



Dekolorisasi Larutan Remazol Black B dengan Fenton-like Method menggunakan Modifier Oksida Timbal Hasil Sintesis dari Limbah Elektroda Aki

Didik Setiyo Widodo^{*1}, Muhammad Cholid Djunaidi¹, Marchelina One Kusumaningati¹

¹Departemen Kimia FSM Universitas Diponegoro, Jl. Prof. H Soedarto SH Tembalang Semarang 50275

^{*}Corresponding author: widodo.ds@live.undip.ac.id

Received: 20 Oktober 2025 / Accepted: 21 November 2025

Available online: 30 November 2025

Abstrak

Penelitian mengenai dekolorisasi larutan remazol black B (RBB) menggunakan metode Fenton-like telah dilakukan dengan memanfaatkan timbal dioksida (PbO_2) sebagai material alternatif dalam metode Fenton. PbO_2 diperoleh dari konversi limbah elektroda baterai dengan menggunakan oksidator kuat H_2O_2 dan NaOCl. Tujuan penelitian adalah mensintesis timbal dioksida dari Pb pada limbah baterai dan menguji potensi dekolorisasi larutan remazol black B. Timbal dioksida disintesis dengan menggunakan H_2O_2 dan NaOCl dan dilanjutkan dengan pengeringan pada suhu 200°C dan 300°C. Hasil sintesis kemudian dikarakterisasi menggunakan SEM-EDX untuk mengetahui morfologi serta komposisi unsur penyusun. Uji potensi timbal dioksida dalam proses dekolorisasi larutan RBB dilakukan dengan metode Fenton-like, yang ion Fe^{2+} pada metode Fenton konvensional digantikan oleh Pb^{2+} dari timbal dioksida. Timbal dioksida dalam dekolorisasi bereaksi dengan H_2O_2 membentuk radikal $\bullet OH$ yang memiliki potensial oksidasi tinggi. Sejumlah PbO_2 ditambahkan ke dalam 100 mL larutan remazol black B dengan konsentrasi 25 ppm, kemudian diproses mengikuti prosedur metode Fenton. Hasil dekolorisasi dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa unsur utama penyusun oksida adalah Pb dan O, sesuai dengan prediksi. Timbal dioksida yang disintesis menggunakan NaOCl mampu menghilangkan warna larutan hingga 99,37%, sedangkan produk yang disintesis menggunakan H_2O_2 menunjukkan kemampuan dekolorisasi sebesar 94,16%.

Kata Kunci: Sintesis timbal dioksida, Metode Fenton-like, H_2O_2 , NaOCl, dekolorisasi, remazol black B

1. Pendahuluan

Penelitian terdahulu telah menunjukkan bahwa PbO_2 dapat berperan sebagai katalis yang efektif dalam proses degradasi zat warna [1, 2]. PbO_2 mampu menghasilkan radikal hidroksil melalui reaksi dengan H_2O_2 , serupa dengan mekanisme yang terjadi pada proses Fenton konvensional [3], namun, penggunaan PbO_2 sebagai sumber katalis memiliki beberapa keterbatasan, seperti sumberdaya pendukung fundamental masih kurang, laju reaksi terlalu cepat cenderung memunculkan bumping, dan kebutuhan bahan yang besar.

Proses fenton adalah proses oksidasi lanjut yang efisien diterapkan pada air limbah. Reaksi fenton terjadi antara hidrogen peroksida dengan ion besi yang dapat mengoksidasi senyawa organik [4]. Pada reaksi fenton terjadi perubahan ion ferro menjadi ion ferri serta dekomposisi hidrogen peroksida menjadi radikal $\bullet OH$. Ion ferri yang dihasilkan mampu bereaksi kembali dengan hidrogen peroksida dan membentuk radikal [5]. Radikal $\bullet OH$ pada reaksi fenton memiliki kemampuan memecah senyawa organik berbahaya pada air limbah [6, 7]. Metode fenton memiliki kelebihan yaitu efektif dan mudah

diterapkan [8]. Reaksi Fenton berjalan secara kontinu. Namun, reaksi antara Fe^{2+} dan hidrogen peroksida membutuhkan bantuan sinar UV sebagai bentuk energi untuk menghasilkan radikal $\bullet OH$. Untuk menyederhanakan tahap ini, metode fenton diperlukan modifikasi penyediaan energi pada metode Fenton untuk menginisiasi radikal $\bullet OH$ tanpa bantuan penyinaran. Modifikasi ini dapat berupa energi listrik dalam metode elektrokolorisasi [2] atau penggantian reagen yang dapat bereaksi spontan dan menghasilkan listrik internal, seperti penggunaan oksida PbO_2 . telah dilakukan dalam modifikasi metode Fenton dengan PbO_2 atau Pb langsung dari limbah aki dan tanpa penyinaran UV [9, 10, 11]. Penggunaan langsung PbO_2 dari limbah aki memberi tantangan lebih pada pengelolaan limbah padat aki [12], dan adanya Pb^{2+} terlarut setelah proses dekolorisasi tinggi yang berbahaya untuk lingkungan [13]. Oleh karena itu, diperlukan adanya pemikiran untuk mengatasi keberadaan ion tersebut dan kajian penggunaan kembali pb dalam elektroda aki dan ion Pb^{2+} sesudah perlakuan dekolorisasi dengan mengonversi larutan Pb^{2+} menjadi oksida Pb.

Penelitian ini berfokus pada pengembangan metode Fenton yang dimodifikasi. Modifikasi dilakukan pada cara penyediaan katalis dan jenis katalis. Metode Fenton menggunakan katalis homogen Fe^{2+} dengan menyaratkan penyinaran UV untuk meningkatkan kemampuan produksi radikal $\bullet\text{OH}$. Pada penelitian ini, katalis diganti dengan Pb^{2+} dan disediakan secara in situ bersamaan proses dekolorisasi menggunakan timbal dioksida dengan H_2O_2 . Implementasi penelitian melibatkan penyediaan (sintesis) oksida timbal untuk diaplikasikan pada metode Fenton-like method. Penyediaan oksida timbal merupakan tantangan yang belum banyak dikaji lanjut, mengingat sintesis oksida menghasilkan campuran produk. Riset terkait masih terbatas dan rumit. Pada penelitian ini metode yang ditawarkan menghasilkan senyawaan berbasis Pb sebagai oksida Pb yang dapat digunakan pada dekolorisasi larutan zat warna.

2. Metode Penelitian

2.1 Alat dan Bahan

Alat: Alat yang digunakan meliputi: seperangkat peralatan gelas (Pyrex), neraca analitik (Kern), spektrofotometer UV-Vis (T60 UV-Visible Spectrophotometer), scanning electron microscope- energy dispersive x-ray (SEM EDX JEOL JSM-6510LA).

Bahan: Bahan yang digunakan pada penelitian ini meliputi Pb dari aki bekas, asam nitrat (HNO_3 , Merck 65%), natrium hidroksida (NaOH , Merck, 99%), natrium hipoklorit (NaOCl), remazol black B (Sigma-Aldrich), hidrogen peroksida (H_2O_2 , Merck for synthesis 30%), dan akuades.

2.2 Cara Kerja

2.2.1 Sintesis Timbal Dioksida

Sintesis PbO_2 dilakukan dengan prekursor Pb dari limbah aki. Prekursor Pb ditambahkan dengan 15 mL HNO_3 65% hingga larut sempurna. Larutan yang diperoleh ditambah tetes demi tetes NaOH 2 M berlebih hingga endapan putih yang terbentuk kembali larut. Larutan dioksidasi dengan H_2O_2 30% tetes demi tetes sebanyak 10 mL. Prosedur yang sama dilakukan dengan penambahan NaOCl sebagai pengganti H_2O_2 . Endapan yang terbentuk diberikan perlakuan variasi suhu 200°C , dan pengulangan sintesis dengan suhu 300°C .

2.2.2 Karakterisasi Timbal Dioksida Hasil Sintesis

Oksida dikarakterisasi dengan *Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-ray* (SEM-EDX). Karakterisasi menghasilkan citra SEM yang menunjukkan morfologi permukaan sampel, menentukan ukuran sampel butiran produk secara kasar, dan menentukan komposisi unsur-unsur yang terdapat dalam oksida hasil sintesis.

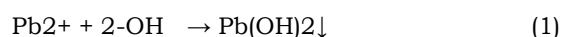
2.2.3 Uji Potensi Dekolorisasi

Larutan zat warna *remazol black B* (RBB) 25 ppm dianalisis dengan spektrofotometer UV-Vis untuk memperoleh spektra sebelum dekolorisasi dan spektra digunakan untuk memperoleh panjang gelombang maksimum RBB. Oksida timbal hasil

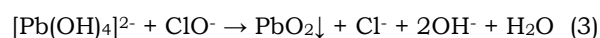
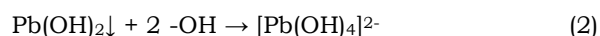
sintesis digunakan untuk aplikasi dekolorisasi zat warna RBB 25 ppm untuk menentukan efektivitas kemampuan oksida timbal hasil sintesis. Sampel larutan *remazol black B* 25 ppm 100 mL ditambahkan oksida timbal 1 g, kemudian ditambahkan dengan H_2O_2 15% sebanyak 25 mL secara tetes demi tetes. Larutan *remazol black B* setelah dekolorisasi dianalisis dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum, yaitu 596 nm. Hasil persentase dekolorisasi larutan *remazol black B* menunjukkan kemampuan oksida timbal dalam mendekolorisasi *remazol black B*.

3 Hasil dan Pembahasan

Tahapan sintesis oksida timbal yang berasal dari elektroda Pb merupakan kajian awal yang berupaya memanfaatkan kembali (recycling) ion Pb^{2+} yang terlarut di dalam larutan sesudah limbah diberikan perlakuan, sebagaimana ditemukan fakta pada penelitian terlebih dahulu [2, 10]. Setelah pelarutan dengan HNO_3 dan penambahan NaOH menghasilkan perubahan warna larutan menjadi putih dan terbentuk endapan. Reaksi yang terjadi menurut Svehla [13].



Pb^{2+} bereaksi dengan -OH menghasilkan Pb(OH)_2 yang berwarna putih. Endapan Pb(OH)_2 yang dihasilkan ini dapat dikonversi menjadi PbO_2 melalui tahap-tahap berikut.



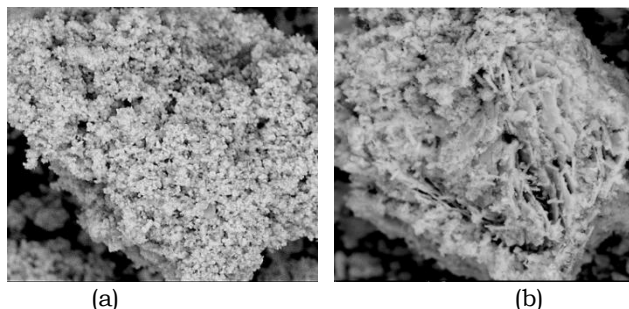
Penambahan sejumlah NaOCl dan H_2O_2 sebagai oksidator ke dalam larutan menghasilkan endapan PbO_2 . Endapan ini diberikan perlakuan berbeda pada pengeringan dan digunakan untuk aplikasi dekolorisasi *remazol black B* 25 ppm. Metode pengeringan pada furnace suhu 300°C menunjukkan nilai persentase dekolorisasi yang paling tinggi, sehingga furnace suhu 300°C menghasilkan oksida timbal yang lebih baik. Timbal dioksida hasil pengeringan pada furnace suhu 300°C menghasilkan nilai persentase dekolorisasi paling tinggi.

Produk pada pengeringan 200°C dan 300°C (Gambar 1) memiliki warna produk yang berbeda berkaitan dengan tingkat panas yang diduga mampu menyebabkan butiran produk berada pada fasa yang berbeda. Tampak pada gambar 2, morfologi permukaan produk pada suhu pengeringan 200°C tidak seragam dan lebih kecil berkaitan dengan pembentukan inti kristal yang belum sempurna. Dampak atas keadaan ini luas permukaan berbeda dengan produk pada suhu 300°C [15, 16].

Doi:



Gambar 1. Hasil sintesis PbO₂ (a) dengan oksidator NaOCl dengan pengeringan 300°C, (b) dengan oksidator H₂O₂ dengan pengeringan 200°C



Gambar 2 Citra SEM hasil sintesis PbO₂ (a) menggunakan oksidator NaOCl pada perbesaran 10.000 kali, (b) dengan oksidator H₂O₂ pada perbesaran 10.000 x

Pada suhu lebih tinggi, pembentukan kristal lebih baik dan morfologi lebih jelas sebagai permukaan luar kubus-kubus, atau prisma[17]. Bentuk ini akan mempengaruhi pada reaktivitas dan sifat elektrokimia bahan [18]. Inferensi ini dikonfirmasi pada data potensi dekolorasi yang lebih rendah dibandingkan dengan potensi produk sintesis pada suhu 200°C, seperti data tersaji pada tabel 2. Pengujian Energy Dispersive X-ray (EDX) dengan tujuan mengetahui kandungan unsur pada produk sintesis. Hasil uji EDX analisis unsur penyusun oksida disajikan pada tabel 1.

Tabel 1: Data komposisi unsur penyusun oksida berdasarkan uji EDX

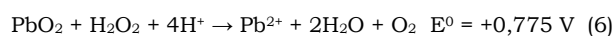
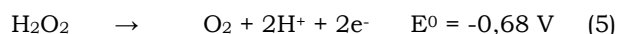
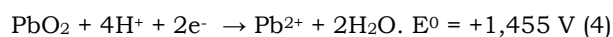
Produk pada kondisi pengeringan	Pb (%)	O (%)
200 °C	89,70	7,10
300 °C	86,20	13,80

Proses dekolorasi larutan Remazol black B 25 ppm 100 mL dengan H₂O₂ 15%, dan PbO₂ 1 gram pada kedua produk sintesis disajikan pada tabel 2 di bawah. Pengaruh suhu pengeringan katalis PbO₂ diamati pada pH netral, dan temperatur ruang. Parameter yang diukur pada penelitian ini adalah absorbansi sampel yang digunakan untuk mengetahui konsentrasi larutan Remazol black B sebelum dan setelah perlakuan serta persentase dekolorasi. Absorbansi larutan diukur dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 596 nm dengan pengulangan 5 kali.

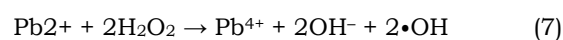
Tabel 2: Persentase dekolorasi menggunakan PbO₂ hasil dua suhu pengeringan berbeda pada larutan remazol black B yang diukur setelah waktu pendiaman 10 menit

Replikasi	Dekolorisasi (%)	
	200 °C	300 °C
1	100,00	92,81
2	99,63	94,12
3	98,43	94,72
4	99,84	93,90
5	98,97	95,26
Rata-rata	99,37	94,16

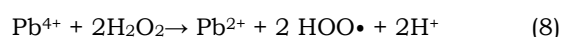
Berdasarkan data persentase dekolorasi pada Tabel 2 menunjukkan bahwa timbal dioksida hasil sintesis dapat digunakan sebagai material dalam proses dekolorasi RBB menggunakan metode Fenton like. Proses dekolorasi larutan remazol black B ini berlangsung spontan yang melibatkan reaksi reduksi-oksidasi antara timbal dioksida (PbO₂) dengan H₂O₂ sebagai reaksi pembuka dalam penyediaan ion Pb²⁺. Pembentukan Pb²⁺ berlangsung melalui reaksi berikut.



Reaksi (6) secara singkat adalah penggabungan reaksi (4) dan (5) dan berlangsung spontan. Pada tahap lanjutan, Pb²⁺ akan bereaksi dengan H₂O₂ berlebih menghasilkan radikal hidroksil (•OH) yang dapat mendegradasi senyawa remazol black B dan menghasilkan radikal-radikal baru sehingga reaksi dapat terjadi secara berantai dan cepat. Radikal hidroksil (•OH) memiliki nilai potensial reduksi standar yang sangat tinggi, beranting sistem pasangan redoks pembentukan radikal ini [19]. Pada metode Fenton-like reaksi pembentukan radikal ini dengan reaksi pembentukan radikal pada mekanisme reaksi Fenton dengan ketersediaan energi hasil reaksi spontan (pers. 3). Mekanisme reaksi produksi radikal hidroksil (•OH) menurut usulan Widodo, dkk. [10] melalui jalur reaksi intermediet berikut.

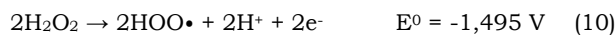


Pada reaksi (7) ion Pb²⁺ mengalami oksidasi menjadi Pb⁴⁺ yang bersamaan dengan pembentukan radikal •OH yang dapat mengurai senyawa remazol black B.

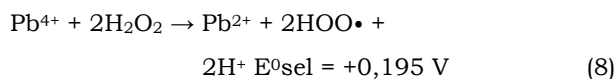


Energi yang tersedia yang berasal dari reaksi redoks memungkinkan adanya reaksi balik Pb⁴⁺ yang terbentuk dari reaksi (4) menjadi Pb²⁺ yang mampu bereaksi lanjut membentuk radikal HOO• lagi. Reaksi ini terjadi secara spontan sebagaimana nilai E° sel bernilai positif.

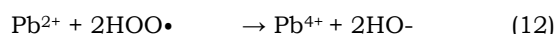
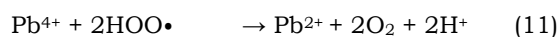
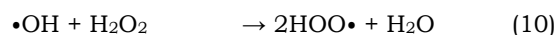
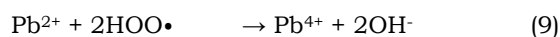
Doi:



Jumlahan dua reaksi (6 dan 7),



Pada kondisi tidak ideal, radikal-radikal yang terbentuk pada reaksi (8) akan bereaksi kembali dengan hidrogen peroksida berlebih, Pb^{2+} , dan Pb^{4+} . Reaksi yang terjadi berdasarkan sebagai berikut [4].

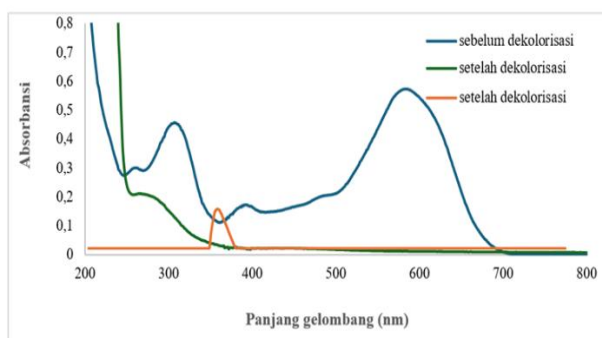


Berdasarkan reaksi (4-12), dapat disimpulkan bahwa reaksi H_2O_2 dan PbO_2 yang terjadi merupakan reaksi yang berlangsung secara spontan dan reaksi yang menghasilkan panas (eksotermis) dan secara visual tampak produk gas sebagai gelembung selama dekolorisasi. Proses penguraian atau degradasi remazol black B secara sempurna digambarkan melalui skema berikut [7].

•OH + remazol black B → produk antara

•OH + produk antara → H_2O + CO_2 + mineral

Proses dekolorisasi sebagai visualisasi struktur zat warna remazol black B sebelum dan sesudah dekolorisasi ditunjukkan pada spektra UV-Vis yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Spektra UV-Vis larutan sampel remazol black B sebelum dan sesudah dekolorisasi dengan penggunaan produk sintesis pada suhu 200 °C (merah) dan 300°C (hijau)

Spektra UV-Vis sebelum dan sesudah proses dekolorisasi (Gambar 3) menunjukkan adanya spektra yang spesifik terlihat pada puncak-puncak spektra yang berhubungan dengan keberadaan gugus kromofor dalam senyawa zat warna *remazol black B* sebelum proses dekolorisasi [20]. Pada kurva sekitar 200-300 nm terlihat ada puncak serapan dengan karakteristik benzena tersubstitusi. Struktur remazol black B memiliki gugus kromofor golongan azo yang berkonjugasi menyebabkan adanya puncak disekitar 596 nm sebelum dekolorisasi.

Berdasarkan hasil spektra UV-Vis tersebut, setelah proses dekolorisasi menunjukkan adanya penurunan intensitas puncak dan penghilangan puncak visible (sekitar 380-800 nm) sebagaimana terlihat pada spektra merah. Fakta ini menandai proses dekolorisasi/menghilangkan zat warna remazol black B berlangsung efektif. Pada awal proses, dekolorisasi diinisiasi oleh pergerakan molekul sesaat menuju permukaan material dan teradsorpsi. Proses adsorpsi ini sangat singkat, karena radikal OH dengan daya oksidasi esar yang terbentuk di permukaan material segera menyerang situs-situs lemah pada struktur molekul zat warna dan memutus ikatan-ikatan melalui reaksi oksidasi. Produk yang dihasilkan setelah dekolorisasi diduga adalah H_2O , CO_2 dan mineral sulfat, nitrat, dan sodium diakhir proses. Reaksi total ini menyebabkan penurunan dan penghilangan intensitas warna melalui mekanisme total reaksi oksidasi. Limbah zat warna remazol black B yang telah terdekolorisasi diharapkan dapat meminimalkan buangan berbahaya menjadi lebih aman ke lingkungan.

4 Kesimpulan

Timbal dioksida hasil sintesis dengan NaOCl dan H_2O_2 pada pengeringan 200 dan 300 °C telah berhasil disintesis dari prekursor Pb dalam limbah elektroda aki. PbO_2 berpotensi besar sebagai material sumber Pb^{2+} dalam metode Fenton-like dan mampu mendekolorisasi larutan zat warna remazol black B 25 ppm sebanyak 100 mL hingga 99,3 dan 94,16%.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Rektor Universitas Diponegoro melalui Dekan FSM Universitas Diponegoro atas pembiayaan penelitian melalui anggaran DIPA FSM 2019.

Daftar Pustaka

- [1] Yin, Y., Liu, W., dan Zhang, C., 2024, Research Progress on the Electrocatalytic Degradation of Organic Pollutants by PbO_2 -Based Electrode, Biomed J Sci & Tech Res., Volume 58- Issue 3, 50261-50266, <https://doi.org/10.26717/BJSTR.2024.58.009143>
- [2] Widodo, D. S., Ismiyanto dan Noorikhlas, F., 2009, Elektroremediasi Perairan Tercemar: Elektrodekolorisasi Larutan Remazol black B dengan Elektroda Timbal Dioksida / Karbon dan Analisis Larutan Sisa Dekolorisasi, Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi, 12(1), hal. 1-6. <https://doi.org/10.14710/jksa.12.1.1-6>
- [3] Iqbal, A., Yusaf, A., Usman, M., Hussain Bokhari, T., dan Mansha, A., 2023, Insight into the degradation of different classes of dyes by advanced oxidation processes; a detailed review, International Journal of Environmental Analytical Chemistry, 104(17), 5503-5537. <https://doi.org/10.1080/03067319.2022.2125312>
- [4] Barbusinski, K., 2009, Henry John Horstman Fenton Short Biography and Brief History of

Doi:

- Fenton Reagent Discovery, *Metrologia* 14:101-105. <https://doi.org/10.1088/0026-1394/46/1/012>
- [5] Babuponnusami, A. dan Muthukumar, K., 2014, A Review on Fenton and Improvements to the Fenton Process for Wastewater Treatment, *Journal of Environmental Chemical Engineering* 2(1): 557-572. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2013.10.011>
- [6] Li, Z., dan Yu, C., 2024, Advanced oxidation in the treatment of three wastes, hal. 327-338, Elsevier BV, <https://doi.org/10.1016/b978-0-443-19256-2.00018-1>
- [7] Selvaprakash, A., 2023, Fenton Process - A Pretreatment Option for Hospital Waste Water, *International Journal of Civil, Environmental and Agricultural Engineering*, 19-29, <https://doi.org/10.34256/ijceae2313>
- [8] Khan, Z. U. H., Gul, N. S., Sabahat, S., Sun, J., Tahir, K., Shah, N. S., Muhammad, N., Rahim, A., Imran, M., Iqbal, J., Khan, T. M., Khasim, S., Farooq, U., dan Wu, J., 2023, Removal of organic pollutants through hydroxyl radical-based advanced oxidation processes, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 267, 115564, <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.115564>
- [9] Guo, Y., 2018, Treatment of Real Benzene Dye Intermediates Wastewater by the Fenton Method: Characteristics and Multi-response Optimization, *RSC Advances*, Royal Society of Chemistry, 8(1), hal. 80-90. <https://doi.org/10.1039/c7ra09404c>
- [10] Widodo, D. S., Suyati, L., Gunawan, Haris, A., Wijaya, R. A., dan Safitri, S. E., 2022, November). Modification of Fenton method in decolorizing remazol black B via irradiationless approach using lead oxide. In *AIP Conference Proceedings*, Vol. 2553, No. 1, p. 020040). <https://doi.org/10.1063/5.0103672>
- [11] P. Patmawati, D. S. Widodo, L. Suyati, K. Khabibi, and A. Haris, 2024, Modifikasi Metode Fenton pada Dekolorisasi Limbah Pewarna Remazol Black B dengan Oksida Timbal Hasil Sintesis pada Variasi Molar Pb^{2+} dan NaOH, *Greensphere: Journal of Environmental Chemistry*, vol. 2, no. 2, pp. 23-29, Jan. 2023. <https://doi.org/10.14710/gjec.2022.16776>
- [12] Jena, M. C., Mishra, S. K., dan Moharana, H. S., 2024, Challenges and way forward in the handling and disposal of battery waste: Towards sustainable practices, *Sustainable Social Development*, 2(4), 2866, <https://doi.org/10.54517/ssd.v2i4.2866>
- [13] Salehzadeh, J., 2013, Removal of Heavy Metals Pb^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , Cd^{2+} , Ni^{2+} , Co^{2+} and Fe^{3+} from Aqueous Solutions by using Xanthium Pensylvanicum, *Leonardo Journal of Sciences*, Issue 23, 97-104.
- [14] Svehla G., 2008, *Vogel's Qualitative Inorganic Analysis*, edisi ke-7, Pearson Education
- [15] Walton, D. E., dan Mumford, C. J., 1999, Spray Dried Products—Characterization of Particle Morphology, *Chemical Engineering Research & Design*, 77(1), 21-38. <https://doi.org/10.1205/026387699525846>
- [16] Porowska, A., Dosta, M., Fries, L., Gianfrancesco, A., Heinrich, S., dan Palzer, S., 2016, Predicting the surface composition of a spray-dried particle by modeling component reorganization in a drying droplet. *Chemical Engineering Research & Design*, 110, 131-140. <https://doi.org/10.1016/J.CHERD.2016.03.007>
- [17] Kabbara, H., Ghanbaja, J., Redjaïmia, A., Belmonte, T., dan Belmonte, T., 2019, Crystal structure, morphology and formation mechanism of a novel polymorph of lead dioxide, γ - PbO_2 . *Journal of Applied Crystallography*, 52(2), 304-311, <https://doi.org/10.1107/S1600576719001079>
- [18] Both, E.M., 2019, Powder morphology development during spray drying. <https://doi.org/10.18174/477793>
- [19] Koppenol, W. H., dan Liebman, J. F., 1984, The oxidizing nature of the hydroxyl radical. A comparison with the ferryl ion (FeO_2), *The Journal of Physical Chemistry*, 88(1), 99-101. <https://doi.org/10.1021/J150645A024>
- [20] Bilińska, L., Gmurek, M., dan Ledakowicz, S., 2015, Application of Advanced Oxidation Technologies for Decolorization and Mineralization of Textile Wastewaters, *Journal of Advanced Oxidation Technologies*, 18(2), 185-194. <https://doi.org/10.1515/JAOTS-2015-0202>