

ANALISIS METODE ELEKTROKOAGULASI PADA AIR ASAM TAMBANG DENGAN VARIASI TEGANGAN DAN JARAK ELEKTRODA

ANALYSIS OF ELECTROCOAGULATION METHOD IN ACID MINE WATER WITH VARIATION OF VOLTAGE AND ELECTRODE DISTANCE

Febrina Zulya^{1*}, Ibrahim¹, Gizka Laksmi Azizah²

¹Department of Chemical Engineering, Engineering Faculty, Mulawarman University
Jl. Sambaliung No. 9, Gunung Kelua, Samarinda, Indonesia

*email : febrinazulya@ft.unmul.ac.id

(Received: 2024, 06, 16; Reviewed: 2024, 06, 21; Accepted: 2024 06, 21)

Abstrak

Air Asam Tambang (AAT) adalah air limbah pencemar lingkungan yang terbentuk karena adanya mineral FeS (*pyrite*) yang teroksidasi dan bersifat asam dengan nilai pH < 5). Air yang bersifat asam tersebut bila tidak dinetralkan akan menyebabkan terjadinya aliran air asam tambang ke lingkungan sekitarnya dan dapat menimbulkan pencemaran lingkungan dan berdampak langsung pada kualitas tanah dan air tanah karena pH air dan tanah di area tersebut menurun sangat tajam. Selain itu pada saat penambangan air tanah atau air hujan yang terkumpul di dalam kolam tambang selain bersifat asam juga seringkali mengandung zat padat tersuspensi (TSS), logam besi (Fe), dan logam mangan (Mn) dengan konsentrasi yang tinggi. Metode elektrokoagulasi adalah cara yang digunakan untuk menguraikan elektrolit oleh suatu arus listrik dalam sel elektrolisis melalui energi listrik diubah menjadi energi kimia yang berfungsi menurunkan tingkat keasaman pada air. Komponen yang terpenting dalam elektroagulasi adalah elektroda dan elektrolit. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari tegangan dan jarak elektroda serta kondisi optimal berdasarkan tegangan elektroda (12 V; 20 V; 24 V) dan jarak elektroda (0,5 cm; 1 cm; 2 cm). Penentuan dilakukan dengan lama waktu pengoperasian 120 menit dengan pasangan plat Al-Al. Hasil yang didapatkan melalui penelitian ini ialah pada tegangan 24 volt dan jarak 0,5 cm. Hal ini karena semakin besar tegangan maka semakin cepat pula reaksi ion yang membentuk koagulan (Al(OH)³) dan semakin dekat jarak elektroda maka arus yang dihasilkan juga semakin besar, yang menyebabkan degradasi dari air limbah semakin efektif.

Kata Kunci: Air Asam Tambang, Elektrokoagulasi, Tegangan, Jarak

Abstract

Acid Mine Water (AAT) is environmental pollutant waste water that is formed due to the presence of the mineral FeS (pyrite) which is oxidized and is acidic with a pH value < 5). If this acidic water is not neutralized, it will cause the flow of acid mine drainage into the surrounding environment and can cause environmental pollution and have a direct impact on the quality of soil and groundwater because the pH of the water and soil in the area decreases very sharply. Apart from that, during mining, groundwater or rainwater collected in mining ponds, apart from being acidic, also often contains high concentrations of suspended solids (TSS), iron metal (Fe) and manganese metal (Mn). The electrocoagulation method is a method used to decompose electrolytes by an electric current in an electrolysis cell through which electrical

energy is converted into chemical energy which functions to reduce the acidity level of water. The most important components in electroagulation are electrodes and electrolyte. This research aims to determine the effect of electrode voltage and distance as well as optimal conditions based on electrode voltage (12 V; 20 V; 24 V) and electrode distance (0.5 cm; 1 cm; 2 cm). The determination was carried out with an operating time of 120 minutes with an Al-Al plate pair. The results obtained through this research were at a voltage of 24 volts and a distance of 0.5 cm. This is because the greater the voltage, the faster the ion reaction that forms the coagulant (Al(OH)₃) and the closer the electrode distance, the greater the current produced, which causes the degradation of waste water to be more effective.

Keywords: *Acid Mine Water, Electrocoagulation, Voltage, Distance*

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan batubara sebagai sumber untuk pembangkit listrik semakin meningkat dan berkaitan erat dengan peningkatan aktivitas pertambangan batubara di Indonesia. Secara umum, salah satu tahapan dalam aktivitas penambangan adalah pengupasan tanah penutup (Ashari, 2016). Salah satu aktivitas eksploitasi yaitu pengupasan tanah penutup yang mengandung material mineral sulfida. Eksploitasi batubara dengan cara penambangan tentu akan menghasilkan limbah air tambang yang berasal dari kegiatan pengolahan atau pencucian batubara bahkan potensi keasaman batuan sehingga menimbulkan permasalahan kepada kualitas air dan juga tanah, jika terpapar oleh udara dan air hujan akan memicu pembentukan limbah air asam tambang (AAT) atau *Acid Mine Drainage* (AMD) (Hidayat, 2017).

Air Asam Tambang (AAT) adalah air limbah pencemar lingkungan yang terbentuk melalui serangkaian reaksi kimia dan aktivitas biologis, bersifat asam dengan nilai pH < 5). Air asam tambang ini terbentuk karena adanya mineral FeS (*pyrite*) yang teroksidasi. Air asam tambang (*acid mine drainage*, AMD) atau air asam batuan, yang secara keseluruhan disebut air asam (*acid drainage*, AD) adalah air yang berasal dari tambang atau batuan yang mengandung mineral sulfida tertentu yang terpapar dan dalam keadaan teroksidasi (Said, 2014). Menurut Badan Penelitian, Pengembangan dan Inovasi Puslitbang Kualitas dan Laboratorium Lingkungan, konsentrasi ion sulfat pada industri pertambangan di Kalimantan Timur yang dihasilkan adalah berkisar 23 – 551 ppm. Pada air asam tambang, pH tanah yang sangat rendah akan menyebabkan gangguan dari keseimbangan unsur hara penting di wilayah tersebut. Secara langsung maupun tidak langsung tingkat keasaman yang tinggi mempengaruhi kualitas lingkungan dan kehidupan organisme. Karena sifat dasar air asam tambang akan menambah larutnya mineral logam berat di lingkungan sekitar penambangan (Hidayah, 2020). Air asam tambang yang telah mengalami proses reaksi kimia akan berdampak langsung pada kualitas tanah dan air tanah karena pH air dan tanah di area tersebut menurun sangat tajam. Selain itu pada saat penambangan, air tanah atau air hujan yang terkumpul di dalam kolam tambang selain bersifat asam juga seringkali mengandung zat padat tersuspensi (*suspended solids*, SS) dengan konsentrasi yang tinggi (Said, 2014).

