



YAYASAN PENDIDIKAN DAYANG SUMBI

INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN

Jl. PHH Mustapa 23, Bandung 40124 Indonesia. Telepon : +62-22-7272215 ext 157 Fax: 022-7202892

Web site : <http://www.itenas.ac.id> e-mail : lp@itenas.ac.id

SURAT KETERANGAN
MELAKUKAN KEGIATAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT
PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL
274/A.01/TL-FTSP/Itenas/VIII/2025

Yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Dr. M. Rangga Sururi, S.T., M.T.
Jabatan : Ketua Program Studi Teknik Lingkungan Itenas
NPP : 40909

Menerangkan bahwa,

Nama : Siti Dwi Muthmainnah
NRP : 252021032 Email : Siti.dwi@mhs.itenas.ac.id

Telah melakukan kegiatan Pengabdian kepada Masyarakat sebagai berikut.

Nama Kegiatan : Evaluasi Instalasi Pengolahan Air Limbah Industri Kakao PT. X
Tempat : Industri Kakao PT.X
Waktu : 1 Juli 2024 s.d. 9 Agustus 2024
Sumber Dana : Dana Pribadi

Demikian surat keterangan ini dibuat untuk dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Bandung, 01 September 2025

Ketua Program Studi Teknik Lingkungan
Itenas,

(Dr. M. Rangga Sururi, S.T., M.T.)
NPP. 40909

LAPORAN KERJA PRAKTIK (TLB-490)

EVALUASI INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH INDUSTRI KAKAO PT.X KOTA BANDUNG

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan program Pendidikan strata satu (S1) Jurusan
Teknik Lingkungan Itenas

Oleh:

Siti Dwi Muthmainnah

252021032



**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN FAKULTAS
TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN INSTITUT
TEKNOLOGI NASIONAL BANDUNG 2025**

Institut Teknologi Nasional

LEMBAR PENGESAHAN
LAPORAN PRAKTIK KERJA
i

EVALUASI INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH INDUSTRI KAKAO
PT.X KOTA BANDUNG

Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan
Mata Kuliah Kerja Praktik (TLB-490) Pada
Program Studi Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Nasional Bandung

Disusun Oleh :

Siti Dwi Muthmainnah

25-2021-032

Bandung, 15 Agustus 2025

Semester Genap 2024/2025

Mengetahui/Menyetujui

Dosen Pembimbing

Koordinator Kerja Praktek

28/8/25

Dr. M. Rangga Sururi, S.T., M.T.

NIDN/NIDK: 0403047803

Siti Ainun, S.T., S.Psi., M.Sc.

NIDN/NIDK: 0416087701

Ketua Program Studi



Dr. M. Rangga Sururi, S.T., M.T.

NIDN/NIDK: 0403047803

ABSTRAK

Theobroma cacao merupakan komoditas perkebunan penting dengan peran strategis dalam perekonomian nasional serta pengembangan agroindustri. Aktivitas industri kakao menghasilkan limbah cair yang memerlukan pengolahan agar tidak mencemari lingkungan. Penelitian ini mengevaluasi kinerja Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) pada industri kakao PT. X di Kota Bandung dengan analisis parameter fisik, kimia, dan hidraulik pada tiap unit pengolahan seperti DAF, anaerobik, aerobik, Membrane Bioreactor (MBR), dan karbon aktif. Hasil menunjukkan pengolahan mampu menurunkan BOD sebesar 71.17% dan TSS sebesar 98.04%, namun efisiensi pengurangan COD hanya 33.85% sehingga belum memenuhi baku mutu lingkungan. Beberapa unit pengolahan seperti MBR dan anaerobik menunjukkan ketidaksesuaian parameter desain, mempengaruhi kinerja pengolahan. Studi ini merekomendasikan perbaikan operasional dan pemeliharaan IPAL untuk meningkatkan efektivitas pengolahan sehingga dapat memenuhi standar baku mutu air limbah yang berlaku.

ABSTRACT

Theobroma cacao is an important plantation commodity with a strategic role in the national economy and agroindustry development. Cocoa processing industries produce wastewater that requires treatment before discharge to prevent environmental contamination. This study evaluates the performance of the Wastewater Treatment Plant (WWTP) at PT. X cocoa industry in Bandung City through the analysis of physical, chemical, and hydraulic parameters at each treatment unit such as DAF, anaerobic, aerobic, Membrane Bioreactor (MBR), and activated carbon filters. Results indicate the treatment reduced BOD by 71.17% and TSS by 98.04%, but COD removal efficiency was only 33.85%, failing to meet environmental quality standards. Some units, particularly MBR and anaerobic, showed deviations from design parameters, affecting treatment effectiveness. The study recommends operational and maintenance improvements to enhance WWTP performance and ensure compliance with wastewater discharge standards.

