

PENGARUH WAKTU PADA PROSES ELEKTROKOAGULASI AIR LAUT SECARA BATCH

Rifki Ardiansyah¹, Triyoga Meiditama Putra¹, Dian Ratna Suminar^{1,*}, Agustinus Ngatin¹

¹Jurusan Teknik Kimia/Program Studi D-III Teknik Kimia, Politeknik Negeri Bandung

*E-mail: dian.ratna@polban.ac.id

ABSTRAK

Salah satu upaya untuk menjaga persediaan air yaitu dengan cara menurunkan parameter air laut agar memenuhi parameter air tawar menggunakan metode elektrokoagulasi. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh waktu proses elektrokoagulasi terhadap penurunan TDS, kekeruhan, kadar Cl, dan kadar Fe. Selain itu, untuk mengetahui perbandingan antara elektroda Al dan Fe. Air laut diambil dari Pantai Pelabuhan Ratu. Elektroda yang digunakan adalah Al dan Fe dengan ukuran 15x10 cm². Tegangan yang digunakan yaitu 5 volt atau rapat arus sebesar 0,137 A/dm² dengan waktu proses 15, 30, 45, dan 60 menit serta volume bahan bakunya 4 Liter. Penelitian dengan waktu proses 30 menit dan proses pengendapan selama satu hari mampu menurunkan kekeruhan hingga 2,28 NTU (55,07%); TDS hingga 1.010 mg/L (3,71%); kadar Cl hingga 271,98 mg/L (3,52%); dan kadar Fe 0,05 mg/L (40,65%). Proses elektrokoagulasi menggunakan elektroda aluminium lebih baik dibandingkan elektroda besi pada waktu proses 30 menit.

Kata kunci: Elektrokoagulasi, kekeruhan, kadar Cl, kadar Fe, TDS

ABSTRACT

One of the efforts to maintain water supply is by lowering seawater parameters to meet freshwater parameters using the electrocoagulation method. This study aims to study the effect of electrocoagulation process time on the decrease in TDS, turbidity, Cl content, and Fe content. In addition, to determine the comparison between Al and Fe electrodes. Seawater is taken from Pelabuhan Ratu Beach. The electrodes used are Al and Fe with a size of 15x10 cm². The voltage used is 5 volts or a current density of 0,137 A/dm² with processing times of 15, 30, 45, and 60 minutes and the volume of the raw material is 4 liters. Research with a processing time of 30 minutes and sedimentation for one day was able to reduce turbidity up to 2,28 NTU (55,07%); TDS up to 1.010 mg/L (3,71%); Cl content up to 271,98 mg/L (3,52%); and Fe content of 0,05 mg/L (40,65%). The electrocoagulation process using aluminum electrodes was better than iron electrodes at a processing time of 30 minutes.

Keywords: Cl content, Fe content, electrocoagulation, TDS, turbidity

PENDAHULUAN

Krisis air bersih mengancam dunia seiring dengan semakin meningkatnya populasi penduduk dan terbatasnya ketersediaan air. Selain itu, Pulau Jawa beresiko mengalami kekeringan dibandingkan wilayah lainnya. Pulau Jawa mengalami penurunan curah hujan yang lebih banyak dibandingkan wilayah

lain terkait dengan dampak perubahan iklim global terhadap curah hujan (Maarif, 2011). Bahkan kajian pemerintah memprediksi bahwa Pulau Jawa berpotensi kehilangan hampir seluruh sumber air bersih pada tahun 2040 (Utama, 2019). Hal tersebut didukung dengan data ketersediaan air untuk satu orang setiap tahun di Pulau

Jawa sangat kecil dibandingkan wilayah lain dalam Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Ketersediaan Air Tiap Wilayah Di Indonesia

Wilayah	Jumlah Ketersediaan air per orang (m ³ /tahun)
Jawa	1.169
Bali/NTT/NTB	4.224
Sumatera	15.892
Sulawesi	19.293
Kalimantan	80.167
Papua	296.841

(Sumber: Utama, 2019)

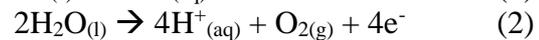
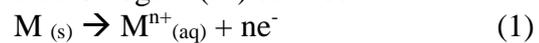
Indonesia sebagai negara kepulauan dengan luas wilayah laut yang sangat luas memiliki volume air laut sebesar $13,45 \times 10^{18}$ liter sesuai perhitungan menggunakan data *General Bathymetric Chart of the Oceans* (Ramdhan, 2013). Jumlah air laut yang sangat besar dibandingkan air tawar di permukaan memiliki potensi yang sangat besar untuk dimanfaatkan oleh manusia.

