LAPORAN PENELITIAN

ANALISIS KEMAMPUAN MEMBRAN ELEKTROKIMIA DALAM MENURUNKAN BAKTERI DI DALAM AIR

Oleh :

Tazkiaturrizki, ST., MT

JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN

FAKULTAS ARSITEKTUR LANSKAP DAN TEKNOLOGI LINGKUNGAN

UNIVERSITAS TRISAKTI

JAKARTA

2025

LEMBAR

PENGESAHAN

JUDUL PENELITIAN:

ANALISIS KEMAMPUAN MEMBRAN ELEKTROKIMIA DALAM MENURUNKAN BAKTERI DI DALAM AIR

Jakarta, 24 Januari 2025

Peneliti

Tazkiaturrizki, ST., MT
NIK: 3279/USAKTI

Jakarta, 24 Januari 2025

DRPMF FALTL

Dr. Ir. Diana Irvindiaty Hendrawan, M.Si
NIK : 1733//USAKTI

Jakarta, 24 Januari 2025

Dekan
Fakultas Arsitektur Lanskap dan Teknologi Lingkungan – Universitas Trisakti

Dr. Ir. Silia Yuslim, M.T
NIK : 1961/USAKTI

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI i

DAFTAR GAMBAR i

BAB I PENDAHULUAN 1

1.1 Latar Belakang 2

1.2 Tujuan 3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA 4

BAB III METODOLOGI PENELITIAN 6

3.1 Metode Penelitian 6

3.2 Tahap Penelitian 8

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 9

4.1 Kemampuan MER sebagai Elektro-disinfeksi 10

4.2 Biaya Penelitian 12

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Analisis Potensi MER sebagai Elektro-disinfeksi 9

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Jadwal Pelaksanaan Penelitian 7

Tabel 2. Biaya pelaksanaan penelitian 10

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pencemaran air dapat bersifat fisik (seperti rasa, warna, bau, padatan terlarut), kimia (nitrat, khlorida, florida, logam berat, pewarna kimia) dan biologi (mikroorganisme patogen seperti bakteri, jamur, virus, protozoa) yang berada di alam dan menyebabkan penurunan kualitas air minum (Srivastav et al., 2020). Sumber pencemaran air berasal dari pelarutan limbah padat, buangan domestik dan industri, air resapan dari area pertanian, serta efluen pengolahan air limbah. Terlepas dari pencemaran kimia, pencemaran biologi juga menjadi fokus penting dalam pengolahan air minum karena pengaruhnya pada kesehatan manusia. Secara umum, pencemaran biologi disebabkan oleh kontaminasi mikroorganisme fecal dari buangan metabolisme tubuh makhluk hidup (Tazkiaturrizki *et al.,* 2025).

Mikroorganisme patogen yang ada di air dapat dihilangkan melalui proses disinfeksi. Disinfeksi merupakan proses penting pada pengolahan air guna menonaktifkan mikroorganisme patogen dan mencegah pertumbuhannya selama proses distribusi. Bahan kimia yang digunakan sebagai agen penonaktif disebut sebagai disinfektan. Disinfektan yang paling sering digunakan adalah khlorin (Cl2), khloramine (NHCl, NHCl2), khlorin dioksida (ClO2), ozon (O3) dan radiasi sinar ultraviolet (UV). Khlorinasi adalah proses disinfeksi yang paling banyak digunakan karena kemampuan penyisihannya yang baik dan relatif murah dari segi biaya (Tazkiaturrizki *et al.,* 2025; Srivastav *et al*., 2020).

Namun ternyata, proses disinfeksi dengan khlorin dapat menyebabkan terbentuknya suatu senyawa baru yaitu produk sampingan disinfeksi (disinfection byproducts, DBP) dan berpotensi memberikan dampak bagi kesehatan. DBP terbentuk dari reaksi disinfektan dengan senyawa organik lain di dalam air (Zhang et al., 2020). Terbentuknya DBP harus menjadi perhatian penting karena dapat mengganggu kesehatan manusia dan memberikan dampak toksik (eco) berupa potensi karsinogenik dan efek non-karsinogenik seperti gangguan endokrin (Tazkiaturrizki *et al.*, 2025; Chaves et al., 2020).

