

Degradasi Air Limbah Pupuk Urea Menggunakan Teknologi Elektrolisis dengan Elektroda Tembaga (Cu) dan Karbon (C)

Dimas Rizqi Pratama¹, Tuhu Agung Rachmanto^{2*}

^{1,2}Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Pembangunan Nasional Veteran, Surabaya

*Koresponden email: tuhu.tl@upnjatim.ac.id

Diterima: 26 April 2024

Disetujui: 1 Mei 2024

Abstract

Urea is a nitrogenous compound produced by the reaction of ammonia and carbon dioxide at certain temperatures and pressures. Urea is commonly used in the fertiliser industry and liquid waste may be generated during production. Waste from urea fertiliser plants contains urea and ammonium in concentrations of 1,500 to 10,000 ppm and 400 to 3,000 ppm respectively. Electrolysis technology has been developed to treat waste water containing ammonia. Electrolysis is a process in which water molecules are split into hydrogen and oxygen gases by passing an electric current through electrodes containing an electrolyte solution (water and catalyst). This research aims to determine the effectiveness of reducing ammonia (NH₃-N) and pH levels using electrolysis methods with copper (Cu) and carbon (C) electrodes, carried out with different numbers of plates: 2, 4, 6 and 8 plates. The variations in electrolysis time (td) used are 0 minutes, 30 minutes, 60 minutes, 90 minutes and 120 minutes.

Keywords: *urea, electrolysis, nh₃n, ph, number of plates*

Abstrak

Urea ialah senyawa yang mengandung nitrogen yang dihasilkan oleh reaksi amonia dan karbon dioksida pada suhu dan tekanan tertentu. Urea biasanya digunakan dalam industri pupuk, dan limbah cair dapat dihasilkan selama produksi. Limbah dari pabrik pupuk urea mengandung urea dan amonium dengan konsentrasi masing-masing 1.500 hingga 10.000 ppm dan 400 hingga 3.000 ppm. Teknologi elektrolisis dikembangkan untuk mengolah limbah yang mengandung amonia. Elektrolisis adalah suatu proses di mana molekul air dipecah menjadi gas hidrogen dan oksigen dengan melewati arus listrik melalui elektroda yang mengandung larutan elektrolit (air dan katalis). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas penurunan kadar amonia (NH₃-N) dan pH menggunakan metode elektrolisis menggunakan elektroda tembaga (Cu) dan karbon (C) dan dilakukan dengan jumlah plat yang bervariasi yaitu dengan jumlah 2; 4; 6; dan 8 plat. Variasi waktu elektrolisis (td) yang digunakan adalah 0 menit, 30 menit, 60 menit, 90 menit, dan 120 menit.

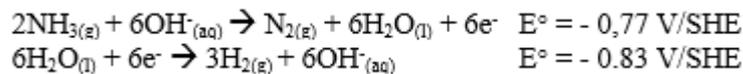
Kata Kunci: *urea, elektrolisis, NH₃-N, pH, jumlah plat*

1. Pendahuluan

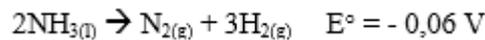
Urea merupakan suatu senyawa kimia yang mengandung nitrogen yang dihasilkan melalui reaksi antara amonia dan karbon dioksida pada suhu dan tekanan tertentu. Untuk menghasilkan setiap ton urea, diperlukan sekitar 12 m³ air serta memproduksi limbah cair sebanyak 2,3 m³ [1]. Urea sendiri memiliki reaksi kimia sebagai berikut, yaitu CO(NH₂)₂ [2]. Limbah cair ini mempunyai kandungan ammonium, karbon dioksida, dan urea. Amonia merupakan bahan baku penting dalam industri, namun juga diakui sebagai polutan berbahaya [3]. Ammonium merupakan salah satu pecahan dari amonia. Ammonia (NH₃) merupakan gas tidak berwarna yang mempunyai bau menyengat yang khas. Yang larut dalam air membentuk larutan basa. Nitrogen amonia terdapat dalam dua bentuk dalam air, yaitu amonia (NH₃) dan ammonium (NH₄⁺). Konsentrasi bahan-bahan dalam limbah cair, seperti ammonium berkisar antara 2-9% dari total berat limbah, karbon dioksida sekitar 0,8-6% dari total berat limbah, dan urea sekitar 0,3-1,5% dari total berat limbah [4].