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh waktu proses elektrokoagulasi terhadap penurunan TDS, kekeruhan, kadar Cl, dan kadar Fe. Selain itu, penelitian ini bertujuan juga untuk mengetahui perbandingan antara elektroda aluminium dan elektroda besi terhadap hasil proses elektrokoagulasi. Menurut Masthura (2019), elektrokoagulasi dapat digunakan sebagai alternatif pengolahan air bersih dengan penurunan TDS sebesar 63% dan kekeruhan sebesar 98%. Selain itu, elektrokoagulasi mampu menurunkan kadar Fe hingga 99,87% (Mulyana, 2019). Elektrokoagulasi adalah proses penggumpalan dengan bantuan tenaga listrik searah melalui proses elektrolisis sehingga dapat mengurangi serta menurunkan ion-ion logam dan partikel-partikel dalam air. Reaksi reduksi-oksidasi (redoks) menjadi prinsip dasar dari proses elektrokoagulasi. Peristiwa reduksi terjadi di elektroda (-) yaitu katoda

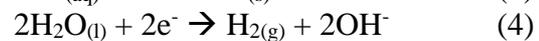
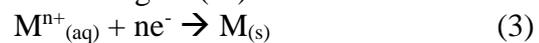
sedangkan oksidasi terjadi di elektroda (+) yaitu anoda (Amri & Awalsya, 2020). Arnita dkk (2017) menjelaskan bahwa proses elektrokoagulasi terbentuk melalui pelarutan logam dari anoda yang berinteraksi secara simultan dengan ion hidroksil dan gas hidrogen yang dihasilkan di katoda.

Secara umum reaksi yang terjadi pada logam (M) sebagai berikut.

Reaksi logam (M) di anoda:



Reaksi logam (M) di katoda



Menurut Furqon (2008),

elektrokoagulasi ini memiliki kelebihan yaitu alat yang diperlukan sederhana dan mudah dioperasikan. Selain itu, elektrokoagulasi lebih cepat mereduksi kandungan koloid atau partikel yang paling kecil. Hal ini terjadi karena penggunaan aliran listrik ke dalam air akan mempercepat pergerakan koloid atau partikel di dalam air sehingga akan memudahkan proses pengurangan ion-ion logam atau partikel dalam air.

METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental. Penelitian dilakukan pada bulan Maret hingga April di Laboratorium Pengolahan Limbah Industri. Bahan baku yang digunakan adalah air laut dari Pantai Pelabuhan Ratu dan elektroda yang digunakan adalah aluminium dan besi. Parameter yang dilakukan pengukuran pada penelitian ini yaitu pH, TDS, kekeruhan, kandungan besi, dan kandungan klorida.

Proses elektrokoagulasi diawali dengan mempersiapkan alat dan bahan baku. Pada penelitian ini menggunakan motor dan pengaduk jangkar yang bertujuan untuk mendistribusikan koagulan secara merata ke bahan utama.

Air laut sebagai bahan baku utama dimasukkan ke dalam reaktor elektrokoagulasi sebanyak 4000 mL. Empat buah elektroda Al digunakan sebagai anoda dan katoda dihubungkan dengan kabel buaya yang selanjutnya dimasukkan ke dalam air dan dialiri arus listrik dengan tegangan 5 volt dari *Power Supply*. Proses elektrokoagulasi berlangsung selama 15, 30, 45, dan 60 menit dan dilakukan pengambilan sampel sebanyak 250 mL. Pengukuran parameter dilakukan sebanyak 2 kali yaitu setelah 30 menit dan 1 hari proses elektrokoagulasi. Proses elektrokoagulasi berlangsung seperti pada Gambar 1 berikut.