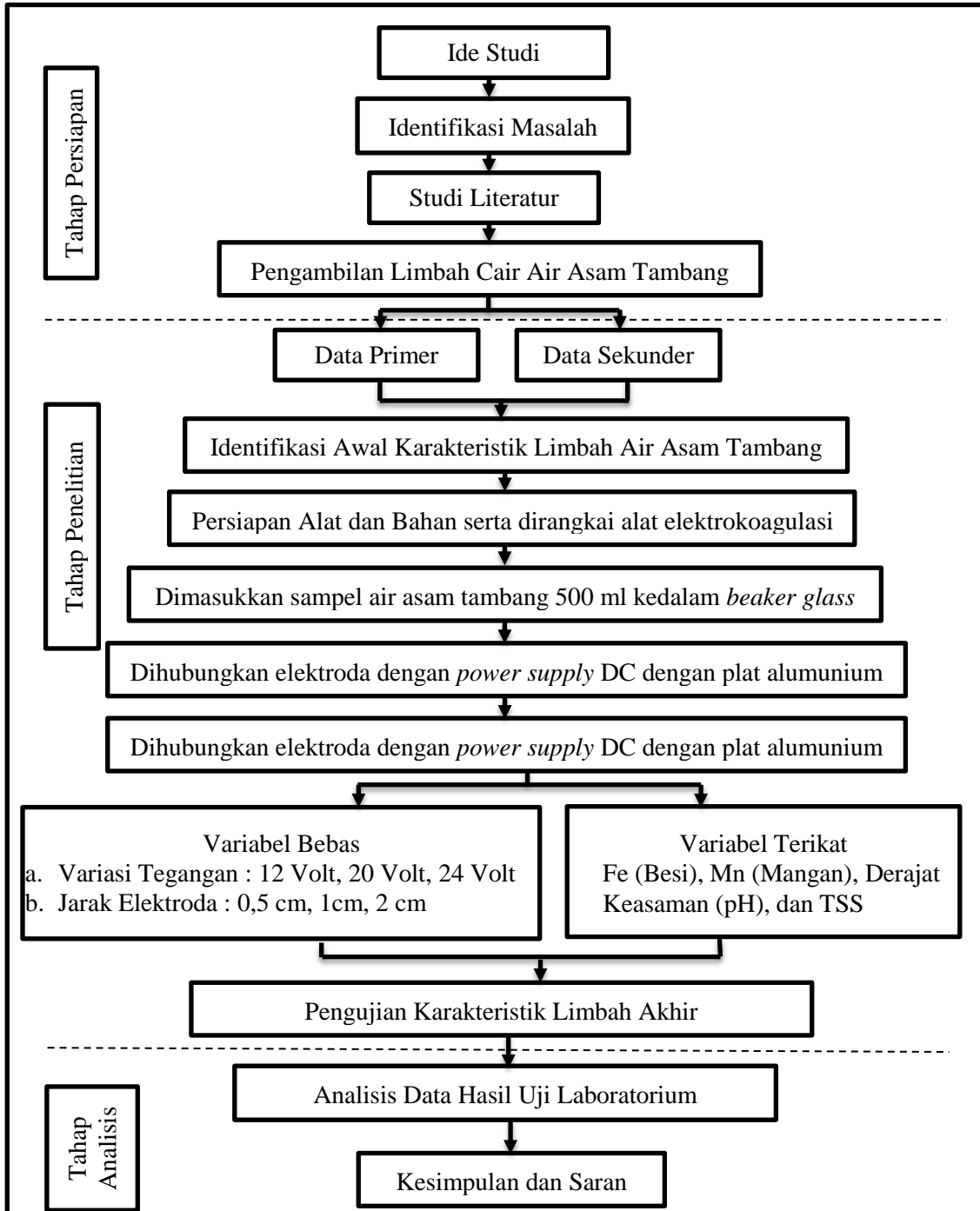
Air yang bersifat asam tersebut bila tidak dinetralkan akan menyebabkan terjadinya aliran air asam tambang ke lingkungan sekitarnya dan dapat menimbulkan pencemaran lingkungan. Apabila air asam tambang tersebut mengalir atau terburu masuk ke dalam aliran air sungai, maka berpotensi besar akan mengakibatkan pencemaran air sungai, merusak sistem kehidupan flora juga fauna, kehidupan di sepanjang aliran sungai yang dilalui oleh air asam tambang. Air asam tambang yang merembes ke dalam tanah akan mengakibatkan hilangnya kesuburan tanah dan kematian pada tanaman (Wijaya, 2010).

Pengelolaan dengan metode aktif dilakukan dengan tujuan memisahkan partikel yang terkandung di dalam air asam tambang. Salah satu metode aktif yang menarik yaitu menggunakan teknologi elektrokoagulasi. Elektrokoagulasi adalah peristiwa penguraian suatu elektrolit oleh suatu arus listrik dalam sel elektrolisis yang terjadi yaitu energi listrik diubah menjadi energi kimia (Ashari, 2016). Komponen yang terpenting dalam elektrolisis adalah elektroda dan elektrolit, atau juga biasa diartikan energi yang digunakan untuk menghantarkan reaksi kimia (Sahwan dan Tamjidillah, 2020). Elektrokoagulasi dikenal juga sebagai elektrolisis gelombang pendek yang merupakan suatu proses yang melewati arus listrik kedalam air, pada proses ini dapat digunakan menjadi sebuah uji nyata dengan proses yang sangat efektif untuk pemindahan bahan

pengkontaminasi di dalam air. Proses ini dapat mengurangi lebih dari 99% kation logam berat (Setiawan, 2016).