Oleh karena itu, pengolahan air limbah yang memiliki kandungan amonia dan urea perlu dilakukan untuk memenuhi standar kualitas air limbah yang aman untuk lingkungan. [5]. Proses pengolahan air limbah yang melibatkan bahan kimia tertentu terutama amonia yang ada di industri, umumnya menggunakan metode biologis seperti *active sludge*, *air stripping*, dan *ion exchange*. Namun ketiga teknologi tersebut memiliki beberapa kendala, seperti ketidakmampuan untuk menurunkan konsentrasi amonia menjadi tingkat rendah yang diinginkan, transfer polutan antar media, dan biaya yang tinggi. Saat ini, sedang dikembangkan teknologi elektrolisis untuk mengurangi konsentrasi amonia [6].

Pengolahan air limbah yang mengandung amonia, salah satunya menggunakan metode elektrolisis [7]. Lalu terdapat persamaan reaksi yang terjadi pada proses elektrolisis yaitu:



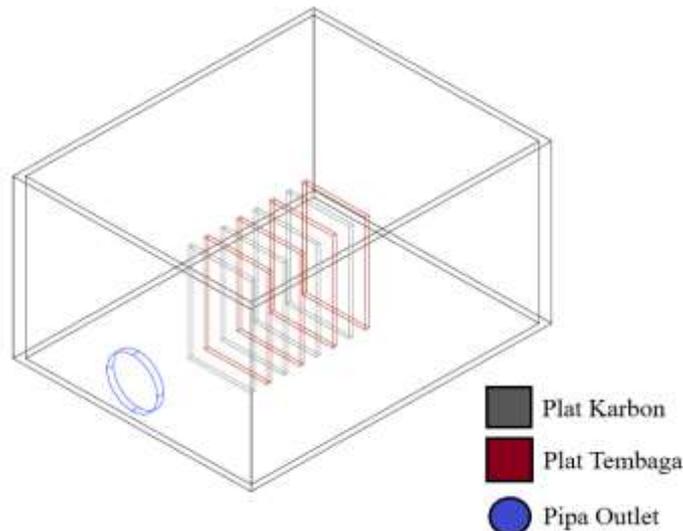
Persamaan reaksi untuk keseluruhan dari kedua proses tersebut bisa dicatat melalui persamaan reaksi, Di sisi lain, standar sel yang mungkin untuk kedua reaksi diukur sebagai selisih antara potensial standar reduksi dan oksidasi.



2. Metode Penelitian

Penelitian Awal dan Persiapan

Penelitian ini dilakukan menggunakan metode elektrolisis dengan menggunakan air limbah pupuk urea sebanyak 50 liter dengan jarak antar elektroda sebesar 1 cm dan untuk ukuran reaktor yang digunakan berbentuk kotak dengan panjang 23 cm, lebar 18 cm dan tinggi 13 cm. Elektroda yang digunakan adalah elektroda karbon (C) dan tembaga (Cu). Penelitian dilakukan dengan sistem *batch* menggunakan metode elektrolisis. Pada metode elektrolisis digunakan variasi jumlah plat yaitu: 2; 4; 6; 8 dan waktu kontak: 0; 30; 60; 90; dan 120 menit. Parameter yang diamati adalah $\text{NH}_3\text{-N}$ dan pH. Ini merupakan gambaran dari reaktor yang dipakai, seperti yang tertera pada **Gambar 1**.