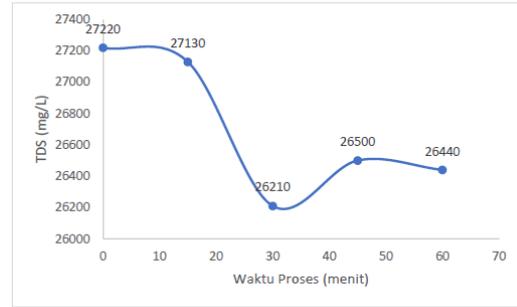
Gambar 1. Proses Elektrokoagulasi

HASIL DAN PEMBAHASAN

Air yang telah mengalami proses elektrokoagulasi dilakukan pengukuran beberapa parameter. Hasil pengukuran pada setiap variasi waktu proses disajikan dalam setiap parameter seperti TDS, kekeruhan, kadar Cl, dan kadar Fe.

Pengaruh Waktu Proses Terhadap Penurunan TDS

Pengukuran TDS bertujuan untuk mengetahui jumlah zat padat terlarut baik senyawa organik maupun non-organik dalam air hasil proses elektrokoagulasi. Data pengukuran TDS setelah 1 hari proses elektrokoagulasi tersaji dalam Gambar 2 berikut.



Gambar 2. Kurva Waktu Proses Terhadap TDS

Penurunan TDS terjadi karena adanya arus listrik sehingga proses elektrokoagulasi dengan menggunakan logam Al akan terjadi oksidasi logam Al menjadi ion Al^{3+} di anoda serta pembentukan ion OH^- di katoda. Ion Al^{3+} dan ion OH^- akan membentuk $Al(OH)_3$ yang bertindak sebagai koagulan. Koagulan tersebut akan mengikat bahan organik dan padatan terlarut dalam air kemudian membentuk flok yang mengendap sehingga kadar TDS mengalami penurunan.

Menurut Masrullita dkk (2021), semakin lama waktu kontak maka semakin besar penurunan TDS tetapi dari data hasil pengukuran dan pengolahan, terlihat bahwa dengan rapat arus $0,137 A/dm^2$ dan waktu proses 30 menit menunjukkan efisiensi penurunan yang lebih baik dibandingkan dengan waktu proses lainnya. Hal ini disebabkan oleh elektroda yang digunakan setelah 30 menit mengalami kejenuhan dengan ditandai dengan terdapat flok-flok yang menutupi plat elektroda sehingga kemampuan untuk menarik ion-ion dalam umpan berkurang (Ridantami dkk, 2017). Menurut Masrullita dkk (2021), ketika arus listrik mengalir, ion aluminium yang keluar dari anoda dan ion hidroksida dari katoda akan bertambah dan membentuk flok-flok pada elektroda sehingga kemampuan elektroda untuk menarik padatan terlarut dalam air menjadi berkurang. Data

perhitungan efisiensi penurunan TDS tersaji pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Data TDS Pada Waktu Proses

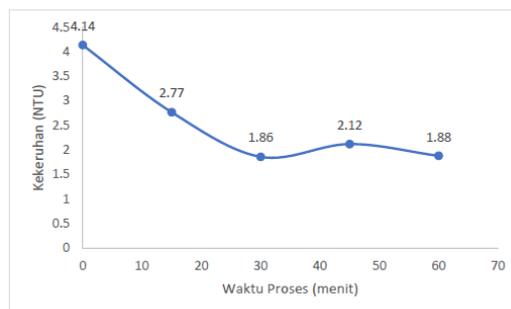
Waktu Proses (menit)	TDS _{1hari} (mg/L)	Efisiensi Penurunan (%)
0	27.220	0,00
15	27.130	0,33
30	26.210	3,71
45	26.500	2,65
60	26.440	2,87

Dari data hasil perhitungan, efisiensi tertinggi diperoleh 3,71% dengan penurunan sebesar 1.010 mg/L saat waktu proses 30 menit pada tegangan 5 volt. Penurunan tersebut merupakan penurunan yang besar tetapi dikarenakan TDS air laut yang tinggi sehingga penurunan efisiensinya kecil. Menurut Ningsih & Ayunaningsih (2019), dengan adanya peningkatan tegangan maka akan berpengaruh pada penurunan TDS karena tegangan berbanding lurus dengan arus listrik yang dihasilkan sehingga koagulan yang terbentuk lebih banyak.

