

Degradasi Zat Warna Tekstil *Remazol Orange 3R* Menggunakan Metode Elektrokoagulasi dengan Elektroda Logam Besi

Suseno*, Petrus Darmawan, Yari Mukti Wibowo

Program Studi D-III Analis Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Setia Budi, Surakarta

*Koresponden email: suseno@setiabudi.ac.id

Diterima: 28 November 2025

Disetujui: 04 Desember 2025

Abstract

Removal of dyes from textile industrial wastewater can be done using microbiological, physical and physicochemical methods. These methods have weaknesses, namely they are less effective, expensive and require further treatment. One alternative method for removing dyes from textile industry wastewater is the electrochemical method, which can be done more quickly, cheaply and effectively. This study aims to determine the effectiveness of electrochemical methods, especially electrocoagulation, in removing dyes, especially Remazol Orange 3R dyes used in the textile industry. The degradation of the textile dye Remazol Orange 3R in this study was carried out using the electrocoagulation method using iron metal electrodes. The equipment used in this study included a plastic vessel, an electric stirrer, and anodes and cathodes made of ferrous metal. The degradation process of the Remazol Orange 3R textile dye was carried out using a batch system with varying stirring or contact times of 15, 30, 45, and 60 minutes. The percentage decrease in absorbance of the dye solution was measured using a UV-Vis spectrophotometer at the maximum wavelength. The results of the study showed that the highest percentage of absorbance reduction, namely 98.36%, was at a contact time of 30 minutes. It can be concluded that the electrocoagulation method with iron electrodes has the potential to be used as a wastewater treatment option, to degrade dyes from textile industry wastewater.

Keywords: wastewater, textile industry, remazol orange 3r, electrocoagulation method

Abstrak

Penghilangan zat warna air limbah industri tekstil dapat dikerjakan dengan cara mikrobiologi, fisika dan fisikokimia namun metode ini memiliki kelemahan, yaitu kurang efektif, mahal dan memerlukan perlakuan lanjutan. Cara alternatif untuk penghilangan zat warna air limbah industri tekstil salah satunya adalah cara elektrokimia, dimana cara tersebut dapat dikerjakan lebih cepat, murah dan efektif. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektifitas cara elektrokimia khususnya elektrokoagulasi dalam menghilangkan zat warna khususnya zat warna *Remazol Orange 3R* yang digunakan dalam industri tekstil. Degradasi zat warna tekstil *Remazol Orange 3R* dalam penelitian ini dilakukan melalui metode elektrokoagulasi menggunakan elektroda logam besi. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini mencakup bejana plastik, pengaduk elektrik, serta anoda dan katoda yang terbuat dari logam besi. Proses degradasi zat warna tekstil *Remazol Orange 3R* dilakukan menggunakan sistem batch dimana waktu pengadukan atau waktu kontak bervariasi yaitu 15, 30, 45 dan 60 menit. Persentase penurunan absorbansi larutan zat warna diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum. Hasil penelitian menunjukkan bahwa persentase penurunan absorbansi tertinggi, yaitu 98,36%, pada waktu kontak 30 menit. Dapat disimpulkan bahwa metode elektrokoagulasi dengan elektroda besi berpotensi digunakan sebagai pilihan pengolahan air limbah, untuk mendegradasi zat warna dari air limbah industri tekstil.

Kata Kunci: air limbah, industri tekstil, remazol orange 3r, metode elektrokoagulasi

1. Pendahuluan

Air limbah industri tekstil dapat diolah untuk menghilangkan zat warna dengan berbagai macam cara, antara lain adalah cara mikrobiologi, fisika dan fisikokimia. Teknik filtrasi dan adsorpsi yang termasuk cara fisika dapat dipergunakan untuk mendegradasi zat warna pada air limbah. Walaupun demikian, ada kelemahan dari teknik tersebut yaitu bahwa diperlukan biaya yang tinggi. Biaya yang tinggi tersebut diantaranya digunakan untuk pemulihan atau pembersihan bahan filter maupun adsorben. Hal ini disebabkan oleh kebutuhan untuk melakukan proses regenerasi terhadap material filter atau adsorben. Disamping itu, cara filtrasi dan adsorpsi ini hanya terjadi perubahan fase dari zat warna yaitu fase larutan berubah menjadi fase padat yang menempel pada filter maupun adsorben [1].