BAB I

PENDAHULUAN

I.1. Latar belakang

Kakao merupakan salah satu komoditas unggulan dalam sektor perkebunan yang memegang peranan penting dalam perekonomian di Indonesia. Produksi kakao juga merupakan komoditas perkebunan menjadi salah satu sarana penyediaan lapangan kerja dalam program pembangunan pertanian, di mana potensi pasar kakao global terbilang masih besar, terbukti dengan meningkatnya konsumsi pasar saat ini (Mashari, 2019). Pada 2017 produksi kakao dunia mencapai 4,7 juta ton, meningkat 4 juta ton dari tahun 2016 ((ICO), 2017). PT.X merupakan perusahaan yang bergerak dalam bidang manufaktur pengolahan biji coklat (*cocoa beans*) menjadi bubuk coklat (*cocoa powder*), perusahaan ini didirikan oleh *Charles Barry* di Prancis pada tahun 1842. PT.X merupakan anak perusahaan yang merupakan perusahaan coklat terbesar di dunia, berbagai produk dan layanan menjangkau semua aspek mulai dari sumber kakao hingga produk coklat berkualitas.

Pengolahan buah kakao menjadi biji kakao kering menghasilkan limbah antara lain cangkang kakao dan pulpa, yaitu lapisan yang menyelimuti biji kakao basah. Pulpa terdiri atas senyawa gula (10-15 %) dan air (85-90%) (Yuliana, 2022). Kandungan pulpa yang tinggi merupakan kelemahan kakao yang banyak diusahakan di Indonesia dan menimbulkan masalah jika tidak segera difermentasi seperti bau asam dan tidak sedap di sekitar lingkungan pengolahan (Bickel Haase, 2021) Pada proses pengolahan biji coklat agar menetralkan *raw material* terdapat proses alkalinasi di mana pada proses alkalisasi dilakukan untuk menetralkan keasaman kakao (menaikkan pH antara 7 dan 8) dan menghilangkan semua logam berat yang mungkin ada sehingga air limbah cenderung netral (Sari D. P., 2024).

Setiap industri yang melakukan kegiatan produksi pastinya menghasilkan limbah diantaranya limbah cair, air limbah pabrik pengolahan biji kakao air limbah harus melalui tahap *treatment* terlebih dahulu agar air limbah tidak menimbulkan dampak bagi lingkungan. Air limbah *food & beverage* mengandung parameter seperti gula, minyak, protein dan lemak, sehingga didalam air limbah ini tentu saja mengandung kadar COD (*Chemical Oxygen demand*) dan kandungan senyawa nitrogen cukup

tinggi. Hal ini menimbulkan permasalahan pada proses lumpur aktif air limbah yang mengandung kadar organik dan senyawa nitrogen tinggi, terbentuknya nitrogen teroksidasi seperti nitrat dan nitrit walaupun BOD (*Biological Oxygen demand*) dan COD (*Chemical Oxygen demand*) telah memenuhi baku mutu lingkungan. (Eva. R, et all, 2020). Peningkatan produksi kakao tentunya akan diiringi dengan peningkatan jumlah limbah yang dihasilkan, yaitu berupa kulit buah dan pulp biji kakao (*cocoa sweatings*), limbah Pulp kakao mengandung beberapa senyawa seperti gula yang dapat dijadikan substrat untuk metabolisme beberapa mikroorganisme sehingga menghasilkan senyawa alkohol, asam organik, senyawa ester dan senyawa kimia lainnya (Lestari, 2025).

Salah satu penelitian dilakukan oleh Pratiwi yaitu mengkaji pembentukan asam asetat pada pengolahan limbah pulp kakao secara anaerob dengan menggunakan *Circulating reactor* (CBR), dengan memanfaatkan proses asidogenesis yang dapat menghasilkan asam dan metanogenesis menghasilkan metan dan CO₂, pada penelitian yang dilakukan pengambilan sampel untuk menganalisis COD (*Chemical Oxygen Demand*) terlarut dengan menggunakan metode COD Kromat dari standar Methods 5220 C, di mana pada tahap awal percobaan dilakukan *seeding* dan aklimatisasi didapatkan nilai COD awal yaitu sebesar 150.000 mg/l (Pratiwi, 2013)

Penangan limbah cair industri Kakao menggunakan sistem pengolahan biologis, di mana limbah yang dihasilkan merupakan bahan organik seperti karbohidrat, vitamin, dan protein yang dapat di degradasi oleh polutas secara biologis. Mikroorganisme seperti jamur dan bakteri berfungsi untuk mendegradasi senyawa organik kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana dan tidak berbahaya, juga dapat menghasilkan produk bernilai tambah seperti pupuk organik atau biopestisida (Haderiah, 2024). Pengolahan limbah industri kakao umumnya menggunakan sistem biologis aerob dan anaerob untuk mendegradasi bahan organik efektif. Juga menggunakan media filtrasi seperti arang aktif dapat meningkatkan efektifitas pengolahan limbah dengan menyaring dan mengadsorpsi polutas dari air limbah sehingga dapat menurunkan kadar COD, BOD dan TSS (Zahrah, 2018) Berdasarkan polutan yang dihasilkan pada proses produksi, kualitasnya perlu di lakukan pengecekan agar tidak berbahaya jika di lepas ke lingkungan, sehingga Permen LH No 5 tahun 2014 tentang baku mutu air limbah, ini mengatur baku mutu air limbah meliputi parameter seperti BOD, COD, pH, TSS, Amonia, bakteri coliform serta minyak dan lemak juga debit maksimum.