Menurut Permenkes Nomor 32 Tahun 2017, baku mutu TDS untuk keperluan higiene sanitasi yaitu maksimal 1.000 mg/L sedangkan TDS yang diperoleh hasil penelitian yaitu 26.210 mg/L. Data TDS hasil penelitian masih sangat jauh untuk mencapai baku mutu. Hal ini dikarenakan tegangan yang digunakan kecil sehingga arus listrik yang mengalir pada setiap luasan elektroda juga kecil.

Pengaruh Waktu Proses Terhadap Penurunan Kekeruhan

Pengukuran kekeruhan bertujuan untuk mengetahui zat-zat tak terlarut yang dapat mempengaruhi transparansi air hasil proses elektrokoagulasi. Data pengukuran kekeruhan setelah satu hari proses elektrokoagulasi tersaji dalam Gambar 3 berikut.



Gambar 3. Kurva Waktu Proses Terhadap Kekeruhan

Penurunan nilai kekeruhan terjadi koloid-koloid penyebab kekeruhan akan terdestabilisasi oleh koagulan yang terbentuk dari reaksi proses elektrokoagulasi dan membentuk flok-flok. Reaksi yang terjadi di anoda menghasilkan ion Al^{3+} yang akan bereaksi dengan ion OH^- yang dihasilkan di katoda sehingga membentuk $Al(OH)_3$ sebagai koagulan. $Al(OH)_3$ tersebut yang mendestabilisasi koloid-koloid penyebab kekeruhan. Koloid-koloid yang telah terdestabilisasi akan bergabung menjadi flok-flok yang dapat mengendap sehingga terjadi penurunan kekeruhan. Data perhitungan efisiensi penurunan kekeruhan tersaji pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Data Kekeruhan Pada Waktu Proses

Waktu Proses (menit)	Kekeruhan _{1hari} (NTU)	Efisiensi Penurunan (%)
0	4,14	0,00
15	2,77	33,09
30	1,86	55,07
45	2,12	48,79
60	1,88	54,59

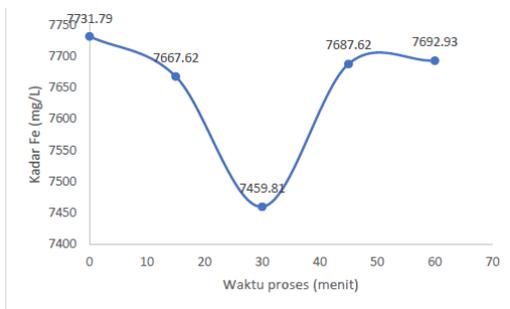
Menurut Suwanto dkk (2017), semakin lama waktu pengolahan menggunakan elektrokoagulasi maka semakin besar efisiensi penyihan kekeruhan yang didapatkan. Akan tetapi, pada penelitian ini waktu proses 30 menit menjadi waktu yang paling tinggi dalam penurunan kekeruhan. Hal ini

disebabkan karena elektroda yang digunakan setelah 30 menit mengalami kejenuhan dengan ditandai dengan terdapat flok-flok yang menutupi plat elektroda sehingga kemampuan untuk menarik ion-ion dalam umpan berkurang (Ridantami dkk, 2017).

Data Tabel 3 menunjukkan proses elektrokoagulasi mampu menurunkan kekeruhan air laut hingga 55,07% pada waktu proses 30 menit. Akan tetapi, metode elektrokoagulasi ini mampu menurunkan kekeruhan hingga kurang dari 2 NTU.

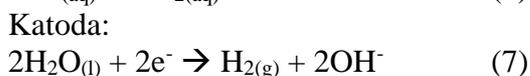
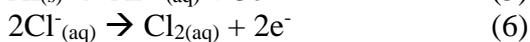
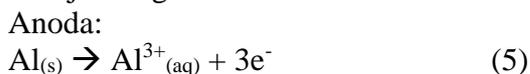
Pengaruh Waktu Proses Terhadap Penurunan Kadar Klorida (Cl)

Pengukuran kadar Cl bertujuan untuk mengetahui kandungan logam Cl air hasil proses elektrokoagulasi. Data pengukuran kadar Cl setelah satu hari proses elektrokoagulasi tersaji pada Gambar 4 berikut.