Pengendapan menggunakan bahan kimia atau cara fisikokimia juga bisa untuk menghilangkan zat warna dari air limbah industri tekstil. Namun demikian cara fisikokimia ini ada kelemahannya diantaranya adalah diperlukannya perlakuan lanjutan yaitu pengelolaan lumpur yang merupakan hasil pengendapan pada cara ini. Disamping itu cara ini kurang efektif digunakan untuk menghilangkan zat warna yang konsentrasinya tinggi [2].

Zat warna pada air limbah industri tekstil juga bisa dihilangkan menggunakan metode mikrobiologi. Cara ini lebih menarik karena didalamnya dilibatkan penguraian molekul zat warna yaitu pemutusan ikatan sehingga menjadi molekul yang berukuran lebih kecil. Hal ini berbeda dengan cara lain seperti adsorpsi dan pengendapan yang hanya mengikat zat warna dan diperlukan perlakuan lanjutan. Walaupun demikian cara mikrobiologi ini kurang efektif dalam menghilangkan zat warna jenis azo [3].

Cara alternatif untuk penghilangan zat warna air limbah industri tekstil terus dikembangkan, hasil pengembangan tersebut salah satunya adalah cara elektrokimia. Penelitian yang bertemakan cara elektrokimia masih terus dilakukan, diantaranya oleh [4], [5], [6]. Cara elektrokimia lebih unggul daripada cara fisika, fisikokimia, dan mikrobiologi. Keunggulan tersebut antara lain adalah digunakannya bahan kimia yang lebih sedikit serta dapat dikerjakan lebih cepat. Disamping itu cara ini dapat mengurai zat warna menjadi bagian-bagian dengan ukuran molekul yang lebih kecil yang menjadi tidak berwarna [7].

Industri tekstil dan produk tekstil terdiri dari berbagai sektor, seperti industri serat, industri pemintalan benang, industri pembuatan kain (termasuk pertununan, perajutan, pencelupan, pencapan, dan penyempurnaan), serta industri pakaian jadi dan produk tekstil lainnya. Di antara sektor-sektor tersebut, industri kain menjadi kontributor utama limbah beracun dan berbahaya, terutama dalam proses pencelupan dan pencapan. Proses ini umumnya memanfaatkan berbagai bahan kimia, termasuk zat warna.

Dalam proses pencelupan, tidak semua zat warna dapat menempel pada serat. Keterikatan zat warna pada serat sangat dipengaruhi oleh karakteristik serat itu sendiri. Diperkirakan sekitar 2-50% zat warna yang digunakan tidak terserap oleh serat dan kemudian dibuang ke lingkungan bersama limbah cair [8].

Dalam industri tekstil, zat warna dapat dikelompokkan ke dalam tiga kategori utama. Pertama adalah zat warna anionik, yang mencakup pewarna langsung, pewarna asam, dan pewarna reaktif. Kedua, terdapat zat warna kationik, yang meliputi semua pewarna dasar. Ketiga, zat warna nonionik, yang terdiri dari pewarna dispersi. Pewarna reaktif termasuk dalam kelompok zat warna azo, yang memiliki gugus kromofor dengan ikatan azo ($-N=N-$). Zat-zat ini memiliki sifat toksik dan tahan terhadap proses degradasi biologis saat berada dalam kondisi aerobik. Oleh karenanya, jika zat warna ini dibuang ke lingkungan seperti sungai, mereka tidak akan terurai melalui proses biodegradasi alami di kondisi aerob [9]. Berbagai jenis zat warna digunakan dalam industri tekstil, dan zat warna reaktif adalah yang paling sering digunakan. Diperkirakan sekitar 70% dari seluruh zat warna yang digunakan di industri ini adalah zat warna azo, termasuk pewarna reaktif. Hal ini disebabkan oleh karakteristik pewarna tersebut yang memiliki warna cerah, mudah larut dalam air, serta mudah digunakan dan hemat energi [10].

