

## Water Purification Mechanism Using Appropriate Technology Reverse Osmosis, Ozonation, UV (Ultraviolet) Sterilization

### Mekanisme Penjernihan Air Menggunakan Teknologi Tepat Guna Reverse Osmosis, Ozonasi, UV (Ultraviolet) Sterilisasi

Zilfiyatul Makida<sup>1\*</sup>, Sudarti<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Universitas Jember, Jember, Indonesia,  
\*surel: [zilfiatulmakida@gmail.com](mailto:zilfiatulmakida@gmail.com)

#### ABSTRACT

Global problems related to scarcity of clean water and water pollution have created an urgent need for effective solutions. Rapid urbanization and inexorable population growth have exacerbated this situation, increasing demand for clean water while decreasing its availability. In responding to this challenge, desalination technologies such as reverse osmosis (RO) and membrane processes have been considered as promising solutions although they are still faced with technological obstacles and large capital investments. In addition, concerns about water pollution by organic pollutants and bacteria have encouraged the development of effective wastewater treatment methods, including the use of conventional ozonation with membrane contactors and UV light. This research aims to explore new approaches to water treatment, including the use of membrane technology, conventional ozonation, and innovative disinfection methods such as UV light, with the hope of contributing to solving global problems related to clean water and water pollution. Through a series of comprehensive methodological steps, this research highlights the potential of these technologies to improve water quality and reduce contamination in a variety of application contexts.

#### Keywords:

Reverse Osmosis,  
Ozonation,  
Ultraviolet Sterelization

Received: January 3<sup>rd</sup> 2025  
Reviewed: January 18<sup>th</sup> 2025  
Published: February 28<sup>th</sup> 2025

#### ABSTRAK

Permasalahan global terkait kelangkaan air bersih dan pencemaran air telah menimbulkan kebutuhan mendesak akan solusi yang efektif. Urbanisasi yang pesat dan pertumbuhan populasi yang tak terhindarkan telah memperparah situasi ini, meningkatkan permintaan akan air bersih sementara menurunkan ketersediaannya. Dalam menjawab tantangan ini, teknologi desalinasi seperti reverse osmosis (RO) dan proses membran telah dianggap sebagai solusi yang menjanjikan meskipun masih dihadapkan pada hambatan teknologi dan investasi modal yang besar. Selain itu, kekhawatiran terhadap pencemaran air oleh polutan organik dan bakteri mendorong pengembangan metode pengolahan air limbah yang efektif, termasuk penggunaan ozonasi konvensional dengan kontakor membran dan sinar UV. Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi pendekatan baru dalam pengolahan air, termasuk penggunaan teknologi membran, ozonasi konvensional, dan metode disinfeksi inovatif seperti sinar UV, dengan harapan dapat memberikan kontribusi dalam memecahkan masalah global terkait air bersih dan pencemaran air. Melalui serangkaian langkah metodologis yang komprehensif, penelitian ini menyoroti potensi teknologi-teknologi tersebut dalam meningkatkan kualitas air dan mengurangi kontaminasi dalam berbagai konteks aplikasi.

#### Kata Kunci:

Reverse Osmosis,  
Ozonasi,  
Ultraviolet Sterelisasi

Diterima: 3 Januari 2025  
Direview: 18 Januari 2025  
Dipublikasi: 28 Februari 2025



## PENDAHULUAN

Pencemaran air oleh polutan organik dan ancaman terhadap lingkungan serta kesehatan manusia menjadi fokus perhatian, memerlukan metode pengolahan air limbah yang efektif. Namun, perhatian terhadap penggunaan bahan limbah pertanian dalam biosorpsi masih terbatas. Peningkatan permintaan akan air berkualitas tinggi dan sumber daya air yang terbatas mendorong perlunya metode pemurnian air yang inovatif dan berkelanjutan. Reverse osmosis (RO) adalah teknologi utama dalam hal ini, digunakan secara luas dalam produksi air minum murni dari berbagai sumber air, termasuk air laut dan air tanah asin, serta dalam berbagai industri seperti susu, farmasi, tekstil, dan pewarnaan. Permintaan global akan air bersih semakin meningkat, mendorong pengembangan teknologi pengolahan air yang efektif, seperti proses membran, terutama reverse osmosis (RO). Kebanyakan teknologi saat ini menggunakan proses reverse osmosis (RO) untuk mengolah air dan dianggap sebagai salah satu teknologi penjernihan air yang paling menjanjikan [1].

Selain reverse osmosis (RO) dalam konteks ini, ozonasi konvensional dengan menggunakan kontakor membran menawarkan potensi untuk mengatasi masalah utama pada ozonasi konvensional, meskipun biaya operasional yang tinggi. Penggunaan teknologi mikrobubble sebagai pengantar ozon diharapkan dapat meningkatkan efisiensi transfer massa dan penghilangan kontaminan. Namun, pengembangan dan optimisasi proses ozonasi konvensional masih terbatas. Masalah dari kebersihan air juga dapat dilihat pada masa covid-19. Dampak lingkungan dari pandemi COVID-19, terutama berkaitan dengan polusi air dan potensi penularan SARS-CoV-2 melalui air minum. Pentingnya pengembangan teknologi pengolahan air limbah lanjutan untuk mengatasi masalah kontaminan baru yang muncul, seperti senyawa berbahaya (CECs) dan mikroorganisme patogen. Proses Oksidasi Lanjutan (AOPs), khususnya fotokatalisis menggunakan katalis  $g-C_3N_4$ , yang diharapkan dapat menghilangkan kontaminan kimia dan biologis dalam air limbah [2]. AOPs adalah serangkaian proses kimia yang melibatkan pembentukan spesies oksidatif yang sangat reaktif untuk menghilangkan kontaminan baik kimia maupun biologis dalam air limbah. Ini mencakup penggunaan reaktan oksidatif seperti ozon, hidrogen peroksida, atau proses fotokimia dengan katalisis yang memungkinkan. Ozonasi merupakan salah satu dari banyak langkah yang tercakup dalam Proses Oksidasi Lanjutan (AOPs). Ozonasi adalah proses di mana ozon ( $O_3$ ) diperkenalkan ke dalam air limbah untuk menghilangkan kontaminan. Ozon adalah oksidator yang sangat kuat dan dapat mengoksidasi senyawa organik, zat berbahaya, dan mikroorganisme patogen dalam air limbah [3], [4].

Artikel ini bertujuan untuk mengeksplorasi dan mengembangkan pendekatan baru dalam pengolahan air, termasuk penggunaan teknologi membran, ozonasi konvensional dengan kontakor membran, dan disinfeksi inovatif seperti sinar UV. Dengan pemahaman yang lebih baik tentang proses-proses ini, diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam memecahkan masalah global terkait kelangkaan air bersih dan kontaminasi air [5].

## METODOLOGI

Metode penulisan artikel ini didasarkan pada pendekatan yang mengutamakan penggunaan literatur jurnal yang diolah menjadi mapping jurnal sebagai sumber utama data dan informasi untuk mendukung setiap tahapan penelitian. Proses dimulai dengan identifikasi topik penelitian yang relevan, yang diikuti oleh langkah penting untuk memastikan ketersediaan literatur jurnal yang memadai terkait dengan topik tersebut. Tahap berikutnya melibatkan pencarian literatur jurnal melalui berbagai sumber, termasuk basis data akademis, perpustakaan digital, dan katalog jurnal, google scholar dengan tujuan untuk mengumpulkan informasi yang terkini dan beragam. Setelah literatur jurnal yang relevan teridentifikasi, seleksi dilakukan dengan menggunakan kriteria kualitas, kebaruan, dan relevansi. Artikel-artikel yang terpilih kemudian dianalisis secara menyeluruh, dengan memerhatikan metodologi penelitian yang digunakan, temuan yang dihasilkan, teori yang diacu, dan relevansinya terhadap topik penelitian yang sedang dijalankan. Informasi yang diperoleh dari literatur jurnal yang telah dianalisis kemudian disintesis untuk membentuk kerangka konseptual

atau teoretis yang kokoh, yang menjadi landasan bagi pengembangan pertanyaan penelitian, hipotesis, atau tujuan penelitian yang lebih jelas. Sebagai langkah penting berikutnya, literatur jurnal dievaluasi secara kritis untuk mengidentifikasi kelemahan, kekuatan, dan relevansinya, dengan tujuan memastikan validitas dan reliabilitas dari penelitian yang dilakukan. Temuan dari literatur jurnal kemudian digunakan sebagai dasar untuk merancang dan melaksanakan penelitian yang sesuai, dengan peneliti dapat mengadopsi metodologi yang telah teruji, menguji hipotesis yang muncul dari literatur, atau mengisi kekosongan pengetahuan yang ditemukan. Akhirnya, hasil penelitian didokumentasikan secara rinci dalam laporan penelitian yang kemudian dapat dipublikasikan dalam bentuk artikel ilmiah, tujuannya adalah untuk berbagi pengetahuan dan kontribusi baru dalam bidang studi yang bersangkutan, serta memberikan sumbangan yang berarti terhadap perkembangan ilmu pengetahuan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Mekanisme penjernihan dalam air melibatkan serangkaian proses mulai dari ekstraksi garam, penghambatan pembentukan kristal, penurunan salinitas, hingga penggunaan teknologi canggih seperti reverse osmosis untuk mencapai hasil air yang bersih dan layak konsumsi dengan efisiensi yang maksimal [6]. Pada suhu ekstraksi yang lebih rendah, ditemukan bahwa persentase garam yang terekstraksi meningkat. Ini menandakan bahwa suhu rendah meningkatkan efisiensi dalam proses ekstraksi garam dari larutan. Meskipun terjadi peningkatan ekstraksi garam pada suhu rendah, pengamatan juga menunjukkan bahwa pembentukan kristal dan proses nukleasi terhambat. Hal ini mengakibatkan penurunan laju filtrasi dan mengurangi kualitas air produk yang dihasilkan melalui siklus penyulingan. Proses desalinasi ekstraksi etanol terbukti sangat efisien dalam mereduksi konsentrasi ion tertentu, seperti kalsium, sulfat, dan magnesium. Ini menunjukkan bahwa proses ini memiliki potensi besar untuk penjernihan air dalam skala yang lebih besar. Penjernihan air menggunakan reverse osmosis (RO) adalah proses pemurnian air yang menggunakan tekanan untuk memaksa air melalui membran semi-permeabel untuk memisahkan zat-zat terlarut dan partikel-partikel lain dari air [7]. Membran RO memiliki pori-pori sangat kecil yang hanya memungkinkan molekul air untuk melewati, sementara zat terlarut yang lebih besar terperangkap dan dihilangkan. Hasilnya adalah air yang lebih bersih dan bebas dari kontaminan. Proses ini sangat efektif untuk menghasilkan air minum yang aman dan berkualitas tinggi, serta digunakan dalam berbagai aplikasi lain termasuk pengolahan air limbah dan produksi air demineralisasi. Metode pengolahan air produksi menggunakan reverse osmosis (RO) mengungkapkan bahwa biaya energi listrik yang diperlukan jauh lebih rendah, sekitar 11,69 kali lebih murah dibandingkan dengan proses Multiple-Effect Vapour Compression (MVC). Ini menandakan bahwa RO adalah pilihan yang efisien secara energi dalam memurnikan air [8].

Penggunaan teknologi Ultrafiltrasi dan Reverse Osmosis secara bersama-sama dapat memberikan solusi yang komprehensif dalam proses penjernihan air yang dapat memastikan bahwa air yang dihasilkan memenuhi standar kualitas yang diinginkan. Mekanisme penjernihan air dengan menggunakan sistem Ultrafiltrasi (HU) yang dipengaruhi oleh Variasi Faktor Retensi Volume (VRF) dan konsentrasi  $\text{NH}_3$  yang berkaitan dengan penggunaan teknologi Reverse Osmosis (RO). Ultrafiltrasi maupun Reverse Osmosis memiliki kemampuan untuk menghilangkan kontaminan organik dan mikroorganisme dari air. Dalam Ultrafiltrasi, peningkatan VRF dan konsentrasi  $\text{NH}_3$  mengurangi biofouling dan pengotoran organik dengan menghambat pertumbuhan mikroorganisme [9]. Di sisi lain, dalam Reverse Osmosis, membran semi-permeabelnya juga mampu menghalangi zat terlarut, mikroorganisme, dan partikel-partikel lain, sehingga membantu menghasilkan air yang lebih bersih. Pengurangan produksi Ekstraseluler Polimer Substansi (EPS) oleh mikroorganisme, seperti yang terjadi dalam Ultrafiltrasi, juga dapat memberikan manfaat dalam pengurangan pengotoran organik secara keseluruhan. Hal ini juga relevan dalam konteks Reverse Osmosis, di mana pengurangan EPS dan kontaminan organik dapat mengurangi risiko penumpukan dan pencemaran pada membran RO, sehingga memperpanjang masa pakai dan meningkatkan efisiensi operasionalnya. Kedua teknologi, baik Ultrafiltrasi maupun Reverse Osmosis, bekerja secara bersinergi dalam menghasilkan air yang bersih dan aman untuk digunakan [10]. Dengan mengurangi kontaminan organik, mikroorganisme, dan

partikel lainnya, Ultrafiltrasi membantu melindungi membran RO dari kerusakan dan penurunan kinerja akibat biofouling dan pengotoran organik. Sebaliknya, Reverse Osmosis memberikan tahap akhir dalam proses penjernihan air dengan menghilangkan zat terlarut dan partikel yang tersisa, sehingga menghasilkan air yang sangat murni dan layak konsumsi.

Pencemaran air oleh partikulat organik, senyawa besi (Fe), dan mangan (Mn) merupakan permasalahan umum dalam kualitas air [11]. Senyawa-senyawa ini dapat berasal dari limbah domestik dan industri serta dapat menyebabkan kerusakan ekosistem air. Biofouling, yaitu penumpukan mikroorganisme pada permukaan membran, merupakan tantangan utama dalam sistem penjernihan air. Ini dapat mengurangi efisiensi penyaringan dan menyebabkan penurunan kualitas air yang dihasilkan. Nutrisi seperti karbon (C), nitrogen (N), dan fosfor (P) juga menjadi perhatian karena mereka dapat menjadi sumber nutrisi bagi mikroorganisme yang menyebabkan biofouling. Kontaminasi air oleh patogen, termasuk virus seperti SARS-CoV-2, merupakan ancaman serius terhadap kesehatan masyarakat. Penularan penyakit melalui air dapat terjadi jika tidak dilakukan penjernihan air yang efektif. Kontaminan anorganik seperti silika juga dapat menjadi masalah dalam penjernihan air, terutama dalam sistem yang menggunakan membran sebagai penyaring. Ultrafiltrasi merupakan teknologi yang efektif dalam menghilangkan partikulat organik dan mikroorganisme dari air. Ketika digabungkan dengan Biologically-Enhanced Dissolved Air Flotation (BODAC), proses ini dapat menghilangkan lebih banyak kontaminan dan nutrisi. Penggunaan elektroda bipolar dalam proses penjernihan air dapat meningkatkan efisiensi penghilangan silika. Ini karena area permukaan yang lebih besar dan potensi oksidasi-reduksi yang lebih baik [12]. Perlakuan termal pada karbon Reverse Osmosis (RO) dapat meningkatkan kemampuan adsorpsi karbon terhadap zat pewarna dan kontaminan organik lainnya. pH larutan juga berpengaruh pada efisiensi penghilangan silika. pH netral (6-7) biasanya memberikan hasil terbaik dalam mengurangi kandungan silika dalam air. Penggunaan Ultrafiltrasi (UF) dapat menjadi tahap pra-perawatan sebelum Reverse Osmosis (RO) untuk menghilangkan kontaminan organik yang dapat menyebabkan biofouling pada membran RO. Selain itu, perlakuan termal pada karbon RO dapat meningkatkan kemampuan adsorpsi karbon terhadap zat pewarna dan kontaminan organik lainnya, sehingga meningkatkan efisiensi proses penjernihan air secara keseluruhan. Dalam mengatasi permasalahan air, penting untuk menggunakan pendekatan yang terintegrasi dan menggunakan berbagai teknologi yang tersedia secara efektif. Dengan kombinasi teknologi yang tepat dan pemahaman mendalam tentang mekanisme penjernihan air, dapat diharapkan hasil yang lebih baik dalam penyediaan air bersih dan aman bagi masyarakat [13].

Air limbah sekunder mungkin mengandung berbagai kontaminan kimia, seperti senyawa organik yang berasal dari limbah industri atau domestik. Kontaminan ini dapat menyebabkan pencemaran lingkungan dan membahayakan kesehatan manusia serta ekosistem perairan. Air limbah juga dapat mengandung patogen seperti bakteri *E. coli* dan virus JC. Kehadiran patogen ini dapat menyebabkan penyakit dan mengancam kesehatan masyarakat jika tidak dihilangkan dengan efektif. Mekanisme penjernihan air dalam kasus tersebut melibatkan kombinasi ozonasi fotokatalitik dengan penggunaan katalis karbon nitrida grafitik yang dieksfoliasi (36MCN). Berikut adalah beberapa langkah utama dalam mekanisme penjernihan air tersebut adalah katalis 36MCN meningkatkan produksi radikal dan reaksi heterojunction. Radikal yang dihasilkan, seperti radikal hidroksil ( $\cdot\text{OH}$ ), sangat reaktif terhadap kontaminan organik dan patogen dalam air limbah. Kombinasi ozonasi dengan fotokatalisis menggunakan katalis 36MCN meningkatkan kinerja penghilangan kontaminan kimia [14]. Proses ini melibatkan reaksi antara ozon ( $\text{O}_3$ ) dan radikal yang dihasilkan oleh katalis, yang mengoksidasi dan menguraikan kontaminan menjadi senyawa yang lebih aman atau mudah dihilangkan. Katalis 36MCN memiliki gap energi yang lebih rendah, yang meningkatkan efek kuantum dalam proses fotokatalisis. Hal ini berarti bahwa katalis lebih efisien dalam menyerap energi cahaya matahari dan menghasilkan reaksi fotokimia untuk menghilangkan kontaminan. Kombinasi ozonasi fotokatalitik juga meningkatkan efektivitas dalam menghilangkan patogen seperti *E. coli* dan virus JC. Radikal  $\cdot\text{OH}$  yang dihasilkan membantu mematikan dan menghilangkan mikroorganisme patogen, menjadikan proses ini efektif dalam disinfeksi air limbah. Melalui mekanisme ini, ozonasi fotokatalitik dengan katalis 36MCN dapat menjadi solusi yang efektif untuk mengatasi permasalahan kontaminan kimia dan patogen dalam air

limbah sekunder. Proses ini dapat menghasilkan air yang lebih bersih dan aman untuk digunakan kembali atau dilepaskan ke lingkungan dengan risiko pencemaran yang minimal [15].

Kehadiran DOM dan senyawa-senyawa berbahaya seperti CECs (Contaminants of Emerging Concern) dapat mengancam kualitas air dan kesehatan manusia jika tidak dihilangkan secara efektif. DOM, yang sering kali berasal dari limbah industri atau domestik, dapat menyebabkan pencemaran air dan merusak ekosistem perairan. CECs, termasuk senyawa-senyawa farmasi, hormon, dan bahan kimia lainnya, memiliki potensi bahaya terhadap kesehatan manusia dan lingkungan. Kehadiran CECs dalam air minum atau air limbah dapat menyebabkan dampak negatif jangka panjang, termasuk peningkatan risiko kanker, gangguan hormonal, dan resistensi antibiotik. Mekanisme penjernihan air dalam kasus ini melibatkan beberapa langkah utama, termasuk proses ozonasi digunakan untuk mengoksidasi dan menguraikan bahan organik tersolusi (DOM) dan CECs menjadi senyawa yang lebih mudah dihilangkan atau kurang berbahaya. Oksigen aktif ( $O_3$ ) yang dihasilkan oleh ozonasi berperan dalam menghancurkan struktur kimia kontaminan. Karbon aktif digunakan sebagai adsorben untuk menyerap dan menghilangkan kontaminan yang telah dioksidasi oleh ozonasi. Proses adsorpsi ini efektif dalam menangkap molekul-molekul organik yang tersisa dalam air. Kombinasi ozonasi dan adsorpsi meningkatkan efisiensi penghilangan DOM dan CECs. Ozonasi membantu mengoksidasi dan mengurai kontaminan organik, sementara adsorpsi menggunakan karbon aktif membantu menangkap dan menghilangkan senyawa-senyawa yang telah dioksidasi. Pentingnya mempertimbangkan sifat-sifat kimia dari CECs dalam desain perlakuan air [16]. Beberapa CECs mudah dioksidasi oleh ozonasi, sementara yang lain lebih sulit dioksidasi. Penggunaan karbon aktif sebagai adsorben dapat bervariasi tergantung pada sifat-sifat kimia dari CECs yang ada. Melalui kombinasi langkah-langkah tersebut, proses penjernihan air dapat efektif mengurangi kandungan DOM dan CECs dalam air limbah sekunder, sehingga menghasilkan air yang lebih bersih dan aman untuk digunakan atau dilepaskan ke lingkungan dengan risiko pencemaran yang minimal. Langkah-langkah ini juga mempertimbangkan pentingnya penggunaan parameter pengganti bahan organik, seperti absorbansi pada 254 nm dan fluoresensi total, untuk memantau dan mengevaluasi efisiensi penghilangan CECs secara keseluruhan.

Kehadiran mecoprop dan metaldehyde dalam air menunjukkan adanya pencemaran pestisida yang dapat membahayakan lingkungan dan kesehatan manusia. Pestisida ini dapat memiliki efek toksik pada organisme air dan dapat mencemari sumber air yang digunakan untuk konsumsi manusia. Metaldehyde terutama sulit terdegradasi oleh ozon, sementara mecoprop terdegradasi lebih cepat. Degradasi yang lambat dari metaldehyde meningkatkan risiko akumulasi dalam lingkungan dan potensi efek negatif jangka panjang. Kehadiran mecoprop dan metaldehyde dalam air dapat diatasi melalui mekanisme penjernihan air melalui proses ozonasi digunakan untuk mengoksidasi dan menguraikan pestisida mecoprop dan metaldehyde. Ozon ( $O_3$ ) berperan dalam membentuk radikal hidroksil ( $OH\cdot$ ), yang sangat reaktif dan efektif dalam menguraikan senyawa organik kompleks seperti pestisida. Selain itu dapat menggunakan sistem mikrobubble. Penggunaan sistem mikrobubble meningkatkan efisiensi penghilangan pestisida dibandingkan dengan sistem konvensional. Mikrobubble meningkatkan efek oksidatif ozon dengan meningkatkan kontak antara ozon dan air, sehingga meningkatkan pembentukan radikal hidroksil dan efektivitas penguraian senyawa organik. Langkah berikutnya adalah peningkatan pH. Peningkatan pH air meningkatkan laju pembentukan radikal hidroksil, yang mengarah pada peningkatan efisiensi penghilangan pestisida. Pada pH yang lebih tinggi, terjadi pembentukan radikal hidroksil yang lebih banyak, yang kemudian meningkatkan reaksi oksidasi terhadap pestisida. Dan yang terakhir adalah melalui konstanta laju. Konstanta laju pseudo-orde pertama digunakan untuk mengukur kecepatan reaksi ozonasi dalam menguraikan pestisida. Penelitian menunjukkan bahwa sistem mikrobubble memiliki konstanta laju yang lebih tinggi daripada sistem konvensional, menunjukkan efektivitas yang lebih besar dalam penghilangan pestisida. Melalui kombinasi langkah-langkah tersebut, proses penjernihan air dapat berhasil mengurangi konsentrasi pestisida mecoprop dan metaldehyde dalam air limbah, sehingga menghasilkan air yang lebih bersih dan aman untuk digunakan atau dilepaskan ke lingkungan. Langkah-langkah ini juga menggarisbawahi pentingnya teknologi inovatif seperti ozonasi mikrobubble dalam meningkatkan efisiensi penghilangan pestisida dari air limbah [17].

Proses ozonasi dalam penjernihan air seringkali menghasilkan senyawa samping berbahaya seperti bromat, terutama jika kadar bromida dalam air tinggi. Pengurangan pembentukan bromat

selama proses ozonasi menjadi fokus penelitian yang penting. Selain itu, penghilangan pestisida dari air limbah, terutama dalam air limbah yang didaur ulang, merupakan tantangan besar karena pestisida memiliki ketahanan tinggi terhadap proses pengolahan biasa, dan pembentukan produk transformasi (TPs) juga perlu diperhatikan. Dalam konteks penjernihan air, degradasi Metil Biru (MB) merupakan permasalahan utama yang memerlukan pemahaman mendalam terhadap faktor-faktor yang memengaruhi reaksi, seperti suhu, pH, dan dosis katalis. Proses ozonasi digunakan untuk mengoksidasi senyawa organik dan pestisida, tetapi membutuhkan waktu yang lebih lama untuk air limbah dengan matriks kompleks, seperti air limbah yang didaur ulang (RWW). Kombinasi ozonasi dengan perlakuan bioremediasi jamur diusulkan sebagai metode yang lebih efisien untuk penghilangan kontaminan, dengan tujuan mengurangi pembentukan produk transformasi (TPs) yang berbahaya. Katalis yang dimodifikasi, seperti ATP, digunakan untuk mempercepat degradasi senyawa pencemar seperti MB. Pengaruh faktor-faktor seperti aliran ozon, suhu reaksi, dosis katalis, dan pH larutan dipelajari untuk optimalisasi efisiensi degradasi senyawa pencemar. Model kinetika reaksi dikembangkan untuk memprediksi perubahan konsentrasi senyawa pencemar selama proses degradasi menggunakan katalis yang dimodifikasi.

Keberadaan *E. coli* K12 MG1655 menunjukkan potensi kontaminasi air yang dapat membahayakan kesehatan manusia. *E. coli* adalah bakteri patogen yang dapat menyebabkan penyakit perut, diare, dan infeksi lainnya jika dikonsumsi melalui air yang terkontaminasi. Deteksi *E. coli* K12 MG1655 menandakan adanya masalah dengan kualitas air, terutama jika air tersebut digunakan untuk konsumsi manusia atau keperluan sanitasi. Kehadirannya menunjukkan adanya pencemaran organik atau fecal dalam sumber air. Untuk dapat tetap menjaga kebersihan pada air, maka perlu dilakukan mekanisme penjernihan air. Yaitu pada paparan UV-A pada dosis tertentu tidak signifikan dalam mengurangi kelangsungan hidup *E. coli* K12 MG1655. Namun, dosis UV-A yang tinggi menyebabkan penurunan eksponensial dalam jumlah sel, bahkan hingga seluruhnya mati. UV-A sendiri tidak cukup efektif dalam menginaktivasi bakteri, tetapi paparan UV-A sebelum UV-C dapat meningkatkan efektivitas UV-C dalam menginaktivasi bakteri. Paparan UV-C secara mandiri memiliki efek yang lebih signifikan dalam menginaktivasi *E. coli* K12 MG1655. UV-C bekerja dengan cara merusak DNA bakteri sehingga mereka tidak dapat berkembang biak atau bertahan hidup. Efek Sinergis UV-A dan UV-C menunjukkan bahwa UV-A dan UV-C memiliki efek sinergis dalam menginaktivasi bakteri. Paparan UV-A sebelum UV-C meningkatkan efisiensi UV-C dalam menginaktivasi *E. coli* K12 MG1655. Hal ini disebabkan oleh adanya interaksi antara UV-A dan UV-C yang meningkatkan kerusakan DNA bakteri. Sel yang terpapar UV-A sebelum UV-C tetap rusak bahkan setelah 24 jam, menunjukkan bahwa kombinasi penggunaan UV-A dan UV-C memiliki potensi untuk meningkatkan efektivitas disinfeksi dan mencegah pemulihan bakteri. Melalui mekanisme ini, sistem penjernihan air menggunakan paparan UV-A dan UV-C dapat berhasil mengurangi atau menghilangkan bakteri *E. coli* K12 MG1655 dari sumber air, sehingga meningkatkan kualitas dan keselamatan air yang digunakan oleh masyarakat [18].

Penjernihan air dengan sinar ultraviolet (UV) adalah salah satu teknik yang dipakai untuk menghilangkan bahan pencemar organik dalam air, termasuk minyak dan senyawa organik lainnya. Sinar UV digunakan untuk memicu reaksi fotokimia yang dapat memecah dan mengoksidasi bahan pencemar organik, sehingga meninggalkan air yang lebih murni dan bersih. Kehadiran bakteri seperti *S. epidermidis* dalam air dapat menyebabkan risiko kesehatan bagi masyarakat yang menggunakan air tersebut untuk konsumsi atau kontak langsung dengan kulit. Deteksi jumlah bakteri yang tinggi menunjukkan adanya pencemaran mikroba dalam sumber air. Hal ini dapat mengurangi kualitas air dan membuatnya tidak aman untuk digunakan. Untuk dapat menjaga kualitas air dapat dilakukan mekanisme air seperti berikut. Paparan far-UV-C secara signifikan mengurangi jumlah bakteri yang menempel pada polistiren. Far-UV-C bekerja dengan merusak DNA bakteri, menghentikan kemampuan mereka untuk berkembang biak dan bertahan hidup. Far-UV-C lebih efektif terhadap *E. coli* daripada *S. epidermidis* pada tingkat intensitas radiasi tertentu. Ini mungkin disebabkan oleh

perbedaan dalam struktur dan sensitivitas genetik antara kedua jenis bakteri. Perlakuan Kimia dengan Klorin Bebas. Perlakuan kimia menggunakan klorin bebas juga efisien dalam mengurangi jumlah bakteri, terutama terhadap *S. epidermidis*. Klorin bebas bekerja dengan cara merusak membran sel bakteri dan mengganggu fungsi seluler. Sinergi Antara Perlakuan, kombinasi far-UV-C dengan pembersihan mekanis dan klorin bebas menunjukkan efek sinergis dalam mengurangi kontaminasi bakteri. Penggunaan kombinasi perlakuan ini dapat meningkatkan efektivitas penjernihan air secara keseluruhan. Perlakuan ganda atau tiga komponen, yang melibatkan kombinasi dari perlakuan fisik, kimia, dan radiasi UV, terbukti lebih efektif dalam mengurangi kontaminasi mikroba dibandingkan dengan perlakuan tunggal. Ini menunjukkan bahwa pendekatan yang holistik dalam penjernihan air dapat memberikan hasil yang lebih baik. Melalui mekanisme ini, sistem penjernihan air menggunakan kombinasi far-UV-C, perlakuan kimia, dan perlakuan mekanis dapat berhasil mengurangi atau menghilangkan bakteri *E. coli* dan *S. epidermidis* dari sumber air, sehingga meningkatkan kualitas dan keselamatan air yang digunakan oleh masyarakat [19].

## KESIMPULAN

Artikel ini menyoroti beragam mekanisme penjernihan air yang melibatkan teknologi canggih seperti ozonasi, ultrafiltrasi, dan reverse osmosis untuk mengatasi kontaminasi air oleh berbagai zat organik, patogen, dan pestisida. Melalui eksperimen yang cermat, ditemukan bahwa kombinasi perlakuan fisik, kimia, dan radiasi UV memberikan hasil yang lebih efektif dalam mengurangi kontaminasi mikroba, termasuk *E. coli* dan *S. epidermidis*, dibandingkan dengan perlakuan tunggal. Sinergi antara berbagai teknologi seperti far-UV-C, klorin bebas, dan reverse osmosis juga terbukti meningkatkan efisiensi penjernihan air. Hasilnya menunjukkan bahwa penggunaan kombinasi teknologi ini dapat memberikan solusi yang komprehensif dalam memastikan air yang dihasilkan memenuhi standar kualitas yang diinginkan, dengan biaya energi yang lebih rendah dibandingkan dengan metode konvensional seperti Multiple-Effect Vapour Compression (MVC). Kesimpulannya, pendekatan terintegrasi dalam penjernihan air, yang menggabungkan berbagai teknologi dengan mempertimbangkan sifat-sifat kontaminan yang berbeda, memiliki potensi untuk memberikan air bersih dan aman bagi masyarakat dengan risiko pencemaran minimal.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkah, rahmat, dan juga petunjuk yang telah diberikan dalam penyelesaian penulisan artikel ini yang berjudul Mekanisme Penjernihan Air Menggunakan Teknologi Tepat Guna Reverse Osmosis, Ozonasi dan UV (Ultraviolet) Sterelisasi. Selesaiannya penulisan artikel ini, bukanlah akhir dari segalanya, melainkan awal dari perjalanan baru dalam dunia pendidikan. Penulis menyadari bahwa banyak individu yang berjasa dalam penyelesaian artikel ini. Oleh sebab itu, penulis sampaikan ucapan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam proses penyelesaian penulisan artikel ini. Meskipun, artikel ini masih memiliki kekurangan, penulis mengharapkan saran, kritik, dan masukan yang konstruktif untuk memperbaiki dan menyempurnakannya. Meskipun banyak rintangan, penulisan artikel ini dibuat dengan usaha semaksimal mungkin.

## REFERENSI

- [1] S. Ajith, F. Almomani, and H. Qiblawey, "Emerging 2D MXene-based polymeric membranes for water treatment and desalination," *J Environ Chem Eng*, vol. 12, no. 2, p. 112078, Apr. 2024, doi: [10.1016/J.JECE.2024.112078](https://doi.org/10.1016/J.JECE.2024.112078).
- [2] E. Beltrán-Flores, P. Blánquez, A. M. Gorito, M. Sarrà, and A. M. T. Silva, "Combining fungal bioremediation and ozonation for rinse wastewater treatment," *Science of The Total Environment*, vol. 912, p. 169198, Feb. 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.169198>.
- [3] A. Cala, A. Maturana-Córdoba, and J. Soto-Verjel, "Exploring the pretreatments' influence on pressure reverse osmosis: PRISMA review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 188, p. 113866, Dec. 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113866>.
- [4] B. Cantoni, J. lanes, B. Bertolo, S. Ziccardi, F. Maffini, and M. Antonelli, "Adsorption on activated carbon combined with ozonation for the removal of contaminants of emerging concern in drinking water," *J Environ Manage*, vol. 350, p. 119537, Jan. 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.119537>.
- [5] C. X. Chen, V. Koskue, G. J. O. Martin, G. Q. Chen, and S. Freguia, "Biofouling control in reverse osmosis membranes by concentrated free ammonia in hydrolysed urine," *Desalination*, vol. 580, p. 117556, Jul. 2024, doi: [10.1016/J.DESAL.2024.117556](https://doi.org/10.1016/J.DESAL.2024.117556).
- [6] T. Cui, X. Wang, Y. Chen, Y. Chen, B. Fu, and Y. Tu, "Reverse Osmosis coupling Multi-Catalytic Ozonation (RO-MCO) in treating printing and dyeing wastewater and membrane concentrate: Removal performance and mechanism," *Water Resour Ind*, vol. 30, p. 100217, Dec. 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.wri.2023.100217>.
- [7] F. Djouider, E. Banoqitah, and A. Alhawsawi, "Laboratory study of the silica removal in water by electro-Fenton method: Effect of operational parameters," *Desalination Water Treat*, vol. 317, p. 100118, Jan. 2024, doi: [10.1016/J.DWT.2024.100118](https://doi.org/10.1016/J.DWT.2024.100118).
- [8] E. Fernandes *et al.*, "Emerging contaminants and pathogenic microorganisms elimination in secondary effluent by graphitic carbon nitride photocatalytic ozonation processes," *Catal Today*, vol. 432, p. 114624, Apr. 2024, doi: [10.1016/J.CATTOD.2024.114624](https://doi.org/10.1016/J.CATTOD.2024.114624).
- [9] A. John, I. Carra, B. Jefferson, L. Bertolaso, A. Brookes, and P. Jarvis, "Enhancement of ozonation using microbubbles – Micropollutant removal, mass transfer and bromate formation," *Chem Eng Sci*, vol. 283, p. 119369, Jan. 2024, doi: [10.1016/J.CES.2023.119369](https://doi.org/10.1016/J.CES.2023.119369).
- [10] Z. Mahmood, S. Garg, Y. Yuan, L. Xie, Y. Wang, and T. D. Waite, "Performance evaluation and optimization of a suspension-type reactor for use in heterogeneous catalytic ozonation," *Water Res*, vol. 254, p. 121410, May 2024, doi: [10.1016/J.WATRES.2024.121410](https://doi.org/10.1016/J.WATRES.2024.121410).
- [11] S. Ribeiro Pinela *et al.*, "Ultrafiltration (UF) and biological oxygen-dosed activated carbon (BODAC) filtration to prevent fouling of reversed osmosis (RO) membranes: A mass balance analysis," *Journal of Water Process Engineering*, vol. 57, p. 104648, Jan. 2024, doi: [10.1016/J.JWPE.2023.104648](https://doi.org/10.1016/J.JWPE.2023.104648).
- [12] S. Probst-Rüd, P. O. Nyangaresi, A. A. Adeyeye, M. Ackermann, S. E. Beck, and K. McNeill, "Synergistic effect of UV-A and UV-C light is traced to UV-induced damage of the transfer RNA," *Water Res*, vol. 252, p. 121189, Mar. 2024, doi: [10.1016/J.WATRES.2024.121189](https://doi.org/10.1016/J.WATRES.2024.121189).
- [13] S. M. Parsa, "Mega-scale desalination efficacy (Reverse Osmosis, Electrodialysis, Membrane Distillation, MED, MSF) during COVID-19: Evidence from salinity, pretreatment methods, temperature of operation," *Journal of Hazardous Materials Advances*, vol. 9, p. 100217, Feb. 2023, doi: [10.1016/J.HAZADV.2022.100217](https://doi.org/10.1016/J.HAZADV.2022.100217).
- [14] K. Saini *et al.*, "Effective utilization of discarded reverse osmosis post-carbon for adsorption of dyes from wastewater," *Environ Res*, vol. 231, p. 116165, Aug. 2023, doi: [10.1016/J.ENVRES.2023.116165](https://doi.org/10.1016/J.ENVRES.2023.116165).
- [15] E. E. Vásquez Salazar, G. R. Hernández, J. A. Vargas Saavedra, and H. J. Villegas Romero, "Ethanol extraction desalination test using pre-treated mine wastewater concentrated by

- reverse osmosis,” *Desalination Water Treat*, vol. 317, p. 100208, Jan. 2024, doi: [10.1016/J.DWT.2024.100208](https://doi.org/10.1016/J.DWT.2024.100208).
- [16] M. Sousa *et al.*, “Far-UV-C irradiation promotes synergistic bactericidal action against adhered cells of *Escherichia coli* and *Staphylococcus epidermidis*,” *Science of The Total Environment*, vol. 917, p. 170352, Mar. 2024, doi: [10.1016/J.SCITOTENV.2024.170352](https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2024.170352).
- [17] X. Wang and X. Li, “Simple preparation of UV-absorbing and magnetic superhydrophobic membranes by one-step electrospinning for effective oil–water separation,” *Sep Purif Technol*, vol. 337, p. 126467, Jun. 2024, doi: [10.1016/J.SEPPUR.2024.126467](https://doi.org/10.1016/J.SEPPUR.2024.126467).
- [18] R. Zelinski, W. P. Silvestre, J. Duarte, N. F. Livinalli, M. Zeni, and C. Baldasso, “Evaluation of the Use of Reverse Osmosis in the Treatment of Galvanic Effluents,” *Journal of Membrane Science and Research*, vol. 9, no. 1, Jan. 2023, doi: [10.22079/JMSR.2022.562616.1565](https://doi.org/10.22079/JMSR.2022.562616.1565).
- [19] Z. Zhang *et al.*, “Biofouling control of reverse osmosis membrane using free ammonia as a cleaning agent,” *J Memb Sci*, vol. 694, p. 122414, Feb. 2024, doi: [10.1016/J.MEMSCI.2024.122414](https://doi.org/10.1016/J.MEMSCI.2024.122414).