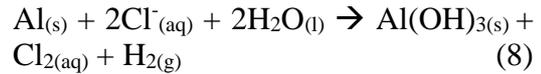


Gambar 4. Kurva Waktu Proses Terhadap Kadar Cl

Reaksi yang terjadi di anoda bukan hanya oksidasi logam aluminium tetapi terjadi juga pembentukan Cl₂ yang mengakibatkan kadar klorida pada air laut mengalami penurunan. Reaksi yang terjadi selama proses elektrokoagulasi tersaji sebagai berikut:



Reaksi keseluruhan:



Pembentukan Cl₂ di anoda terjadi karena ion Cl⁻ yang terkandung dalam air laut memiliki potensial oksidasi yang cukup tinggi sehingga terbentuk senyawa klorin aktif seperti Cl₂ di anoda (Suwanto dkk, 2017). Data perhitungan efisiensi penurunan kadar Cl tersaji pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4. Data Kadar Cl Pada Waktu Proses

Waktu Proses (menit)	Kadar Cl _{1hari} (mg/L)	Efisiensi Penurunan (%)
0	7.731,79	0,00
15	7.667,62	0,83
30	7.459,81	3,52
45	7.687,62	0,57
60	7.692,93	0,50

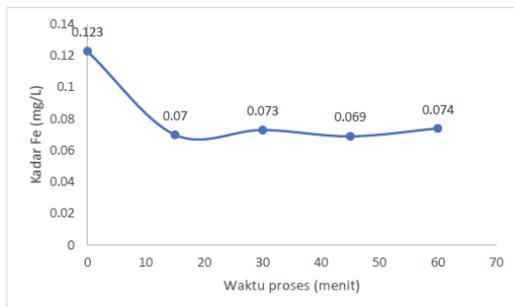
Dari Tabel 4 dapat terlihat bahwa penurunan kadar Cl cenderung tidak stabil atau fluktuatif. Menurut Mulyani dkk (2017) hal ini terjadi karena proses pasivitas plat yaitu plat telah mengalami kejenuhan dengan adanya flok yang menempel pada elektroda setelah 30 menit sehingga menghambat proses reaksi yang terjadi di anoda ataupun katoda.

Proses elektrokoagulasi dengan rapat arus 0,137 A/dm² mampu menurunkan kadar Cl hingga 272 mg/L atau 3,52% pada menit ke-30. Menurut Permenkes Nomor 416 Tahun 1990 tentang Syarat-syarat dan Pengawasan Kualitas Air dijelaskan bahwa kandungan maksimum klorida yang diperbolehkan untuk penggunaan air bersih yaitu sebesar 600 mg/L. Penurunan kadar Cl dari hasil penelitian masih belum memenuhi baku mutu karena oksidasi Cl⁻ yang terjadi di anoda kurang signifikan karena kuat arus yang digunakan tidak tinggi (Abubaker, 2017). Oleh karena itu pembentukan Cl₂ di anoda masih rendah karena rapat arus

pada proses elektrokoagulasi masih rendah sehingga aliran arus listrik yang mengalir pada suatu penampang tidak besar.

Pengaruh Waktu Proses Terhadap Penurunan Kadar Besi (Fe)

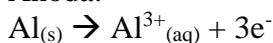
Pengukuran kadar Fe bertujuan untuk mengetahui kandungan logam Fe dalam air hasil proses elektrokoagulasi. Data pengukuran kadar Fe setelah satu hari proses elektrokoagulasi tersaji Gambar 5 berikut.



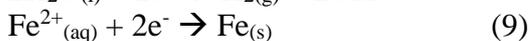
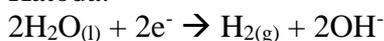
Gambar 5. Kurva Waktu Proses Terhadap Kadar Fe

Penyisihan kadar Fe terjadi seiring dengan adanya reaksi reduksi kation besi di katoda. Reaksi reduksi kation besi ini terjadi karena potensial elektroda standarnya lebih besar dibandingkan air sehingga lebih mudah mengalami reduksi. Mekanisme reaksi yang terjadi selama proses elektrokoagulasi tersaji pada reaksi berikut.