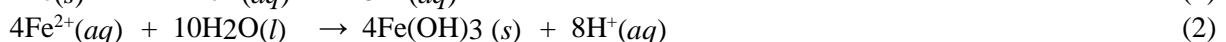
Pembuangan zat warna reaktif ke lingkungan bisa menyebabkan masalah serius, seperti menghalangi masuknya sinar matahari ke perairan, yang dapat mengganggu fotosintesis tumbuhan air. Selain itu, proses degradasi zat warna reaktif dapat menghasilkan senyawa baru yang beracun, yang membahayakan organisme akuatik serta kesehatan manusia, seperti menimbulkan gangguan pada otak, hati, dan ginjal [11].

Elektrokoagulasi adalah metode yang menggabungkan prinsip kimia dan fisika dengan menggunakan anoda logam. Pada metode ini, anoda logam akan terlarut dalam cairan limbah dan melepaskan ion-ion logam yang kemudian membentuk koagulan. Pada umumnya, bahan yang digunakan sebagai anoda adalah aluminium atau besi. Faktor-faktor yang mempengaruhi efektivitas metode elektrokoagulasi meliputi konduktivitas cairan, pH, ukuran partikel, dan konsentrasi bahan kimia.

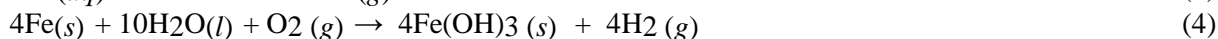
Proses elektrokoagulasi melibatkan reaksi pelarutan anoda logam yang menghasilkan kation logam. Jika menggunakan anoda besi, maka partikel bermuatan listrik positif seperti Fe^{2+} atau Fe^{3+} akan dihasilkan pada permulaan proses. Fe^{2+} atau Fe^{3+} yang dihasilkan akan berinteraksi dengan molekul air sehingga terbentuk hidroksida dari logam besi, antara lain adalah Ferohidroksida ($Fe(OH)_2$) atau Ferihidroksida ($Fe(OH)_3$). Terdapat dua kemungkinan mekanisme reaksi yang dapat terjadi dalam proses ini, yaitu :

Mekanisme reaksi pertama :

Reaksi yang terjadi pada anoda dapat digambarkan melalui dua persamaan reaksi berikut :



Reaksi yang terjadi pada katoda dapat digambarkan melalui dua persamaan reaksi berikut :



Mekanisme reaksi kedua :

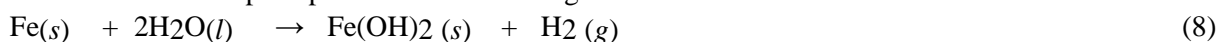
Reaksi yang terjadi pada anoda dapat digambarkan melalui dua persamaan reaksi berikut :



Reaksi yang terjadi pada katoda dapat digambarkan melalui dua persamaan reaksi berikut :



Reaksi keseluruhan pada proses ini adalah sebagai berikut :



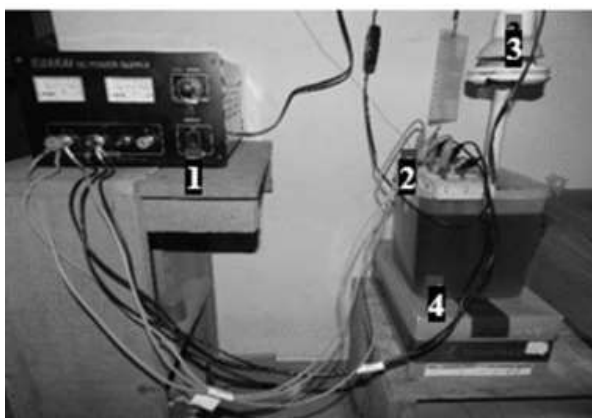
Hidroksida logam yang dihasilkan memiliki sifat adsorpsi yang kuat, sehingga efektif dalam mengikat polutan, termasuk zat-zat yang menyebabkan warna [12].