Telah ditemukan bahwa terdapat teknologi yang mampu menggantikan penggunaan khlorin namun dapat dengan efektif menghilangkan mikroorganisme patogen dalam air. Teknologi tersebut merupakan teknologi yang sedang banyak dikembangkan belakangan ini

karena secara alami memanfaatkan elektroda membentuk senyawa yang reaktif yang dapat berperan sebagai agen disinfeksi, teknologi tersebut adalah elektro-disinfeksi (ED). Makalah ini menyelidiki potensi ED, memberikan evaluasi komprehensif yang menekankan aplikasi praktis dari perspektif pragmatis pada pengolahan air khususnya air minum.

1.2. Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah :

Menganalisis potensi penggunaan Membran Elektrokimia sebagai elektro-disinfeksi dalam menghilangkan mikroorganisme pathogen *Eschericia coli* dan total koliform.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Disinfeksi

Disinfeksi berarti membunuh organisme patogen (misalnya bakteri dan spora, virus, protozoa, serta kista, cacing, dan larvanya) yang ada di dalam air agar dapat dikonsumsi dan digunakan untuk pekerjaan rumah tangga lainnya. Zat yang digunakan dalam desinfeksi air dikenal sebagai desinfektan. Di dalam pengolahan air, penggunaan klorin (Cl_2), kloramin (NH_2Cl, $NHCl_2$), klorin dioksida (ClO_2), ozon (O_3) dan ultraviolet (UV), adalah disinfektan yang paling umum digunakan (Srivastav *et al*., 2020).

Disinfeksi air telah dianggap sebagai pencapaian kesehatan masyarakat utama di abad kedua puluh, karena telah mencapai keberhasilan yang luar biasa dalam mengurangi penularan penyakit yang ditularkan melalui air, seperti kolera, disentri, dan tifus, di seluruh dunia (Calderon *et al*., 2000). Namun demikian, disinfeksi juga membawa risiko kesehatan yang tidak terduga dari paparan manusia terhadap produk sampingan desinfeksi (DBPs) yang dihasilkan oleh disinfektan yang bereaksi dengan unsur organik lainnya di dalam air. Pada tahun 1974, Bellar *et al*. (1974) menemukan kloroform dan trihalometana lainnya (THM) dalam pasokan air kota sebagai hasil dari proses klorinasi selama pengolahan air, dan mempelopori penelitian DBPs di kalangan komunitas ilmiah dan publik. Hingga saat ini, hampir seribu DBPs telah terdeteksi dengan pengembangan instrumen sensitif dan metodologi analitik (Li *et al*., 2016; Pan *et al*., 2016; Zhao *et al*., 2012).

Melin and Ødegaard (2000) melaporkan hubungan linier konsentrasi produk samping DBPs ozon dengan rasio O3 / TOC. Nawrocki dkk. (2003) juga menemukan bahwa produksi aldehida maksimum diperoleh pada rasio O3 / TOC 1,1, yang menunjukkan bahwa kandungan bahan organik merupakan salah satu parameter utama. Oleh karena itu, kandungan organik harus dikurangi untuk mengurangi produk sampingan desinfeksi ozon.

2.2 Elektro-disinfeksi (ED)

Elektro-disinfeksi melibatkan dua prinsip mekanisme yaitu oksidasi langsung permukaan elektroda yang menghasilkan inaktifasi sel mikroba sementara dan produksi elektrokatalis dari molekul oksigen reaktif (seperti H • 2 O molekul (RCS) (seperti Cl2, HClO, ClO2 , O3 , OH, dan lain-lain) atau khlorin reaktif untuk menjadikannya proses disinfeksi (Xu *et*

al., 2023). Pendekatan ini ditandai dengan keberlanjutan lingkungan, pemanfaatan energi surya, kesederhanaan operasional, dan potensi otomatisasi tinggi, sehingga secara efektif menonaktifkan berbagai patogen berbahaya, termasuk bakteri dan virus (Ghasemian *et al*., 2017).