Peraturan ini juga mengatur tentang instalasi pengolahan air limbah (IPAL) yang harus dipasang oleh industri dan penggunaan pompa dalam proses pengolahan air limbah (KLHK, 2014).

PT. X memiliki izin untuk mengolah limbah pabriknya sendiri, pada proses pengolahan perusahaan ini menggunakan sistem pengolahan yang memanfaatkan mikroorganisme sebagai media untuk mengurangi parameter yang terdapat pada air limbah pabrik makanan sehingga air limbah produksi dapat mengurangi dampak negative terhadap lingkungan dan juga memastikan kualitas air limbah yang diolah memenuhi baku mutu. Tujuan penelitian ini adalah mengevaluasi Instalasi Pengolahan Air Limbah dari pabrik pengolahan biji kakao.

I.2. Maksud dan Tujuan

Maksud dari Praktik Kerja ini adalah untuk mengevaluasi instalasi pengolahan air limbah yang beroperasi di PT. X, dengan membandingkan baku mutu yang sudah ditetapkan oleh Permen Lingkungan Hidup No 05 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah.

Tujuan dalam praktek kerja ini yaitu:

1. Menganalisis kualitas air limbah cair PT.X yang ditinjau berdasarkan peraturan Permen Lingkungan Hidup No 05 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah.
2. Mengidentifikasi dan mengevaluasi efisiensi pengolahan terhadap kualitas air limbah yang dihasilkan pada tahap operasi di PT.X
3. Mengidentifikasi dan mengevaluasi upaya Pemantauan Kualitas air limbah yang dihasilkan pada tahap operasi di PT.X
4. Merekomendasikan upaya perbaikan pada upaya pengelolaan dan pemantauan kualitas air limbah yang dihasilkan PT.X

I.3. Ruang Lingkup

Fokus ruang lingkup kerja praktik di PT. X yaitu mengevaluasi sistem pengolahan Air Limbah yang dimulai dari proses *Upstream* hingga *Downstream*.

1. Praktik Kerja ini dilakukan di PT. X Kota Bandung, divisi HSE dan WWTP
2. Mengevaluasi dokumen dari hasil pemantauan WWTP pada PT. X. Mengetahui kualitas air limbah cair yang dihasilkan, melakukan studi literatur tentang pengolahan air limbah dari proses produksi kakao.
3. Peraturan Permen Lingkungan Hidup No 05 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah.

I.4. Tempat dan Waktu Pelaksanaan

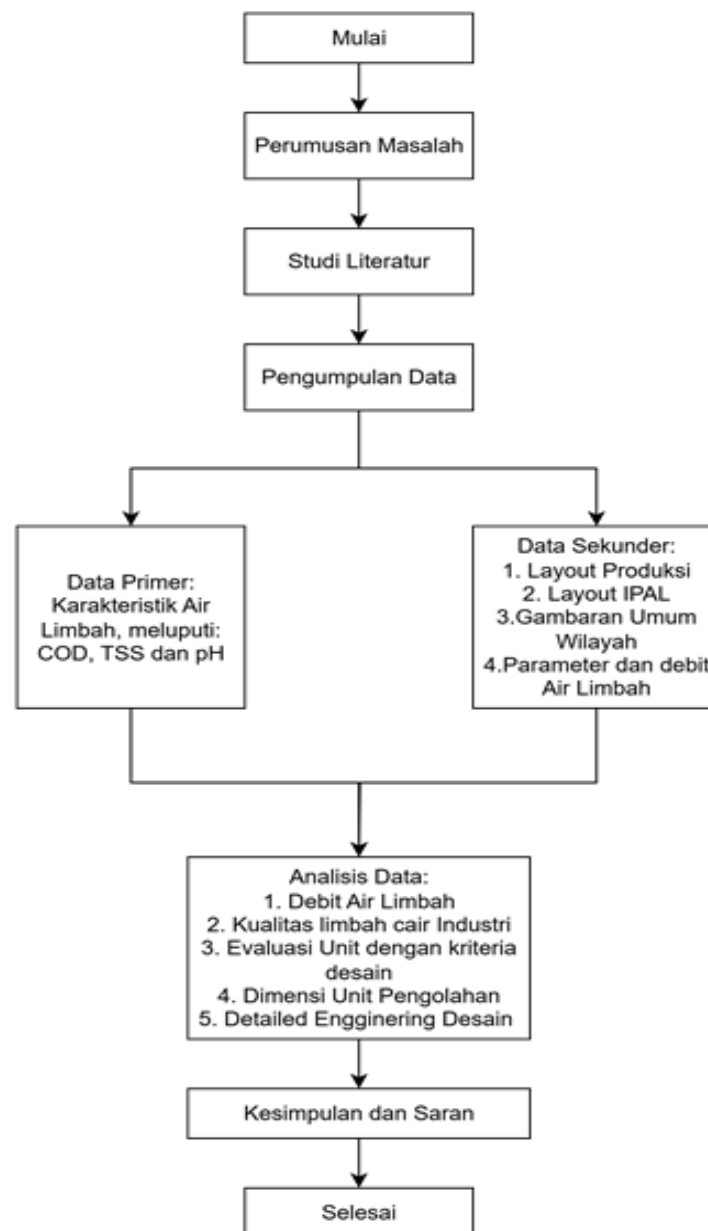
Tempat dan waktu pelaksanaan Kerja praktek adalah sebagai berikut:

Nama Perusahaan : PT. X Bandung

Tanggal Pelaksanaan : 01 Juli 2024 – 6 Agustus 2024

I.5. Tahapan Penelitian

Berikut merupakan tahapan penelitian pada pelaksanaan kerja praktek pada PT. X ini dengan tahapan berikut:



1. Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukan studi literatur mengenai teori-teori dan referensi yang berhubungan dengan pengolahan Air Limbah, dengan tujuan untuk mendapatkan gambaran mengenai objek yang diteliti.

2. Jenis Pengumpulan Data

Terdapat 2 jenis data yang dikumpulkan yaitu: a. Data

Primer

Data Primer merupakan data yang bersumber dari hasil observasi langsung ke lapangan mengenai proses pengolahan Air Limbah dengan mengamati secara langsung kegiatan pengolahan Air Limbah di PT. X mulai dari proses identifikasi hingga pemanfaatan, Adapun proses wawancara pihak yang berkontribusi dalam proses pengolahan air limbah.

b. Data Sekunder

Data sekunder merupakan data atau informasi yang diperoleh yang sudah ada di PT X divisi HSE, data yang ada berkaitan dengan topik pembahasan. Data ini dapat berupa profil perusahaan, proses induksi, pengolahan air limbah, dan proses pemantauan yang sudah dilakukan.

3. Tahapan Pengumpulan Data

Pada proses pengumpulan data dilakukan dengan cara mengumpulkan data primer diantaranya inlet air limbah, unit yang digunakan, kapasitas pengolahan, hasil pengukuran parameter, dan data sekunder seperti dokumen logbook dari proses pengolahan di PT. X untuk pembuatan laporan. Data tersebut dikumpulkan dengan cara:

a. Observasi Lapangan

Observasi lapangan dilakukan dengan cara mengamati proses pengolahan secara langsung sebagai bahan untuk meninjau pelaksanaan system pengolahan dan pemanfaatan kembali air limbah yang sudah di olah di PT.X.

b. Wawancara

Wawancara dilakukan sebagai kebutuhan untuk mengumpulkan data pelaksanaan terhadap pengelolaan dan pemanfaatan air limbah di PT. X Adapun hal yang diperlukan seperti apa saja kendala hingga kecelakaan yang dapat terjadi Ketika melakukan pemantauan terhadap unit pengolahan air limbah.

c. Dokumentasi

Dokumentasi dilakukan dengan berfokus pada system pengolahan air limbah di PT.X.

4. Pengolahan Data

Data yang sudah dikumpulkan kemudian dilakukan pengolahan data, dengan melakukan penilaian evaluasi kegiatan pengolahan air limbah di PT. X dengan peraturan terkait di mana evaluasi dilakukan menggunakan.

5. Penyusunan Laporan

Penyusunan laporan merupakan tahapan terakhir setelah melaksanakan praktik kerja, penyusunan dilakukan sesuai dengan panduan penyusunan laporan.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil Evaluasi dan Analisis terhadap Instalasi Pengolahan Air Limbah di PT X, dapat disimpulkan sebagai berikut;

1. Hasil analisis menunjukkan bahwa air limbah yang dihasilkan dari proses produksi kakao di PT X, terdapat kandungan senyawa organik diantaranya seperti protein, minyak dan lemak, COD, BOD dan Amonia. Terdapat juga kandungan logam namun kadarnya masih di bawah batas baku mutu yang sudah ditetapkan menurut Permen LH No.5 tahun 2014. Di mana untuk industri kakao belum terdapat baku mutu khusus industri, sehingga digunakan bakumutu air limbah secara umum. Hasil pengolahan Sebagian besar memenuhi standar baku mutu lingkungan, khususnya untuk parameter utama seperti COD, BOD, TSS dan pH.
2. `
3. Dengan adanya permasalahan yang terjadi dalam sistem pengolahan air limbah PT X, sudah melakukan upaya pemantauan kualitas air limbah secara berkala dengan melakukan observasi lapangan, pengambilan sampel, pengujian sampel, serta melakukan pencacatan rutin terhadap parameter seperti COD, TSS, dan Kekeruhan.
4. Berdasarkan hasil evaluasi, penulis merekomendasikan agar PT X melakukan peningkatan kapasitas untuk unit Ekualisasi, melihat jumlah produksi yang semakin meningkat dan sering

terjadinya permasalahan *overflow* yang terjadi. Selain itu, perlu dilakukan penguatan sistem pemantauan, *maintenance*, dan peningkatan pelatihan bagi operator WWTP, di mana kompetensi operator sangat diperlukan melihat sistem pengolahan menggunakan mikroorganisme sebagai komponen utama dalam proses pengolahan air limbah.