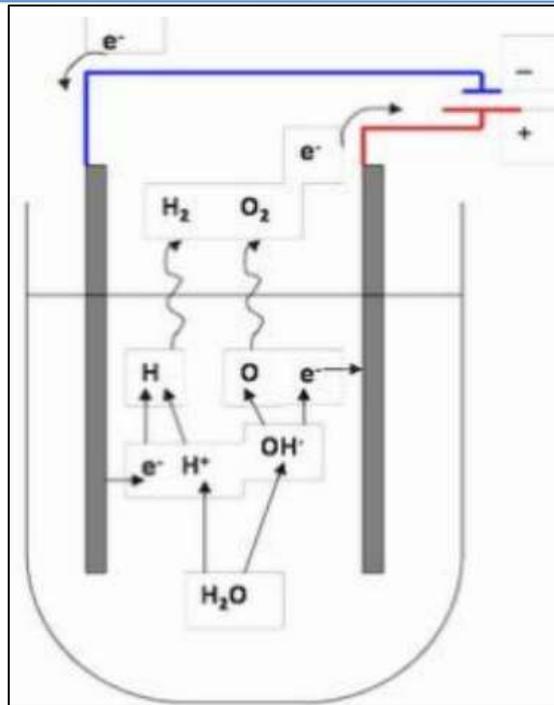


Gambar 1: Reaktor Elektrolisis Menggunakan Jumlah 8 Plat
Sumber: Hasil Analisa (2023)

Penelitian Utama

Selama elektrolisis, elektrolit dipecah dalam sel elektrolitik menggunakan sumber energi listrik. Proses oksidasi-reduksi yang terjadi secara spontan dalam sel volta/galvani mengubah energi kimia yang dikonversi menjadi daya elektrik, sedangkan dalam elektrolisis, reaksi tersebut terjadi secara terbalik dari sel volta/galvani, dengan potensial selnya negatif [8]. Proses elektrolisis sering digunakan untuk menghilangkan dan mengendapkan logam berat. Prinsipnya adalah ketika potensial atau arus dialirkan ke elektroda, kation logam tersebut mengendap dalam bentuk unsur pada elektroda padat [9]. Seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2**, elektrolisis melibatkan pergerakan elektron.

Prinsip mendasar dari elektrolisis adalah redoks, di mana proses oksidasi dan reduksi terjadi. Oksidasi terjadi pada elektroda positif, disebut juga anoda, sedangkan reduksi terjadi pada elektroda negatif, yang disebut katoda. Selain elektroda, air yang diolah merupakan faktor yang mempengaruhi dalam proses elektrolisis, yang bertindak sebagai larutan elektrolit. Dalam proses elektrolisis, arus listrik (DC) mengalir melalui elektroda untuk mengurai senyawa dalam elektrolit menjadi ion-ion, menyebabkan proses reduksi oksidasi dan pembentukan gas. Untuk menjalankan proses reaksi kimia dengan efektif dan efisien, diperlukan arus listrik yang tinggi. Ketika arus Listrik mengalir antara dua kutub elektroda (katoda dan anoda), elektroda-elektroda tersebut dihubungkan satu sama lain menggunakan larutan elektrolit sebagai konduktor sehingga membentuk gelembung gas [10].



Gambar 2: Proses Elektrolisis

Sumber: Proses Elektrolisis pada Prototipe Kompor Air dengan Pengaturan Arus dan Temperatur, 2009

Ada beberapa faktor yang dapat mempengaruhi proses elektrolisis, diantaranya lain suhu, waktu kontak, kuat arus, tegangan yang digunakan, pH, ketebelan plat, dan jarak antar elektroda [11].

3. Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini dilaksanakan dengan memakai air limbah pupuk urea sebanyak 50 liter dengan variasi jumlah plat yaitu 2 plat; 4 plat; 6 plat; dan 8 plat. Selain itu, terdapat variabel lain yaitu variasi waktu kontak. Untuk waktu kontak (td) yang digunakan adalah 0; 30; 60; 90; 120 menit. Elektroda yang dipergunakan pada penelitian ini ialah tembaga (Cu) dan karbon (C). berikut merupakan tabel hasil analisa pengaruh variasi jumlah plat dan waktu kontak terhadap penurunan nilai parameter $\text{NH}_3\text{-N}$ dan pH.

