, Herry Purnama

**Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta,
Jl. A. Yani, Mendungan, Pabelan, Kartasura Tromol Pos 1, Surakarta, 57102, Indonesia**

*Email: d500180127@student.ums.ac.id

Abstrak

Permasalahan yang sulit diatasi sampai sekarang adalah permasalahan sampah. Penimbunan sampah tetap menjadi metode yang sering digunakan tetapi memiliki kerugian berupa produksi lindi. *Leachate* atau lindi didefinisikan sebagai air limbah yang dihasilkan dari Tempat Pembuangan Akhir (TPA). Kombinasi metode elektrokoagulasi dan adsorpsi bisa menjadi teknologi pengolahan yang menjanjikan. Proses elektrokoagulasi dilakukan selama 1 jam menggunakan elektroda besi. Variasi yang digunakan yaitu jarak elektroda 1 cm, 1,5 cm, dan 2 cm serta tegangan 10 volt, 20 volt, dan 30 volt. Pada adsorpsi digunakan adsorben zeolit dengan waktu tinggal 2 jam. Tahapan penelitian dimulai dari persiapan sampel air lindi, pemeriksaan karakteristik awal, pengolahan lindi, dan pengujian COD, TSS, dan pH. Hasil penelitian menunjukkan variasi optimal didapatkan pada jarak 1 cm dan tegangan 30 volt dengan efisiensi COD sebesar 98,84% dan TSS sebesar 99,82%. Untuk nilai pH diperoleh hasil bahwa semakin besar jarak elektroda dan tegangan maka semakin tinggi nilai pH yang didapat.

Kata kunci: adsorpsi, elektrokoagulasi, lindi, zeolit

Abstract

The problem that has been difficult to overcome until now is the waste problem. Landfilling remains a method that is often used but has a disadvantage in the form of leachate production. Leachate or leachate is defined as wastewater produced from Final Disposal Sites (TPA). The combination of electrocoagulation and adsorption methods can be a promising treatment technology. The electrocoagulation process was carried out for 1 hour using iron electrodes. The variations used are electrode distances consisting of 1 cm, 1.5 cm, and 2 cm while the voltages consist of 10 volts, 20 volts, and 30 volts. In adsorption, zeolite adsorbent was used with a residence time of 2 hours. The research stages started from the preparation of leachate samples, examination of initial characteristics, leachate treatment, and testing of COD, TSS, and pH. The results showed that the optimal variation was obtained at a distance of 1 cm and a voltage of 30 volts with a COD efficiency of 98.84% and TSS of 99.82%. For the pH value, the result is that the greater the distance between the electrodes and the voltage, the higher the pH value obtained.

Keywords: adsorption, electrocoagulation, leachate, zeolite

Pendahuluan

Berdasarkan UU RI Nomor 18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah, sampah adalah sisa kegiatan sehari-hari manusia dan/atau proses alam yang berbentuk padat [1]. Peningkatan jumlah penduduk dan aktivitas di masyarakat juga akan menyebabkan peningkatan produksi timbulan limbah padat, yang kemudian mendorong kepedulian terhadap perlindungan dan keberlanjutan lingkungan. Pendekatan yang telah dilakukan seperti penggunaan

kembali dan daur ulang untuk mengurangi jumlah limbah padat masih belum efektif. Penimbunan tetap menjadi metode yang sering digunakan untuk pembuangan limbah padat di banyak negara.

Efisiensi dan factor ekonomi untuk pembuangan limbah padat merupakan alasan sehingga metode penimbunan paling banyak digunakan. Adapun kerugian utama dari penimbunan sampah ini adalah produksi dan pengelolaan lindi. *Leachate* atau lindi didefinisikan sebagai air limbah

yang dihasilkan dari Tempat Pembuangan Akhir (TPA) dengan perkolasi air hujan melalui massa residu, reaksi biokimia dalam limbah, dan air dari limbah itu sendiri [2]. Karakteristik lindi akan sangat bergantung pada komposisi sampah di TPA. Faktor lingkungan seperti kondisi iklim dan hidrologi juga dapat memengaruhi kualitas dan kuantitas lindi. Selain itu, umur TPA, desain tutup, dan kegiatan operasional dapat mengubah sifat lindi yang dihasilkan [3]. Karakteristik utama lindi antara lain: *Biological Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), rasio BOD/COD, padatan tersuspensi, pH, amonia-nitrogen, dan logam berat [4].