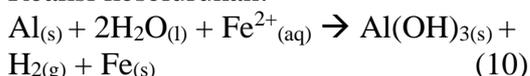
Anoda:



Katoda:



Reaksi keseluruhan:



Penurunan kadar Fe pada proses elektrokogulasi terjadi karena kation Fe dalam air mengalami reduksi dan menempel pada katoda sehingga elektroda yang digunakan pada penelitian ini terlapisi oleh flok-flok

yang salah satunya logam Fe. Data perhitungan efisiensi penurunan TDS tersaji pada Tabel 5 berikut.

Tabel 5. Data Kadar Fe Pada Waktu Proses

Waktu Proses (menit)	Kadar Fe _{1hari} (mg/L)	Efisiensi Penurunan (%)
0	0,123	0,00
15	0,070	43,09
30	0,073	40,65
45	0,069	43,90
60	0,074	39,84

Dari Tabel 5 dapat terlihat bahwa efisiensi penurunan Fe cenderung tidak konstan atau naik-turun seiring dengan lamanya waktu proses. Akan tetapi, penurunan kadar Fe setiap waktu proses tidak terlalu signifikan perbedaannya. Hal tersebut dipengaruhi oleh reaksi reduksi logam Fe yang terjadi di katoda. Akan tetapi, kadar Fe pada air hasil proses elektrokoagulasi memenuhi baku mutu air untuk keperluan hygiene dan sanitasi yaitu dibawah 1 mg/L.

Perbandingan Elektroda Aluminium Dengan Elektroda Besi

Plat aluminium digunakan sebagai elektroda pada proses elektrokoagulasi, selain itu digunakan juga plat besi sebagai elektroda pada proses elektrokoagulasi. Proses elektrokoagulasi dilakukan menggunakan elektroda Fe dilakukan pada saat waktu proses yang paling baik saat proses elektrokoagulasi menggunakan elektroda Al. Waktu proses yang paling baik yaitu waktu proses 30 menit sehingga perbandingan proses elektrokoagulasi menggunakan elektroda Al dan Fe terjadi pada saat waktu proses 30 menit. Data yang diperoleh disajikan dalam Tabel 6 berikut.

Tabel 6. Perbandingan antara Elektroda Al dan Fe terhadap Hasil Proses Elektrokoagulasi

Parameter Pengukuran	30 menit		1 hari	
	Aluminium	Besi	Aluminium	Besi
pH	6	6	6	6
TDS (mg/L)	26.350	26.880	26.210	26.840
Kekeruhan (NTU)	36,49	140,5	1,86	14,8
Kadar Cl (mg/L)			7527.8	7663.8
Kadar Fe ($\mu\text{g/mL}$)			0,0725	10,0467

Dari Tabel 6 dapat terlihat bahwa semua parameter pada elektroda Al memiliki nilai yang rendah dibandingkan elektroda Fe. Hal ini disebabkan oleh elektroda besi yang lebih mudah terkorosi sehingga dengan hadirnya karat pada elektroda besi tersebut mengakibatkan arus listrik menjadi sulit untuk mengalir. Selain itu, dengan timbulnya korosi pada plat besi mengakibatkan beban pencemar pada air bertambah akibat dari lapisan korosi yang bercampur dengan air sehingga pengolahan menggunakan elektroda besi tidak begitu signifikan perubahannya jika dibandingkan dengan elektroda aluminium.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, proses elektrokoagulasi dengan waktu proses 30 menit dan pengendapan selama satu hari mampu menurunkan kekeruhan dari 4,14 menjadi 1,86 NTU dengan efisiensi sebesar 55,07%; TDS dari 27.220 menjadi 26.210 mg/L dengan efisiensi sebesar 3,71%; kadar Cl dari 7.731,79 menjadi 7.459,81 mg/L dengan efisiensi sebesar 3,52%; dan kadar Fe dari 0,123 menjadi 0,073 mg/L dengan efisiensi sebesar 40,65%. Selain itu, perbandingan elektroda yang digunakan pada proses elektrokoagulasi menunjukkan bahwa elektroda aluminium lebih baik dibandingkan elektroda besi pada waktu proses 30

menit dan tegangan 5 volt dalam 4000 mL air laut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Manajemen Politeknik Negeri Bandung yang telah memberikan bantuan dana untuk Proyek Akhir/Tugas Akhir ini.

DAFTAR RUJUKAN

- Abubaker, Miada. (2017). *Evaluation of Electrocoagulation for Chloride and Ammonium Removal from the Reject Brine Effluent PreTreated by Solval Process*. (Electronic Theses and Dissertation), United Arab Emirates University
- Amri, I., & Awalsya, F. (2020). Pengolahan limbah cair industri pelapisan logam dengan proses elektrokoagulasi secara kontinyu. *Chempublish Journal*, 5(1), 15-26.
- Arnita, Y., Elystia, S., & Andesgur, I. (2017). *Penyisihan Kadar COD dan TSS pada Limbah Cair Pewarnaan Batik Menggunakan Metode Elektrokoagulasi* (Doctoral dissertation, Riau University).
- Furqon, K. (2008). *Daur Ulang Air Limbah Usaha Pencucian Kendaraan Bermotor Dengan Menggunakan Elektrokoagulasi*. Universitas Mulawarman Samarinda.
- Lasabuda, R. (2013). *Pembangunan wilayah pesisir dan lautan dalam*

- perspektif Negara Kepulauan Republik Indonesia. *Jurnal Ilmiah Platax*, 1(2), 92-101.
- Maarif, S. (2011). Meningkatkan kapasitas masyarakat dalam mengatasi risiko bencana kekeringan. *Jurnal Sains dan Teknologi Indonesia*, 13(2), 65-73.
- Masrullita, M., Hakim, L., Nurlaila, R., & Azila, N. 2021. Pengaruh Waktu Dan Kuat Arus Pada Pengolahan Air Payau Menjadi Air Bersih Dengan Proses Elektrokoagulasi. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 10(1), 111-122.
- Masthura, M. (2019). Penerapan metode elektrokoagulasi sebagai alternatif pengolahan air bersih.
- Muliyana, R. (2019). *Upaya Penurunan Kadar Logam Berat Air Menggunakan Metode Elektrokoagulasi Untuk Menghasilkan Air Bersih* (Doctoral dissertation, Universitas Islam Negeri Sumatera Utara).
- Mulyani, I. M., Prayitno, M. F., & Kusumastuti, E. (2017). Pengaruh Jenis Plat Elektroda pada Proses Elektrokoagulasi untuk Menurunkan Kadar Thorium dalam Limbah Hasil Pengolahan Logam Tanah Jarang. *Jurnal Pusat Sains dan Teknologi Akselerator*.
- Ningsih, E., & Ayunaningsih, M. C. Pengolahan Limbah Industri Farmasi Menggunakan Metode Elektrokoagulasi dengan Elektroda Fe-Fe.
- Ramadhan, Muhammad. (2013). Panduan Cara Menghitung Volume Laut Indonesia Menggunakan Data General Bathymetric Chart of the Oceans 30 arc second.
- Ridantami, V., Wasito, B., & Prayitno, P. 2017. Pengaruh Tegangan Dan Waktu Pada Pengolahan Limbah Radioaktif Uranium Dan Thorium Dengan Proses Elektrokoagulasi. In *Jurnal Forum Nuklir* (Vol. 10, No. 2, pp. 102-107).
- Suwanto, N., Sudarno, S., Sari, A. A., & Harimawan, H. 2017. *Penyisihan Fe, warna, dan kekeruhan pada air gambut menggunakan metode elektrokoagulasi* (Doctoral dissertation, Diponegoro University).
- Utama, A. (2019, Agustus 5). *Jawa 'Kehabisan Air' Tahun 2040: Ratusan Juta Orang Terancam Bencana yang 'Tak Pernah Terbayangkan'*. Retrieved from BBC News Indonesia: <https://www.bbc.com/indonesia/indonesia-49190635>