Dalam penelitian ini, digunakan batang besi silinder sebagai anoda dan katoda untuk proses degradasi elektrokimia zat warna, dengan tujuan menghemat biaya karena harganya yang relatif murah. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengkaji potensi metode elektrokoagulasi dengan elektroda besi sebagai alternatif metode analisis pengolahan air limbah, terutama dalam mendegradasi zat warna dari limbah cair industri tekstil.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan beberapa alat dan bahan, antara lain Spektrofotometer UV-Vis Shimadzu UV-1280, menggunakan adaptor 30 ampere merek Dakai, dan bejana untuk elektrokoagulasi yang terbuat dari plastik dengan dimensi 20 cm x 20 cm x 25 cm, serta lengkap dengan elektroda besi yang berdiameter 12 mm dan panjang 120 mm, pengaduk listrik, neraca analitik dengan merek Mettler Toledo ME204E, zat warna Tekstil Remazol Orange 3R dari Merck, kategori ACS Reagent, Kristal NaCl dari Merck, kategori ACS Reagent serta air demineralisasi.

Penelitian ini dilakukan melalui metode eksperimen laboratorium untuk melihat proses penguraian zat warna tekstil Remazol Orange 3R dengan teknik elektrokimia, terutama dengan elektrokoagulasi. Waktu elektrolisis yang digunakan dalam penelitian ini dibuat berbeda beda yaitu 15 menit, 30 menit, 45 menit dan 60 menit. Kondisi proses elektrokoagulasi dijaga selalu tetap menyesuaikan dengan kondisi penelitian terdahulu, diantaranya meliputi tegangan listrik 12 V, kadar NaCl 2,06 g/liter, kadar awal zat warna 100,24 mg/liter, kecepatan pengadukan 250 rpm, elektroda anoda dan katoda dari logam besi sebanyak 3 pasang, sedangkan pH larutan dan temperatur ruangan tidak diatur [13]. Susunan peralatan elektrokoagulasi ditunjukkan pada **Gambar 1**.



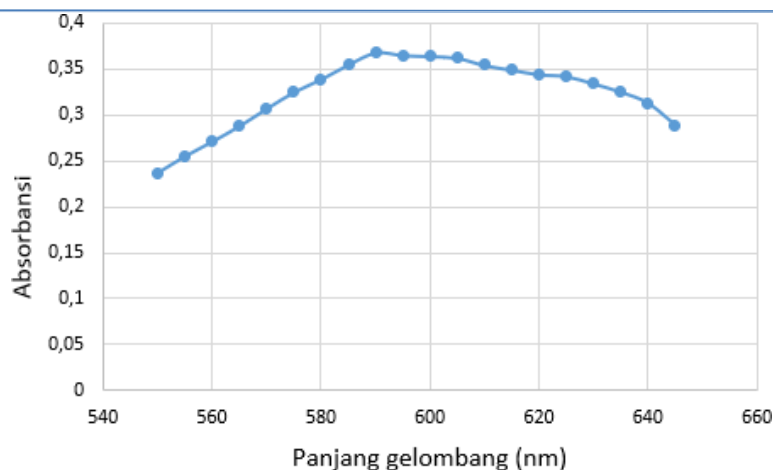
Keterangan :

1. Adaptor
2. Anoda – katoda dari logam besi
3. Pengaduk listrik
4. Bejana elektrokoagulasi

Gambar 1. Susunan alat elektrokoagulasi [14]

3. Hasil dan Pembahasan

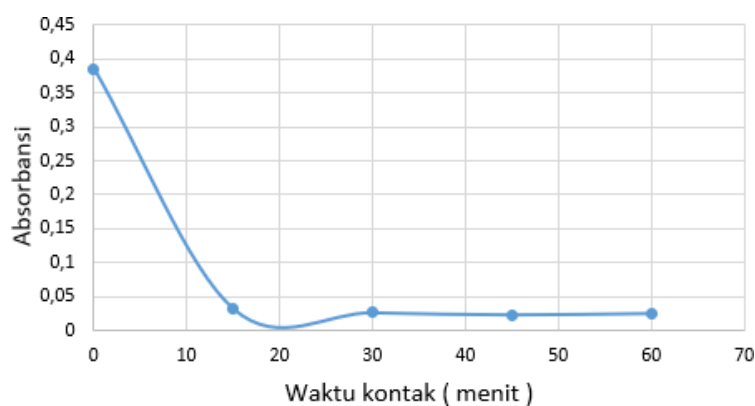
Panjang gelombang maksimum ditentukan dengan mengukur absorbansi larutan Remazol Orange 3R dengan konsentrasi 100,24 mg/liter dalam rentang panjang gelombang 550-645 nm dengan interval 5 nm. Hasil penentuan panjang gelombang maksimum versus absorbansi ditampilkan pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Grafik panjang gelombang versus Absorbansi