Tantangan yang dihadapi saat ini adalah mengoptimalkan pengolahan lindi TPA untuk mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Elektrokoagulasi merupakan teknologi pengolahan yang menjanjikan karena berpotensi menghilangkan bahan organik dan polutan persisten dalam lindi TPA. Proses pengolahan air secara elektrokimia ditandai pada anoda terjadi pelepasan koagulan aktif berupa ion logam (biasanya aluminium atau besi) ke dalam larutan dan pada katoda terjadi reaksi elektrolisis berupa pelepasan gas hidrogen [5]. Faktor-faktor yang memengaruhi elektrokoagulasi antara lain: variasi pada waktu pengendapan, jarak antar elektroda, pH, ketebalan pelat, dan variasi tegangan. 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% [6].

Untuk mendapatkan hasil pengolahan lindi yang optimal maka dapat dilakukan dari kombinasi metode elektrokoagulasi dan adsorpsi. Hal ini dapat dilihat dari hasil penelitian yang dilakukan oleh Bazrafshan, Alipour and Mahvi (2016), efisiensi penurunan kadar COD, BOD₅ dan penghilangan zat warna dari air limbah berturut-turut yaitu sebesar 98%, 94,2%, dan 99,9% yang dicapai dengan proses gabungan elektrokoagulasi-adsorpsi [7]. 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 [5]. Adsorpsi ini dapat dilakukan dengan bermacam-macam bahan, seperti karbon aktif, zeolit, dan silika gel. Zeolit menjadi pilihan dalam melakukan pengolahan lindi metode adsorpsi. Hal ini dikarenakan harga zeolit lebih terjangkau dibandingkan dengan harga karbon aktif dan silika gel.

Berdasarkan permasalahan yang ada dan data dari penelitian terdahulu, dapat dilihat bahwa metode elektrokoagulasi-adsorpsi zeolit berpotensi dalam menurunkan kadar COD, *Total Suspended Solid*

(TSS) dan pH sehingga pada penelitian ini dilakukan kajian terhadap pengaruh variasi jarak elektroda dan tegangan terhadap efektivitas pengolahan air lindi dengan metode elektrokoagulasi-adsorpsi. Hasil penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi positif bagi masyarakat dan ilmu pengetahuan.

Teori

Lindi merupakan limbah cair yang dihasilkan dari proses masuknya air ke dalam timbunan sampah sehingga dapat melarutkan unsur-unsur kimiawi termasuk materi organik hasil dekomposisi sampah. Secara umum, lindi memiliki kandungan senyawa organik, anorganik, maupun xenobiotik (senyawa asing bagi makhluk hidup seperti bakteri patogen, dioksin, dan *polycyclic aromatic hydrocarbons* (PAH). Senyawa tersebut berpotensi menimbulkan pencemaran air tanah maupun air permukaan bila tidak diolah dengan baik [8]. Ada banyak faktor yang memengaruhi kualitas lindi seperti umur, variasi cuaca musiman, endapan, jenis sampah dan komposisi sampah, dan komposisi lindi TPA terutama tergantung pada umur TPA. Sifat utama lindi adalah BOD, COD, rasio BOD/COD, padatan tersuspensi, pH, amonia-nitrogen, dan logam berat. Pra-pengolahan diperlukan agar lindi TPA memenuhi standar pembuangannya untuk dibuang langsung ke air permukaan atau selokan [9]. Berdasarkan metode yang digunakan, proses pengolahan air lindi dibagi menjadi tiga jenis yaitu fisika, kimia, dan biologi. Proses pengolahan air lindi dapat menggunakan salah satu metode tersebut atau bisa juga menggunakan ketiganya.

