

# Analisis Pengaruh Media Imobilisasi Kasa dan Resin Terhadap Laju Penurunan *Escherichia Coli* Dengan Fotokatalis TiO<sub>2</sub>

Zahra Rahimaputri Ralanita, Firra Rosariawari\*

Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur, Surabaya

\*Koresponden email: firra.tl@upnjatim.ac.id

Diterima: 30 April 2026

Disetujui: 5 Mei 2026

## Abstract

The presence of *Escherichia coli* contamination in groundwater in densely populated areas of one of Indonesia's major cities, Surabaya, poses a serious threat to public health and sustainability. The photocatalytic process using TiO<sub>2</sub> is an effective alternative technology for reducing *Escherichia coli* levels without producing hazardous residues. This study was conducted to analyze the effectiveness and kinetic rate of *E. coli* reduction using two reactor systems with different immobilization media: TiO<sub>2</sub>-coated mesh and RIPT-TiO<sub>2</sub>. The reactors were designed as annular columns with a diameter of 10 cm and a height of 26 cm, operated at varying times of 10, 20, and 30 minutes. The groundwater samples had an initial *E. coli* concentration of 170 MPN/100 mL. Mesh immobilization was performed using the dip-coating method, while the resin was stirred for 72 hours. These results show the percentage of bacterial removal and the reduction rate constant for both reactor systems. The research findings are expected to provide recommendations for the most stable and efficient immobilization media for the development of clean water treatment technology in the future.

**Keyword:** *photocatalysis, tio<sub>2</sub>, escherichia coli, immobilization, mesh, resin*

## Abstrak

Adanya kontaminasi bakteri *Escherichia Coli* pada air tanah di kawasan padat penduduk pada salah satu kota besar di Indonesia yaitu Surabaya menjadi ancaman yang serius bagi kesehatan masyarakat dan keberlanjutannya. Proses fotokatalis menggunakan TiO<sub>2</sub> merupakan salah satu teknologi alternatif yang efektif untuk menurunkan laju bakteri *Escherichia Coli* tanpa menghasilkan residu berbahaya. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis efektivitas dan laju kinetika penurunan bakteri *Escherichia Coli* menggunakan dua sistem reaktor dengan media imobilisasi yang berbeda yaitu media kasa berlapis TiO<sub>2</sub> dan RIPT-TiO<sub>2</sub>. Reaktor dirancang secara annular dengan diameter 10 cm dan tinggi 26 cm yang dioperasikan pada variasi waktu 10, 20, dan 30 menit. Sampel air tanah memiliki konsentrasi *E. Coli* awal sebesar 170 MPN/100 mL. Imobilisasi kasa dilakukan menggunakan metode *dip-coating*, sedangkan pada resin dilakukan pengadukan selama 72 jam. Hasil ini menunjukkan persentase penyisihan bakteri dan konstanta laju penurunan pada kedua sistem reaktor. Hasil penelitian diharapkan akan memberikan rekomendasi media imobilisasi yang paling stabil dan efisien untuk pengembangan teknologi pengolahan air bersih di masa depan.

**Kata Kunci:** *fotokatalis, tio<sub>2</sub>, escherichia coli, imobilisasi, kasa, resin*

## 1. Pendahuluan

Air tanah merupakan salah satu sumber air bersih yang digunakan di banyak wilayah terutama pedesaan bahkan perkotaan. Namun seiring bertambahnya jumlah penduduk air tanah seringkali terancam oleh kontaminasi bakteri salah satunya bakteri *Escherichia Coli*. Keberadaan bakteri *E. Coli* menandakan adanya sebuah resiko yang dapat menyebabkan gangguan kesehatan salah satunya diare dan infeksi pencernaan [1]. Salah satu kasus terbesar terjadi di Lampung, Bekasi, dan Jawa Barat. Hingga 2022 ditemukan bahwa 60% dari 500 sumber air tercemar bakteri [2]. Salah satu cara untuk menanggulangi permasalahan lingkungan akibat bakteri *Escherichia Coli* adalah dilakukannya proses desinfeksi air. Umumnya proses desinfeksi dilakukan dengan metode penambahan klorin atau ozonisasi, tetapi pada proses ini menghasilkan produk samping berbahaya seperti trihalometan. Keterbatasan metode konvensional memiliki alternatif lain dengan menggunakan teknologi fotokimia dan katalis.

Proses fotokatalis melibatkan cahaya yang dibantu oleh material katalis. Prosesnya membutuhkan bantuan katalis seperti TiO<sub>2</sub>. Proses ini dapat dimanfaatkan untuk mendesinfeksi mikroorganisme dengan bantuan sinar ultraviolet yang menghasilkan radikal hidroksil yang dapat membunuh mikroorganisme (Hübner et al., 2024). Berdasarkan studi yang telah dilakukan penelitian ini dilakukan untuk membuktikan

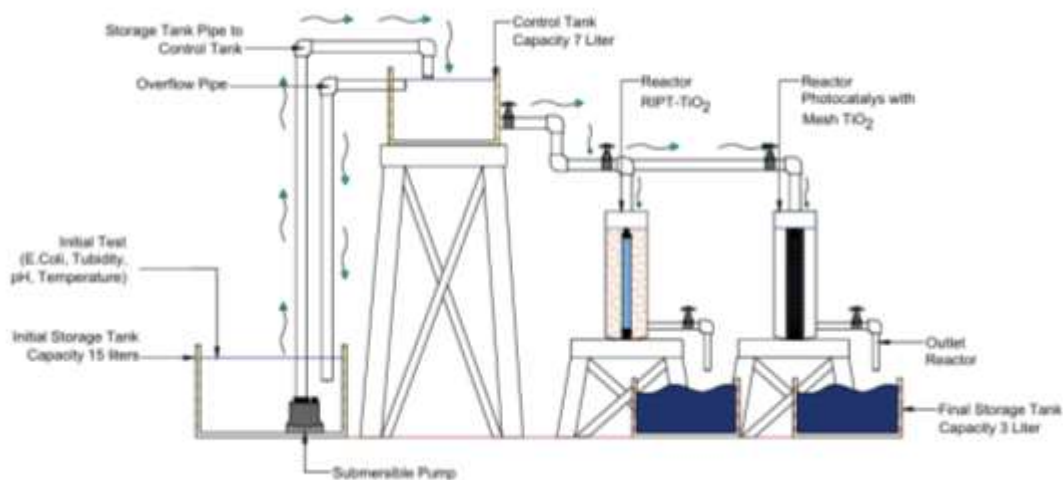
media sebagai substrat imobilisasi yaitu kasa dan resin. Kasa dipilih karena area permukaan yang luas dan mudah dibentuk, sementara resin dapat digunakan untuk mengikat katalis dan aliran yang dihasilkan lebih efisien. Penelitian ini akan membandingkan dan menganalisis efektivitas dari kedua sistem reaktor terimobilisasi untuk menganalisis laju Penurunan bakteri *E. Coli* sebagai mikroorganisme patogen dalam air tanah. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan mengenai efektivitas dan stabilitas dari kedua media tersebut sehingga dapat menjadi pengembangan teknologi pengolahan air di masa depan.

## 2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimen laboratorium dengan sampel air tanah yang diperoleh dari kawasan padat penduduk di Kota Surabaya, khususnya daerah Surabaya Utara. Sumber air tanah tersebut dipilih sebagai objek penelitian karena lokasi nya yang berdekatan dengan aktivitas mandi, cuci, kakus sehingga berpotensi tercemar dengan bakteri *E. Coli*.

### 2.1 Desain Reaktor

Proses penelitian dilakukan pada reaktor dengan aliran kontinu yang dialirkan melalui bak penampung awal ke bak kontrol dan dialirkan dengan kecepatan yang sama pada masing-masing reaktor. Hasil akhir ditampung pada bak penampung akhir. Secara terperinci detail reaktor dirincikan pada **Gambar 1** di bawah ini.



**Gambar 1.** Reaktor Proses Fotokatalis  
 Sumber: Diolah oleh penulis, 2026

### 2.2 Variabel Penelitian

Variabel penelitian yang digunakan pada penelitian ini dirincikan sebagai berikut:

- Variabel Bebas : Media Imobilisasi (Kasa dan Resin) dan Waktu Penyinaran (10, 20 dan 30 menit)
- Variabel Terikat : Bakteri *Escherichia Coli*
- Variabel Kontrol : pH, Suhu, dan Kekeruhan

### 2.3 Analisis Data

Penelitian ini menggunakan metode analisis yaitu sebagai berikut:

- Analisis Penyisihan Bakteri

$$\text{Persentase Penurunan} = \left( \frac{\text{Jumlah bakteri awal} - \text{Jumlah bakteri akhir}}{\text{Jumlah bakteri awal}} \right) \times 100\%$$

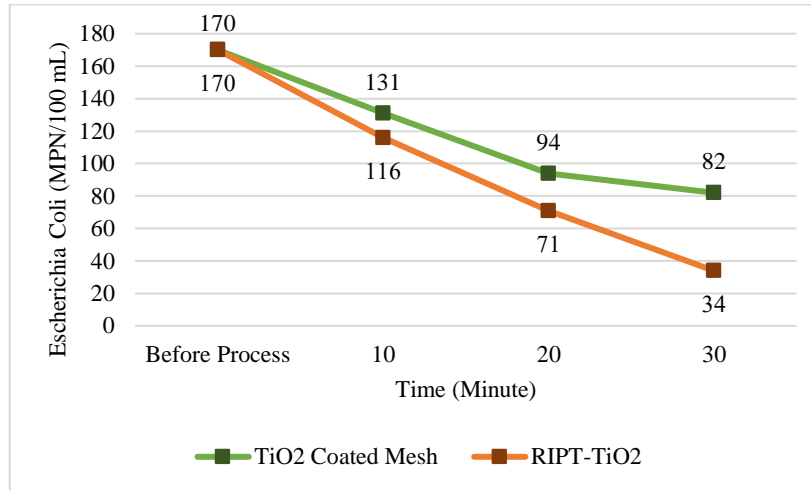
- Kinetika Laju Penurunan *Escherichia Coli*

$$\text{Laju Penurunan (k)} = \frac{\ln\left(\frac{N_0}{N_t}\right)}{t}$$

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1 Hubungan Waktu Penyinaran Terhadap Penurunan Bakteri *Escherichia Coli*

Waktu penyinaran memiliki dampak yang signifikan dalam proses fotokatalis, terutama dalam menentukan waktu interaksi antara cahaya, katalis, dan bakteri. Analisis terhadap hubungan waktu penyinaran dilakukan untuk memahami seberapa cepat jumlah bakteri yang berkurang serta untuk mengetahui waktu terbaik dalam penurunan bakteri. Waktu penyinaran mempengaruhi efektivitas radikal hidroksil yang dihasilkan dalam menurunkan bakteri.



**Gambar 2.** Grafik Hubungan Waktu Penyinaran Terhadap Penurunan Bakteri E. Coli

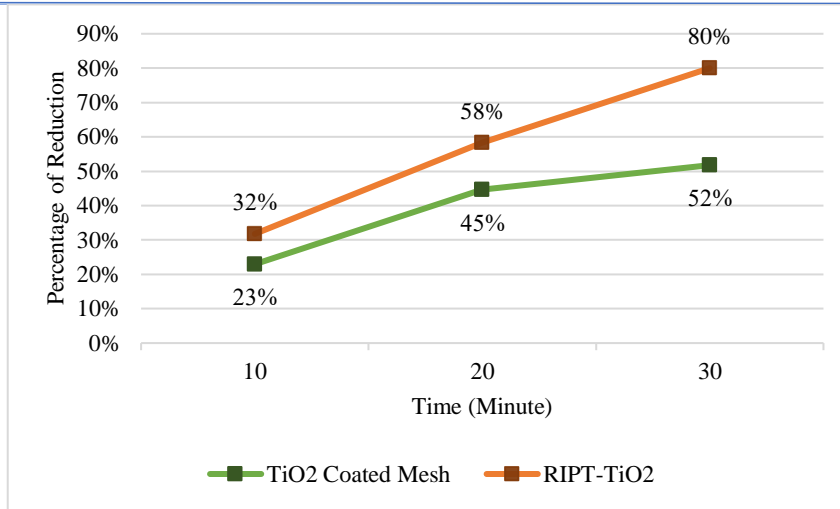
Sumber: Diolah oleh penulis, 2026

Berdasarkan **Gambar 2** ditunjukkan bahwa terjadi penurunan pada setiap variasi waktu. Penurunan terjadi secara signifikan pada kedua perlakuan. Dalam reaktor kasa telah terjadi penurunan sejak menit ke 10 sebesar 131 MPN/100 mL. Penurunan dalam reaktor kasa terus terjadi hingga menit ter-efektif yaitu menit ke 30 sebesar 102 MPN/100 mL. Meskipun reaktor kasa mengalami penurunan yang signifikan, penurunan pada reaktor resin juga mengalami penurunan yang lebih signifikan dan tidak terjadi kelandaian. Pada menit ke-10 reaktor resin telah menurunkan bakteri sebesar 116 MPN/100 mL dan pada menit ke-30 reaktor RIPT berhasil menurunkan bakteri hingga 34 MPN/100 mL.

Peningkatan yang terjadi disebabkan karena semakin lama waktu penyinaran maka semakin lama pula bakteri untuk bersentuhan dengan permukaan media yang dilapisi oleh TiO<sub>2</sub>. Hal tersebut meningkatkan interaksi antara dinding sel bakteri dengan radikal hidroksil [4]. Tetapi, pada menit ke-25 proses fotokatalis dengan kasa TiO<sub>2</sub> mengalami kelandaian karena laju pertumbuhan sel mulai mengimbangi laju penurunan bakteri sehingga grafik terlihat melandai [5]. Sementara pada resin terjadi kenaikan yang signifikan di setiap penambahan waktunya karena resin kation memiliki struktur pori yang kecil sehingga memberikan peluang stabilitas yang lebih besar dan lebih baik terhadap oksidasi radikal yang dihasilkan. Struktur resin berbentuk butiran memberikan permukaan yang lebih besar sehingga pembentukan ion radikal jauh lebih berlimpah dan memberikan kontak yang merata pada air dan permukaan katalis. Mekanisme penurunan bakteri pada resin karena umumnya dinding sel bakteri bermuatan negatif sehingga terjadi gaya tarik-menarik antara sifat kimia resin dan dinding sel bakteri [6]. Dalam hubungan pengaruh waktu kontak dengan penurunan bakteri menunjukkan ke-efektifan pada dua media tersebut paling efektif berada pada waktu kontak terlama yaitu 30 menit.

#### 3.2 Hubungan Sistem Reaktor Terhadap Efisiensi Penurunan Bakteri *Escherichia Coli*

Efisiensi penurunan bakteri dihitung untuk mengetahui variasi media immobilisasi yang efektif dalam menyisihkan bakteri E. Coli. Efisiensi bakteri dihitung untuk menghitung persentase penurunan bakteri E. Coli. Berdasarkan data penelitian efisiensi penurunan didapatkan dari hubungan antara paparan radiasi UV dengan pembentukan radikal hidroksil pada permukaan katalis.



**Gambar 3.** Grafik Hubungan Sistem Reaktor Terhadap Efisiensi Penurunan Bakteri E. Coli  
Sumber: Diolah oleh penulis, 2026

Berdasarkan **Gambar 3** hasil persentase penurunan bakteri yang terbaik diperoleh pada menit ke-30 oleh reaktor RIPT-TiO<sub>2</sub> yaitu sebesar 80%. Sementara di waktu yang sama untuk reaktor kasa yang dilapisi oleh TiO<sub>2</sub> persentase penurunan pada waktu ke-30 hanya 52%. Persentase 52% pada reaktor kasa berlapis telah didapatkan di reaktor RIPT-TiO<sub>2</sub> pada menit ke-20. Berdasarkan data tersebut hal ini disebabkan karena pada media kasa memiliki banyak ruang kosong sehingga aliran yang dihasilkan tidak bersentuhan secara menyeluruh dengan permukaan katalis [7]. Sementara pada reaktor resin media resin memiliki permukaan yang jauh lebih besar, sehingga jumlah katalis yang berinteraksi untuk menangkap bakteri akan semakin banyak di permukaan katalis [8].

Sistem resin menunjukkan hasil yang paling unggul. Salah satunya dipengaruhi oleh media resin yang memiliki luas permukaan jauh lebih besar dibandingkan kasa. Penggunaan resin juga sebagai media penukar ion positif yaitu (H<sup>+</sup>). Pelepasan ion ini mengganggu aktivitas bakteri sehingga mengganggu komponen bakteri yang bermuatan positif sehingga terjadi gaya elektrostatis yang merusak bakteri. Dengan bantuan radikal hidroksil maka bakteri melemah lebih cepat dibandingkan perlakuan dengan media kasa yang hanya kaya akan radikal hidroksil [9].

### 3.3 Hubungan Waktu Penyinaran dan Sistem Reaktor Terhadap Laju Penurunan Bakteri *Escherichia Coli*

Analisis laju penurunan bakteri dilakukan untuk mengevaluasi efisiensi dan kecepatan waktu penurunan mikroorganisme dalam sistem reaktor pada waktu penyinaran tertentu. Data laju penurunan dirincikan pada **Tabel 1**.

**Tabel 1.** Data Laju Penurunan Bakteri E. Coli

No.	Laju Penurunan $\ln \left( \frac{N_0}{N_t} \right)$ (min <sup>-1</sup> )	
	Reaktor Kasa Berlapis TiO <sub>2</sub> (min <sup>-1</sup> )	Reaktor Berisi RIPT-TiO <sub>2</sub> (min <sup>-1</sup> )
1.	0,26	0,38
2.	0,59	0,87
3.	0,72	1,60

Sumber: Diolah oleh penulis, 2026

Berdasarkan data pada **Tabel 1** laju penurunan semakin meningkat apabila waktu penyinaran semakin tinggi. Hal ini sesuai dengan teori chick-watson yang menyatakan bahwa semakin besar laju penurunan bakteri maka waktu penyinaran yang dilakukan semakin lama. Hal tersebut terjadi karena garis waktu penyinaran dengan laju penurunan se linear [10]. Berdasarkan tabel tersebut laju yang paling tinggi didapatkan oleh RIPT-TiO<sub>2</sub> yaitu 1,60 min<sup>-1</sup>. Laju tersebut membuktikan hubungan waktu penyinaran selama 30 menit dan penggunaan reaktor RIPT-TiO<sub>2</sub> paling efektif dan efisien dalam menurunkan bakteri E. Coli. Dalam proses penelitian selain dipengaruhi oleh waktu penyinaran dan sistem reaktor juga dipengaruhi oleh variabel kontrol penelitian yaitu suhu, kekeruhan, dan pH. Variabel kontrol digunakan

sebagai variabel yang mengontrol jalannya penelitian untuk memastikan hasil yang diperoleh merupakan hasil proses fotokatalis bukan hasil yang disebabkan oleh faktor lain.

### Pengaruh pH

Derajat keasaman dijadikan sebagai variabel kontrol agar memastikan bakteri yang menurun terjadi karena stress oksidatif yang dilakukan saat proses fotokatalis dan tidak disebabkan oleh kondisi asam atau *acid stress* ataupun basa yaitu *alkaline stress*. Pada **Tabel 2** dirincikan hasil penilaian pH pada saat proses penelitian.

**Tabel 2.** Nilai pH Pada Proses Penelitian

Waktu Penyinaran (Menit)	Nilai pH	
	Reaktor Kasa Berlapis TiO <sub>2</sub>	Reaktor Berisi RIPT-TiO <sub>2</sub>
10	7,41	6,94
20	7,39	6,92
30	7,37	6,91

Sumber: Hasil Analisis, 2026

Data pada **Tabel 2** menunjukkan nilai pH yang dihasilkan dari proses penelitian. Berdasarkan tabel tersebut terjadi penurunan pada kedua perlakuan reaktor seiringnya bertambahnya waktu penyinaran. Pada menit ke-30 pada reaktor nilai pH nya adalah 7,37 dan pada reaktor RIPT sebesar 6,91. Sebelum penelitian didapatkan nilai pH sebelum reaksi adalah 7,5. Terjadi penurunan yang sangat jauh pada reaktor resin disebabkan karena terjadi reaksi kimia pada reaktor resin yaitu pelepasan ion hidrogen [11]. Tetapi pada reaktor resin tidak terjadi *acid stress* karena pada rentang 6-7 pembentukan radikal hidroksil masih dapat terbentuk [12]. Oleh karena itu, hasil penurunan bakteri pada resin jauh lebih reaktif dikarenakan bantuan oleh ion hidrogen terhadap penurunan bakteri terjadi. Pembentukan hidrogen tersebut membantu dalam pemecahan dinding bakteri yang dikombinasikan dengan radikal hidroksil.

### Pengaruh Suhu

Peningkatan suhu dalam sistem fotokatalis memberikan pengaruh terhadap laju penurunan bakteri. Kenaikan suhu membantu meningkatkan energi kinetik air dan oksigen yang lebih efektif dalam pembentukan radikal hidroksil [13]. Semakin lama waktu penyinaran maka akan menyebabkan reaktor akan semakin panas. Apabila hal tersebut tidak di kontrol maka bakteri yang mengalami penurunan tidak dapat dipastikan menurun karena proses fotokatalis.

**Tabel 3.** Nilai Suhu Pada Proses Penelitian

Waktu Penyinaran (Menit)	Nilai Suhu	
	Reaktor Kasa Berlapis TiO <sub>2</sub> (°C)	Reaktor Berisi RIPT-TiO <sub>2</sub> (°C)
10	29,7	29,1
20	29,8	29,5
30	30,4	29,8

Sumber: Hasil Analisis, 2026

Data pada **Tabel 3** menunjukkan bahwa kenaikan suhu terus terjadi seiring dengan lamanya waktu penyinaran. Pada menit ke-30 reaktor kasa berlapis bersuhu 30,4°C sedangkan pada reaktor resin bersuhu 29,8 °C. Pada rentang suhu tersebut masih dalam rentang yang aman dikarenakan bakteri E. Coli dapat mati pada suhu 45°C. Apabila suhu proses pada rentang tersebut maka terjadi proses termal yang mematikan bakteri dan proses fotokatalis tidak menjadi efisien karena kematian bakteri disebabkan oleh terpapar panas bukan karena proses fotokatalis [5]. Pada reaktor kasa lebih panas dikarenakan media kasa memiliki celah yang lebih besar sedangkan resin lebih stabil karena memiliki pori yang lebih rata dan terbuka [7].

### Pengaruh Kekeruhan

Kekeruhan merupakan salah satu parameter yang digunakan untuk mengontrol kekeruhan karena memiliki pengaruh terhadap efektivitas masuknya foton/cahaya pada media katalis.

**Tabel 4.** Nilai Kekeruhan Pada Proses Penelitian

Waktu Penyinaran (Menit)	Nilai Kekeruhan	
	Reaktor Kasa Berlapis TiO <sub>2</sub> (NTU)	Reaktor Berisi RIPT-TiO <sub>2</sub> (NTU)
10	0,58	0,68
20	0,38	0,5
30	0,28	0,46

Sumber: Hasil Analisis, 2026

Kekeruhan sebelum proses menunjukkan 1,05 NTU. Berdasarkan **Tabel 4** kekeruhan yang semakin menurun seiring dengan lamanya waktu penyinaran. Pada reaktor kasa berlapis sebesar 0,28 NTU pada menit ke-30 sementara di waktu yang sama pada proses RIPT yaitu sebesar 0,46 NTU. Penurunan kekeruhan ini secara teoritis disebabkan oleh terjadinya proses mineralisasi pada proses fotokatalis [14]. Faktor lain penurunan kekeruhan ini disebabkan oleh aliran laminar yang terjadi pada proses penelitian dimana pada reaktor RIPT lebih tinggi karena kasa yang disebabkan struktur kasa yang berputar secara terus menerus dan mengalami gesekan sehingga menyebabkan keluruhan terjadi [15].

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa proses fotokatalis mampu menurunkan bakteri *Escherichia Coli*. Efisiensi tertinggi didapatkan pada waktu 30 menit pada proses *Resin Immobilized Photocatalyst*. Persentase penurunan bakteri yang paling tinggi sebesar 80% pada proses RIPT. Laju penurunan secara matematik telah membuktikan bahwa penggunaan fotokatalis paling efektif dan efisien pada waktu ke-30 menit dengan proses RIPT yang membuktikan bahwa penghasil radikal hidroksil lebih efektif pada sistem resin dibandingkan sistem kasa.

#### 5. Referensi

- [1] Edition, F. (2011). Guidelines for drinking-water quality. *WHO chronicle*, 38(4), 104-8.
- [2] Sitorus, P. N. K., Azzahra, A., Lubis, D. R., Gulo, K. Z., Adila, P., & Siregar, T. A. (2024). Keberadaan *Escherichia Coli* Pada Berbagai Jenis Air. *Algoritma: Jurnal Matematika, Ilmu Pengetahuan Alam, Kebumihan Dan Angkasa*, 2(5), 32-29.
- [3] Hübner, U., Spahr, S., Lutze, H., Wieland, A., Rüting, S., Gernjak, W., & Wenk, J. (2024). Advanced oxidation processes for water and wastewater treatment – Guidance for systematic future research. In *Heliyon* (Vol. 10, Number 9). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e30402>
- [4] Chakravorty, A., & Roy, S. (2024). *A Review of Photocatalysis, basic Principles, Processes, and Materials. Sustainable Chemistry for the Environment*.
- [5] Talla, A., Suliali, N. J., Goosen, W. E., Urgessa, Z. N., Motloung, S. V., & Botha, J. R. (2022). Effect of annealing temperature and atmosphere on the structural, morphological and luminescent properties of TiO<sub>2</sub> nanotubes. *Physica B: Condensed Matter*, 640. <https://doi.org/10.1016/j.physb.2022.414026>
- [6] Jude Nwankwo, Nnamdi Ekwueme, & Benjamin. (2024). Modeling *Escherichia coli* inactivation during solar disinfection: Effects of UV intensity, water temperature, and turbidity. *Solar Energy*, 283. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2024.113000>
- [7] Ullah, S., Ferreira-Neto, E. P., Khan, A. A., Medeiros, I. P., & Wender, H. (2023). Supported nanostructured photocatalysts: the role of support-photocatalyst interactions. *Photochemical & Photobiological Sciences*, 22(1), 219-240.
- [8] Schito, A. M., Caviglia, D., Piatti, G., & Alfei, S. (2022). A Highly Efficient Polystyrene-Based Cationic Resin to Reduce Bacterial Contaminations in Water. *Polymers*, 14(21). <https://doi.org/10.3390/polym14214690>
- [9] Li, Q., Li, H., Zong, X., Sun, H., Liu, Y., Zhan, Z., Mei, S., Qi, Y., Huang, Y., Ye, Y., & Pan, F. (2024). Highly efficient adsorption of ciprofloxacin from aqueous solutions by waste cation exchange resin-based activated carbons: Performance, mechanism, and theoretical calculation. *Science of the Total Environment*, 912. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.169534>
- [10] Yuwono, S. (2022). *Kinetika Reaksi Pada Bahan Pangan Produk Fermentasi*. UB Press.
- [11] Zhu, M., Teng, Y., Wu, D., Zhu, J., Zhang, Y., & Liu, Z. (2022). Development of Nanoscale Hydrated Titanium Oxides Support Anion Exchange Resin for Efficient Phosphate Removal from Water. *Minerals*, 12(12). <https://doi.org/10.3390/min12121596>

- [12] Cheng, Q., Yuan, Y. J., Tang, R., Liu, Q. Y., Bao, L., Wang, P., ... & Zou, Z. (2022). Rapid hydroxyl radical generation on (001)-facet-exposed ultrathin anatase TiO<sub>2</sub> nanosheets for enhanced photocatalytic lignocellulose-to-H<sub>2</sub> conversion. *ACS Catalysis*, *12*(3), 2118-2125.
- [13] Meng, F., Liu, Y., Wang, J., Tan, X., Sun, H., Liu, S., & Wang, S. (2018). Temperature dependent photocatalysis of g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, TiO<sub>2</sub> and ZnO: Differences in photoactive mechanism. *Journal of colloid and interface science*, *532*, 321-330.
- [14] Zakria, H. S., Othman, M. H. D., Kamaludin, R., Sheikh Abdul Kadir, S. H., Kurniawan, T. A., & Jilani, A. (2021). Immobilization techniques of a photocatalyst into and onto a polymer membrane for photocatalytic activity. *RSC Advances*, *11*(12), 6985–7014. <https://doi.org/10.1039/d0ra10964a>
- [15] Rokicka-Konieczna, P., & Morawski, A. W. (2024). Photocatalytic Bacterial Destruction and Mineralization by TiO<sub>2</sub>-Based Photocatalysts: A Mini Review. In *Molecules* (Vol. 29, Number 10). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/molecules29102221>