Berdasarkan informasi yang terdapat pada **Gambar 2**, dapat disimpulkan bahwa panjang gelombang maksimum untuk larutan Remazol Orange 3R adalah 590 nm. Ini disebabkan karena pada panjang gelombang tersebut, nilai absorbansi yang diperoleh mencapai puncaknya, yaitu sebesar 0,368. Panjang gelombang 590 nm merupakan titik di mana larutan *Remazol Orange 3R* menyerap cahaya dengan intensitas tertinggi, yang menunjukkan bahwa molekul-molekul dalam larutan mengalami transisi elektronik yang paling efektif pada panjang gelombang tersebut. Panjang gelombang maksimum ini hampir mendekati dengan yang dikemukakan dalam penelitian sebelumnya, yaitu 518 nm [15]. Namun, setiap kali melakukan pengukuran absorbansi dengan spektrofotometer UV-Vis, penting untuk menentukan panjang gelombang maksimum secara terpisah, mengingat harga panjang gelombang maksimum ini bisa berbeda dengan adanya perbedaan kondisi laboratorium pada saat penelitian ini dilakukan dibandingkan dengan kondisi laboratorium pada penelitian sebelumnya.

Panjang gelombang ini selanjutnya digunakan sebagai referensi untuk pengukuran absorbansi berikutnya, khususnya dalam analisis larutan Remazol Orange 3R yaitu pada berbagai perlakuan elektrokoagulasi, diantaranya yaitu saat melakukan variasi dalam waktu proses elektrokoagulasi atau durasi kontak antara elektroda dan larutan zat warna. Hasil pengukuran absorbansi dari larutan *Remazol Orange 3R* pada waktu kontak (waktu proses elektrooksidasi) yang bervariasi ditunjukkan pada **Gambar 3** berikut:

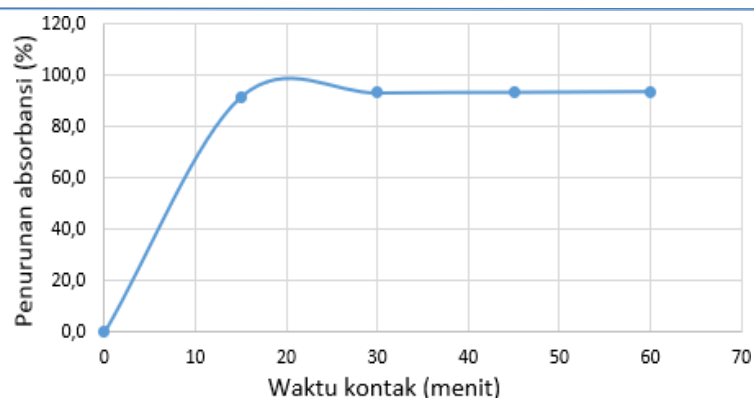


Gambar 3. Grafik durasi kontak versus absorbansi

Berdasarkan data pada **Gambar 3** kemudian dihitung persentase penurunan absorbansi larutan Remazol Orange 3R. Persentase penurunan absorbansi dihitung menggunakan persamaan :

$$\text{Persentase penurunan absorbansi} = \left(\frac{A_0 - A_t}{A_0} \right) \times 100\%$$

di mana A_0 adalah absorbansi awal larutan sebelum perlakuan elektrokoagulasi dan A_t adalah absorbansi larutan pada waktu t tertentu setelah perlakuan. Hasil perhitungan disajikan pada grafik **Gambar 4**.



Gambar 4. Grafik hubungan durasi kontak versus persentase penurunan absorbansi

Gambar 4 menunjukkan bahwa dengan bertambahnya durasi kontak, maka harga absorbansi akan semakin berkurang. Hal tersebut mencerminkan bahwa zat warna *Remasol Orange 3R* semakin terdegradasi. Absorbansi cenderung stabil setelah 30 menit waktu kontak, menunjukkan bahwa pada titik tersebut, degradasi zat warna *Remasol Orange 3R* sudah pada kondisi yang optimal.