Elektrokoagulasi merupakan metode pengolahan air secara elektrokimia, pada anoda terjadi pelepasan koagulan aktif berupa ion logam ke dalam larutan, sedangkan pada katoda terjadi reaksi elektrolisis berupa pelepasan gas hidrogen [10]. Proses elektrokoagulasi melibatkan reaksi utama, yaitu [11]:

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

Pengolahan limbah secara elektrokoagulasi dipilih karena prosesnya tidak menggunakan bahan kimia, sehingga tidak perlu dilakukan penetralan terhadap pemakaian bahan kimia berlebih [12]. Adapun faktor-faktor yang memengaruhi pada saat proses elektrokoagulasi meliputi elektroda yang digunakan, daya hantar listrik, waktu kontak, dan desain alat seperti luas elektroda dan jarak antar elektroda [13].

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. 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 [14]

Zeolit menjadi pilihan dalam melakukan pengolahan lindi metode adsorpsi. 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 [15].

Metodologi Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Fakultas Teknik Kimia Universitas Muhammadiyah Surakarta. Bahan yang digunakan yaitu air lindi yang didapatkan dari TPA Sukosari Jumantono, Kabupaten Karanganyar, bahan zeolit dan *aquadest* diperoleh di *online shop*. Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *aluminium foil*, gelas beker, *hot plate*, kabel, kertas saring, *magnetic stirrer*, penjepit buaya, pipet ukur, plat besi, *power supply*, reaktor, dan triplek.

Percobaan elektrokoagulasi dilakukan pada sebuah reaktor kaca dengan dimensi reaktor yaitu 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 yang dihubungkan dengan *power supply* dan proses dilakukan selama 1 jam. Massa adsorben zeolit yang digunakan yaitu 30 g. Rangkaian alat elektrokoagulasi ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Rangkaian Alat Elektrokoagulasi

Variasi yang digunakan yaitu variasi jarak elektroda 1 cm, 1,5 cm, dan 2 cm serta variasi tegangan 10 volt, 20 volt, dan 30 volt, kemudian volume lindi 1 liter, massa adsorben zeolit 30 g dan waktu tinggal adsorpsi 2 jam. Percobaan dirancang dengan menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) dengan desain penelitian ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Desain Penelitian

Jarak Elektroda (cm) \ Tegangan (volt)	10 (x)	20 (y)	30 (z)
1 (A)	Ax	Ay	Az
1,5 (B)	Bx	By	Bz
2 (C)	Cx	Cy	Cz

Prosedur Penelitian

Tahapan penelitian dimulai dari persiapan sampel air lindi yaitu dengan pengambilan air lindi, kemudian melakukan pengenceran air lindi dengan perbandingan air lindi dan *aquadest* yaitu 2 : 1. Pengenceran air lindi dilakukan untuk mengurangi kepekatan air lindi. Tahap selanjutnya, dilakukan pemeriksaan karakteristik awal air lindi seperti kadar COD, TSS, pH sebelum melakukan pengolahan metode elektrokoagulasi-adsorpsi zeolit. Hal ini untuk menentukan apakah setelah pengolahan metode elektrokoagulasi-adsorpsi zeolit terjadi penurunan kadar COD, TSS, pH. Pada pengolahan air lindi metode elektrokoagulasi dilakukan selama 1 jam dengan elektroda besi yang dimasukkan ke dalam reaktor yang berisi air lindi. Variasi jarak elektroda yaitu: 1 cm, 1,5 cm, dan 2 cm dan variasi tegangan: 10 volt, 20 volt, dan 30 volt. Pengolahan air lindi dilanjutkan dengan metode adsorpsi zeolit yaitu air lindi hasil elektrokoagulasi dimasukkan ke dalam wadah yang sudah diisi zeolit sebanyak 30 g kemudian dibiarkan dengan waktu tinggal 2 jam. Tahap terakhir, yaitu dilakukan proses filtrasi. Hasil pengolahan kemudian dilakukan pemeriksaan karakteristik air lindi yaitu berupa kadar COD berdasarkan standar uji SNI 6989.2-2019 [16], untuk kadar TSS berdasarkan standar uji *In House Method* [17], dan nilai pH berdasarkan standar uji SNI 06-6989.11-2019 [18].

Hasil

Karakteristik Air Lindi

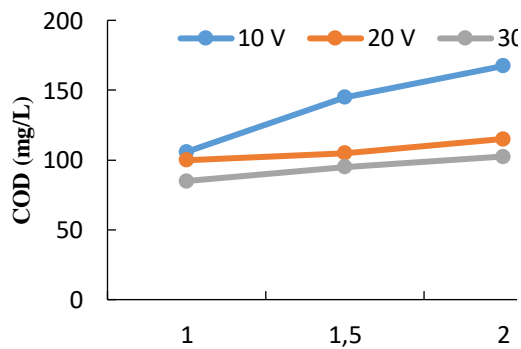
Nilai COD, TSS, dan pH merupakan beberapa karakteristik limbah yang dijadikan parameter dalam penetapan baku mutu oleh pemerintah. Air lindi yang telah diambil kemudian dilakukan pengenceran untuk mengurangi kepekatan air lindi. Air lindi dilakukan analisis karakteristik awal sebelum dilakukan pengolahan dengan metode elektrokoagulasi-adsorpsi zeolit. Hasil karakteristik awal kemudian disesuaikan dengan baku mutu oleh Permen LHK RI NOMOR P.59/Menlhk/Setjen/Kum.1/7/2016 [19]. Hasil karakteristik awal sebelum dilakukan pengolahan dengan metode elektrokoagulasi-adsorpsi zeolit menunjukkan perlu dilakukannya pengolahan pada air lindi dikarenakan air lindi tersebut tidak sesuai baku mutu atau melebihi batas yang telah ditentukan. Air lindi yang telah dilakukan proses pengolahan dengan metode elektrokoagulasi-adsorpsi zeolit kemudian dilakukan pengujian kadar COD, TSS, dan pH. Adapun hasil karakteristik air lindi dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Karakteristik Air Lindi

		COD (mg/L)	Efisiensi (%)	TSS (mg/L)	Efisiensi (%)	pH
Baku Mutu		300	-	100	-	6-9
Sebelum Pengolahan		7.300	-	2.210	-	8,3
Sesudah Pengolahan						
Jarak Elektroda (cm)	Tegangan (volt)					
1	10	106	98,55	8	99,64	8,3
	20	100	98,63	6	99,73	8,9
	30	85	98,84	4	99,82	9,2
1,5	10	145	98,01	9	99,59	8,4
	20	105	98,56	7	99,68	8,9
	30	95	98,70	6	99,73	9,5
2	10	167,5	97,71	12	99,46	9,6
	20	115	98,42	8	99,64	9,8
	30	102,5	98,60	7	99,68	9,8

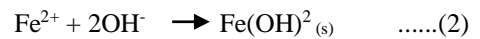
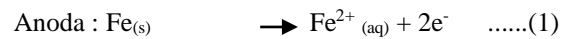
Pengaruh Jarak Elektroda dan Tegangan terhadap Kadar COD setelah Pengolahan

COD merupakan jumlah oksigen yang digunakan untuk mengoksidasi bahan organik secara kimia menjadi anorganik dan termasuk salah satu parameter penting pada air limbah. Nilai COD juga dipengaruhi dengan keberadaan oksigen [20]. Hasil pengolahan yang telah dilakukan ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Hasil Kadar COD setelah Pengolahan

Pad Gambar 2 diketahui bahwa semakin kecil jarak elektroda dan semakin tinggi tegangan maka penurunan kadar COD semakin optimal. Data awal kadar COD sebelum pengolahan sebesar 7.300 mg/L kemudian hasil pengolahan yang paling optimal didapatkan kadar COD menjadi 85 mg/L pada jarak elektroda 1 cm dan tegangan sebesar 30 Volt. Penurunan kadar COD ini disebabkan adanya reaksi oksidasi dan reduksi yang berlangsung pada anoda dan katoda. Pada elektroda-elektroda terbentuk gas oksigen dan hidrogen yang mempengaruhi reduksi COD [21]. Reaksi dituliskan pada Persamaan (1), (2), dan (3).



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 [22].

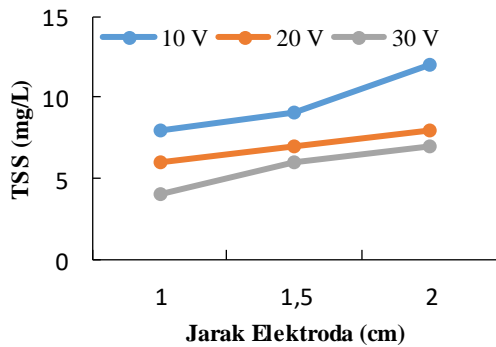
Hal ini sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan, ketika jarak elektroda meningkat maka efisiensi pemrosesan menurun. Hal ini dikarenakan semakin besar jarak antar elektroda, maka interaksi ion dalam larutan dengan koagulan semakin sedikit terjadi. Kemudian semakin besar jarak antar elektroda maka semakin besar pula tegangan yang dibutuhkan. Saat kuat tegangan tinggi, hidroksil yang larut dan kecepatan pembentukan hidroksida meningkat sehingga endapan yang dihasilkan lebih banyak dan meningkatkan penurunan polutan di dalam air.

Sehingga variasi optimal untuk menurunkan kadar COD pada air lindi dengan metode pengolahan elektrokoagulasi-adsorpsi zeolit yaitu pada jarak elektroda 1 cm dan tegangan 30 volt dengan efisiensi penurunan COD sebesar 98,84% dari 7.300 mg/L menjadi 85 mg/L. Sesuai baku mutu untuk kadar COD yang harus dipenuhi yaitu 300 mg/L dan variasi optimal ini sudah memenuhi baku mutu tersebut.

Pengaruh Jarak Elektroda dan Tegangan terhadap Kadar TSS setelah Pengolahan

Total Suspended Solid (TSS) merupakan suatu pengukuran jumlah mg/L padatan yang tidak terlarut atau tersuspensi dan biasanya terdapat sebagai

padatan berpasir atau lumpur. Padatan terlarut pada proses TSS ini berupa padatan suspensi dan koloid yang terkandung pada proses TSS. Sehingga dilakukan proses penyaringan air limbah. Hasil pengolahan yang telah dilakukan ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Hasil Kadar TSS setelah Pengolahan

Pada Gambar 3 dapat diketahui bahwa penurunan kadar TSS semakin optimal ketika semakin kecil jarak elektroda dan semakin tinggi tegangan. Data awal kadar TSS sebelum pengolahan yaitu sebesar 2.210 mg/L kemudian hasil pengolahan yang paling optimal didapatkan kadar TSS menjadi 4 mg/L pada jarak elektroda 1 cm dan tegangan sebesar 30 volt.

Turunnya kadar TSS disebabkan pada anoda terjadi reaksi oksidasi anion (ion negatif). Anoda yang terbuat dari logam akan mengalami reaksi oksidasi yang membentuk $Al(OH)_3$. Sedangkan reaksi reduksi yang terjadi pada katoda menghasilkan gas hidrogen (H_2) yang akan membawa koloid-koloid zat pengotor akan naik ke permukaan gelas beaker (proses flotasi). Semakin besar tegangan listrik yang diberikan semakin banyak pula dihasilkan flok-flok yang berfungsi untuk mengikat kontaminan yang berada pada air limbah. Flok-flok yang dihasilkan sebagian dapat mengendap dan sebagian terflotasi ke permukaan [23]. Sedangkan pengaruh jarak elektroda akan berdampak pada kecepatan transfer antara anoda yang melepas elektron dengan katoda sebagai tempat terjadinya proses reduksi [24].

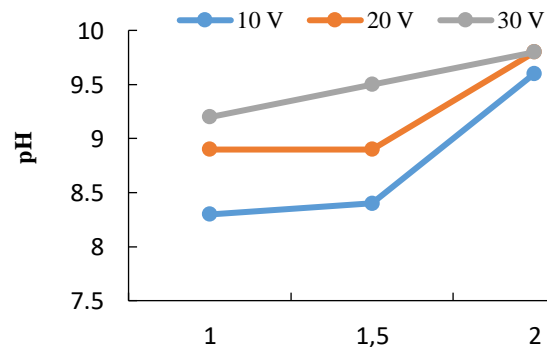
Dapat dilihat pada hasil pengolahan yang telah dilakukan bahwa pada jarak elektroda 1 cm dengan tegangan 10 volt didapatkan efisiensi sebesar 99,64%, kemudian pada tegangan 20 volt didapatkan efisiensi sebesar 99,73%, dan pada tegangan 30 volt didapatkan efisiensi sebesar 99,82%. Kemudian pada jarak elektroda 1,5 cm dengan tegangan 10 volt didapatkan efisiensi sebesar 99,59%, lalu pada tegangan 20 volt didapatkan efisiensi sebesar 99,68%, dan pada tegangan 30 volt didapatkan efisiensi sebesar 99,73%. Lalu pada jarak elektroda 2 cm dengan tegangan 10 volt didapatkan efisiensi sebesar 99,46%, lalu pada tegangan 20 volt didapatkan efisiensi sebesar 99,64%, dan pada

tegangan 30 volt didapatkan efisiensi sebesar 99,68%.

Sehingga variasi optimal untuk menurunkan kadar TSS pada air lindi dengan metode pengolahan elektrokoagulasi-adsorpsi zeolit yaitu pada jarak elektroda 1 cm dan tegangan 30 volt dengan efisiensi penurunan TSS sebesar 99,82% dari 2.210 mg/L menjadi 4 mg/L. Hal ini sudah sesuai dengan standar baku mutu yang telah ditetapkan, sehingga proses pengolahan air lindi dengan variasi ini sudah aman jika dibuang ke lingkungan.

Pengaruh Jarak Elektroda Dan Tegangan Terhadap Kadar pH Setelah Pengolahan

Nilai pH menunjukkan keseimbangan asam-basa dalam air. pH yang terlalu rendah atau limbah yang asam berbahaya bagi lingkungan, karena bersifat korosif. Sedangkan pH yang terlalu tinggi atau terlalu basa juga tidak baik bagi lingkungan. Dari penelitian yang telah dilakukan, diperoleh data harga pH disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Hasil data pH setelah Pengolahan

Berdasarkan Gambar 4 diperoleh nilai pH air lindi meningkat setelah dilakukan pengolahan. Kemudian seiring dengan besarnya jarak elektroda dan tegangan yang diberikan, nilai pH yang dihasilkanpun semakin tinggi. Pada baku mutu yang ada, batas untuk nilai pH yaitu antara 6-9. Pada karakteristik awal air lindi sebelum pengolahan metode elektrokoagulasi-adsorpsi zeolit diperoleh nilai pH sebesar 8,3. Setelah dilakukan pengolahan elektrokoagulasi-adsorpsi zeolit didapatkan peningkatan paling besar yaitu pada jarak elektroda 2 cm dan tegangan 30 volt dengan nilai pH sebesar 9,8. Untuk variasi optimal yang dapat diterapkan yaitu pada jarak elektroda 1 cm dan tegangan 10 volt dengan nilai pH sebesar 8,3. Peningkatan pH mengakibatkan penurunan kadar polutan pada limbah. Peningkatan nilai pH disebabkan karena pada proses elektrokoagulasi terjadi akumulasi peningkatan ion hidroksida (OH^-). Banyaknya jumlah ion hidroksida menyebabkan energi yang dibutuhkan pembentukan gas hidrogen atau oksigen semakin rendah sehingga akan dihasilkan gelembung gas yang banyak. Jumlah gelembung udara yang meningkat juga meningkatkan kinerja flotasi [25].

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian pengaruh jarak elektroda dan tegangan pada pengolahan lindi dengan metode elektokoagulasi-adsorpsi zeolit yang telah dilakukan maka diperoleh kesimpulan bahwa variasi optimal dalam menurunkan kadar COD, TSS, dan pH, yaitu pada jarak 1 cm dan tegangan 30 volt yang menghasilkan efisiensi removal kadar COD sebesar 98,84% dan kadar TSS sebesar 99,82%. Untuk nilai pH didapatkan hasil, semakin besar jarak elektroda dan tegangan maka semakin tinggi nilai pH yang didapat. Peningkatan paling besar yaitu pada jarak elektroda 2 cm dan tegangan 30 volt dengan nilai pH sebesar 9,8. Untuk variasi optimal yang dapat diterapkan yaitu pada jarak elektroda 1 cm dan tegangan 10 volt dengan nilai pH sebesar 8,3.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Laboratorium Teknik Kimia Universitas Muhammadiyah Surakarta dan pihak TPA Sukosari Jumantono, Kabupaten Karanganyar. Ucapan terimakasih pula penulis kepada Rosa Amalia Putri dan Trisnawati yang telah membantu dalam penelitian serta semua pihak yang telah berperan dalam penelitian sehingga penelitian ini dapat dituangkan dalam bentuk tulisan dan diinformasikan kepada khalayak umum.

Daftar Pustaka

- [1] Anonim, Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 2008 Tentang Pengelolaan Sampah, UU Republik Indonesia, Indonesia, 2008, pp. 1–46.
- [2] N. Galvão, J. B. de Souza, and C. M. de Sousa Vidal, “Landfill leachate treatment by electrocoagulation: effects of current density and electrolysis time,” *J. Environ. Chem. Eng.*, vol. 8, no. 5, pp. 1–8, 2020.
- [3] N. Huda, A. A. A. Raman, M. M. Bello, and S. Ramesh, “Electrocoagulation treatment of raw landfill leachate using iron-based electrodes: effects of process parameters and optimization,” *J. Environ. Manage.*, vol. 204, no. 2017, pp. 75–81, 2017.
- [4] M. Bharath, B. M. Krishna, and B. Manoj Kumar, “Degradation and biodegradability improvement of the landfill leachate using electrocoagulation with iron and aluminum electrodes: a comparative study,” *Water Pract. Technol.*, vol. 15, no. 2, pp. 540–549, 2020.
- [5] A. Takwanto, A. Mustain, and H. P. Sudarminto, “Penurunan kandungan polutan pada lindi dengan metode elektokoagulasi-adsorpsi karbon aktif untuk memenuhi standar baku mutu lingkungan,” *J. Tek. Kim. dan Lingkungan*, vol. 2, no. 1, pp. 11–16, 2018.
- [6] G. Hassani *et al.*, “Optimization of landfill leachate treatment process by electrocoagulation, electroflotation and sedimentation sequential method,” *Int. J. Electrochem. Sci.*, vol. 11, no. 8, pp. 6705–6718, 2016.
- [7] E. Bazrafshan, M. R. Alipour, and A. H. Mahvi, “Textile wastewater treatment by application of combined chemical coagulation, electrocoagulation, and adsorption processes,” *Desalin. Water Treat.*, vol. 57, no. 20, pp. 9203–9215, 2016.
- [8] M. A. R. Syawalian, Y. Yohana, and A. Kahar, “Pengaruh kuat arus dan tegangan terhadap perubahan kandungan logam pada lindi TPA sampah dengan metode elektrolisis,” *J. Chemurg.*, vol. 3, no. 1, pp. 6–10, 2019.
- [9] M. Bharath, B. M. Krishna, and B. M. Kumar, “Degradation and biodegradability improvement of the landfill leachate using electrocoagulation with iron and aluminum electrodes: a comparative study,” *Water Pract. Technol.*, vol. 15, no. 2, pp. 540–549, 2020.
- [10] H. Sinaga, I. Amri, and I. HS, “Pemanfaatan teknologi elektokoagulasi untuk pengolahan limbah cair industri tahu menggunakan elektroda AI-AI dengan variabel jarak elektroda dan kuat arus,” *Jurnal Online Mahasiswa*, vol. 6, no. 1, pp. 1–6, 2019.
- [11] S. H. Abbas and W. H. Ali, “Electrocoagulation technique used to treat wastewater: a review,” *Am. J. Eng. Res.*, vol. 7, no. 10, pp. 74–88, 2018.
- [12] N. Fauzi, K. Udyani, D. R. Zuchrillah, and F. Hasanah, “Penggunaan metode elektokoagulasi menggunakan elektroda alumunium dan besi pada pengolahan air limbah batik,” *Semin. Nas. Inov. dan Apl. Teknol. di Ind.*, vol. 5, no. 4, pp. 209–214, 2019.
- [13] A. I. Saputra, “Penurunan TSS air limbah laboratorium rumah sakit menggunakan metode elektokoagulasi,” *J. Nurs. Public Heal.*, vol. 6, no. 2, pp. 6–13, 2018.
- [14] R. L. Hanastasia, A. Setiawan, and T. A. Ramadani, “Treatment of Pb(II) metal in wastewater using combination method of electrocoagulation – activated carbon adsorption,” *J. Presipitasi Media Komun. dan Pengemb. Tek. Lingkungan*, vol. 17, no. 2, pp. 96–103, 2020.
- [15] C. Widiyati, “Pemanfaatan zeolit untuk penurunan COD dan BOD limbah pengolahan kulit,” *Berk. Penelit. Teknol. Kulit, Sepatu, dan Prod. Kulit*, vol. 12, no. 2,

- pp. 26–39, 2013.
- [16] Anonim, Air dan air limbah – Bagian 73: cara uji kebutuhan oksigen kimiawi (Chemical Oxygen Demand/COD) dengan refluks tertutup secara titrimetri (SNI 6989.73:2009), Badan Standardisasi Nasional, Indonesia, 2009, pp. 1–7.
- [17] Anonim, Air dan air limbah – Bagian 3: cara uji padatan tersuspensi total (TSS) secara gravimetri, Badan Standardisasi Nasional, Indonesia, 2019, pp. 1-7.
- [18] Anonim, Air dan air limbah - Bagian 11 cara uji pH (derajat keasaman) menggunakan pH meter (SNI 6989.11:2019), Badan Standardisasi Nasional, Indonesia, 2019, pp. 1–7.
- [19] Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia, Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indoneisa Nomor P.59/Menlhk/Setjen/Kum.1/7.2016 Tentang Baku Mutu Lindi Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Tempat Pemrosesan Akhir Sampah, Indonesia, 2016, pp. 1–12.
- [20] I. B. Kartikasari, M. Widyastuti, and S. Hadisusanto, “Pengujiian toksisitas lindi instalasi pengolahan lindi TPA Piyungan pada *Daphnia* sp. dengan whole effluent toxicity,” *J. Ilmu Lingkung.*, vol. 18, no. 2, pp. 297–304, 2020.
- [21] I. Amri, Pratiwi Destinefa, and Zultiniar, “Pengolahan limbah cair tahu menjadi air bersih dengan metode elektrokoagulasi secara kontinyu,” *Chempublish J.*, vol. 5, no. 1, pp. 57–67, 2020.
- [22] E. Saputra and F. Hanum, “Elektrokoagulasi terhadap pengolahan effluent the effect of inter electrode distance on,” *J. Tek. Kim. USU*, vol. 5, no. 4, pp. 33–38, 2016.
- [23] P. N. Setianingrum, A. Prasetya, and Sarto, “Pengaruh tegangan listrik, jarak antar elektroda dan waktu kontak terhadap penurunan zat warna remazol red rb menggunakan metode elektrokoagulasi,” *Prisiding Semin. Nas. Teknol. Pengolah. Limbah XV*, pp. 147–156, 2017.
- [24] A. Nugraha, I. Amri, and I. HS, “Pengaruh pola dan jarak elektroda pada proses elektrokoagulasi limbah cair industri tahu,” *Jurnal Online Mahasiswa*, vol. 5, no. 2, pp. 1–5, 2018.
- [25] Y. Fendriani, Nurhidayah, L. Handayani, Samsidar, and Rustan, “Pengaruh variasi jarak elektroda dan waktu terhadap pH dan TDS limbah cair batik menggunakan metode elektrokoagulasi,” *J. Online Phys.*, vol. 5, no. 2, pp. 59–64, 2020.