2. METODOLOGI

Secara garis besar diagram alir penelitian dapat digambarkan pada Gambar berikut:



Gambar 1. Alur Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Analisis Karakteristik Air Asam Tambang

Pada penelitian ini air limbah yang digunakan adalah air limbah yang berasal dari PT. X, Desa Batuah, Kecamatan Loa Janan, Kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur.

Berdasarkan hasil uji awal diperoleh data karakteristik air asam tambang dapat dilihat pada Tabel dibawah ini:

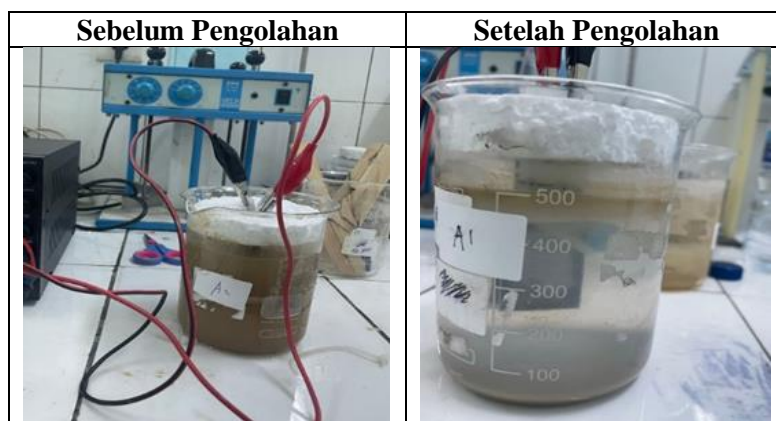
Tabel 1. Hasil Uji Awal Air Limbah Tambang Batubara

No	Parameter	Satuan	Hasil Uji	Baku Mutu Perda Kaltim No.02 Tahun 2011
1.	pH	-	5,97	6-9
2.	TSS	mg/L	489	300
3.	Fe	mg/L	1,76	7
4.	Mn	mg/L	2,76	4

(Sumber : data primer 2023 & Perda Kaltim No.02 Tahun 2011).

Berdasarkan Tabel 1 tersebut, diketahui bahwa nilai konsentrasi Fe dan Mn memenuhi baku mutu, sedangkan nilai pH dan TSS berada diatas baku mutu berdasarkan ketetapan Peraturan Daerah Kalimantan Timur Nomor 02 Tahun 2011, sehingga perlu dilakukan pengolahan sebelum dibuang ke badan air secara langsung. Metode elektrokoagulasi dapat dijadikan salah satu pilihan alternatif untuk mengolah air limbah. Pada penelitian ini, akan dianalisis nilai pH, TSS, nilai konsentrasi logam Fe dan Mn setelah pengolahan dengan metode elektrokoagulasi menggunakan plat aluminium.

Sampel limbah air asam tambang dilakukan elektrokoagulasi di dalam *beaker glass* dengan variasi tegangan yaitu 12 V, 20 V, dan 24 V serta variasi jarak plat elektroda yaitu 0,5 cm; 1 cm; dan 2 cm. Variasi tegangan dan jarak setiap sampel dilakukan pengulangan sebanyak 2 kali. Proses elektrokoagulasi dilakukan selama 120 menit agar elektrokoagulasi yang dihasilkan semakin maksimal. Mekanisme pada penelitian ini adalah limbah air asam tambang dimasukkan ke dalam 9 *beaker glass* dengan variasi yang berbeda sebanyak 500 mL. Alat dirangkai sesuai dengan mekanisme yang direncanakan, dengan menggunakan plat anoda aluminium dan katoda aluminium masing masing berukuran 10 x 2,5 cm kemudian dijepit dengan penjepit buaya, setelah itu dinyalakan adaptor DC dengan variasi tegangan 12 V, 20 V, dan 24 V. Proses elektrokoagulasi berlangsung selama 120 menit dan setiap variasi tegangan dilakukan 3 variasi jarak elektroda aluminium yaitu 0,5 cm; 1 cm; dan 2 cm. Setelah pengolahan, air sampel dibawa ke Balai Standarisasi dan Pelayanan Jasa Industri Samarinda untuk diuji nilai kadar logam besi (Fe) dan mangan (Mn) serta diuji kadar keasaman (pH) dan *Total Suspended Solid* (TSS) di Laboratorium Teknologi Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Mulawarman yang dapat dilihat pada Gambar dibawah ini:



Gambar 2. Kondisi Fisik Air Asam Tambang

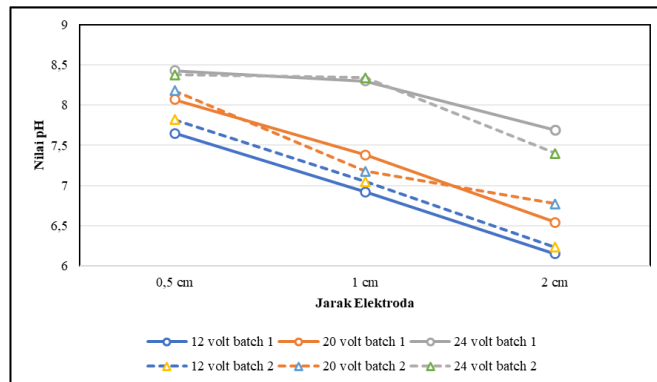
3.2 Analisis Nilai pH Air Asam Tambang

Pada penelitian ini dilakukan pengujian terhadap nilai pH pada sampel air asam tambang sebelum dan sesudah dilakukan pengolahan secara elektrokoagulasi. Pengujian parameter pH dilakukan dengan metode uji berdasarkan SNI 6989.11-2019 menggunakan pH meter. Hal ini dilakukan untuk mengetahui efektivitas pada pengolahan yang dilakukan agar dapat dibandingkan dan dianalisis. Hasil uji untuk nilai pH dapat dilihat pada Tabel dibawah ini:

Tabel 2. Hasil Pengujian Nilai pH

No	Waktu	Tegangan (V)	Jarak (cm)	Batch	pH awal	pH
1.	120 menit	12	0,5	1	5,35	7,65
2.				2	5,35	7,82
3.			1	1	5,35	6,92
4.				2	5,35	7,05
5.			2	1	5,35	6,15
6.				2	5,35	6,23
7.		20	0,5	1	5,35	8,07
8.				2	5,35	8,18
9.			1	1	5,35	7,38
10.				2	5,35	7,18
11.			2	1	5,35	6,54
12.				2	5,35	6,77
13.		24	0,5	1	5,35	8,43
14.				2	5,35	8,38
15.			1	1	5,35	8,30
16.				2	5,35	8,34
17.			2	1	5,35	7,69
18.				2	5,35	7,40

