

MEKANISME TEKNOLOGI BIOREAKTOR MEMBRAN (MBR) DALAM MENGATASI PENCEMARAN AIR

Rike Aji Santoso¹, Sudarti², Yushardi³

¹²³Pendidikan Fisika, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Jember
e-mail: rikeajisantoso07@gmail.com

ABSTRAK

Bioreaktor membran (MBR) merupakan teknologi pengolahan air limbah yang mengintegrasikan proses biologis dan filtrasi menggunakan membrane. Bioreaktor membran (MBR) merupakan salah satu bagian dari teknologi membran. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengkaji atau meneliti mekanisme MBR dalam mengatasi pencemaran air. Metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu menggunakan kaidah studi literatur dengan mengumpulkan dan mengkaji berbagai pustaka. Hasil penelitian yang diperoleh yaitu mekanisme MBR dalam mengatasi pencemaran air terbagi menjadi beberapa tahap yaitu penyaringan, pengolahan limbah, pemerataan, biodegradasi oleh mikroorganisme, dan pemisahan dengan membran. Teknologi membran ini sudah digunakan diseluruh dunia. Penggunaan membran dalam mengatasi limbah cair ini memiliki kelebihan, salah satunya yaitu dapat mengurangi kadar polutan pada cairan dengan cukup efisien. Pengolahan limbah cair menggunakan bioreaktor membran ini dinilai efektif dalam mengatasi limbah cair.

Kata Kunci: Membran, Bioreaktor membran, MBR

ABSTRACT

Membrane bioreactor (MBR) is a wastewater treatment technology that integrates biological and filtration processes using membranes. Membrane bioreactor (MBR) is one part of membrane technology. The purpose of this research is to study or examine the mechanism of MBR in overcoming water pollution. The method used in this research is to use the rules of literature study by collecting and reviewing various literature. The results obtained are the MBR mechanism in overcoming water pollution is divided into several stages, namely filtering, waste treatment, equalization, biodegradation by microorganisms, and separation with membranes. This membrane technology has been used throughout the world. The use of membranes in dealing with liquid waste has advantages, one of which is that it can reduce pollutant levels in liquids quite efficiently. Processing of liquid waste using this membrane bioreactor is considered effective in dealing with liquid waste.

Keywords: Membrane, Membrane bioreactor, MBR

PENDAHULUAN

Air merupakan salah satu sumber daya alam yang sangat penting bagi kehidupan manusia. Keberadaan air sangat melimpah. Salah satu sumber air berasal dari air yang berada diatas permukaan tanah seperti Sungai, danau, telaga, laut, dan lain sebagainya.

Sumber air ini sering dimanfaatkan oleh masyarakat untuk berbagai keperluan penghidupan seperti irigasi, suplai air minum, budidaya ikan, transportasi, bahkan pariwisata. Sumber air yang sering digunakan yaitu sungai (Firmansyah *et al.*, 2021)

Salah satu pasokan air terbesar berasal dari sungai. Sungai juga merupakan salah satu sumber air yang sering mengalami pencemaran. Penyebab dari pencemaran air sungai ini sebagian berasal dari aktivitas manusia seperti limbah industri, rumah tangga, dan pertanian. Selain berasal dari aktivitas manusia, faktor alam seperti perubahan cuaca dan tata guna lahan juga dapat mempengaruhi kualitas air sungai dan menjadi penyebab pencemaran (Pangastuti *et al.*, 2022). Sungai berfungsi sebagai sumber air yang penting bagi kebutuhan manusia, terutama sebagai pasokan air baku untuk proses yang digunakan dalam pengolahan air minum. Sungai juga memberikan banyak manfaat lain, seperti sistem irigasi, pembangkit listrik, pariwisata, dan peluang mata pencaharian yang dapat memajukan pembangunan nasional. Konservasi sungai diperlukan karena sungai sangat penting bagi kelangsungan hidup manusia (Rismawati *et al.*, 2020).

Di Indonesia sendiri, kualitas air sungai masih bisa dikatakan kurang baik. Sekitar 98 sungai di Indonesia mengalami pencemaran, diantaranya sebanyak 54 sungai mengalami pencemaran ringan, 6 sungai mengalami pencemaran ringan-sedang, dan sebanyak 38 sungai mengalami pencemaran berat. Data ini di ambil pada tahun 2019. Apabila dibandingkan dengan data yang diambil pada tahun 2018, data pada tahun 2019 memiliki hasil yang lebih buruk. Pada tahun 2018, sebanyak 97 sungai dengan 67 sungai mengalami pencemaran ringan, 5 sungai mengalami pencemaran sedang, dan sebanyak 25 sungai mengalami pencemaran berat (Firmansyah *et al.*, 2021).