V.2 Saran

Berikut merupakan saran yang dapat diberikan penulis, dengan harapan PT x dapat meningkatkan kinerja pengelolaan lingkungan;

1. Peningkatan Efisien Pengolahan terutama terhadap optimalisasi proses biologis.
2. Pemantauan berkelanjutan terhadap parameter utama seperti BOD, COD, pH, TSS, Amonia, minyak dan lemak, dan juga waktu detensi dari setiap sistem agar sistem dapat bekerja secara maksimal.
3. Peningkatan kapasitas perlu dipertimbangkan agar pengolahan dapat efisien
4. Melakukan pelatihan terhadap Operator WWTP dan memperketat SOP (*Standard Operating Procedure*).
5. Melakukan Reuse untuk air yang telah diolah, guna mendukung prinsip industry berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- (ICO), I. C. (2017). *Cocoa market review* . Cote d'Ivoire.
- Abdallah, A. V. (2024). Effect of particle shape on the void space in granular materials: implications for the properties of granular filters. *Granular Matter*., 26(4), 97.
- Aflah, R. (2024). *Pemanfaatan Limbah Hasil Fermentasi Biji Kakao Untuk Model Pembelajaran Project Based Learning Pada Materi Titrasi Asam Basa Di SMA Negeri 2 Bandar*. Banda Aceh: Doctoral dissertation, UIN Ar-raniry.

- Aini, N. (2021). Dampak Pencemaran Air Limbah Domestik dan Industri terhadap Kualitas Sumber Daya Air. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 17(2), 120-130.
- Ali, K. J. (2025). he optimal mixing ratio of cow manure with food waste using a laboratory up flow anaerobic sludge blanket reactor. . *ournal of Ecological Engineering*,, 26(8), 381-392.
- Al-Sayed, A. H.-S. (2023). Effect of organic loading rates on the performance of membrane bioreactor for wastewater treatment behaviours, fouling, and economic cost. *Sci Rep* 13, 15601 , 13:15601 .
- Amrin, M. Z. (2025). Pengaruh Sistem Sirkulasi terhadap Produksi Biogas dari Kotoran Sapi dan Limbah Cair Tahu. *Student Research Journal*,, 3(1), 161-175.
- Annysa. A.P, T. E. (2025). Karakteristik Fisika Air Limbah: Bau dan Warna sebagai Indikator Proses Penguraian Bahan Organik. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 24(1),9-20.
- Apriliyani, I. A. (2023). Analisis terhadap Kinerja Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) pada Industri Gudeg Kaleng di PT XYZ, Yogyakarta. *agriTECH*,, 43(1), 74-84.
- Azis, N. F. (2019). Energy efficiency of wastewater treatment plant through aeration system. *Desalination and Water Treatment*, 156, 38-45.
- Badu, R. R. (2023). Pengolahan air sumur gali menggunakan filter dengan karbon aktif untuk mengurangi parameter pH dan TDS. *CivETech*,, 5(2), 45-53.
- Bahri, S. (2016). identifikasi sumber pencemar nitrogen (N) dan fosfor (P) pada pertumbuhan melimpah tumbuhan air di Danau Tempe, Sulawesi Selatan. *urnal Sumber Daya Air*,, 12(2), 159-174.
- Bickel Haase, A. e. (2021). Chemical Composition and Fermentation Dynamics of Cocoa Pulp. *Food Chemistry*, 345, 128765.
- Bithi, I. J. (2024). Removal of Cr (VI) from wastewater by impregnated activated carbon generated from vegetable tanned leather waste with aluminium oxide. *Results in Surfaces and Interfaces*,, 14, 100197.
- Daniswara, D. &. (2024). PERHITUNGAN F/M RATIO PENGOLAHAN LIMBAH LUMPUR AKTIF WWTP-2 DI PABRIK FARMASI.

DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi, 10(1), 41-47.