Berdasarkan hasil analisis laboratorium pada Tabel 2, dibuat grafik pengukuran nilai pH air sampel setelah dilakukan pengolahan elektrokoagulasi dapat dilihat pada Gambar dibawah ini:



Gambar 3. Grafik Nilai pH

Berdasarkan grafik pada Gambar 3, memperlihatkan tren nilai pH pada pengukuran *batch* 1 dan *batch* 2, dimana untuk setiap tegangan ataupun jarak plat elektroda mendapatkan nilai yang tidak jauh berbeda. Gambar 3.2 menggambarkan kenaikan nilai pH, kenaikan paling tinggi terjadi pada saat jarak plat elektroda 0,5 cm dengan tegangan 24 V pada *batch* 1 dan *batch* 2. Kondisi optimum pada saat tegangan yang dialirkan pada plat elektroda sebesar 12 V adalah pada jarak 0,5 cm, dari 5,35 menjadi 7,65 pada *batch* 1 dan 7,82 pada *batch* 2. Pada saat tegangan yang dialirkan pada plat elektroda sebesar 24 V dengan jarak plat elektroda 0,5 cm, nilai pH mengalami kenaikan dari 5,35 menjadi 8,43 pada *batch* 1 dan menjadi 8,38 pada *batch* 2. Ketiga variasi tegangan dan jarak plat elektroda pada penelitian ini menunjukkan hal yang sama, yaitu seiring dekatnya jarak dan semakin besar tegangan yang dialirkan pada plat elektroda nilai pH semakin meningkat.

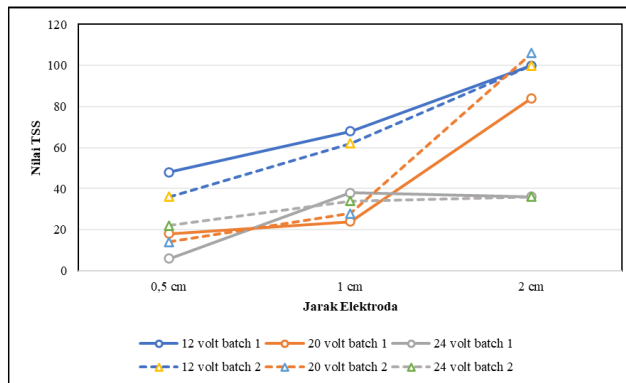
3.3 Analisis Nilai TSS Air Asam Tambang

Pengujian parameter TSS dilakukan dengan metode uji berdasarkan SNI 6989.3-2019 secara gravimetri. Hal ini dilakukan untuk mengetahui efektivitas pada pengolahan yang dilakukan serta tercatat elektroda terendam agar dapat dibandingkan dan dianalisis. Hasil uji untuk kadar TSS dapat dilihat pada Tabel dibawah ini:

Tabel 3. Hasil Pengujian Kadar TSS

No	Waktu	Tegangan (V)	Jarak (Cm)	Batch	TSS awal	TSS (mg/L)	Efisiensi (%)
1.	120 menit	12	0,5	1	392	48	92
2.				2	368	36	94
3.			1	1	392	68	88
4.				2	368	62	89
5.			2	1	392	100	83
6.				2	368	100	83
7.		20	0,5	1	392	18	97
8.				2	368	14	98
9.			1	1	392	24	96
10.				2	368	28	95
11.			2	1	392	84	86
12.				2	368	106	82
13.		24	0,5	1	392	6	99
14.				2	368	22	96
15.			1	1	392	38	93
16.				2	368	34	94
17.			2	1	392	32	94
18.				2	368	36	89

Berdasarkan hasil analisis laboratorium pada Tabel 3, dibuat grafik penurunan kadar TSS air sampel setelah dilakukan pengolahan elektrokoagulasi dapat dilihat pada Gambar dibawah ini:

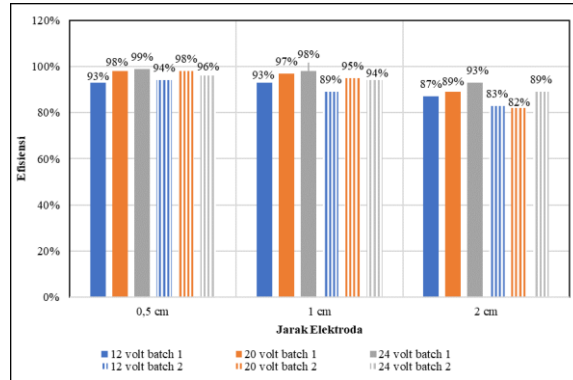


Gambar 4. Grafik Nilai TSS

Grafik pada Gambar 4, memperlihatkan tren parameter TSS pada pengukuran *batch* 1 dan 2, dimana untuk setiap tegangan ataupun jarak elektroda mendapatkan nilai yang tidak jauh berbeda. Gambar 3.3 menggambarkan penurunan nilai TSS, penurunan paling tinggi terjadi saat jarak 0,5 cm dengan tegangan 24 V pada *batch* 1. Pada tegangan 24 V *batch* 1, jarak 2 cm nilai TSS 36 mg/L, pada jarak 1 cm nilai TSS sedikit meningkat menjadi 38 mg/L hal ini dapat terjadi karena beberapa faktor seperti kurangnya ketelitian laboran saat menyaring air sampel, sehingga kontaminan yang telah mengendap tidak tersaring dengan sempurna, pada jarak 0,5 cm nilai TSS menurun mencapai 6 mg/L. Sedangkan pada *batch* 2, nilai TSS menurun seiring dekatnya jarak elektroda dari 36 mg/L saat jarak 2 cm, 34 mg/L saat jarak 1 cm, dan 22 mg/L saat jarak 0,5 cm. Penurunan kadar TSS terjadi pada setiap perlakuan sejalan dengan semakin dekatnya jarak plat elektroda dan semakin tingginya tegangan yang dialirkan pada plat elektroda. Penurunan juga dapat dilihat dari sisi tegangan saat jarak 0,5 cm, nilai TSS menurun dari 48 mg/L saat tegangan 12 V, 18 mg/L saat tegangan 20 V, dan 6 mg/L saat tegangan 24 V pada *batch* 1. Sedangkan pada *batch* 2, nilai TSS menurun dari 36 mg/L saat tegangan 12 V, 22 mg/L saat tegangan 20 V, dan 14 mg/L saat tegangan 24 V pada *batch* 2.