Menurut (Raharjo dan Yusup, 2020) Pencemaran merupakan terjadinya perubahan kondisi secara fisik, biologis, ataupun kimiawi pada udara, air, maupun daratan yang berkemungkinan untuk membahayakan dan merugikan kehidupan manusia maupun alam. Polusi air didefinisikan sebagai perubahan kualitas air yang disebabkan oleh masuknya zat, organisme, energi, atau komponen lain. Ketika zat, energi, makhluk hidup, atau komponen lain masuk ke dalam air, kualitas air akan terkontaminasi dan berada di bawah kriteria yang ditetapkan. Pencemaran air sungai dapat terjadi karena berasal dari sumber yang tidak jelas. Limbah industri dan sampah rumah tangga merupakan dua sumber yang dapat mencemari air. Sementara sumber yang tidak jelas berasal dari kegiatan masyarakat umum seperti pertanian, perumahan, atau transportasi. Faktor kimia, biologi, dan fisik semuanya berkontribusi terhadap pencemaran air (Firmansyah *et al.*, 2021). 40-60% protein dalam limbah rumah tangga adalah protein. Bersama dengan urea, yang diubah menjadi amonia dan kemudian mengalami oksidasi untuk membentuk nitrat dan nitrit, protein dalam limbah rumah tangga adalah salah satu sumber nitrogen organik dalam air (Rahayu *et al.*, 2018).

Salah satu penyebab terjadinya pencemaran air yaitu adanya buangan limbah hasil industri. Salah satu industri terbesar di Indonesia yaitu industri pengolahan minyak kelapa sawit. Indonesia tercatat sebagai penghasil minyak sawit terbesar dan mengalami pertumbuhan produksi yang cukup besar yakni 11%. Produksi minyak sawit di Indonesia sebagian besar berasal dari 2 pulau besar, yaitu Sumatra dan Kalimantan. Lebih dari 96% produksi minyak sawit berasal dari kedua pulau tersebut (Ulimaz *et al.*, 2021). Sampah industri dihasilkan dalam jumlah yang lebih besar seiring dengan bertambahnya jumlah usaha pengolahan kelapa sawit. Produk sampingan dari proses pengolahan buah kelapa sawit menjadi minyak kelapa sawit mentah adalah produk limbah cair yang dikenal sebagai

limbah cair pabrik kelapa sawit (POME). Salah satu limbah industri pertanian yang paling banyak mencemari air adalah POME, atau limbah cair pabrik kelapa sawit (Purnomo *et al.*, 2020). Salah satu perlakuan yang digunakan untuk mengendapkan bahan organik dari POME adalah dengan menggunakan salah satu teknologi membrane yang bernama bioreaktor membran atau MBR. (Haan *et al.*, 2021). Sebuah bisnis atau aktivitas bisa saja menghasilkan limbah. Limbah yang dihasilkan oleh suatu perusahaan atau kegiatan dapat diklasifikasikan ke dalam empat kategori menurut *Indonesia Environment & Energy Center*: limbah cair, limbah padat, limbah gas, dan limbah suara. Khusus untuk limbah cair, telah ditetapkan bahwa pengolahan air limbah merupakan persyaratan bagi setiap usaha dan/atau kegiatan yang menghasilkannya; pengolahan ini dapat dilakukan secara mandiri atau bersama-sama (Fauzia & Siska, 2021).

Penggunaan teknologi membran dalam mengatasi air limbah domestik terbilang cukup populer. Hal ini disebabkan karena teknologi membran dapat mengurangi kadar polutan pada air dengan efisiensi cukup tinggi. Teknologi membran juga memiliki beberapa kelebihan, diantaranya yaitu teknologi ini memiliki konsumsi energi yang rendah, tidak memerlukan bahan kimia tambahan untuk mengoperasikan sehingga tidak memproduksi limbah lainnya. Pengoperasian dan perawatannya terbilang cukup mudah serta tidak memerlukan lahan yang luas (Maulana dan Marsono, 2021).

