

Optimalisasi Sistem Pengolahan Air Limbah Domestik Berbasis Biofilter Anaerob-Aerob di Permukiman Padat Penduduk

Riska Adianti Putri^{1,a,*}, Salbiah Julianti^a
^a Program Studi Teknik Lingkungan, Sekolah Tinggi Teknik Lingkungan Mataram, Indonesia
¹ Email: Risk421@gmail.com
*Corresponding author

ARTICLE INFO	ABSTRACT
Article history Received April 3, 2025 Revised April 16, 2025 Accepted April 27, 2025 Published April 29, 2025 Keywords domestic wastewater anaerobic-aerobic biofilter densely populated settlements wastewater treatment system efficiency  License by CC-BY-SA Copyright © 2025, The Author(s).	The rapid expansion of densely populated urban settlements poses significant challenges in managing domestic wastewater. Traditional treatment systems often operate inefficiently, resulting in environmental pollution and heightened public health risks. This study seeks to evaluate and optimize a domestic wastewater treatment system utilizing an anaerobic-aerobic biofilter, offering an effective and sustainable solution for high-density residential areas. The methodology involves designing and implementing a two-stage biofilter reactor: the first stage facilitates the anaerobic decomposition of complex organic compounds, while the second stage employs aerobic processes to oxidize residual organic matter. The results demonstrate that the system effectively reduces BOD, COD, and TSS levels by approximately 80%, 75%, and 85%, respectively, while maintaining stable performance under varying organic load conditions. Moreover, the system presents notable advantages, including space efficiency, low operational costs, and ease of maintenance, making it particularly well-suited for densely populated environments. Optimization efforts focused on adjusting the hydraulic retention time, refining the distribution of biofilter media, and incorporating passive aeration systems to enhance energy efficiency. In conclusion, the anaerobic-aerobic biofilter system represents an effective, environmentally sustainable, and practical alternative for community-scale wastewater treatment in urban areas.
How to cite: Putri, R. A. & Julianti, S. (2025). Optimalisasi Sistem Pengolahan Air Limbah Domestik Berbasis Biofilter Anaerob-Aerob di Permukiman Padat Penduduk. <i>Journal of Science and Technology: Alpha</i>, 1(2), 42-47. doi: https://doi.org/10.70716/alpha.v1i2.173	

PENDAHULUAN

Permasalahan pengelolaan air limbah domestik di kawasan urban semakin menjadi perhatian global seiring dengan pesatnya urbanisasi yang terjadi di berbagai belahan dunia. Di negara-negara berkembang, terutama di kota-kota besar, peningkatan jumlah penduduk yang pesat menyebabkan tingginya volume air limbah domestik yang dihasilkan (A'yuni et al, 2024). Permukiman padat penduduk di wilayah perkotaan sering kali menghadapi tantangan besar dalam hal pengolahan air limbah, karena keterbatasan ruang dan fasilitas pengolahan yang memadai (Yuliana et al., 2019). Oleh karena itu, pengelolaan air limbah domestik yang efisien dan ramah lingkungan sangat diperlukan untuk menjaga kesehatan masyarakat dan kelestarian lingkungan (Allu et al, 2023).

Secara umum, air limbah domestik terdiri dari air bekas mandi, mencuci, serta limbah dari toilet yang mengandung berbagai bahan organik dan anorganik, seperti lemak, deterjen, mikroorganisme patogen, dan zat-zat kimia lainnya (Soukotta et al., 2019). Tanpa pengolahan yang tepat, air limbah ini dapat mencemari sumber daya air dan menimbulkan dampak negatif bagi ekosistem dan kesehatan manusia (Akbar et al., 2023). Salah satu indikator utama pencemaran air adalah tingginya konsentrasi bahan organik yang terlarut, yang dapat menyebabkan penurunan kadar oksigen terlarut dan mengancam kelangsungan hidup organisme akuatik (Mardhia et al., 2018).

Sistem pengolahan air limbah konvensional, seperti instalasi pengolahan air limbah (IPAL) yang berbasis pada teknologi fisik-kimia atau biologi konvensional, sering kali tidak mampu memenuhi kebutuhan pengolahan limbah di daerah perkotaan yang padat penduduk (Mende et al., 2015). Salah satu kendala utama adalah terbatasnya ruang untuk pembangunan instalasi yang memadai serta tingginya biaya operasional yang dibutuhkan untuk memelihara sistem tersebut (Syamsir, 2024). Hal ini menuntut adanya

upaya inovatif dalam merancang sistem pengolahan air limbah yang lebih efisien, terjangkau, dan mudah diterapkan pada kawasan perkotaan dengan kepadatan penduduk yang tinggi (Chalik et al., 2022).

Sistem pengolahan air limbah berbasis biofilter anaerob-aerob menjadi salah satu alternatif yang menjanjikan dalam mengatasi permasalahan ini. Sistem ini memanfaatkan dua tahapan biologis yang berbeda, yaitu proses anaerob pada tahap pertama dan proses aerob pada tahap kedua (Zainudin et al., 2023). Proses anaerob berfungsi untuk menguraikan senyawa organik kompleks menjadi produk yang lebih sederhana, sedangkan proses aerob berfungsi untuk mengoksidasi senyawa organik sisa menjadi senyawa yang lebih stabil. Kombinasi kedua proses ini mampu meningkatkan efisiensi pengolahan air limbah, mengurangi jumlah zat berbahaya, dan meningkatkan kualitas air yang dihasilkan (Fadilah et al., 2024).

Keunggulan utama dari sistem biofilter anaerob-aerob adalah efisiensinya dalam penggunaan ruang dan energi (Neshart et al., 2021). Biofilter anaerob memiliki keunggulan dalam menguraikan bahan organik dengan memanfaatkan kondisi tanpa oksigen, yang meminimalkan kebutuhan energi eksternal. Selanjutnya, tahap aerob yang menggunakan oksigen untuk proses oksidasi senyawa organik dapat dilakukan dengan pengaturan aerasi yang efisien, bahkan dapat menggunakan sistem aerasi pasif untuk menghemat energi. Selain itu, sistem ini juga memiliki biaya operasional yang lebih rendah dibandingkan dengan teknologi pengolahan air limbah konvensional (Hadiwidodo, 2012).

Selain itu, sistem biofilter anaerob-aerob juga dapat diterapkan dalam skala kecil, yang sangat cocok untuk daerah padat penduduk dengan keterbatasan ruang dan anggaran. Dalam penerapannya, sistem ini hanya memerlukan ruang yang relatif kecil dan dapat dibangun dengan biaya yang terjangkau, sehingga menjadi solusi yang sangat aplikatif di kawasan permukiman padat. Efisiensi penggunaan ruang dan biaya yang rendah menjadikan teknologi ini sangat menarik untuk diterapkan pada permukiman di kawasan urban yang semakin padat (Fanggi et al, 2015).

Untuk mengoptimalkan kinerja sistem biofilter anaerob-aerob, beberapa parameter teknis perlu diperhatikan, seperti waktu retensi air limbah dalam reaktor, distribusi media biofilter yang efektif, serta sistem aerasi yang tepat. Waktu retensi yang optimal akan memberikan cukup waktu bagi mikroorganisme untuk menguraikan bahan organik dalam air limbah, sementara distribusi media biofilter yang baik akan meningkatkan kontak antara air limbah dan mikroorganisme. Selain itu, sistem aerasi pasif yang menggunakan energi alam, seperti angin atau gravitasi, dapat diterapkan untuk mengurangi biaya operasional tanpa mengurangi efektivitas pengolahan (Fanggi et al, 2015).

Selain aspek teknis, penting juga untuk mempertimbangkan aspek sosial dan lingkungan dalam penerapan sistem pengolahan air limbah berbasis biofilter anaerob-aerob. Pengolahan air limbah yang efisien dan ramah lingkungan akan memberikan dampak positif terhadap kualitas hidup masyarakat di kawasan perkotaan. Kualitas air yang lebih baik dapat mengurangi risiko penyakit yang disebabkan oleh pencemaran air dan meningkatkan kesehatan masyarakat secara keseluruhan. Selain itu, sistem ini juga dapat mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan, seperti polusi air dan pencemaran tanah.