Memperhatikan grafik yang terdapat dalam **Gambar 4**, bisa diketahui bahwa penambahan durasi kontak akan meningkatkan persentase penurunan absorbansi. Kondisi optimal diperoleh setelah 30 menit durasi kontak. Hal ini ditunjukkan dengan stabilnya persentase penurunan absorbansi zat warna *Remasol Orange 3R*.

Sesuai dengan persamaan Lambert-Beer, bahwa nilai absorbansi berkorelasi langsung dengan nilai konsentrasi, oleh karena itu penurunan absorbansi larutan zat warna *Remasol Orange 3R* menunjukkan penurunan konsentrasinya. Seiring dengan meningkatnya persentase penurunan absorbansi, persentase zat warna yang terdegradasi juga semakin tinggi. Menurut informasi yang tertera pada **Gambar 4**, terlihat bahwa persentase penurunan zat warna *Remasol Orange 3R* stabil setelah waktu kontak 30 menit. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa waktu kontak yang paling efektif untuk degradasi zat warna ini adalah 30 menit, dengan tingkat degradasi mencapai 98,36%.

Persentase degradasi yang diperoleh dalam penelitian ini lebih rendah dibandingkan dengan temuan penelitian sebelumnya [16], yang mencatat persentase degradasi sebesar 99,27% dalam waktu kontak 30 menit. Perbedaan ini mungkin disebabkan oleh perbedaan kondisi proses degradasi yang digunakan. Dalam penelitian Alizadeh, proses degradasi dilakukan dalam suasana asam (pH 2), sementara penelitian ini dilakukan pada kondisi netral. Meskipun persentase degradasi yang diperoleh dalam penelitian ini lebih rendah dibandingkan dengan penelitian Alizadeh, hasil tersebut tetap menunjukkan kinerja yang baik, karena larutan hasil degradasi sudah terlihat tidak berwarna. Hal ini mengindikasikan bahwa meskipun tingkat degradasinya lebih rendah, proses degradasi yang terjadi tetap efektif.

Dari segi kondisi larutan hasil degradasi, penelitian ini memiliki keunggulan tersendiri. Larutan hasil degradasi dapat langsung dibuang tanpa memerlukan perlakuan lanjutan untuk penetralan, karena proses degradasi dilakukan tanpa penambahan asam. Hal ini tidak hanya menyederhanakan proses pembuangan, tetapi juga mengurangi potensi dampak lingkungan yang mungkin timbul akibat pengelolaan limbah yang lebih kompleks.

4. Kesimpulan

Metode elektrokoagulasi menggunakan elektroda besi menunjukkan potensi tinggi dalam pengolahan air limbah industri tekstil, khususnya untuk penghilangan zat warna sintetis. Pada pengolahan zat warna *Remasol Orange 3R*, waktu kontak optimum tercapai pada 30 menit, yang mampu menghasilkan tingkat degradasi sangat tinggi sebesar 98,36 persen, sehingga metode ini efektif, efisien, dan layak dikembangkan pada skala laboratorium maupun aplikasi lapangan berkelanjutan industri.

5. Daftar Pustaka

- [1] A. Adachi *et al.*, "Decolorization and Degradation of Methyl Orange Azo Dye in Aqueous Solution by the Electro Fenton Process: Application of Optimization," *Catalysts*, vol. 12, no. 6, Jun. 2022, doi: 10.3390/catal12060665.
- [2] S. Moghadami, M. Vosoughi, T. Sadeghi, and S. A. Mokhtari, "Removal of Reactive Blue 52 by Electrocoagulation and UV/Persulfate from Aqueous Solutions," *Health Scope*, vol. 9, no. 1, Mar. 2020, doi: 10.5812/jhealthscope.91482.

- [3] N. S. Houssini, A. Essadki, and E. Elqars, "Removal of reactive blue and disperse red dyes from synthetic textile effluent by electrocoagulation process using al-al and fe-fe electrodes: Parametric optimization by response surface methodology," *Desalination Water Treat*, vol. 223, pp. 363–379, May 2021, doi: 10.5004/dwt.2021.27111.
- [4] A. Pieczyńska, T. Ossowski, R. Bogdanowicz, and E. Siedlecka, "Electrochemical degradation of textile dyes in a flow reactor: effect of operating conditions and dyes chemical structure," *International Journal of Environmental Science and Technology*, vol. 16, no. 2, pp. 929–942, Feb. 2019, doi: 10.1007/s13762-018-1704-0.
- [5] S. Palanisamy *et al.*, "Application of electrochemical treatment for the removal of triazine dye using aluminium electrodes," *Journal of Water Supply: Research and Technology - AQUA*, vol. 69, no. 4, pp. 345–354, Jun. 2020, doi: 10.2166/aqua.2020.109.
- [6] H. Zazou *et al.*, "Treatment of textile industry wastewater by electrocoagulation coupled with electrochemical advanced oxidation process," *Journal of Water Process Engineering*, vol. 28, pp. 214–221, Apr. 2019, doi: 10.1016/j.jwpe.2019.02.006.
- [7] K. Aqeel *et al.*, "Electrochemical removal of brilliant green dye from wastewater," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Institute of Physics Publishing, Jul. 2020. doi: 10.1088/1757-899X/888/1/012036.
- [8] E. GilPavas, I. Dobrosz-Gómez, and M. Á. Gómez-García, "Efficient treatment for textile wastewater through sequential electrocoagulation, electrochemical oxidation and adsorption processes: Optimization and toxicity assessment," *Journal of Electroanalytical Chemistry*, vol. 878, Dec. 2020, doi: 10.1016/j.jelechem.2020.114578.
- [9] A. B. Isaev, N. S. Shabanov, A. G. Magomedova, P. V. Nidheesh, and M. A. Oturan, "Electrochemical oxidation of azo dyes in water: a review," Oct. 01, 2023, *Springer Science and Business Media Deutschland GmbH*. doi: 10.1007/s10311-023-01610-5.
- [10] A. Rahman, N. Kishimoto, T. Urabe, and K. Ikeda, "Recycling of textile sludge for removing textile dye of reactive red 231 on aqueous solution," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Institute of Physics Publishing, Dec. 2019. doi: 10.1088/1755-1315/361/1/012020.
- [11] Y. Shi, Z. Yang, L. Xing, X. Zhang, X. Li, and D. Zhang, "Recent advances in the biodegradation of azo dyes," Aug. 01, 2021, *Springer Science and Business Media B.V.* doi: 10.1007/s11274-021-03110-6.
- [12] K. Eryürük, Ş. Eryürük, U. T. Un, and U. B. Ogutveren, "A design of experiment approach of cattle slaughterhouse wastewater treatment by electrocoagulation method," *Desalination Water Treat*, vol. 238, pp. 105–116, Oct. 2021, doi: 10.5004/dwt.2021.27762.
- [13] Suseno, Sajidan, M. Masykuri, and P. Setyono, "The effect of NaCl concentration and process time in continuous electrooxidation technique for degradation of textile dyestuffs," in *AIP Conference Proceedings*, American Institute of Physics Inc., Jun. 2019. doi: 10.1063/1.5112429.
- [14] Suseno, P. Darmawan, P. Pujiastuti, and S. Sumardiyono, "Degradasi Pewarna Tekstil Remazol Violet 5R Dengan Metode Elektrooksidasi Menggunakan Elektroda Grafit," *JURNAL SAINS Teknologi & Lingkungan*, vol. 8, no. 2, pp. 204–210, Dec. 2022, doi: 10.29303/jstl.v8i2.370.
- [15] M. Al-Amin, S. Chandra Dey, T. U. Rashid, M. Ashaduzzaman, and S. M. Shamsuddin, "Solar Assisted Photocatalytic Degradation of Reactive Azo Dyes in Presence of Anatase Titanium Dioxide," *International Journal of Latest Research in Engineering and Technology (IJLRET)*, vol. 2, pp. 14–21, 2016, [Online]. Available: www.ijlret.com.
- [16] M. Alizadeh, A. Hossein Mahvi, H. J. Mansoorian, and R. Ardani, "The survey of electrocoagulation Process for removal dye Reactive Orange 16 from aqueous solutions using sacrificial iron electrodes," 2014.