- David, J. H. (2011). Pengaruh fermentasi biji kakao terhadap olahan coklat di Kalimantan Barat. *Jurnal Biopropal Industri*, 2(1).
- Dewi, M. N. (2023). Analysis of Color and Chemical Oxygen Demand (COD) in Textile Industry Wastewater: Analisis Warna dan Chemical Oxygen Demand (COD) pada Air Limbah Industri Tekstil. *Jurnal Kimia dan Rekayasa*, 3(2), 77-83.
- Du, X. S. (2020).). A review on the mechanism, impacts and control methods of membrane fouling in MBR system. *Membranes*, , 10(2), 24.
- Ekoputri, S. F. (2024). Pengolahan air limbah dengan metode koagulasi flokulasi pada industri kimia. *urnal Serambi Engineering*, , 9(1), 7781-7787.
- Fajri, R. N. (2017). Purwarupa Pengolahan Limbah Industri Coklat Secara Otomatis Berbasis Mikrokontroller. *eProceedings of Engineering*, , 4(3).
- Faradila, R. H. (2023). Rekayasa Pengolahan Air Limbah Domestik Dengan Metode Kombinasi Filtrasi Untuk Menurunkan Tingkat Polutan Air. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 22(3), 342-350.
- Faradila, R. H. (2023). Rekayasa Pengolahan Air Limbah Domestik Dengan Metode Kombinasi Filtrasi Untuk Menurunkan Tingkat Polutan Air. *urnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 22(3), 342-350.
- Faradila, R. H. (2023). Rekayasa Pengolahan Air Limbah Domestik Dengan Metode Kombinasi Filtrasi Untuk Menurunkan Tingkat Polutan Air. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 22(3), 342-350.
- Frimpong, E. A. (2025). Uptake and in-vitro bioaccessibility of toxic metals in cocoa beans: Human health risks. *Environmental Geochemistry and Health*, 47(2), 33.
- Fundneider, T. A.-B. (2021). Empty bed contact time: The key for micropollutant removal in activated carbon filters. *Water research*, 191, 116765.
- Gana, A. J. (2022). Determination of the Biological Oxygen Demand (BOD) and Chemical Oxygen Demand (COD) of Liquid Waste Generated from Landmark University Student's Cafeteria. *Sub-Sahara African Academic Research Publications*, hal 73-94.

- García-Morales, M. A.-G.-M. (2018). Pretreatment of real wastewater from the chocolate manufacturing industry through an integrated process of electrocoagulation and sand filtration. *International Journal of Photoenergy*, (1), 2146751.
- Geng, M. Y. (2022). Response of aerobic granular sludge to loading shock: Performance and proteomic study. . *Chemical Engineering Journal*, , 444, 136458.
- Gultom, R. M. (2021). Menghitung Banyaknya Jumlah H₂SO₄ Untuk Satu Kali Proses. *Disem. FTI. Inst. Teknol. Nas.*, hal. 1–8.
- Guven, H. E. (2017). Effect of hydraulic retention time on the performance of high-rate activated sludge system: a pilot-scale study. . *Water, Air, & Soil Pollution*,, 228, 1-10.
- Haderiah, H. &. (2024). Pemanfaatan Limbah Kulit Kakao Sebagai Pupuk Organik. *Sulolipu: Media Komunikasi Sivitas Akademika dan Masyarakat*, 24(1), 148-156.
- Hanafi, M. F. (2020). A review on the current techniques and technologies of organic pollutants removal from water/wastewater. *Materials Today: Proceedings*,, 31, A158-A165.
- Hartono, B. (2016). *Penerapan Sistem Daf (Dissolved Air Flotation) Untuk Pemisahan Limbah Minyak-Lemak Dalam Upaya Penerapan Konsep Zero Waste Pada Industri Minyak Kelapa (Cocos Nucifera) (Doctoral dissertation*,. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Hendrasarie, N. &. (2022). Efektivitas Penambahan Serabut Kelapa Dan Kulit Buah Siwalan Sebagai Adsorben Dan Media Lekat Biofilm Pada Pengolahan Limbah Domestik Menggunakan Sequencing Batch Reactor. *ENVIROTEK: Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, 14(1), 98-105.
- Herlambang, H. B. (2021). Efektivitas penambahan pac sebagai pengolahan awal dengan flotasi untuk menurunkan fog, bod serta tss menggunakan kombinasi koagulasi pada limbah kawasan industri ngoro persada. *Envirotek: Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*,, 13(1), 52-59.
- Hernández-Rodríguez, D. L.-C.-S.-E.-I. (2025). Model and methods for determining mixed liquor suspended solids of aerobic granular sludge reactors. *Bioresource Technology*, , 428, 132454.