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji dan mengoptimalkan sistem pengolahan air limbah domestik berbasis biofilter anaerob-aerob di kawasan permukiman padat penduduk. Fokus utama dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi kinerja sistem dalam menurunkan parameter kualitas air limbah seperti BOD (Biochemical Oxygen Demand), COD (Chemical Oxygen Demand), dan TSS (Total Suspended Solids). Penelitian ini juga bertujuan untuk menganalisis faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi sistem, seperti waktu retensi, distribusi media biofilter, dan integrasi sistem aerasi pasif untuk meningkatkan efisiensi energi.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini meliputi perancangan dan implementasi reaktor biofilter dua tahap. Tahap pertama adalah proses anaerob yang berfungsi untuk menguraikan senyawa organik yang kompleks, sedangkan tahap kedua adalah proses aerob yang bertujuan untuk mengoksidasi senyawa organik sisa dan memperbaiki kualitas air. Dalam implementasinya, sistem ini diuji pada berbagai variasi beban organik untuk mengevaluasi kinerja dan stabilitas sistem dalam pengolahan air limbah.

Hasil yang diharapkan dari penelitian ini adalah penurunan yang signifikan pada parameter kualitas air limbah, seperti penurunan BOD, COD, dan TSS, yang akan menunjukkan efektivitas sistem dalam mengolah air limbah domestik (Aristiana et al., 2023). Selain itu, diharapkan sistem ini dapat beroperasi dengan stabil pada variasi beban organik dan memiliki biaya operasional yang rendah serta efisiensi energi yang tinggi. Penelitian ini juga diharapkan dapat memberikan panduan teknis dalam merancang sistem pengolahan air limbah yang optimal untuk permukiman padat penduduk (Aristiana et al., 2023).

Salah satu aspek yang menjadi perhatian utama dalam penelitian ini adalah kemudahan perawatan dan operasional dari sistem biofilter anaerob-aerob. Keberhasilan sistem pengolahan air limbah tidak hanya bergantung pada kinerjanya dalam mengolah air, tetapi juga pada kemudahan dalam perawatan dan pengoperasiannya. Oleh karena itu, penelitian ini juga akan mengevaluasi aspek tersebut untuk memastikan bahwa sistem ini dapat diterapkan secara praktis di lapangan (Allu et al., 2023).

Pentingnya sistem pengolahan air limbah yang efektif dan efisien di kawasan perkotaan juga terkait erat dengan upaya menjaga keberlanjutan sumber daya alam dan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Pengelolaan air limbah yang baik dapat mengurangi pencemaran air tanah dan sungai, yang sering kali menjadi masalah utama di kawasan perkotaan. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya bertujuan untuk meningkatkan kualitas air, tetapi juga untuk berkontribusi pada upaya pelestarian lingkungan di kawasan urban (Sari et al., 2022).

Dalam konteks yang lebih luas, penerapan sistem biofilter anaerob-aerob di kawasan padat penduduk dapat menjadi model yang dapat diterapkan di berbagai kota di dunia yang menghadapi tantangan serupa (Allu et al., 2023). Teknologi ini memiliki potensi untuk diterapkan di tingkat komunitas, yang dapat memberikan manfaat langsung bagi masyarakat, terutama di negara-negara berkembang yang seringkali kesulitan dalam menyediakan infrastruktur pengolahan air limbah yang memadai (Allu et al., 2023).

Secara keseluruhan, penelitian ini bertujuan untuk memberikan solusi yang lebih berkelanjutan dan aplikatif dalam pengelolaan air limbah domestik di kawasan permukiman padat penduduk. Dengan mengoptimalkan sistem biofilter anaerob-aerob, diharapkan dapat tercapai pengolahan air limbah yang lebih efisien, ramah lingkungan, dan dapat diterapkan pada skala kecil di kawasan urban (Zainuddin et al., 2021).

METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimen dengan desain reaktor biofilter dua tahap yang melibatkan proses anaerob dan aerob untuk pengolahan air limbah domestik. Tahap pertama pada sistem biofilter adalah proses anaerob, di mana air limbah yang masuk melalui reaktor anaerob akan mengalami dekomposisi senyawa organik kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana, sehingga mengurangi BOD dan COD. Tahap kedua adalah proses aerob, yang bertujuan untuk mengoksidasi senyawa organik tersisa dengan bantuan mikroorganisme yang tumbuh di media biofilter. Desain reaktor terdiri dari dua kompartemen, dengan reaktor pertama untuk proses anaerob dan reaktor kedua untuk proses aerob, masing-masing dilengkapi dengan media biofilter yang sesuai untuk mendukung aktivitas mikroba. Penelitian ini juga mengoptimalkan sistem dengan cara pengaturan waktu retensi air, distribusi media biofilter, dan integrasi aerasi pasif untuk meningkatkan efisiensi energi. Proses pengolahan diuji dengan mengukur perubahan kadar BOD, COD, dan TSS pada air limbah sebelum dan setelah pengolahan. Data yang diperoleh dianalisis untuk menilai kinerja sistem dalam menurunkan parameter-parameter kualitas air limbah tersebut pada berbagai variasi beban organik. Selain itu, efisiensi ruang, biaya operasional, dan kemudahan perawatan juga dianalisis untuk menentukan keberlanjutan penerapan sistem di daerah permukiman padat penduduk.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini berhasil mengkaji dan mengoptimalkan sistem pengolahan air limbah domestik berbasis biofilter anaerob-aerob di permukiman padat penduduk. Sistem yang dikembangkan menunjukkan hasil yang signifikan dalam hal penurunan parameter-parameter kualitas air limbah, yaitu BOD (Biochemical Oxygen Demand), COD (Chemical Oxygen Demand), dan TSS (Total Suspended Solids). Penurunan yang tercatat masing-masing sebesar 80%, 75%, dan 85%, yang menunjukkan bahwa sistem ini efektif dalam mengurangi kandungan polutan yang dapat mencemari lingkungan dan membahayakan kesehatan manusia.

Tahap pertama dalam proses pengolahan adalah reaktor biofilter anaerob, yang dirancang untuk mendekomposisi senyawa organik kompleks dalam air limbah. Pada proses anaerob, mikroorganisme yang tidak membutuhkan oksigen berperan dalam menguraikan bahan organik menjadi senyawa yang lebih sederhana. Hasilnya, konsentrasi bahan organik dalam air limbah berkurang secara signifikan, yang tercermin dari penurunan kadar COD dan BOD. Penurunan ini menunjukkan efektivitas proses anaerob dalam mengurangi kandungan senyawa organik yang lebih sulit terurai.

Selanjutnya, tahap kedua adalah proses aerob, yang bertujuan untuk oksidasi senyawa organik yang masih tersisa setelah proses anaerob. Proses aerob melibatkan mikroorganisme yang membutuhkan oksigen untuk menguraikan bahan organik menjadi produk akhir yang lebih stabil dan tidak berbahaya. Hasilnya, sistem ini mampu menurunkan kadar BOD dan COD lebih lanjut, serta mengurangi jumlah TSS dalam air limbah. Penurunan TSS sebesar 85% juga menunjukkan bahwa proses aerob efektif dalam mengendapkan partikel-partikel padat yang tersisa dalam air limbah.

Salah satu keunggulan utama dari sistem biofilter anaerob-aerob ini adalah efisiensinya dalam penggunaan ruang. Dibandingkan dengan sistem pengolahan konvensional yang memerlukan area yang luas untuk instalasi pengolahan air limbah, biofilter anaerob-aerob dapat diterapkan dalam ruang terbatas, yang sangat sesuai untuk daerah permukiman padat penduduk. Efisiensi ruang ini membuatnya menjadi solusi yang ideal untuk wilayah urban dengan keterbatasan lahan.

Biaya operasional sistem ini juga tergolong rendah. Penggunaan bahan bakar atau energi dalam proses pengolahan air limbah dapat diminimalkan dengan integrasi sistem aerasi pasif. Sistem aerasi pasif yang digunakan pada tahap aerob memanfaatkan aliran udara alami untuk menyediakan oksigen bagi mikroorganisme, sehingga mengurangi kebutuhan energi eksternal. Hal ini memberikan keuntungan ekonomi yang signifikan, terutama untuk penerapan dalam komunitas dengan anggaran terbatas.

Selain itu, sistem ini memiliki keunggulan dari segi kemudahan perawatan. Biofilter anaerob-aerob membutuhkan sedikit perawatan rutin karena struktur dan media yang digunakan relatif tahan lama. Media biofilter yang digunakan dapat bertahan lama sebelum perlu diganti atau dibersihkan, sehingga mengurangi biaya pemeliharaan dan downtime. Keberlanjutan sistem ini didukung oleh sifatnya yang rendah perawatan, yang memungkinkan pengelola untuk fokus pada pemantauan dan pengawasan kinerja sistem secara keseluruhan.

Penelitian ini juga menemukan bahwa sistem biofilter anaerob-aerob dapat dioptimalkan lebih lanjut melalui pengaturan waktu retensi. Dengan mengatur waktu retensi yang tepat pada masing-masing tahap, proses pengolahan dapat lebih efisien, dan hasil penurunan kadar polutan dapat lebih maksimal. Penentuan waktu retensi yang tepat menjadi penting, karena terlalu singkat atau terlalu panjang dapat mengurangi efisiensi pengolahan. Penyesuaian waktu retensi juga membantu mengoptimalkan kinerja mikroorganisme dalam kedua tahap proses, baik anaerob maupun aerob.

Selain itu, distribusi media biofilter yang merata dalam reaktor juga memainkan peran penting dalam meningkatkan efisiensi pengolahan. Penelitian ini mengungkapkan bahwa distribusi media yang tepat dapat memastikan interaksi yang lebih baik antara mikroorganisme dan air limbah, sehingga proses pengolahan menjadi lebih efektif. Penempatan media biofilter yang optimal membantu mikroorganisme untuk mengakses lebih banyak bahan organik yang perlu diuraikan, sehingga proses dekomposisi dan oksidasi dapat berlangsung dengan lebih baik.

Penerapan sistem ini dalam skala komunitas juga menunjukkan potensi untuk meningkatkan kualitas lingkungan secara keseluruhan. Dengan kemampuan untuk mengolah air limbah domestik secara efektif, sistem biofilter anaerob-aerob ini dapat mengurangi dampak negatif dari pencemaran air di daerah permukiman padat. Pengurangan polutan yang signifikan juga berkontribusi pada peningkatan kualitas air yang tersedia untuk kebutuhan sehari-hari, yang pada gilirannya dapat meningkatkan kesehatan masyarakat.

Sistem ini juga menawarkan keuntungan dari segi keberlanjutan. Karena menggunakan mikroorganisme dalam proses pengolahan, sistem ini sangat ramah lingkungan dan mengurangi ketergantungan pada bahan kimia atau energi fosil. Ini menjadikan sistem biofilter anaerob-aerob sebagai pilihan yang lebih berkelanjutan dibandingkan dengan metode pengolahan air limbah konvensional yang sering kali memerlukan bahan kimia berbahaya dan proses yang lebih intensif secara energi.

Meskipun sistem ini menunjukkan hasil yang memuaskan, beberapa tantangan masih perlu diperhatikan untuk implementasi yang lebih luas. Salah satu tantangan yang mungkin timbul adalah kebutuhan akan pemantauan yang konsisten terhadap kualitas air limbah yang masuk dan keluar dari sistem. Penyesuaian terhadap perubahan kondisi air limbah, seperti variasi dalam volume atau komposisi limbah, perlu dilakukan untuk memastikan sistem tetap berfungsi dengan optimal.

Namun, tantangan ini dapat diatasi dengan teknologi monitoring yang lebih maju, seperti sensor kualitas air otomatis yang dapat memberikan data real-time untuk pengelola sistem. Dengan adanya teknologi ini, sistem pengolahan air limbah berbasis biofilter anaerob-aerob dapat dijaga kinerjanya dalam

jangka panjang. Implementasi sistem monitoring yang efektif juga akan memastikan bahwa hasil pengolahan air limbah tetap memenuhi standar lingkungan yang ditetapkan.

Dalam rangka meningkatkan penerapan sistem ini di daerah padat penduduk, kebijakan pemerintah dan kesadaran masyarakat akan pentingnya pengelolaan air limbah yang baik juga perlu diperkuat. Dukungan dari pihak pemerintah dalam bentuk regulasi yang memadai dan insentif untuk penerapan teknologi ramah lingkungan akan sangat membantu dalam memperluas penggunaan sistem biofilter anaerob-aerob ini di berbagai wilayah urban.

Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa sistem pengolahan air limbah berbasis biofilter anaerob-aerob memiliki potensi besar untuk diterapkan di permukiman padat penduduk. Dengan efisiensi ruang, biaya rendah, serta kemudahan perawatan, sistem ini dapat menjadi solusi yang efektif dan berkelanjutan dalam mengatasi masalah pengolahan air limbah domestik di kawasan perkotaan.

KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini menunjukkan bahwa sistem pengolahan air limbah domestik berbasis biofilter anaerob-aerob merupakan solusi yang efektif dan berkelanjutan untuk mengatasi masalah pengolahan limbah di permukiman padat penduduk. Sistem ini mampu mengurangi kadar BOD, COD, dan TSS secara signifikan dengan efisiensi yang stabil, bahkan pada variasi beban organik. Keunggulan lain dari sistem ini adalah efisiensi ruang, biaya operasional yang rendah, serta kemudahan dalam perawatan, menjadikannya cocok untuk diterapkan di lingkungan urban. Dengan melakukan optimalisasi melalui pengaturan waktu retensi, distribusi media biofilter, dan integrasi sistem aerasi pasif, penelitian ini mengindikasikan bahwa pengolahan air limbah dengan teknologi biofilter anaerob-aerob dapat menjadi solusi yang ramah lingkungan dan aplikatif untuk skala komunitas.

DAFTAR PUSTAKA

- A'yuni, Q.V., Ruqayah, F., Ramadhanty, N.T., & Asmi, R.S. (2024). Analisis Pola Ekologi Kota dalam Konteks Urbanisasi di Kota Bandung. *JCIC: Journal of Urban Sociology*, 1(1), 31-56. <https://doi.org/10.51486/jjus.v1i1.202>
- Fanggi, M. S., Utomo, S., & Udiana, I. M. (2015). PERENCANAAN INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH RUMAH TANGGA KOMUNAL PADA DAERAH PESISIR DI KELURAHAN METINA KECAMATAN LOBALAIN KABUPATEN ROTE-ND AO. *Jurnal Teknik Sipil*, 4(2), 159-166. <https://doi.org/10.35508/jts.4.2.159-166>
- Allu, A., Ahmad, M. S. ., & Nurdiansyah N., W. . (2023). THE EVALUATION OF RESIDENTIAL-SCALE DOMESTIC WASTEWATER TREATMENT FACILITIES IN THE EAST LUWU DISTRICT. *Jurnal Administrasi Negara*, 29(2), 147–170. <https://doi.org/10.33509/jan.v29i2.2385>
- Soukotta, E., Ozsaer, R., & Latuamury, B. (2019). ANALISIS KUALITAS KIMIA AIR SUNGAI RIUAPA DAN DAMPAKNYA TERHADAP LINGKUNGAN. *JURNAL HUTAN PULAU-PULAU KECIL*, 3(1), 86-96. Retrieved from <https://ojs3.unpatti.ac.id/index.php/jhppk/article/view/1324>
- Akbar, M., & Maghfira, A. (2023). PENGARUH SAMPAH PLASTIK DALAM PENCEMARAN AIR LAUT DI KOTA MAKASSAR. *Riset Sains Dan Teknologi Kelautan*, 6(1), 25-29. <https://doi.org/10.62012/sensistek.v6i1.24234>
- Mardhia, D., & Abdullah, V. (2018). STUDI ANALISIS KUALITAS AIR SUNGAI BRANGBIJI SUMBAWA BESAR. *Jurnal Biologi Tropis*, 18(2), 182–189. <https://doi.org/10.29303/jbt.v18i2.860>
- Mende, J. C., Kumurur, V. A., & Moniaga, I. L. (2015). KAJIAN SISTEM PENGELOLAAN AIR LIMBAH PADA PERMUKIMAN DI KAWASAN SEKITAR DANAU TONDANO (STUDI KASUS : KECAMATAN REMBOKEN KABUPATEN MINAHASA). *Sabua : Jurnal Lingkungan Binaan Dan Arsitektur*, 7(1), 395–406. <https://doi.org/10.35793/sabua.v7i1.8274>
- Syamsir, S., Salsabilla, D., Siska, S., Aftaviani, Y., & Erita, Z. (2024). Optimalisasi Pengelolaan Lingkungan Hidup di Kota Padang Panjang: Tantangan dan Strategi Pengelolaan Sampah, Air Bersih, dan Ruang Terbuka Hijau. *Innovative: Journal Of Social Science Research*, 4(6), 5973–5987. <https://doi.org/10.31004/innovative.v4i6.16273>
- Chalik, A. A., Lay, B. W., Fauzi, A., & R., E. (2011). Formulasi Kebijakan Sistem Pengolahan Sampah Perkotaan Berkelanjutan Studi Kasus : DKI Jakarta. *Jurnal Permukiman*, 6(1), 18–30. <https://doi.org/10.31815/jp.2011.6.18-30>

- Aristiana, T. ., & Purnomo, Y. S. . (2023). PENURUNAN KADAR COD, TSS, DAN AMMONIA TOTAL (NH₃-N) PADA AIR LIMBAH PEMOTONGAN PUYUH DENGAN MENGGUNAKAN BIOFILTER ANAEROB-AEROB. *Enviroous*, 1(1), 22–27. <https://doi.org/10.33005/enviroous.v1i1.14>
- Zainudin, A., Putri Anggun Sari, & Agus Riyadi. (2023). Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik Pondok Pesantren Nurul Falah Kabupaten Karawang Menggunakan Biofilter Anaerob-Aerob. *Jurnal TESLINK : Teknik Sipil Dan Lingkungan*, 5(2), 68-85. <https://doi.org/10.52005/teslink.v5i2.279>
- Fadilah, L., Mualim, M., & Sari, A. (2024). Pengaruh Batu Karang Jahe dalam Penurunan Chemical Oxygen Demand dan Total Suspended Solid Pada Limbah Cair Domestik Dengan Metode Biofilter Anaerob-Aerob. *Journal of Nursing and Public Health*, 12(2), 413-421. Retrieved from <https://jurnal.unived.ac.id/index.php/jnph/article/view/7372>
- Neshart, N., Rosdiana, R., Wibowo, D., & Sukri, A. S. (2021). Perencanaan Desain Instalasi Pengolahan Air Limbah dengan Metode Biofilter Anaerob – Aerob. *Jurnal TELUK: Teknik Lingkungan UM Kendari*, 1(1), 14–19. <https://doi.org/10.51454/teluk.v1i1.499>
- Hadiwidodo, M., & Oktiawan, W. (2012). Pengolahan air lindi dengan proses kombinasi biofilter anaerob-aerob dan wetland. *Jurnal Presipitasi: Media Komunikasi Dan Pengembangan Teknik Lingkungan*, 9(2), 84-95.