Gonzalez-Rivas et al. memberikan gambaran singkat tentang mekanisme dan aplikasi elektrokoagulasi, elektrooksidasi langsung, dan elektrooksidasi tidak langsung untuk menghilangkan mikroorganisme patogen dari berbagai sumber air dan air limbah (Gonzalez-Rivas *et al*., 2019). Sementara itu, Hand dan Cusick membahas secara menyeluruh dampak lingkungan perawatan, pemilihan oksidan, dan praktik pengoperasian terhadap kebutuhan oksidan sistem ED dan memberikan analisis terperinci tentang hubungan antara pembangkitan dosis dan konsumsi energi (Hand dan Cusick, 2021).

2.2.1 Oksidasi Langsung

Oksidasi memainkan langkah penting dalam mekanisme mekanisme elektrostriksi bakteri, yang meliputi dua mode utama: oksidasi langsung dan tidak langsung (Li et al., 2016). Dalam oksidasi langsung, bakteri berinteraksi langsung dengan permukaan anoda, yang memicu reaksi multielektron dari protein atau gugus fungsi di dalam membran sel. Proses ini menciptakan tempat bagi radikal bebas dan oksidasi elektrolit lokal pada membran sel, sehingga mengganggu daerah tertentu pada membran (Vecitis et al., 2011). Investigasi telah mengungkapkan bahwa tegangan yang lebih rendah menyebabkan depresi dan dehidrasi seluler ringan, sehingga mempertahankan struktur makro sel, sementara tegangan yang lebih tinggi memperburuk peroksidasi lipid. Intensifikasi ini memicu serangkaian reaksi berantai radikal bebas, yang merusak integritas seluler dan berujung pada kematian sel (Guo et al., 2016; Xie et al., 2020; Li et al., 2024).

2.2.2 Oksidasi Tidak Langsung

Oksidasi tidak langsung mengacu pada inaktivasi mikroorganisme melalui reaksi anoda dengan zat perantara dalam larutan untuk menghasilkan zat antara dari zat pengoksidasi kuat. Zat perantara larutan menentukan zat pengoksidasi yang dihasilkan secara elektrokimia. Di antara zat-zat tersebut, elektrogenerasi oksigen reaktif dan oksidan klorin reaktif memperoleh pemanfaatan yang luas dalam domain ini (Li *et al*., 2024).

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Salah satu teknologi elektrokimia yang sedang dikembangkan saat ini adalah *membrane electrochemical reactor* (MER). MER terdiri dari dua reaktor penukar ion yang dipisahkan oleh membrane seperti pada **Gambar 3.1**. Titanium (Ti) elektroda negatif (anoda) dan platinum (Pt) elektroda positif (katoda) diletakkan di masing-masing reaktor. Pada pengoperasian, sebanyak 500 mL sampel air dimasukan ke dalam reaktor anoda dan katoda secara bersamaan dan secara menerus diaduk dengan *magnetic mixer* untuk mencegah keterbatasan transfer massa sepanjang percobaan. Membran yang diletakkan pada bagian yang menghubungkan reaktor anoda dan katoda, adalah *polycarbonate (PCTE) membrane filter* 0,01 mikron, 47 mm.

Catu daya DC akan memberikan arus konstan untuk mendorong reaksi elektrokimia. Pengolahan dengan EO dilakukan dibawah kondisi optimal yang ditentukan oleh efisiensi penyisihan kontaminan, termasuk densitas arus 20 mA cm^{-2} pada temperature ruangan 25°C dalam mode reaktor *batch*. Untuk mengetahui efek densitas arus atau waktu pengolahan EO pada pembentukan DBP, kepadatan arus yang diterapkan bervariasi pada 15 dan 20 mA cm^{-2} dan waktu pengolahan EO disesuaikan dengan 1, 3, dan 5 jam (Tazkiaturrizki *et al.*, 2025).

Analisis total coliform dan E. coli dilakukan untuk mengetahui terjadinya proses disinfeksi oleh MER disebut sebagai electro-disinfection (Gernaout et al., 2022). Dengan melihat waktu reaksi paling optimum dan densitas arus terbaik, maka dilakukan analisis lanjutan untuk mengetahui kemungkinan proses disinfeksi yang terjadi. Metode analisis yang digunakan berdasarkan ISO 9308-1:2014/Amandemen 1:2016 tentang Kualitas air — Enumerasi bakteri Escherichia coli dan coliform. Kemudian dibandingkan antara proses disinfeksi pada rangkaian GAC-MER dan MER-GAC.

3.2 Jadwal Pelaksanaan Penelitian

Tabel 1. Jadwal Pelaksanaan Penelitian

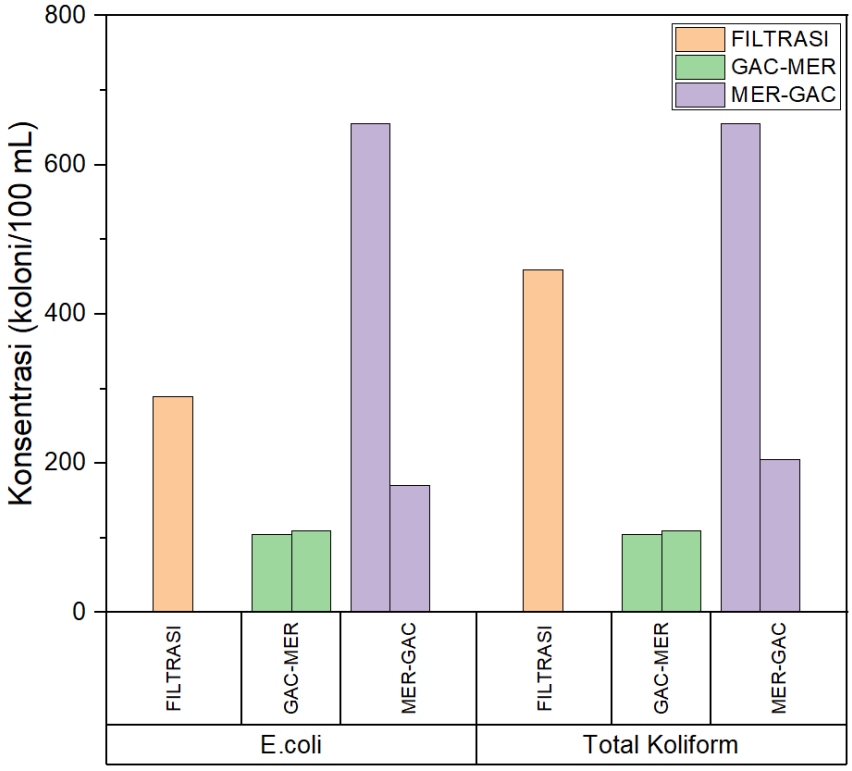
No	Rencana Penelitian	2024					
		Agst	**Sept**	**Okt**	**Nov**	**Des**	**Jan**
1	*Literature Review*						
2	Penyusunan Proposal Riset						
3	Feasibility Study						
4	Survey lokasi dan persiapan reartor MER						
5	Analisis kualitas air						
6	Analisis proses elektrodisinfeksi						
7	Analisis dan Pembahasan						
8	Laporan						

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Kemampuan MER sebagai Elektro-disinfeksi

Teknologi MER yang dilengkapi dengan proses elektrokimia, memiliki potensi sebagai agen disinfeksi dalam menonaktifkan bakteri pathogen di dalam air (Ghernaout *et al*., 2022). Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan uji tambahan untuk mengetahui kemampuan MER-GAC sebagai agen electro-disinfection. Sampel air berasal dari efluen filtrasi sebelum ditambahkan khlorin. Diperoleh hasil bahwa kombinasi MER-GAC mampu menurunkan konsentrasi bakteri pathogen yang diukur sebagai E.coli dan Total Koliform seperti pada Gambar 6.5. MER-GAC mampu menyisihkan E.Coli dan Total Coliform lebih dari 50% penyisihan. Meskipun hasilnya belum mencapai 100% penyisihan, hasil ini dapat menjadi pertimbangan bagi penggunaan dosis khlorin pada proses disinfeksi di dalam pengolahan air minum. Jika MER-GAC digunakan untuk menurunkan kadar prekursor sekaligus berperan sebagai elektro-disinfeksi, maka pembentukan senyawa THM dapat ikut diminimalisir.



Gambar 1 Analisis Potensi MER sebagai Elektro-disinfeksi

Untuk menghilangkan virus di dalam air, membrane elektrokimia membutuhkan kombinasi retensi fisik dan reaksi elektrokimia. Membran berlistrik anodik mampu menghilangkan virus dengan menyerap virus bermuatan negatif secara elektrik ke permukaan membran selama filtrasi. Proses ini ditingkatkan oleh elektro-oksidasi, yang menghasilkan tekanan oksidatif yang mendemobilisasi virus. Oksidan reaktif yang dihasilkan dalam proses tersebut mencegah penyebaran virus dan memastikan air aman. Efisiensi penyisihan virus dalam filtrasi membrane elektrokimia dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti bahan membran, tegangan yang diberikan, dan sifat kimia air (Ghernaout et al, 2022). Secara keseluruhan, filtrasi pada membrane elektrokimia menunjukkan efisiensi serupa untuk disinfeksi virus dan bakteri, menjadikannya teknologi yang menjanjikan untuk pengolahan air dan penghilangan virus.

4.2 Biaya Penelitian

Biaya pelaksanaan penelitian sebesar Rp 3.000.000,- sebagaimana terlampir.

Tabel 2. Biaya pelaksanaan penelitian

NO	KETERANGAN	SATUAN	JUMLAH
1	Analisis sampel	Rp 250,000	Rp 2,500,000
2	Honorarium		
	a. Peneliti	1 org x Rp 200,000	Rp 200,000
	b. Asisten	1 org x Rp 100,000	Rp 100,000
3	Laporan Penelitian		Rp 200,000
TOTAL			**Rp 3,000,000**

BAB V

KESIMPULAN

MER juga memiliki potensi sebagai agen disinfeksi karena mempu menyisihkan mikroorganisme pathogen di dalam air sedikitnya 50%. Meskipun penelitian ini masih sangat dini sehingga perlu dikaji lebih lanjut dengan berbagai parameter yang dapat berpengaruh pada proses elektrodisinfeksi.

Referensi:

[1] Chaves, R. S., Guerreiro, C. S., Cardoso, V. V., Benoliel, M. J., & Santos, M. M. (2020). Toxicological assessment of seven unregulated drinking water Disinfection By-products (DBPs) using the zebrafish embryo bioassay. Science of the Total Environment, 742, 140522. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140522

[2] Ghasemian, S., Asadishad, B., Omanovic, S., Tufenkji, N., 2017. Electrochemical disinfection of bacteria-laden water using antimony-doped tin-tungsten-oxide electrodes. Water Res. 126, 299-307.

[3] Gonzalez-Rivas, N., Reyes-Perez, H., Barrera-Diaz, C.E., 2019. Recent advances in water and wastewater electrodisinfection. Chemelectrochem 6, 1978-1983.

[4] Guo, Z.-B., Lin, Y.-L., Xu, B., Hu, C.-Y., Huang, H., Zhang, T.-Y., et al. (2016). Factors affecting THM, HAN, and HNM formation during UV-chlor(am)ination of drinking water. Chemical Engineering Journal, 306, 1180-1188. https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.08.051.

[5] Li, Z., Wang, X., Li, X.Y., Guo, S.Y., Li, S.S., Chen, B.P., et al., 2023. Optimization of electrolysis process, storage conditions and sterilization effect of slightly acidic electrolytic water prepared by titanium suboxide electrode. J. Environ. Chem. Eng. 11.

[6] Li, Z., Li, X., Li, S., Yang, Y., Yan, W., Xu, H., 2023. Bibliometric analysis of electrochemical disinfection: current status and development trend from 2002 to 2022. Environ. Sci. Pollut. Res. 1-18.

[7] Hand, S., Cusick, R.D., 2021. Electrochemical disinfection in water and wastewater treatment: identifying impacts of water quality and operating conditions on performance. Environ. Sci. Technol. 55, 3470-3482.

[8] Srivastav, A. L., Patel, N., & Chaudhary, V. K. (2020). Disinfection by-products in drinking water: Occurrence, toxicity and abatement. Environmental Pollution, 267, 115474. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115474