Berdasarkan grafik pada Gambar 4, didapatkan nilai TSS air sampel yang mengalami penurunan seiring dekatnya jarak dan tingginya tegangan setelah dilakukan pengolahan elektrokoagulasi. Hal ini disebabkan karena adanya reaksi oksidasi dan reduksi yang berlangsung pada anoda dan katoda, air sampel mengandung logam-logam akan direduksi dan diendapkan di kutub negatif (AI), sedangkan elektroda positif (AI) akan teroksidasi menjadi $Al(OH)_3$. Menurut Novie (2017), Ion Al^{3+} yang dilepaskan pada anoda dapat bereaksi dengan ion OH^- membentuk $Al(OH)_3$ lalu terbentuk flok-flok dengan partikel koloid dari limbah. Flok-flok ini perlahan-lahan akan mengendap di dasar gelas *beaker*. Adapun reaksi reduksi yang terjadi pada katoda menghasilkan gas hidrogen (H_2) yang akan membawa zat pengotor naik ke permukaan gelas *beaker*. Akibat banyaknya flok-flok yang terbentuk terjadi proses penurunan konsentrasi TSS.

Berikut ini merupakan grafik presentase efisiensi penurunan kadar TSS pada air sampel setelah dilakukan pengolahan elektrokoagulasi dapat dilihat pada Gambar dibawah:



Gambar 5. Grafik Efisiensi Kadar TSS

Berdasarkan grafik pada Gambar 5, terlihat bahwa persen efisiensi penurunan kadar TSS pada tegangan 24 V mencapai persen paling tinggi pada setiap variasi jarak. Untuk jarak elektroda 2 cm didapatkan efisiensi 93% pada pengukuran *batch* 1 dan 89% pada pengukuran *batch* 2. Adapun, jarak elektroda 1 cm didapatkan efisiensi 98% pada pengukuran *batch* 1 dan 94% pada pengukuran *batch* 2, serta pada jarak elektroda 0,5 cm didapatkan efisiensi mencapai 99% pada pengukuran *batch* 1 dan 96% pada pengukuran *batch* 2. Efisiensi pada tegangan 20 V dan jarak elektroda 2 cm didapatkan efisiensi 89% pada pengukuran *batch* 1 dan 82% pada pengukuran *batch* 2. Adapun jarak elektroda 1 cm didapatkan efisiensi 97% pada pengukuran *batch* 1 dan 95% pada pengukuran *batch* 2, serta pada jarak elektroda 0,5 cm didapatkan efisiensi 98% pada pengukuran *batch* 1 dan 2. Efisiensi pada tegangan 12 V dan jarak elektroda 2 cm didapatkan efisiensi 87% pada pengukuran *batch* 1 dan 83% pada pengukuran *batch* 2. Adapun, jarak elektroda 1 cm didapatkan efisiensi 93% pada pengukuran *batch* 1 dan 89% pada pengukuran *batch* 2, serta pada jarak elektroda 0,5 cm didapatkan efisiensi 93% pada pengukuran *batch* 1 dan 94% pada pengukuran *batch* 2. Nilai efisiensi yang besar ini menyatakan bahwa metode elektrokoagulasi sangat efisien untuk menurunkan kadar TSS sampel limbah air asam tambang, dengan semakin dekatnya jarak dan tingginya tegangan yang dialirkan pada plat elektroda, sehingga teknologi ini dapat dikembangkan lebih lanjut dengan mencari kondisi optimal masing-masing parameternya.

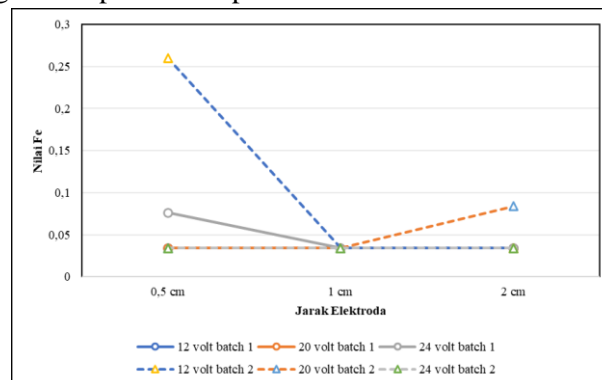
3.4 Analisis Konsentrasi Logam Besi (Fe)

Pengujian parameter logam besi (Fe) dilakukan dengan metode uji berdasarkan SNI 6989.84-2019 secara Spektrometri Serapan Atom (SSA) yang dilakukan di Balai Standarisasi dan Pelayanan Jasa Industri Samarinda. Hal ini dilakukan untuk mengetahui efektivitas pada pengolahan yang dilakukan serta tercatat elektroda terendam agar dapat dibandingkan dan dianalisis. Hasil uji dan efisiensi pengujian metode elektrokoagulasi untuk konsentrasi logam besi (Fe) dapat dilihat pada Tabel dibawah ini:

Tabel 5. Hasil Pengujian Konsentrasi Logam Besi (Fe)

No	Waktu	Tegangan (V)	Jarak (cm)	Batch	T0 (mg/L)	Fe (mg/L)	Efisiensi (%)
1.	120 menit	12	0,5	1	1,10	<0,034	97%
2.				2	1,10	0,260	76%
3.			1	1	1,10	<0,034	97%
4.				2	1,10	<0,034	97%
5.			2	1	1,10	<0,034	97%
6.				2	1,10	<0,034	97%
7.		20	0,5	1	1,10	<0,034	97%
8.				2	1,10	<0,034	97%
9.			1	1	1,10	<0,034	97%
10.				2	1,10	<0,034	97%
11.			2	1	1,10	<0,034	97%
12.				2	1,10	0,084	92%
13.		24	0,5	1	1,10	0,076	93%
14.				2	1,10	<0,034	97%
15.			1	1	1,10	<0,034	97%
16.				2	1,10	<0,034	97%
17.			2	1	1,10	<0,034	97%
18.				2	1,10	<0,034	97%

Berdasarkan hasil analisis laboratorium pada Tabel 5, dibuat grafik penurunan konsentrasi logam besi (Fe) pada pengukuran konsentrasi logam besi (Fe) air sampel setelah dilakukan pengolahan elektrokoagulasi dapat dilihat pada Gambar dibawah ini:



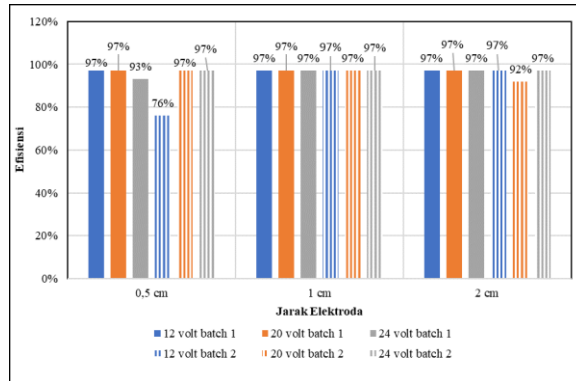
Gambar 6. Grafik Nilai Fe

Grafik pada Gambar 6, memperlihatkan tren nilai kadar Fe dari nilai awal 1,10 mg/L, pada pengukuran *batch* 1 dan 2 pada setiap tegangan ataupun jarak. Gambar 3.5 menggambarkan penurunan nilai Fe, penurunan paling tinggi terjadi saat jarak 0,5cm; 1 cm; dan 2 cm dengan tegangan 12 V pada *batch* 1 serta jarak 1cm dan 2 cm dengan tegangan 12 V pada *batch* 2 dengan nilai >0,034 mg/L. Jarak 0,5cm; 1 cm; dan 2 cm dengan tegangan 20 V pada *batch* 1 serta jarak 0,5 cm dan 1 cm dengan tegangan 20 V pada *batch* 2 dengan nilai >0,034 mg/L. Jarak 1 cm dan 2 cm dengan tegangan 24 V pada *batch* 1 serta jarak 0,5 cm; 1 cm; dan 2 cm dengan tegangan 24 V pada *batch* 2 dengan nilai >0,034 mg/L. Pada jarak 0,5 cm dengan tegangan 24 V nilai kadar Fe menurun dari 1,10 mg/L menjadi 0,076 mg/L pada *batch* 1, pada jarak 0,5 cm dengan tegangan 12 V menjadi 0,260 mg/L pada *batch* 2, dan pada jarak 2 cm dengan tegangan 20 V menjadi 0,084 mg/L pada *batch* 2.

Berdasarkan Gambar 6, terlihat gambar grafik yang dihasilkan bersifat fluktuatif, hal ini dapat terjadi karena besi (Fe) pada deret volta berada disebelah kanan dari chromium (Cr), dan mangan (Mn) sehingga sifat dari besi ini yang tidak terlalu aktif melepas elektron (sukar mengalami oksidasi) pada anoda membuat proses reduksi yang terjadi pada katoda tidak maksimal dan menyebabkan logam berat besi (Fe) tidak tertarik secara maksimal, menurut Irfan Ansory

dalam Fakhruddin (2017). Nilai potensial sel elektroda aluminium (Al) yang cukup jauh berbeda dengan logam besi (Fe), nilai potensial logam aluminium (Al) adalah -1,66 dan logam besi (Fe) adalah -0,45. Selain itu, pada permukaan plat yang tercelup air sampel tertutup oleh flok yang terbentuk pada permukaan air sehingga luasan plat berkurang. Hal ini mengakibatkan berkurangnya kemampuan untuk menarik ion-ion di dalam air sampel.

Berikut ini grafik presentase efisiensi penurunan kadar logam Besi (Fe) pada air sampel setelah dilakukan pengolahan elektrokoagulasi dapat dilihat pada Gambar dibawah:



Gambar 7. Grafik Efisiensi Penurunan Konsentrasi Logam Besi (Fe)

Berdasarkan grafik pada Gambar 7, terlihat bahwa persen efisiensi penurunan nilai Fe paling tinggi mencapai 97% pada jarak 1 cm pada tegangan 12 V, 20 V, dan 24 V. Pada jarak 0,5 cm dengan tegangan 12 V efisiensi penurunan mencapai 97% pada *batch* 1 dan 76% pada *batch* 2, dengan tegangan 20 V mencapai 97% pada *batch* 1 dan 2, dan dengan tegangan 24 V mencapai 93% pada *batch* 1 serta 97% pada *batch* 2. Pada jarak elektroda 2 cm didapatkan efisiensi 97% pada pengukuran *batch* 1 dengan tegangan 12 V, 20 V, dan 24 V, serta pada pengukuran *batch* 2 didapatkan efisiensi sebesar 97% pada tegangan 12 V dan 24 V, dan 92% pada tegangan 20 V. Hal ini menunjukkan bahwa metode elektrokoagulasi sangat efektif untuk menurunkan kadar besi air limbah, dan sudah memenuhi standar baku mutu air bersih menurut Baku Mutu Perda Kaltim No.02 Tahun 2011.

3.5 Analisis Konsentrasi Logam Mangan (Mn)

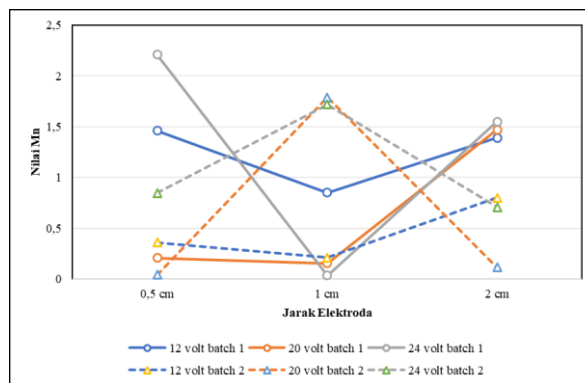
Pengujian parameter logam Mangan (Mn) dilakukan dengan metode uji berdasarkan SNI 6989.84-2019 secara Spektrometri Serapan Atom (SSA). Hal ini dilakukan untuk mengetahui efektivitas pada pengolahan yang dilakukan serta tercatat elektroda terendam agar dapat dibandingkan dan dianalisis. Berikut hasil uji untuk konsentrasi logam mangan (Mn) dapat dilihat pada Tabel dibawah ini.

Tabel 7. Hasil Pengujian Konsentrasi Logam Mangan (Mn)

No	Waktu	Tegangan (V)	Jarak (Cm)	Reaktor	T0 (mg/L)	Mn (mg/L)	Efisiensi (%)
1.	120 menit	12	0,5	A1	3,02	1,46	52%
2.				A2	3,02	0,361	88%
3.			1	B1	3,02	0,851	72%
4.				B2	3,02	0,212	93%
5.			2	C1	3,02	1,39	54%
6.				C2	3,02	0,802	73%
7.		20	0,5	D1	3,02	0,209	93%
8.				D2	3,02	0,041	99%
9.			1	E1	3,02	0,154	95%
10.				E2	3,02	1,79	41%

No	Waktu	Tegangan (V)	Jarak (Cm)	Reaktor	T0 (mg/L)	Mn (mg/L)	Efisiensi (%)	
11.		24	2	F1	3,02	1,47	51%	
12.				F2	3,02	0,114	96%	
13.			0,5	G1	3,02	2,21	27%	
14.				G2	3,02	0,846	72%	
15.			1	1	H1	3,02	<0,037	99%
16.					H2	3,02	1,72	43%
17.			2	2	I1	3,02	1,55	49%
18.					I2	3,02	0,710	76%

Berdasarkan hasil analisis laboratorium pada Tabel 7, dibuat grafik penurunan konsentrasi logam mangan (Mn) setelah dilakukan pengolahan elektrokoagulasi dapat dilihat pada Gambar dibawah ini:



Gambar 8. Grafik Nilai Mn

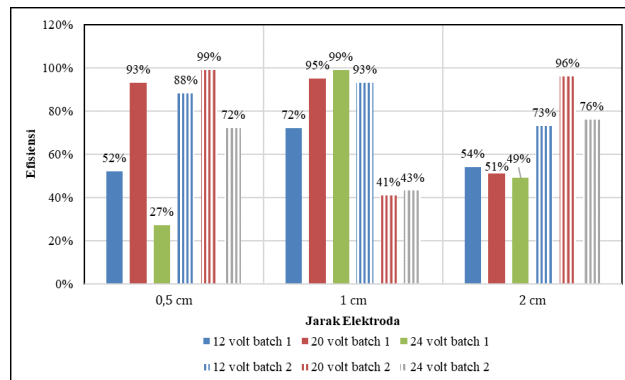
Grafik pada Gambar 8, menjelaskan penurunan nilai kadar Mn dari nilai awal 3,02 mg/L, pada pengukuran *batch* 1 dan 2 pada setiap tegangan ataupun jarak. Gambar 3.7 menggambarkan penurunan nilai Mn, penurunan paling tinggi terjadi saat jarak 1 cm dengan tegangan 24 V pada *batch* 1 dengan nilai >0,034 mg/L, serta jarak 0,5 cm dengan tegangan 20 V pada *batch* 2 dengan nilai 0,041 mg/L. Pada saat plat elektroda dialiri tegangan 12 V, penurunan tertinggi terdapat pada saat jarak 1 cm dengan penurunan dari 3,02 mg/L menjadi 0,851 mg/L pada *batch* 1, dan dari 3,02 mg/L menjadi 0,212 mg/L pada *batch* 2. Pada saat plat elektroda dialiri tegangan 20 V, penurunan tertinggi *batch* 1 terdapat pada saat jarak 1 cm dengan penurunan dari 3,02 mg/L menjadi 0,154 mg/L, dan pada jarak 0,5cm pada *batch* 2 dari 3,02 mg/L menjadi 0,041 mg/L. Pada saat plat elektroda dialiri tegangan 24 V, penurunan tertinggi *batch* 1 terdapat pada saat jarak 1 cm dengan penurunan dari 3,02 mg/L menjadi >0,037 mg/L, dan pada jarak 2 cm pada *batch* 2 dari 3,02 mg/L menjadi 0,710 mg/L.

Berdasarkan Gambar 8, terlihat gambar grafik yang dihasilkan bersifat fluktuatif, hal ini terjadi karena sifat logam elektroda aluminium (Al). Nilai potensial sel elektroda aluminium (Al) yang tidak jauh berbeda dengan logam mangan (Mn), nilai potensial logam aluminium (Al) adalah -1,66 dan logam mangan (Mn) adalah -1,18. Menurut fakhruddin (2017), medan magnet di antara plat elektroda ketika masih cukup besar menyebabkan sistem ionik dari logam – logam yang dominan saling berkompetisi untuk menempel pada plat elektroda. Semakin rendah nilai potensial logam, maka logam menjadi reduktor yang kuat dan mudah melepaskan electron, sedangkan semakin tinggi nilai potensial logam maka semakin mudah direduksi dan menjadi oksidator kuat.

Selain itu, pada saat proses elektrokoagulasi beberapa plat elektroda mengalami pengeroposan sehingga luas plat elektroda berkurang, sedangkan pada proses elektrokoagulasi luas plat elektroda adalah salah satu faktor yang berpengaruh (Indah, 2017). Beberapa hal yang berpengaruh juga seperti pada saat permukaan plat yang tercelup air sampel tertutup oleh flock yang

terbentuk pada permukaan air sehingga luasan plat berkurang. Hal ini mengakibatkan berkurangnya kemampuan untuk menarik ion-ion di dalam air sampel. Kekeruhan selain diakibatkan karena polutan di dalam air, juga disebabkan karena flok $Al(OH)_3$ yang mengapung di permukaan air. Berdasarkan data hasil nilai logam mangan sebelum dan setelah dilakukan metode elektrokoagulasi pada Tabel 4.5, mengalami penurunan. Hal ini menunjukkan bahwa metode elektrokoagulasi dapat menurunkan kadar mangan air limbah, dan sudah memenuhi standar baku mutu air bersih menurut Baku Mutu Perda Kaltim No.02 Tahun 2011.

Berikut ini merupakan grafik presentase efisiensi penurunan konsentrasi logam mangan (Mn) pada air sampel setelah dilakukan pengolahan elektrokoagulasi dapat dilihat pada Gambar dibawah:



Gambar 9. Grafik Efisiensi Penurunan Konsentrasi Logam Mangan (Mn)

Berdasarkan grafik pada Gambar 9, terlihat bahwa persen efisiensi penurunan nilai Mn paling tinggi mencapai 99% pada jarak 0,5 cm pada tegangan 20 V *batch 2*, dan jarak 1 cm pada tegangan 24 V *batch 1*. Hal ini menunjukkan bahwa metode elektrokoagulasi dapat menurunkan kadar besi air limbah, dan sudah memenuhi standar baku mutu air bersih menurut Baku Mutu Perda Kaltim No.02 Tahun 2011.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, dapat diperoleh kesimpulan:

1. Kondisi optimum pada metode elektrokoagulasi untuk parameter pH, diperoleh pada jarak 0,5 cm dengan tegangan 24 V, dimana persentase kenaikan mencapai 37%. Kondisi optimum pengukuran parameter kadar TSS, diperoleh pada jarak 0,5 cm dengan tegangan 24 V, dimana persentase penurunan mencapai 99%. Kondisi optimum pengukuran parameter kadar besi (Fe), diperoleh pada jarak 1 cm dengan tegangan 12 V, 20 V, dan 24 V, dimana persentase penurunan mencapai 97%. Pada pengukuran parameter logam mangan (Mn), kondisi optimum diperoleh pada jarak 0,5 cm dengan tegangan 24 V.
2. Pengaruh dari variasi jarak dan tegangan pada metode elektrokoagulasi terlihat pada tingginya persentase penurunan pada parameter pH, TSS, Besi (Fe), dan Mangan (Mn). Semakin dekatnya jarak plat elektroda dan semakin tingginya tegangan yang dialirkan pada plat elektroda semakin naik nilai pH dan semakin turun nilai TSS. Semakin dekat jarak elektroda maka arus yang dihasilkan juga semakin besar, yang menyebabkan degradasi dari air limbah semakin efektif

DAFTAR PUSTAKA

- Ashari., 2016, *Analisa Elektrokoagulasi Air Asam Tambang Terhadap Nilai pH dan Kadar Fe*, Progam Studi Teknik Elektro, UM Palembang.
- Bharath, M., Krishna, B. M., dan Manoj, K. B., 2018, *A Review of Electrocoagulation Process for Wastewater Treatment*, 11(03), 289–302.
- Hidayat, L., 2017, *Pengelolaan Lingkungan Areal Tambang Batubara (Studi Kasus Pengelolaan Air Asam Tambang (Acid Mining Drainage) di PT. Bhumi Rantau Energi Kabupaten Tapan Kalimantan Selatan*, Jurnal Adhum, 1(1), 44–51.
- Hidayah, R. A, dkk., 2020, *Pengolahan Air Asam Tambang di Penambangan Mineral Logam Kabupaten Pacitan Provinsi Jatim dengan Metoda Elektrokoagulasi*, Indonesia.

- Nurdandi, D., Afriani, F., dan Tiandho Y., 2019, *Pengaruh Jarak Plat dalam Penjernihan Limbah Batik Cual dengan Metode Elektrokoagulasi*, Jurusan Fisika Universitas Bangka Belitung.
- Omwene, P.I., dan Kobya, M., 2018, *Treatment of Domestic Wastewater Phosphate by Electrocoagulation Using Fe and Al Electrodes : A Comparative Study*, Gebze Technical University, 34-51.
- Polawan, S. S. M., 2017, *Identifikasi Air Asam Tambang Melalui Metode Uji Statik Pada Tambang Batubara. Balitbangda Kab. Kukar*, 11(1), 75–82.
- Rasman, dan Firdaus., 2018, *Kemampuan Elektrokoagulasi dalam Menurunkan Kadar Fe (Besi) pada Air Sumur Bor*, Politeknik Kesehatan Kemenkes Makassar.
- Rianti, L., 2021, *Analysis Of The Effectiveness Of Mining Acid Water Neutralization Using Calcium Oxide and Soda Ash From Coal Mine Pit in Laboratory Scale*, Studi Teknik Pertambangan Batubara Politeknik Akamigas Palembang, dan Corresponding Author, (Vol. 12, Issue 01).
- Rusdianasari., 2016, *Model Pengelolaan Limbah Cair Terpadu dengan Metode Elektrokoagulasi, Laporan Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi*, Politeknik Negeri Sriwijaya.
- Sahwan, K., dan Tamjidillah, M., 2020, *Pengaruh Jarak Antar Elektroda Plat Stainless Steel Terhadap Produktivitas dan Efisiensi Generator HHO Menggunakan Metode Elektrolisis Air Sumur dengan Katalis NaHCO_3* , Fakultas Teknik Universitas Iambung Mangkurat, Kalimantan Selatan, (Vol.2, No.2).
- Said, N. I., 2014, *Teknologi Pengolahan Air Asam Tambang Batubara "Alternatif Pemilihan Teknologi"*, Pusat Teknologi Lingkungan, BPPT, Vol 7 No.2.
- Setiawan, Y., Pratama., dan Sulaiman., 2016, *Pengaruh Tegangan dan Waktu pada Proses Elektrokoagulasi Pengaduk Pneumatis Terhadap Air*, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Bangka Belitung, (Vol. 2, No.2).
- Suhermono., 2014, *Analisis Kandungan Besi (Fe), Mangan (Mn), dan pH Air Tanah Hasil Pemboran Geoteknik di Tambang Batubara PT. Adaro Indonesia, Kabupaten Tabalong dan Balangan Provinsi Kalimantan Selatan*, *EnviroScienteeae*, 10(103–111).
- Susanto, F, R, K., 2021, *Analisis Pengaruh Variasi pH Air Laut Pada Sel Volta Dua Kompartemen dengan Elektroda Cu(Ag)-Zn*, Fakultas MIPA, Universitas Lampung, Bandar Lampung.
- Tampubolon, D. R. S., dan Rosariawari, F., 2021, *Kombinasi Elektrokoagulasi Dan Oksidasi Lanjut Berbasis O_3/Gac Dalam Mengolah Limbah Industri Batik*, *EnviroUS*, 1(2), 1–9.