Secara definitif membran memiliki arti sebagai lapisan tipis yang berada di antara dua fasa dan berfungsi sebagai pemisah yang selektif. Pemisahan pada membran bekerja berdasarkan perbedaan koefisien difusi, perbedaan potensial listrik, perbedaan tekanan, atau perbedaan konsentrasi (Mirwan *et al.*, 2020). Dibandingkan dengan sejumlah metode lain, teknologi membran menawarkan beberapa keuntungan dalam pengolahan air yang terkontaminasi. Teknologi ini dapat menghasilkan air dengan tingkat kemurnian yang sangat tinggi, bahkan mencapai efisiensi pemurnian hingga 100%, dan mengolah air dalam jumlah besar dengan cepat (Martini *et al.*, 2020). Kehadiran teknologi membran sebagai proses pemisahan memberikan alternatif baru untuk meningkatkan kinerja pengolahan limbah konvensional. Kombinasi membran dengan proses lumpur aktif akan memunculkan sistem pengolahan limbah cair yang disebut bioreactor membrane (Nandari *et al.*, 2018).

METODE

Metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu menggunakan kaidah studi literatur dengan mengumpulkan dan melakukan kajian terhadap beberapa sumber pustaka. Studi literatur yang dilakukan yaitu dengan mencari beberapa referensi artikel yang berkaitan dengan isu pencemaran air dan segala penyebabnya, serta referensi yang berkaitan dengan pemanfaatan teknologi membrane dan bioreaktor membrane (MBR). Berdasarkan referensi yang telah ditelusuri, rangkuman dari hasil informasi tersebut disusun kembali menggunakan kalimat penulis sendiri.

HASIL DAN PEMBAHASAN

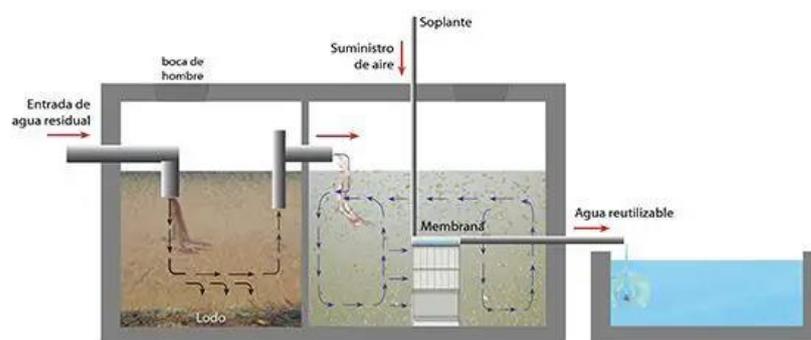
Filtrasi adalah komponen mendasar dari pengolahan limbah yang menggunakan teknologi membran. Polutan dengan ukuran yang lebih tinggi dari pori membran akan tertahan pada membran sebagai akibat dari influen dari air limbah yang mengalir melaluinya, membuat air yang melewati membran menjadi lebih bersih. Mikrofiltrasi, ultrafiltrasi, nanofiltrasi, reverse osmosis, elektrodialisis, penguapan osmotik, membran cair, dan pervaporasi adalah beberapa bentuk teknologi membran yang sering digunakan. Pemilihan jenis membran yang berbeda disesuaikan

dengan kebutuhan pengolahan air limbah. Diperkirakan bahwa menggunakan teknologi membran dapat secara efektif memerangi kontaminasi air (Maulana dan Marsono, 2021).

Membrane Bioreactor (MBR) adalah teknik pengolahan air limbah industri yang menggunakan filtrasi membran dan proses biologis. Masalah fluktuasi yang besar pada kualitas influen dan efluen dapat diatasi dengan menggunakan teknologi bioreaktor membrane (Kuncoro dan Soedjono, 2022). Membrane Bioreactor (MBR), sebuah perkembangan terbaru dalam pengolahan limbah cair yang dihasilkan dari limbah kota dan industri, ditemukan. MBR menggabungkan dua metode pengolahan: membran dan lumpur aktif tradisional. Teknologi MBR sering digunakan untuk mengolah limbah cair di seluruh dunia. Selain itu, karena MBR dapat membedakan antara padatan dan cairan, MBR dapat mengambil posisi sebagai bak pengendap II. MBR juga memberikan sejumlah manfaat, seperti:

1. Pengurangan mikroorganisme pada effluen
2. OLR sangat tinggi (2-4 kg COD/m³.hari)
3. MLVSS sangat tinggi (10.000-20.000 mg/L)
4. Penggunaan oksigen (aerasi) yang efisien
5. SRT yang lama (30-100 hari)
6. 35-45% produksi lumpur yang lebih sedikit
7. Mendukung pertumbuhan bakteri yang lambat
8. Mencegah terbentuknya bulking agent (Maulana dan Marsono, 2021).

Bioreaktor membran (MBR) merupakan teknologi pengolahan air limbah yang mengintegrasikan proses biologis dan filtrasi menggunakan membrane. Di dalam MBR, mikroorganisme berfungsi sebagai pemecah zat organik dalam air limbah. Setelah itu, air yang telah diolah diteruskan melalui membrane filter guna menghilangkan padatan yang tersisa dan sisa mikroorganisme lain. Proses ini menghasilkan air limbah yang telah diperbaiki kualitasnya, siap untuk digunakan ulang atau dilepaskan ke alam. MBR umumnya diterapkan dalam pengolahan air limbah domestik dan industry, serta dalam inisiatif daur ulang air.



Gambar 1. Bioreaktor Membran (MBR)

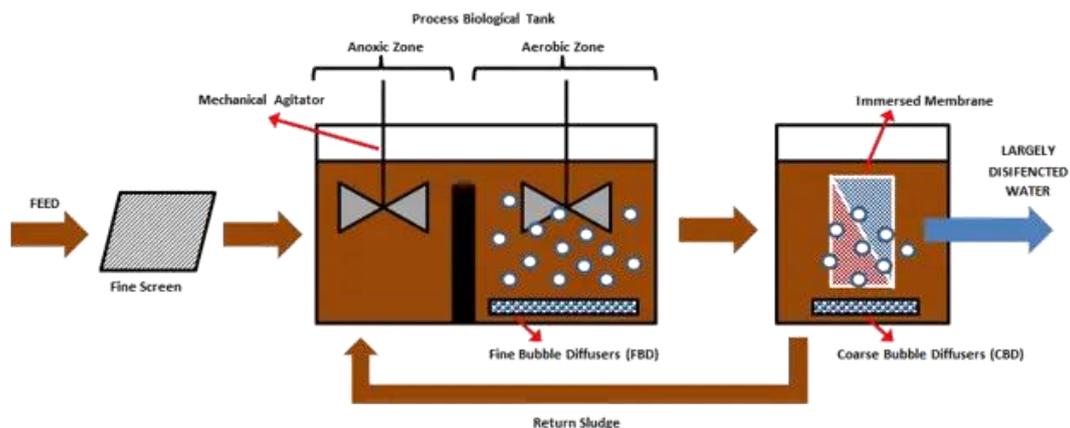
Sebelum diproses lebih lanjut, limbah rumah tangga dan industri dimasukkan ke ruang penenang dan kemudian diteruskan ke ruang penyaringan. Di ruangan ini, perangkat dari Hyper Filtration diterapkan untuk mengeliminasi kontaminan seperti plastik, partikel besar, logam, dan

lainnya dari air, tujuannya adalah untuk melindungi peralatan dan mencegah sumbatan di pipa. Tahap ini dalam pengolahan air dikenal sebagai pengolahan limbah. Setelah penghilangan kontaminan, limbah tersebut dialirkan ke tangki pemerataan yang bertujuan untuk menjaga keseragaman aliran limbah. Tangki ini juga berfungsi untuk membuat campuran limbah menjadi homogen. Dengan aerasi di tangki ini, intensitas polusi air berkurang sekitar 10% hingga 20%. Baik di tangki MBR maupun di tangki pemerataan, blower digunakan.

Setelah pemerataan, limbah yang sudah homogen dialirkan ke Bioreaktor Membran. Bioreaktor Membran berfungsi dalam pengolahan air tahap primer atau sekunder. Seperti tangki lumpur aktif, Bioreaktor Membran dilengkapi dengan sistem aerasi. Di sini, aerasi berjalan tanpa henti untuk memastikan konsentrasi oksigen yang cukup. Pada permukaan media plastik, terbentuk lapisan mikroba atau biolayer. Dengan aerasi yang tepat, pertumbuhan mikroba dioptimalkan, yang pada gilirannya meningkatkan kinerja Bioreaktor Membran.

Limbah perlu dikumpulkan di ruangan yang dilengkapi dengan layar. Layar ini, yang dibersihkan secara manual, berfungsi untuk memisahkan partikel besar dan yang mengapung untuk mencegah penyumbatan pada pompa dan pipa. Setelah proses penyaringan, air limbah disimpan dalam tangki pemerataan bawah tanah dan diaduk dengan sistem difusi udara. Pompa submersible yang dirancang khusus mengalirkan limbah dari tangki ini ke area biologis untuk pemecahan lebih lanjut terhadap polutan organik. Pemecahan bahan organik secara intensif dari limbah cair diakselerasi oleh kepadatan bakteri yang tinggi dalam area terbatas. Blower berlobus ganda memberi bakteri asupan oksigen yang diperlukan. Udara ini bermanfaat untuk membersihkan membran dan mendukung aktivitas bakteri.

Teknologi pengolahan air dan air limbah sering bergantung pada teknik filtrasi membran yang lebih efisien dan ekonomis dibandingkan dengan metode konvensional. Beberapa metode filtrasi ini adalah mikrofiltrasi, ultrafiltrasi, nanofiltrasi, dan osmosis balik (RO). Teknologi Bioreaktor membran (MBR) banyak diterapkan dalam pengolahan air limbah, menggabungkan mikrofiltrasi atau ultrafiltrasi dengan proses biologis. Membran bertindak sebagai penyaring, mengeluarkan partikel dari proses biologis, menghasilkan air yang bersih dan bebas dari kuman.



Gambar 2. Skema pengolahan menggunakan MBR

Pembersihan air limbah menggunakan membran dapat menghilangkan dan mengendalikan pencemaran secara efektif. Metode pembersihan kontaminan dalam proses MBR dibagi menjadi pembersihan fisik, pembersihan kimiawi, dan pembersihan elektrik. Umumnya, mengkombinasikan beberapa metode tersebut akan bekerja lebih efektif dalam membersihkan limbah (Du *et al.*,

2020).

a. Pembersihan Fisik

Pembersihan secara fisik utamanya bertujuan untuk menghilangkan polutan yang menempel pada permukaan membran atau pori-pori membrannya. Teknik ini meliputi aerasi, pencucian balik (menggunakan udara atau filtrat), penggunaan ultrasonik, penggosokan dengan spons, serta pencucian dengan air. Pembersihan dengan metode fisik memastikan operasional MBR tetap dengan aliran konstan tanpa menimbulkan pencemaran tambahan, walaupun hal ini berarti perlunya pembersihan yang lebih rutin dan meningkatkan biaya operasional (Du *et al.*, 2020).

b. Pembersihan Kimia

Ketika pembersihan secara fisik tidak mencukupi dalam mengatasi pengotoran membran, pembersihan dengan metode kimia menjadi alternatif lain. Bahan kimia yang sering digunakan dalam proses ini meliputi pembersih berbasis alkali, pembersih asam, pembersih yang bersifat pengoksidasi, dan surfaktan seperti asam etilenadiaminetetraasetat (EDTA), amonium hidrogen fluorida, dan lainnya. Pembersih berbasis alkali terbukti efektif dalam menghilangkan kontaminan organik dan biologis (Du *et al.*, 2020).

c. Pembersihan Elektrik

Pembersihan dengan metode listrik berfungsi menghilangkan polutan dengan cara menerapkan medan listrik pada lapisan film dalam jangka waktu tertentu, yang memaksa partikel terkontaminasi untuk bergerak menjauhi permukaan film menuju arah medan listrik. Meskipun demikian, teknik ini mengharuskan lapisan film memiliki sifat konduktif, atau elektroda harus dapat ditempatkan pada permukaan film, sehingga penggunaannya tidak sepopuler metode lainnya (Du *et al.*, 2020).

PENUTUP

Teknologi Membrane Bioreactor (MBR) sudah diterapkan di sebagian besar negara di dunia. Hal ini dikarenakan teknologi MBR memiliki beberapa keunggulan, salah satunya yaitu dapat mengurangi kadar polutan pada air dengan efisiensi cukup tinggi dan dapat menekan pertumbuhan mikroba pada cairan. Prinsip dasar dari cara kerja MBR yaitu filtrasi. Bioreaktor membran (MBR) mengkombinasikan pengolahan biologis dan pemisahan fisik (menggunakan membran) dari beberapa macam polutan untuk mengolah limbah cair domestik dan industri. Karena kombinasi tersebut dari proses yang disebutkan di atas, MBR menghasilkan limbah yang diolah dengan kualitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan proses lumpur aktif konvensional.

DAFTAR PUSTAKA

- Du, X., Shi, Y., Jegatheesan, V., & Haq, I. U. (2020). A review on the mechanism, impacts and control methods of membrane fouling in MBR system. *Membranes*, 10(2), 24.
- Fauzia, D. A., & Siska, F. (2021). Pengadaan Instalasi Pengolahan Air Limbah sebagai Syarat Pembuangan Limbah Cair dalam Upaya Pencegahan Pencemaran Air berdasarkan Peraturan Bupati Cirebon Nomor 1 Tahun 2014 Tentang Ketentuan Perizinan Pembuangan Limbah Cair ke Sumber Air di Cirebon. *Jurnal Riset Ilmu Hukum*, 104-110.

- Firmansyah, Y. W., Setiani, O., & Darundiati, Y. H. (2021). Kondisi Sungai di Indonesia Ditinjau dari Daya Tampung Beban Pencemaran: Studi Literatur. *Jurnal Serambi Engineering*, 6(2).
- Haan, T. Y., Sundaram, S. P., Musa, N. H., Muaz, S. N. S., Sultan, S. A. M., & Rosli, N. A. (2021). PERBANDINGAN BIOREAKTOR MEMBRAN DAN BIOREAKTOR MEMBRAN BERELEKTRIK UNTUK RAWATAN AIR SISA KILANG MINYAK KELAPA SAWIT. *Malaysian Journal of Analytical Sciences*, 25(2), 215-223.
- Kuncoro, Y. M., & Soedjono, E. S. (2022). Studi Pustaka: Teknologi Pengolahan Air Limbah pada Industri Penyamakan Kulit. *Jurnal Teknik ITS*, 11(3), C142-C149.
- Martini, S., Yuliwati, E., & Kharismadewi, D. (2020). Pembuatan Teknologi Pengolahan Limbah Cair Industri. *Jurnal Distilasi*, 5(2), 26-33.
- Maulana, M. R., & Marsono, B. D. (2021). Penerapan Teknologi Membran untuk Mengolah Limbah Cair Industri Tahu (Studi Kasus: UKM Sari Bumi, Kabupaten Sumedang). *Jurnal Teknik ITS (SINTA: 4, IF: 1.1815)*, 10(2), F54-F60.
- Mirwan, A., Wicakso, D. R., Ghofur, A., & Nata, I. F. (2020). Aplikasi membran ultrafiltrasi termodifikasi untuk penyediaan air bersih layak konsumsi di Desa Jambu Burung Kalimantan Selatan. *Buletin Profesi Insinyur*, 3(1), 29-32.
- Nandari, W. W., Utami, A., Yogafanny, E., & Kristiati, M. T. (2018). Pengolahan Air Terproduksi dengan Membran Bioreaktor di Wilayah Penambangan Wonocolo. *Eksergi*, 15(2), 34-40.
- Pangastuti, E. I., Nurdin, E. A., Mujib, M. A., Alfani, A. F., Nalurita, V. A., & Fatmawati, D. (2022). Analisis dan Pemetaan Tingkat Pencemaran Air Sungai Pada Sub DAS Bedadung Tengah Kabupaten Jember. *JPIG (Jurnal Pendidikan dan Ilmu Geografi)*, 7(2), 137-149.
- Purnomo, M. R., Panggabean, E. L., & Mardiana, S. (2020). Respon Pemberian Campuran Kompos Baglog Dengan Pupuk Kandang Sapi dan Pupuk Organik Cair (POC) Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit Terhadap Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Kacang Panjang (*Vigna sinensis* L.). *Jurnal Ilmiah Pertanian (JIPERTA)*, 2(1), 33-43.
- Raharjo, C. A., & Yusup, F. (2020). Pengembangan Instrumen Penelitian Mengenai Perilaku SMA/MA Terhadap Pencemaran Air. *Journal of Biology Learning*, 2(1), 41-45.
- Rahayu, Y., Juwana, I., & Marganingrum, D. (2018). Kajian perhitungan beban pencemaran air sungai di Daerah Aliran Sungai (DAS) Cikapundung dari sektor domestik. *Rekayasa Hijau: Jurnal Teknologi Ramah Lingkungan*, 2(1).
- Rismawati, L., Priatmadi, B. J., Hidayat, A. S., & Indrayatie, E. R. (2020). Kajian Persepsi dan Perilaku Masyarakat Terhadap Pencemaran Air Sungai Martapura. *EnviroScientiae*, 16(3), 389-396.
- Ulimaz, A., Nuryati, N., Ningsih, Y., & Hidayah, S. N. (2021). Analisis Oil Losses pada Proses Pengolahan Minyak Inti Kelapa Sawit di PT. XYZ dengan Metode Seven Tools. *Jurnal Teknologi Agro-Industri*, 8(2), 124-134.