Tabel 1. Pengaruh Variasi Jumlah Plat dan Waktu Kontak (menit) terhadap Penurunan Nilai $\text{NH}_3\text{-N}$

td	Jumlah Plat			
	2 Plat	4 Plat	6 Plat	8 Plat
0 Menit	6070	6070	6070	6070
30 Menit	4918.5	4837.4	4776	4761.2
60 Menit	3816.7	3580.2	3233	3028.8
90 Menit	3152.7	2978.3	2567.3	2122.5
120 Menit	1638.5	1672.9	1659.2	932.7

Sumber: Hasil Analisa (2023)

Tabel 2. Pengaruh Variasi Jumlah Plat dan Waktu Kontak (menit) terhadap Penurunan Nilai pH

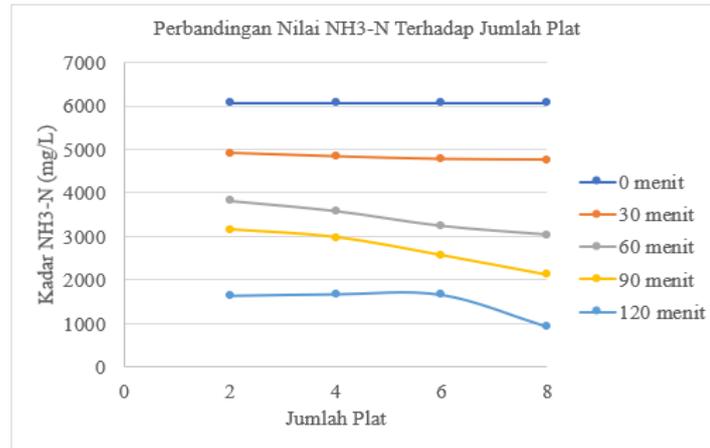
td	Jumlah Plat			
	2 Plat	4 Plat	6 Plat	8 Plat
0 Menit	9.34	9.34	9.34	9.34
30 Menit	9.23	9.18	9.16	9.08
60 Menit	9.21	9.12	9.07	8.88
90 Menit	9.18	8.95	8.92	8.75
120 Menit	9.12	8.89	8.73	8.64

Sumber: Hasil Analisa (2023)

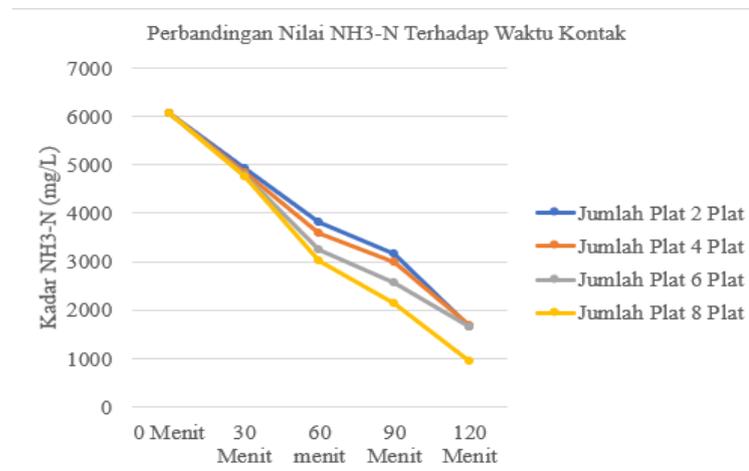
Berdasarkan pada **Tabel 1** dan **2** diatas diketahui bahwa hasil penelitian yang telah dilakukan setelah air limbah pupuk urea di elektrolisis yang mengandung parameter $\text{NH}_3\text{-N}$ dapat dilihat bahwa hasil terbaik yang didapat adalah lama waktu kontak 120 menit dengan jumlah plat 8 sebesar 932.7 mg/L dan untuk parameter pH dengan waktu kontak dan jumlah plat yang sama didapat hasil 8.64.

Pengaruh Jumlah Plat dan Waktu Kontak terhadap Penurunan Nilai $\text{NH}_3\text{-N}$

Dalam riset ini, variasi jumlah plat dan waktu kontak yang berbeda diterapkan dalam menurunkan $\text{NH}_3\text{-N}$. **Tabel 1** menunjukkan bahwa variabel jumlah plat dan waktu kontak berpengaruh terhadap penurunan jumlah $\text{NH}_3\text{-N}$. Hubungan antara variasi jumlah plat dan waktu kontak terhadap persentase penurunan jumlah $\text{NH}_3\text{-N}$ melalui proses elektrolisis, ditunjukkan pada **Gambar 3**.



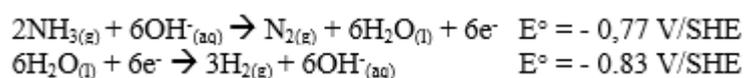
(a)



(b)

Gambar 3. Grafik Hasil Penelitian Penurunan $\text{NH}_3\text{-N}$: (a) Pengaruh Jumlah Plat Terhadap Berbagai Waktu Kontak
(b) Pengaruh Waktu Kontak Terhadap Berbagai Jumlah Plat
Sumber: Hasil Analisa (2023)

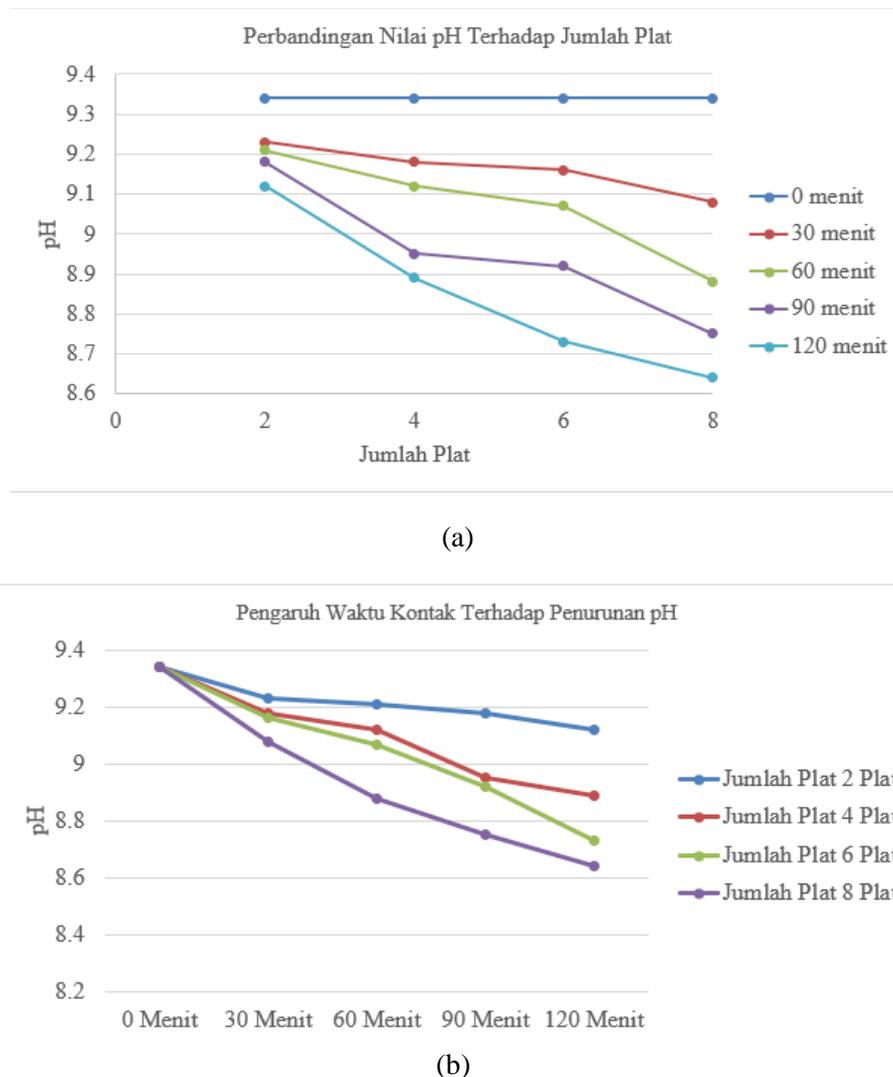
Grafik pada **Gambar 3** menunjukkan bahwa jumlah plat efektif dalam memengaruhi penurunan parameter $\text{NH}_3\text{-N}$, yang di mana setiap variasi jumlah plat terjadi penurunan $\text{NH}_3\text{-N}$. Penurunan parameter $\text{NH}_3\text{-N}$ yang paling efektif pada jumlah plat yang digunakan 8 plat, dengan kadar awal $\text{NH}_3\text{-N}$ 6070 mg/l menjadi 932.7 mg/l dengan persen removal 84.63%. Hal tersebut terjadi dikarenakan berdasarkan teori yang ada, semakin banyak jumlah plat elektroda yang digunakan, kinerja sistem elektrolisis akan meningkat. Dengan meningkatkan jumlah elektroda, akan meningkatkan efektivitas kerja sel elektrolisis [12]. Berikut merupakan reaksi yang terjadi saat elektrolisis [6]:



Gas hidrogen (H_2) yang dihasilkan merupakan proses dari penguraian amonia, selain gas hidrogen terdapat juga gas nitrogen (N_2) yang mana proses ini terjadi pada elektroda karbon.

Pengaruh Jumlah Plat dan Waktu Kontak terhadap Penurunan Nilai pH

Selain menganalisa pengaruh jumlah plat terhadap parameter NH_3-N , terdapat juga hasil analisa parameter pH yang dilakukan. Menurut **Tabel 1** diatas menunjukkan bahwa terdapat hubungan antara jumlah plat dengan penurunan pH. Hubungan antara variasi jumlah plat dan waktu kontak terhadap persentase penurunan pH melalui proses elektrolisis, ditunjukkan pada **Gambar 4**.



Gambar 4. Grafik Hasil Penelitian Penurunan pH: (a) Pengaruh Jumlah Plat Terhadap Berbagai Waktu Kontak (b) Pengaruh Waktu Kontak Terhadap Berbagai Jumlah Plat
Sumber: Hasil Analisa (2023)

Berdasarkan **Gambar 4**, Terlihat bahwa pengaruh variasi jumlah plat pada proses elektrolisis mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap pH. Begitu juga dengan variasi waktu kontak, dapat dilihat pada gambar 4.6 terdapat penurunan yang signifikan pada nilai pH. Secara keseluruhan, perubahan pH yang terjadi mengalami penurunan. Penurunan pH ini terjadi dalam rentang 9,34 hingga 8,64. Perubahan nilai pH ini diakibatkan karena terjadi oksidasi amonia yang menjadi gas nitrogen (N_2) dan gas hidrogen (H_2) selama proses elektrolisis. Proses ini menyebabkan penurunan konsentrasi amonia dalam air, yang mana pada gilirannya dapat menyebabkan penurunan pH karena amonia yang terdapat pada air limbah pupuk urea bersifat basa yang dapat menaikkan pH air [13].

Banyaknya gelembung gas hidrogen dan oksigen yang terbentuk ditentukan oleh intensitas tegangan Listrik yang diberikan, semakin tinggi tegangan listriknya, semakin besar produksi gas hidrogen dan oksigen yang dihasilkan [14]. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa selama proses elektrolisis, produksi gas hidrogen dalam air limbah meningkat, sehingga hal ini menyebabkan keasaman air limbah meningkat setelah proses elektrolisis [15].

4. Kesimpulan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa jumlah plat dan waktu kontak dalam proses elektrolisis mempengaruhi nilai parameter yang diuji, dengan jumlah plat 8 dan waktu kontak 120 menit metode elektrolisis ini terbukti dapat menurunkan parameter $\text{NH}_3\text{-N}$ dan pH. Penambahan pada jumlah plat mampu memberikan peningkatan produksi gas yang berbentuk gelembung atau gas H_2 yang dihasilkan semakin banyak yang menjadi salah satu faktor penurunan parameter pencemar. Situasinya serupa dengan waktu kontak. Dengan bertambahnya waktu kontak, akan terjadi peningkatan jumlah ion yang terbentuk antara elektroda dan air limbah, yang akhirnya akan menurunkan parameter tersebut. Persentase yang didapat pada parameter $\text{NH}_3\text{-N}$ sebesar 84.63 % dan pada parameter pH terdapat penurunan dari kadar awal 9.34 menjadi 8.64.

5. Daftar Pustaka

- [1] Sauri, D. (2013). Water conservation: Theory and evidence in urban areas of the developed world. *Annual Review of Environment and Resources*, 38, 227-248.
- [2] Rahimpour, M. R., Mottaghi, H. R., & Barmaki, M. M. (2010). *Enhancement of urea, ammonia and carbon dioxide removal from industrial wastewater using a cascade of hydrolyser-desorber loops*. *Chemical Engineering Journal*, 160(2), 594–606. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2010.03.081>
- [3] Halimah, Nur. 2013. Penurunan Kadar Ammonia pada Limbah Cair PT Cheil Jedang Indonesia dengan Metode Elektrolisa Secara Kontinyu. [Skripsi Ilmiah]. Jawa Timur: Fakultas Teknologi Industri Universitas Pembangunan Nasional “Veteran”.
- [4] Guzmán, R. O., & Lazo, A. B. (2022). Simulation of a reactor considering the Stamicarbon, Snamprogetti, and Toyo patents for obtaining urea. *Open Chemistry*, 20(1), 424-430.
- [5] Theresia Evila P S R, Imam Prasetyo, Agus Prasetya. (2018). *Pemungutan Urea Dari Air Limbah Pabrik Urea Menggunakan Karbon Berpori Termodifikasi Asam Sulfat Dan Pemanfaatannya Sebagai Pupuk*. <http://etd.repository.ugm.ac.id/%0A>
- [6] Riwayati, I. dan Ratnawati. 2010. Penurunan kandungan ammonia alam air dengan teknik elektrolisis. Prosidibg Seminar Rekayasa Kimia dan Proses 2010. ISSN: 1411-4216. C-29. Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang.
- [7] Little, D. J., Smith III, M. R., & Hamann, T. W. (2015). Electrolysis of liquid ammonia for hydrogen generation. *Energy & Environmental Science*, 8(9), 2775-2781.
- [8] Sari, Pratiwi Purnama. 2014. Prototype Hidrogen Fuel Generator (Pengaruh Suplay Arus Listrik dengan Elektrolit Natrium (Hidroksida Terhadap Produksi Gas Hidrogen). Palembang: Politeknik Negeri Sriwijaya.
- [9] Koelmel, J., Prasad, M., Velvizhi, G., Butti, S., Mohan, S. V., 2016, Metalliferous waste in India and knowledge explosion in metal recovery techniques and processes for the prevention of pollution. *Environmental Materials and Waste*, Elsevier: 339-390. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803837-6.00015-9>
- [10] Hendrasarie, N., & Santosa, B. A. (2019). Pengolahan Limbah Cair Rumah Potong Hewan Menggunakan Rotating Biological Contactor Modifikasi Sludge Zone. *Journal of Research and Technology*, 5(2), 168-177.
- [11] Lestari, Novianti Dwi, dan Agung, Tuhu. 2015. Penurunan TSS dan Warna Limbah Industri Batik Secara Elektrokoagulasi. Surabaya. Universitas Pembangunan Nasional
- [12] Utami, T. S. ST, Beurabo, T.B.S., Kusuma, A.S. 2014. Uji Pengaruh Kuat Arus, Jarak Elektroda, dan Jumlah Elektroda Terhadap Kinerja Elektrokoagulasi Dalam Menurunkan Warna dan Chemical Oxygen Demand Backwash Pada Limbah Ion Exchange Resin di Pabrik Gula Rafinasi PT. Angels Product. Jakarta : UI
- [13] Mukimin, A. 2006. Pengolahan Limbah Industri Berbasis Logam dengan Teknologi Elektrokoagulasi Flotasi. Semarang : Universitas Diponegoro.
- [14] Escapa, A., Gomez, X., Tartakovsky, and Mora, A. 2012. Estimating Microbial Electrolysis Cell (MEC) Investment Costs in Wastewater Treatment Plants: Case Study. Chemical and Environmental Bioprocess Engineering Group, Natural Resources Institute (IRENA), University of Leon, Spain.
- [15] Khandegar, V. dan Saroha, A.K. (2012). Electrocoagulation for the Treatment of Textile Industry Effluent –A Review. *Journal of Environmental Management*, 128, 949-963.