- Hernaningsih, T. (2014). Aplikasi membrane bioreactor (MBR) untuk proses daur ulang air limbah. *Jurnal Air Indonesia*, , 7(2), 245834.
- Husaini, H. S. (2016). Pembuatan PAC cair dari alumina hidrat pada skala laboratorium. *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, , 2(2), 93-103.
- Irawanto, R. O. (2017). Kemampuan tumbuhan akuatik Lemna minor dan Ceratophyllum demersum sebagai fitoremediator logam berat timbal (PB). *Jurnal PROS SEM NAS MASY BIODIV INDOV*, , 3(3), 446-452.
- Jama, J. T. (2023). Evaluasi Proses Pengolahan Air Limbah Domestik Di Ipal Semanggi Kota Surakarta. *Journal of Civil Engineering and Infrastructure Technology*, 2(1), 54-60.
- Kaltchev, R. (2024). *The Main Applications of Dissolved Air Flotation. In Dissolved Air Flotation: Equipment, Best Practice and Applications*. Nature Switzerland.: Cham: Springer,.
- Karim, M. A. (2016). Pengolahan Air Limbah Rumah Sakit Muhammadiyah Palembang (RSMP) Dengan Sistem Biofilter Anaerob-Aerob. *Jurnal Distilasi*, , 1(1), 7-16.
- Kazal, N. R. (2024). Kapasitas Resin Immobilized Photocatalyst-Zno untuk Menyisihkan Total Nitrogen pada Limbah Dalam Reaktor Fotokatalis secara Continue. *INSOLOGI: Jurnal Sains dan Teknologi*,, 3(1), 44-51.
- Khazaie, A. M. (2022). A review on coagulation/flocculation in dewatering of coal slurry. *MDPI, Water*, 14(6), 918.
- KLHK. (2014). *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah*. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia.
- Leonard, F. (2024). Identifikasi Risiko Pencemaran Air Limbah Domestik. *Jurnal Media Teknik Sipil*, 2(1), 33-42.
- Lestari, N. P. (2025). Pengembangan inovasi pemanfaatan kulit kakao pada produk fashion bagi kelompok wanita tani kusuma sari di desa melaya jembrana. *Jurnal Da Moda*, 6(2), 118-128.
- Luo, Y. X. (2023). Wastewater treatment plant serves as a potentially controllable source of microplastic: association of microplastic

- removal and operational parameters and water quality data. . *Journal of Hazardous Materials*,, 441, 129974.
- M. E. Kosim, D. P. (2021). Analisis Efisiensi Penukar Ion Sistem Demineralisasi Pada Pengolahan Air di Proses Produksi Electroplating. *Pros. Semnastek*, Hal 1-7.
- M. RANGGA SURURI, H. (2024). Penyisihan kekeruhan dan natural organic matter (nom) pada unit koagulasi-flokulasi instalasi pengolahan air minum di asia tenggara : studi literatur. *Jurnal Reka Lingkungan*, Hal. 63- 79.
- Mainardis, M. B. (2020). Up-flow anaerobic sludge blanket (UASB) technology for energy recovery: a review on state-of-the-art and recent technological advances. *Bioengineering*, 7(2), 43.
- Masduqi, A. d. (2012). *Operasi dan Proses Pengolahan Air*. Surabaya: ITS press.
- Mashari, S. N. (2019). Analisis Kinerja dan Daya Saing Perdagangan Biji Kakao dan Produk Kakao Olahan Indonesia di Pasae Internasional. *Jurnal Agribisnis Indonesia*, 7(1), 37–52. .
- Metcalf&Eddy. (2014). Wastewater Treathment Resouce Recovery. Dalam M. Abu-Orf, *CHEMICAL CONDITIONING* (hal. 14-1). New York: by McGraw-Hill Education, 2 Penn Plaza, New York, NY 10121.
- Meylinda Miftahul Amim, S. R. (2024). Efektivitas perubahan setting waktu step rinsing pada proses regenerasi mix bed di water treatment Plant Unit 7,8 PT POMI. *Jurnal Teknologi Separasi*, Hal 4.
- Min, K. J. (2024). Effect of settling time and organic loading rates on aerobic granulation processes treating high strength wastewater. . *Heliyon*,, 10(16).
- Mirzayanti, Y. W. (2024). Enhancing Industrial Wastewater Oil Removal Through Integrated Coagulation–Flocculation Pretreatment and Dissolved Air Flotation (DAF). . *Journal of Research and Technology*, , 10(2), 243251.
- Munggaran, G. A. (2024). Identifikasi Sumber Pencemaran berdasarkan Analisis Parameter Kekeruhan, pH, dan Warna di Situ Pamulang: Identifikasi Sumber Pencemaran berdasarkan Analisis Parameter Kekeruhan, pH, dan Warna di Situ Pamulang. . *Health Safety Environment Journal*, , 3(1).

- Muñoz-Alegría, J. A.-E.-M. (2021). Dissolved air flotation: a review from the perspective of system parameters and uses in wastewater treatment. *TecnoLógicas*, 24(52), 281-303.
- Murti, G. W. (2019). Ulasan Teknologi Pretreatment Terkini Limbah Cair POME Sebagai Umpan Digester Biogas. *JTERA (Jurnal Teknologi Rekayasa)*, 4(1), 17.
- Mustamin, H. A. (2020). Studi Kesesuaian Mikroorganisme Pada Pengolahan Limbah Cair Industri. *Chempro*, 1(2), 45-52.
- N. Fajri, M. H. (2017). “Pengolahan Lindi dengan Metode KoagulasiFlokulasi Menggunakan Koagulan Aluminium Sulfat dan Metode Ozonisasi untuk Menurunkan Parameter BOD, COD, dan TSS (Studi Kasus Lindi TPA Jatibarang. *Jurnal Teknik Lingkungan*, vol. 6, , no. 1, hal. 1–13, 2017.
- Nisa, Q. A. (2019). Effect of Pressure Differences on Sludge Filtration Process Efficiency by Using Plate Filter Press. . *Journal of Vocational Studies on Applied Research*, 1(2), 22-26.
- Niu, T. Z. (2016). Effects of dissolved oxygen on performance and microbial community structure in a micro-aerobic hydrolysis sludge in situ reduction process. *Water Research*, 90, 369-377.
- Nuraini. S, M. A. (2025). Perencanaan Sistem Penyaluran dan Pengolahan Air Limbah Domestik Industri Produksi Bahan Kimia PT X Jawa Timur. *Globe: Publikasi Ilmu Teknik, Teknologi Kebumian, Ilmu Perkapalan*, Hal. 39-50.
- Nurul Fadzy, H. H. (2020). Analysis of COD, BOD and DO Levels in Wastewater Treatment Instalation (IPAL) at Balai Pengelolaan Infrastruktur Air Limbah dan Air Minum Perkotaan Dinas PUP-ESDM Yogyakarta3. *IJCR-Indonesian Journal of Chemical Research*, Hal. 80-89
- NURYOTO, N. (2023). Studi Proses Dewatering Di Unit Pengolahan Air Limbah menggunakan Plate-Frame Filter Press: Pengaruh Konsentrasi dan Jenis Filter: Study of Dewatering Process in Wastewater Treatment Unit using Plate-Frame Filter Press: Effect of Concentration and Filter . *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 24(2), 235-241.

- Pamungkas, A. (2016). Analisis Beban Pencemar Air Limbah Berdasarkan Parameter BOD untuk Perancangan Sistem Pengolahan. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 18(2), 85-92.
- Pasaribu, F. A. (2023). Penentuan Unit Operasi dan Proses Berdasarkan Kualitas Air Baku di Sungai Landak Kecamatan Kuala Behe. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 21(1), 187-199.
- Permatasari, R. R. (2018). *Treating domestic effluent wastewater treatment by aerobic biofilter with bioballs medium*. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 106, No. 1, p. 012048). IOP Publishing.
- Perry, R. a. (1999). *Perry's Chemical Engineers' Handbook*. Singapore: 7th edition. McGraw Hill Book Company.
- Piotrowski, R. &. (2020). Designing control strategies of aeration system in biological WWTP. *Energies*, 13(14), 3619.
- Prameswara, M. I. (2024). Pengaruh Rasio Penambahan Aluminium Sulfat (Al₂(SO₄)₃) Pada Pengolahan Limbah Cair Pusat Perbelanjaan Secara Koagulasi-Flokulasi. *DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi*, 10(1), 219232.
- Pratama, G. A. (2021). Proses Pengolahan Air Pada Prasedimentasi Ditinjau dari Laju Alir dan Waktu Pengendapan Di PLTG Borang. *Jurnal Pendidikan Dan Teknologi Indonesia*, 1(8), 339-343.
- Prativi, M. B. (2013). Kajian pembentukan asam asetat pada pengolahan limbah pulp kakao secara anaerob. *Widyariset*, 425–434.
- Puspitasari, P. A. (2022). Perancangan Sewage Treatment Plant (STP) sebagai Implementasi Aspek Green Building pada Apartemen Samasta Mahata Margonda Depok. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, 7(3), 211-220.
- Putri, A. D. (2024). Optimasi Proses Hidrolisis Alkali untuk Pengolahan Limbah Minyak dan Lemak Industri Makanan. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 15(1), 45-56.
- Putri, H. M. (2022). Penyisihan Material Organik dan Nitrogen dengan Proses Aerasi Menggunakan Microbubble Generator (MBG) pada Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Asrama. *J Ilmu Lingkung*, 20(1), 127-38.

- Quinones, S. (2023). *Evaluasi dan Desain Ulang (Redesign) Instalasi Pengolahan Air Limbah Industri Pengolahan Cokelat PT. Z Tanggerang*. Semarang: eprints2.undip.ac.id.
- Rahma., N. (2018). Pengaruh Temperatur terhadap Kadar Dissolved Oxygen (DO) dalam Air Limbah. *Skripsi, Universitas Diponegoro*.
- Ramadani, R. S. (2021). Analisis suhu, derajat keasaman (pH), chemical oxygen demand (COD), dan biologycal oxygen demand (BOD) dalam air limbah domestik di dinas lingkungan hidup Sukoharjo. *Indonesian Journal of Chemical Research*, 12-22.
- Ramadiyanti, M. (2020). Karakteristik Limbah Kulit Biji Kakao Proses Biodegradasi Menggunakan Jamur Pelapuk Putih. *Phanerochaete Chrysosporium. