

PENGARUH VARIASI JARAK ELEKTRODA PADA METODE ELEKTROKOAGULASI DALAM PENGOLAHAN LIMBAH CAIR BATUBARA

THE EFFECT OF ELECTRODE DISTANCE VARIATIONS ON ELECTROCOAGULATION METHODS IN COAL WASTEWATER TREATMENT

Alya Triana Dewi¹, Muhammad Syahirul Alim¹, Riza Miftahul Khair¹, Chairul Abdi¹

¹Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat
Jl. A. Yani Km. 36 Banjarbaru Kalimantan Selatan, 70714, Indonesia

Email: alyatriana1904@gmail.com

ABSTRAK

Kegiatan penimbunan batubara di stockpile menghasilkan limbah cair batubara yang memiliki kandungan zat polutan, maka diperlukan upaya pengolahan sebelum dilepas pada lingkungan supaya tidak menyebabkan pencemaran sesuai dengan regulasi Peraturan Gubernur Kalimantan Selatan No. 36 Tahun 2008 mengenai Baku Mutu Air Limbah Batubara. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa hasil uji kualitas limbah cair batubara sesudah dilakukan pengolahan menggunakan metode elektrokoagulasi dalam mencapai baku mutu lingkungan serta menganalisa pengaruh jarak elektroda yang digunakan pada metode elektrokoagulasi terhadap pengolahan limbah cair batubara. Penelitian ini memakai metode elektrokoagulasi yaitu proses pengolahan air limbah menggunakan aliran listrik searah dan elektroda berupa plat Aluminium (Al) berdimensi 20 cm x 10 cm serta tebal 0,5 mm. Parameter diuji yakni Total Suspended Solid (TSS), mangan (Mn) besi (Fe), serta pH dengan masing-masing elektroda berjarak 1 cm, 2 cm, serta 3 cm dengan waktu kontak sekitar 90 menit. Tegangan yang digunakan adalah 12 volt dan kuat arus 10A. Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses elektrokoagulasi dengan jarak elektroda 1 cm paling efisien dalam menurunkan kadar zat polutan, pada parameter pH nilai meningkat dari 5,36 menjadi 7,23, pada parameter TSS nilai efisiensi mencapai sebesar 99,97% dengan penurunan kadar menjadi 1,33 mg/L dari 4305 mg/L, pada parameter besi (Fe) nilai efisiensi mencapai 99,95% dengan penurunan kadar menjadi 0,02 mg/L dari 53 mg/L serta pada parameter mangan (Mn) nilai efisiensi mencapai sebesar 99,85% dengan penurunan kadar menjadi 0,031 mg/L dari 20,32 mg/L. Hasil penelitian menunjukkan pada setiap parameter setelah metode elektrokoagulasi telah sesuai dengan standar baku mutu.

Kata Kunci: Elektrokoagulasi, Jarak Elektroda, Limbah Cair Batubara.

ABSTRACT

Coal stockpiling activities in the stockpile produce coal stockpile wastewater which contains pollutants so that it needs to be processed before being released into the environment so as not to cause pollution in accordance with the regulations in South Kalimantan Governor Regulation No. 36 of 2008 concerning Coal Wastewater Quality Standards. This study aims to analyze the results of the quality test of coal effluent after being treated by the electrocoagulation method in meeting environmental quality standards and to analyze the effect of the electrode distance used in the electrocoagulation method on the treatment of coal effluent. This research method is in the form of electrocoagulation, the wastewater treatment process using direct electricity and the electrode is an Aluminum (Al) plate with dimensions of 20 cm x 10 cm and a thickness of 0.5 mm. The parameters were Total Suspended Solid (TSS), pH, iron (Fe) and manganese (Mn) with variations in electrode distance of 1 cm, 2 cm, and 3 cm with a contact time of 90 minutes. The voltage used is 12 volts and the current is 10A. The results showed that the electrocoagulation process with an electrode distance of 1 cm was the most efficient in reducing pollutant levels, in the pH parameter the value increased from 5.36 to 7.23, in the TSS parameter the efficiency value reached 99.97% with a reduction in levels from 4305 mg. /L to 1.33 mg/L, on the iron (Fe) parameter the efficiency value reached 99.95% with a reduction in levels from 53 mg/L to 0.02 mg/L and on the manganese (Mn) parameter the efficiency value reached 99.85% with a reduction in levels from 20.32 mg/L to 0.031 mg/L. The results showed that each parameter after the electrocoagulation method was in accordance with environmental quality standards.

Keywords: Coal Wastewater, Electrocoagulation, Electrode Distance.

1. PENDAHULUAN

Pertambangan batubara merupakan salah satu sektor usaha di bidang pertambangan yang cukup berkembang di Kalimantan Selatan. Secara umum, pertambangan batubara sama seperti pertambangan lainnya yang terdiri atas berbagai rangkaian kegiatan dimulai pada penyelidikan umum, mengeksplorasi, studi kelayakan, konstruksi, menambang, mengolah, memurnikan, mengangkut, serta menjual (Fitriyanti, 2016). Tahapan pengangkutan merupakan salah satu tahapan yang memberikan dampak terhadap lingkungan. Sebelum batubara diangkut ke tongkang konsumen, batubara ditimbun terlebih dahulu di *stockpile*. Proses kegiatan penimbunan batubara di *stockpile* sebelum dilakukan pengangkutan ini juga disebut dengan *stockpiling*.

Batubara mempunyai mineral pengotor yang terkandung di dalamnya yang selama proses penimbunan di *stockpile* akan memiliki kontak langsung dengan udara kemudian dapat tersuspensi dalam limpasan air hujan yang mengakibatkan terbentuknya limbah cair

batubara. Air yang bercampur dengan batuan yang memiliki kandungan sulfida menyebabkan limbah cair batubara bersifat asam dan mengandung logam seperti besi, mangan serta padatan tersuspensi (Sinaga & Putra, 2021). Dengan demikian, diperlukan pengolahan pada limbah cair batubara terlebih dahulu sebelum dilepas ke badan air agar tidak mencemari lingkungan.

Saat ini cukup banyak alternatif pengolahan limbah cair batubara dan salah satunya adalah menggunakan metode elektrokoagulasi. Elektrokoagulasi adalah metode yang disarankan karena metode ini dapat dilakukan tanpa menggunakan bahan kimia, tetapi menggunakan plat elektroda yang dialiri oleh arus listrik DC atau searah sehingga terjadi destabilisasi zat yang terlarut di dalam air yang menyebabkan penggumpalan. Faktor yang mempengaruhi proses elektrokoagulasi salah satunya adalah jarak elektroda (Vaujiah, 2018). Penelitian Sinaga (2019) membuktikan bahwa jarak elektroda memiliki pengaruh terhadap penyisihan kadar zat polutan yaitu TSS, COD, dan BOD serta dapat menaikkan nilai pH. Penyisihan optimum TSS, COD, BOD serta peningkatan pH terjadi pada variasi jarak elektroda 2 cm sebesar 85,16%, 76,36% dan 72,83% serta nilai pH dari 3,87 menjadi 6,31. Hal tersebut menjadi latar belakang dilakukannya penelitian untuk menganalisis penyisihan TSS, Besi (Fe), Mangan (Mn), serta peningkatan nilai pH pada limbah cair batubara setelah proses elektrokoagulasi serta menganalisis pengaruh jarak elektroda di proses elektrokoagulasi terhadap penyisihan TSS, Mangan (Mn), Besi (Fe), serta peningkatan nilai pH.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian berikut diselenggarakan di bulan April sampai Juni pada tahun 2022. Lokasi-lokasi yang digunakan selama penelitian adalah PT Kalimantan Prima Persada sebagai tempat pengambilan sampel limbah cair batubara, Laboratorium Rekayasa Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Lambung Mangkurat sebagai tempat dilakukannya proses elektrokoagulasi, dan Laboratorium Kualitas Air dan Hidro-Bioekologi Fakultas Perikanan dan Kelautan sebagai tempat pengujian kadar TSS, mangan (Mn), besi (Fe), serta nilai pH menggunakan spektrofotometer dan pH meter.

2.2 Alat dan Bahan

Penelitian berikut menggunakan peralatan power supply adaptor 12 volt, kabel penghubung maupun steker, kabel jumper capit buaya, bak kaca, penyangga, stopwatch, jeriken 20 liter, botol sampel plastik, dan stop kontak. Penelitian berikut menggunakan bahan limbah cair batubara PT Kalimantan Prima Persada dan plat aluminium (Al).

2.3 Prosedur Penelitian

Prosedur atau tata cara yang digunakan pada penelitian berikut ialah persiapan peralatan elektrokoagulasi serta pemberian variasi jarak elektroda.

1. Persiapan Alat Elektrokoagulasi

Bak kaca dimasukkan 2 elektroda plat aluminium (Al) dengan ukuran 20 cm x 10 cm yang memiliki tebal 0,5 mm yang telah diberi penyangga atas dengan jarak elektroda yang sudah ditentukan. Masing-masing plat sebagai katoda dan anoda yang dijepit menggunakan kabel capit buaya. Kabel capit buaya disambungkan dengan DC Power supply adaptor 12 volt. Kabel penghubung steker disambungkan dengan DC Power Supply Adaptor dan siap dilakukan proses elektrokoagulasi pada sampel limbah cair batubara.

2. Pemberian Variasi Jarak Elektroda

Bak kaca diisi dengan 1000 ml sampel limbah cair batubara dan dijepitkan 2 elektroda plat aluminium berukuran 20 cm x 10 cm serta memiliki tebal 0.5 mm. Sebelum dilakukan proses elektrokoagulasi dilakukan pengkondisian sampel limbah cair batubara agar kualitas tidak berubah akibat terendap di dalam jeriken dengan cara dihomogenkan. Dilakukan variasi jarak elektroda yaitu 1000 mL sampel limbah cair batubara dengan jarak elektroda 1 cm, 1000 mL sampel limbah cair batubara berjarak elektroda 2 cm serta 1000 mL sampel limbah cair batubara berjarak elektroda 3 cm. Proses elektrokoagulasi dilakukan menggunakan waktu kontak selama 90 menit. Setelah proses elektrokoagulasi mencapai waktu yang telah ditentukan, sumber DC dimatikan. Hasil proses elektrokoagulasi didiamkan selama 60 menit agar flok terendap sempurna. Prosedur yang sama dilakukan kembali sebanyak 3 (tiga) kali pengulangan. Pada setiap pengulangan, plat aluminium yang digunakan selalu diganti dengan plat yang baru agar aluminium tidak terkikis habis.

2.4 Analisis Data

Analisis data dari hasil dilakukan guna mengetahui efisiensi penyisihan kadar TSS, besi (Fe), mangan (Mn) menggunakan rumus persen kadar TSS, besi (Fe), mangan (Mn) awal dan akhir.

$$Efisiensi = \frac{C_1 - C_2}{C_1} \times 100\% \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan:

C1 = kadar awal

C2 = kadar akhir

Analisis data secara statistik juga dilakukan menggunakan aplikasi IBM SPSS 25. Pengujian statistik pada penelitian berikut menggunakan pengujian normalitas, pengujian homogenitas, pengujian *One-way ANOVA* serta pengujian *Post-Hoc LSD*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Karakteristik Limbah Cair Batubara

Penelitian berikut memakai limbah cair batubara dari kegiatan stockpiling pada inlet settling pond PT Kalimantan Prima Persada Site Port Sungai Puting. Karakteristik awal limbah cair batubara dianalisis dengan tujuan untuk mengetahui besarnya kadar parameter pencemar pada limbah cair batubara. Hasil pengujian karakteristik awal limbah cair batubara sebelum diolah elektrokoagulasi bisa diketahui pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Karakteristik Awal Limbah Cair Batubara

No.	Parameter	Satuan	Baku Mutu	Hasil Analisa			Rata-rata Hasil Analisa
				I	II	III	
1	pH	-	6-9	5,47	5,33	5,30	5,36
2	TSS	mg/L	200	4356	3942	4617	4305
3	Fe	mg/L	7	54	53	52	53
4	Mn	Mg/L	4	20,32	19,30	21,34	20,32

Sumber: Lab. Kualitas Air dan Hidro-Bioekologi Fakultas Perikanan dan Kelautan ULM, 2022

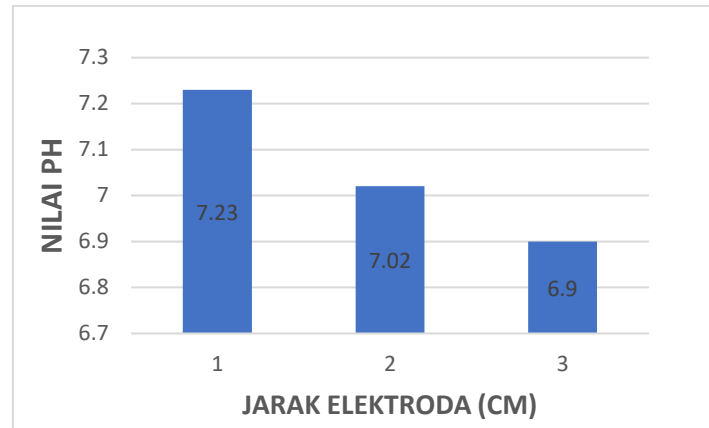
Berdasar pada tabel tersebut, bisa dilihat bahwa sampel limbah cair batubara di parameter mangan (Mn), pH, besi (Fe), serta TSS, lebih dari baku mutu pada Peraturan Gubernur No.36 Tahun 2008 perihal Baku Mutu Air Limbah bagi Usaha dan atau Kegiatan Pertambangan Batubara.

3.2 Perubahan Nilai pH pada Metode Elektrokoagulasi

Tabel 2. Hasil Uji Nilai pH

Variasi Jarak Elektroda (cm)	Pengulangan			Rata-rata	Baku Mutu
	I	II	III		
0	5,47	5,33	5,30	5,36	6 – 9
1	7,26	7,22	7,21	7,23	
2	7,01	7,04	7,02	7,02	
3	6,92	6,98	6,82	6,90	

Sumber: Lab Kualitas Air & Hidro Bio-Ekologi Fakultas Perikanan dan Kelautan ULM, 2022



Gambar 1. Grafik Perubahan Nilai pH

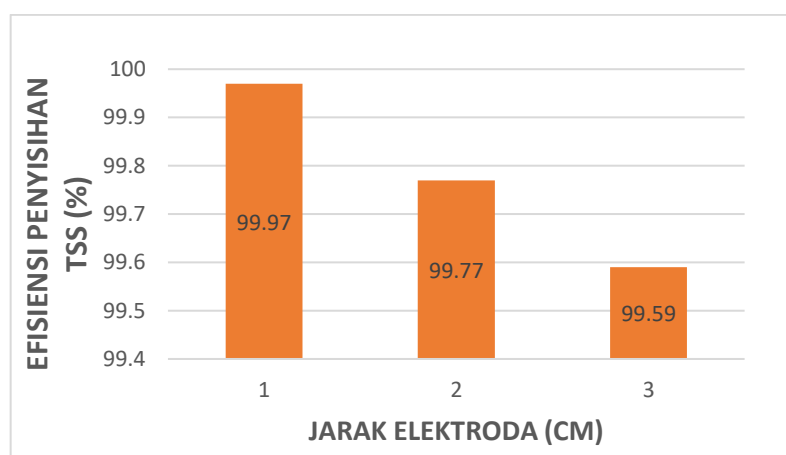
Pada penelitian dengan metode elektrokoagulasi ini terjadi perubahan nilai pH pada limbah cair batubara. Nilai pH pada limbah cair batubara sebelum dilakukan pengolahan menggunakan metode elektrokoagulasi cukup rendah yaitu berkisar antara 5,30 – 5,47 sehingga tidak mencukupi baku mutu yakni 6 – 9. Dalam metode elektrokoagulasi menggunakan plat aluminium (Al) dengan variasi jarak elektroda diperoleh perubahan nilai pH yaitu pada jarak elektroda 1 cm berubah menjadi 7,23, pada jarak elektroda 2 cm berubah menjadi 7,02, dan pada jarak elektroda 3 cm berubah menjadi 6,90. Nilai pH pada limbah cair batubara ini setelah proses elektrokoagulasi dapat mencukupi baku mutu. Dalam penelitian berikut, jarak elektroda terbaik pada metode elektrokoagulasi untuk meningkatkan nilai pH adalah 1 cm yang mampu meningkatkan nilai pH menjadi 7,23. Nilai pH meningkat karena saat dilakukan metode elektrokoagulasi terdapat peningkatan jumlah ion hidroksida (OH^-) (Fendriani *et al.*, 2020).

3.3 Penyisihan Kadar *Total Suspended Solid (TSS)* pada Metode Elektrokoagulasi

Tabel 3. Hasil Uji dan Efisiensi TSS

Variasi Jarak Elektroda (cm)	Pengulangan (mg/L)			Rata- rata (mg/L)	Baku Mutu (mg/L)	Efisiensi Elektrokoagulasi (%)
	I	II	III			
0	4356	3942	4617	4305		-
1	3	0	1	1,3	200	99,97%
2	7	10	13	10		99,77%
3	19	16	18	17,6		99,59%

Sumber: Lab Kualitas Air & Hidro Bio-Ekologi Fakultas Perikanan dan Kelautan ULM, 2022



Gambar 2. Grafik Efisiensi Penyisihan TSS

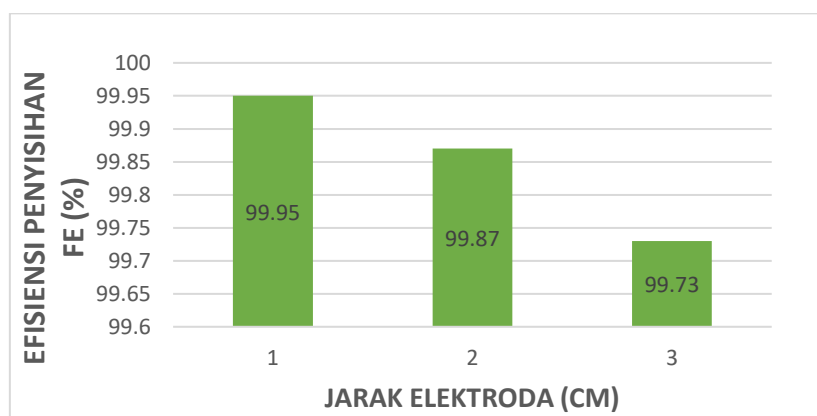
Kadar TSS pada limbah cair batubara sebelum dilakukan pengolahan menggunakan metode elektrokoagulasi sangat tinggi yaitu 4305 mg/L sehingga tidak memenuhi baku mutu yakni 200 mg/L. Pada metode elektrokoagulasi memakai plat aluminium (Al) dengan variasi jarak elektroda diperoleh efisiensi penyisihan kadar TSS yaitu berjarak elektroda 1 cm senilai 99,97% yaitu menjadi 1,33 mg/L, ketika berjarak elektroda 2 cm senilai 99,77% yaitu menjadi 10 mg/L, serta di jarak elektroda 3 cm senilai 99,59% yaitu menjadi 17,67 mg/L. Perbedaan kadar TSS dalam limbah cair batubara sebelum maupun setelah diolah dengan metode elektrokoagulasi sangat jauh sehingga kadar TSS pada limbah cair batubara sesudah diolah bisa mencukupi baku mutu. Pada penelitian ini, jarak elektroda terbaik pada metode elektrokoagulasi untuk menyisihkan kadar TSS adalah 1 cm yang mampu menyisihkan kadar TSS menjadi 1,33 mg/L dari 4305 mg/L. Menurut Saputra (2018) TSS merupakan polutan yang tersuspensi dan biasanya memiliki bentuk solid di berbagai ukuran. Partikel solid berikut mudah terserap pada koagulan $\text{Al}(\text{OH})_3$ ataupun terserap pada gelembung udara (gas hidrogen) sehingga mengalami flotasi yang mengakibatkan turunnya kadar TSS dalam limbah cair.

3.4 Penyisihan Kadar Besi (Fe) pada Metode Elektrokoagulasi

Tabel 4. Hasil Uji dan Efisiensi Penyisihan Besi (Fe)

Variasi Jarak Elektroda (cm)	Pengulangan (mg/L)			Rata- rata (mg/L)	Baku Mutu (mg/L)	Efisiensi Elektrokoagulasi (%)
	I	II	III			
0	54	53	52	53		-
1	0,01	0,03	0,04	0,026	7	99,95
2	0,07	0,06	0,08	0,070		99,87
3	0,16	0,15	0,12	0,143		99,73

Sumber: Lab Kualitas Air & Hidro Bio-Ekologi Fakultas Perikanan dan Kelautan ULM, 2022



Gambar 3. Grafik Efisiensi Penyisihan Besi (Fe)

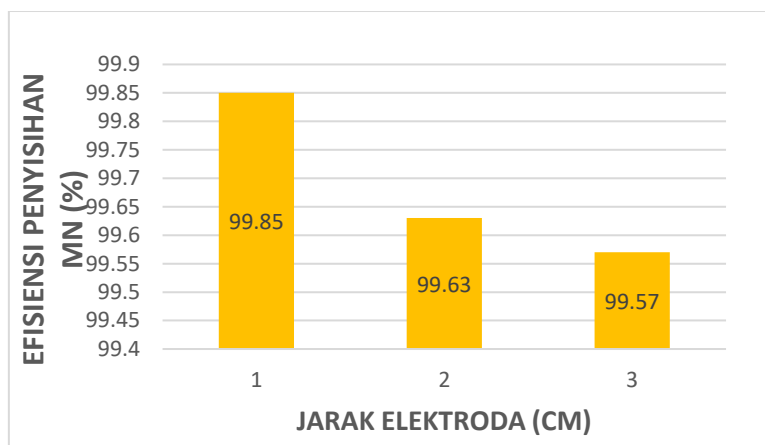
Pada penelitian ini, metode elektrokoagulasi mampu menyisihkan kadar besi (Fe) yang terkandung pada limbah cair batubara. Kadar besi (Fe) yang terkandung pada limbah cair batubara memiliki rata-rata 53 mg/L dengan nilai tertinggi mencapai 54 mg/L. Kadar tersebut lebih dari standar baku mutu sesuai Peraturan Gubernur No.36 Tahun 2008 perihal Baku Mutu Air Limbah bagi Usaha dan atau Kegiatan Pertambangan Batubara yakni 7 mg/L. Pada penelitian ini, metode elektrokoagulasi menggunakan plat aluminium (Al) dengan variasi jarak elektroda dalam mengolah limbah cair batubara menghasilkan efisiensi penyisihan kadar besi (Fe) yaitu pada jarak 1 cm sebesar 99,95% menjadi 0,026 mg/L, di jarak 2 cm sebesar 99,87% menjadi 0,070 mg/L, serta di jarak 3 cm sebesar 99,73% menjadi 0,143 mg/L. Terjadi penyisihan kadar besi (Fe) yang cukup besar pada limbah cair batubara setelah dilakukan proses elektrokoagulasi. Pada penelitian ini, jarak elektroda terbaik pada metode elektrokoagulasi untuk menyisihkan kadar Fe ialah 1 cm yang mampu menyisihkan kadar Fe menjadi 0,026 mg/L dari 53 mg/L. Penyisihan Fe terjadi karena dihasilkan ion Al^{3+} di anoda kemudian terbentuklah flok $\text{Al}(\text{OH})_3$, berfungsi koagulan. Setelahnya, flok $\text{Al}(\text{OH})_3$ mampu menyerap zat organik maupun berbagai logam pada air limbah (Saputra dan Hanum, 2016).

3.5 Penyisihan Kadar Mangan (Mn) pada Metode Elektrokoagulasi

Tabel 5. Hasil Uji dan Efisiensi Penyisihan Mangan (Mn)

Variasi Jarak Elektroda (cm)	Pengulangan (mg/L)			Rata-rata (mg/L)	Baku Mutu (mg/L)	Efisiensi Elektrokoagulasi (%)
	I	II	III			
0	20,32	19,30	21,34	20,32		-
1	0,051	0,047	0,046	0,031	4	99,85
2	0,077	0,078	0,073	0,076		99,63
3	0,091	0,085	0,087	0,087		99,57

Sumber: Lab Kualitas Air & Hidro Bio-Ekologi Fakultas Perikanan dan Kelautan ULM, 2022



Gambar 4. Grafik Efisiensi Penyisihan Mangan (Mn)

Pada penelitian ini, metode elektrokoagulasi mampu menyisihkan kadar mangan (Mn) dalam limbah cair batubara. Kadar mangan (Mn) dalam limbah cair batubara memiliki rata-rata 20,32 mg/L dengan nilai tertinggi mencapai 21,34 mg/L. Kadar tersebut lebih dari standar baku mutu sesuai Peraturan Gubernur No.36 Tahun 2008 perihal Baku Mutu Air Limbah bagi Usaha dan atau Kegiatan Pertambangan Batubara yakni senilai 4 mg/L. Pada penelitian ini, metode elektrokoagulasi menggunakan plat aluminium (Al) dengan variasi jarak elektroda dalam mengolah limbah cair batubara menghasilkan efisiensi penyisihan kadar mangan (Mn) yaitu pada jarak 1 cm sebesar 99,85% menjadi 0,031 mg/L, pada jarak 2 cm sebesar 99,63% menjadi 0,076 mg/L, serta pada jarak 3 cm sebesar 99,57% menjadi 0,087 mg/L. Terjadi penyisihan kadar mangan (Mn) yang cukup besar pada limbah cair batubara setelah dilakukan proses elektrokoagulasi. Pada penelitian ini, jarak elektroda terbaik pada metode elektrokoagulasi untuk menyisihkan kadar Mn adalah 1 cm yang mampu menyisihkan kadar Mn menjadi 0,031 mg/L dari 20,32 mg/L. Penyisihan mangan terjadi karena dihasilkannya ion Al^{3+} pada anoda lalu terbentuklah flok $Al(OH)_3$, berfungsi koagulan. Setelahnya, flok $Al(OH)_3$ mampu menyerap zat organik maupun berbagai logam pada air (Fadillah et. al., 2018).

3.6 Uji Statistik

Data perolehan nilai pH, kadar TSS, besi (Fe), serta mangan (Mn) harus memiliki distribusi normal serta homogen terlebih dahulu sebelum melakukan pengujian statistik *One-way ANOVA*. Pada penelitian ini seluruh data memiliki distribusi normal serta homogen, maka bisa dilanjutkan diuji menggunakan pengujian *One-way ANOVA*.

Tabel 6. Uji Statistik *One-way ANOVA* Parameter pH

ANOVA					
	<i>Sum of Squares</i>	<i>df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F</i>	<i>Sig.</i>
<i>Between Groups</i>	6.562	3	2.187	557.263	.000
<i>Within Groups</i>	.031	8	.004		
<i>Total</i>	6.593	11			

Sumber: IBM SPSS Statistic 25, 2022.

Tabel 7. Hasil Uji Statistik *One-way ANOVA* Parameter TSS

ANOVA					
	<i>Sum of Squares</i>	<i>df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F</i>	<i>Sig.</i>
<i>Between Groups</i>	18.991	3	6.330	544.906	.000
<i>Within Groups</i>	.093	8	.012		
<i>Total</i>	19.084	11			

Sumber: IBM SPSS Statistic 25, 2022.

Tabel 8. Hasil Uji Statistik *One-way ANOVA* Parameter Besi (Fe)

ANOVA					
	<i>Sum of Squares</i>	<i>df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F</i>	<i>Sig.</i>
<i>Between Groups</i>	6301.205	3	2100.402	8395.171	.000
<i>Within Groups</i>	2.002	8	.250		
<i>Total</i>	6303.207	11			

Sumber: IBM SPSS Statistic 25, 2022.

Tabel 9. Hasil Uji Statistik *One-way ANOVA* Parameter Mangan (Mn)

ANOVA					
	<i>Sum of Squares</i>	<i>df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F</i>	<i>Sig.</i>
<i>Between Groups</i>	13.846	3	4.615	11123.598	.000
<i>Within Groups</i>	.003	8	.000		
<i>Total</i>	13.849	11			

Sumber: IBM SPSS Statistic 25, 2022.

Berdasar pada **Tabel 6**, **Tabel 7**, **Tabel 8**, serta **Tabel 9** diketahui hasil pengujian *One-way ANOVA* parameter pH, TSS, besi (Fe), serta mangan (Mn) memiliki nilai Sig kurang dari 0,05, bisa ditarik kesimpulan H_0 ditolak lalu diterimanya H_1 , bermakna ada perbedaan signifikan pada data. Untuk mengetahui perlakuan yang berbed signifikan sehingga dilaksanakan pengujian lanjutan yakni pengujian *Post-Hoc LSD*.

Tabel 10. Hasil Uji Statistik *Post-Hoc LSD* Parameter pH

<i>Multiple Comparisons</i>						
Variasi Jarak		Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Awal	1 cm	-.12947*	.00371	.000	-.1380	-.1209
	2 cm	-.11688*	.00371	.000	-.1254	-.1083
	3 cm	-.10959*	.00371	.000	-.1182	-.1010
1 cm	Awal	.12947*	.00371	.000	.1209	.1380
	2 cm	.01259*	.00371	.009	.0040	.0212
	3 cm	.01989*	.00371	.001	.0113	.0285
2 cm	Awal	.11688*	.00371	.000	.1083	.1254
	1 cm	-.01259*	.00371	.009	-.0212	-.0040
	3 cm	.00729	.00371	.085	-.0013	.0159
3 cm	Awal	.10959*	.00371	.000	.1010	.1182
	1 cm	-.01989*	.00371	.001	-.0285	-.0113
	2 cm	-.00729	.00371	.085	-.0159	.0013

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

Sumber: IBM SPSS Statistic 25, 2022.

Tabel 11. Hasil Uji Statistik Parameter TSS

Multiple Comparisons						
Variasi Jarak		Mean	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
		Difference (I-J)			Lower Bound	Upper Bound
Awal	1 cm	4303.66667*	138.96682	.000	3983.2086	4624.1247
	2 cm	4295.00000*	138.96682	.000	3974.5419	4615.4581
	3 cm	4287.33333*	138.96682	.000	3966.8753	4607.7914
1 cm	Awal	-4303.66667*	138.96682	.000	-4624.1247	-3983.2086
	2 cm	-8.66667	138.96682	.952	-329.1247	311.7914
	3 cm	-16.33333	138.96682	.909	-336.7914	304.1247
2 cm	Awal	-4295.00000*	138.96682	.000	-4615.4581	-3974.5419
	1 cm	8.66667	138.96682	.952	-311.7914	329.1247
	3 cm	-7.66667	138.96682	.957	-328.1247	312.7914
3 cm	Awal	-4287.33333*	138.96682	.000	-4607.7914	-3966.8753
	1 cm	16.33333	138.96682	.909	-304.1247	336.7914
	2 cm	7.66667	138.96682	.957	-312.7914	328.1247

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

Sumber: IBM SPSS Statistic 25, 2022.

Tabel 12. Hasil Uji Statistik Post-Hoc LSD Parameter Besi (Fe)

Multiple Comparisons						
Variasi Jarak		Mean	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
		Difference (I-J)			Lower Bound	Upper Bound
Awal	1 cm	52.97333*	.40840	.000	52.0316	53.9151
	2 cm	52.93000*	.40840	.000	51.9882	53.8718
	3 cm	52.85667*	.40840	.000	51.9149	53.7984
1 cm	Awal	-52.97333*	.40840	.000	-53.9151	-52.0316
	2 cm	-.04333	.40840	.918	-.9851	.8984
	3 cm	-.11667	.40840	.782	-1.0584	.8251
2 cm	Awal	-52.93000*	.40840	.000	-53.8718	-51.9882
	1 cm	.04333	.40840	.918	-.8984	.9851
	3 cm	-.07333	.40840	.862	-1.0151	.8684
3 cm	Awal	-52.85667*	.40840	.000	-53.7984	-51.9149
	1 cm	.11667	.40840	.782	-.8251	1.0584
	2 cm	.07333	.40840	.862	-.8684	1.0151

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

Sumber: IBM SPSS Statistic 25, 2022.

Tabel 13. Hasil Uji Statistik *Post-Hoc LSD* Parameter Mangan (Mn)

Multiple Comparisons						
		Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Awal	1 cm	20.272000*	.416418	.000	19.31174	21.23226
	2 cm	20.244000*	.416418	.000	19.28374	21.20426
	3 cm	20.232333*	.416418	.000	19.27207	21.19259
1 cm	Awal	-	.416418	.000	-21.23226	-19.31174
	2 cm	20.272000*				
	3 cm	-.028000	.416418	.948	-.98826	.93226
2 cm	Awal	-.039667	.416418	.926	-.99993	.92059
	1 cm	-	.416418	.000	-21.20426	-19.28374
	3 cm	20.244000*				
3 cm	Awal	.028000	.416418	.948	-.93226	.98826
	1 cm	-.011667	.416418	.978	-.97193	.94859
	2 cm	-	.416418	.000	-21.19259	-19.27207
		20.232333*				
	1 cm	.039667	.416418	.926	-.92059	.99993
	2 cm	.011667	.416418	.978	-.94859	.97193

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

Sumber: IBM SPSS Statistic 25, 2022.

Berdasar pada **Tabel 10, Tabel 11, Tabel 12, serta Tabel 13** dapat dilihat nilai Sig pada semua parameter yang berbeda signifikan adalah data sampel awal dengan masing-masing jarak elektroda yakni 1 cm, 2 cm, serta 3 cm.

4. KESIMPULAN

Penelitian berikut menghasilkan beberapa kesimpulan, antara lain:

1. Limbah cair batubara setelah diolah dengan metode elektrokoagulasi mengalami penyisihan zat polutan. Pada parameter pH, nilai pH mengalami peningkatan tertinggi pada jarak elektroda 1 cm yaitu dari 5,36 menjadi 7,23. Untuk penyisihan kadar TSS, Fe, dan Mn dengan efisiensi tertinggi juga dihasilkan oleh jarak elektroda 1 cm. Efisiensi pada parameter TSS sebesar 99,97%, pada parameter Fe sebesar 99,95%, dan pada parameter Mn sebesar 99,85%.
2. Penelitian berikut menggunakan elektroda berjarak 1 cm, 2 cm, serta 3 cm pada metode elektrokoagulasi memberikan pengaruh ketika meningkatkan nilai pH serta memisahkan kadar TSS, Besi (Fe), maupun Mangan (Mn) dengan tingkat efisiensi

berbeda-beda. Semakin besar jarak elektroda yang digunakan pada metode elektrokoagulasi dalam mengolah limbah cair batubara maka semakin menurun efisiensi penyisihan zat polutan yang dihasilkan. Jarak elektroda dengan efisiensi terbaik dalam menyisihkan zat polutan yaitu 1 cm dengan efisiensi penyisihan berkisar antara 99,85 sampai dengan 99,97 persen.

DAFTAR PUSTAKA

- Fadillah, A., I. Amri., S. Bahri. 2018. Pengolahan Air Gambut untuk Menurunkan Kadar Besi dan Mangan dengan Proses Elektrokoagulasi Secara Kontinu. *JOM Fakultas Teknik*. 5(2): 1-4.
- Fendriani, Y., Nurhidayah., L. Handayani., Rustan., Samsidar. 2020. Pengaruh Variasi Jarak Elektroda dan Waktu Terhadap pH dan TDS Limbah Cair Batik Menggunakan Metode Elektrokoagulasi. *Jurnal Online of Physics*. 5(2): 59-64.
- Fitriyanti, R. 2018. Pertambangan Batubara: Dampak Lingkungan, Sosial Dan Ekonomi. *Jurnal Redoks*, 1(1).
- Sinaga, H., Amri, I., & 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), 1-6.
- Saputra, A. I. (2018). Penurunan TSS Air Limbah Laboratorium Rumah Sakit Menggunakan Metode Elektrokoagulasi. *Journal of Nursing and Public Health*, 6(2), 6-13.
- Saputra, E., & Hanum, F. (2016). Pengaruh jarak antara elektroda pada reaktor elektrokoagulasi terhadap pengolahan effluent limbah cair pabrik kelapa sawit. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 5(4), 33-38.
- Sinaga, G. Z., & Putra, R. 2021. Evaluasi Pengolahan Air Asam Tambang PT Bukit Asam Tbk Unit Dermaga Kertapati. In *Seminar Nasional Hari Air Sedunia* (Vol. 3, No. 1, pp. 73-77).
- Vaujiah, Hary. 2018. Perbandingan Efisiensi Penurunan Kesadahan Air Menggunakan Elektroda Aluminium (Al) dengan Konfigurasi Monopolar dan Bipolar pada Proses Elektrokoagulasi [Skripsi]. Medan: USU.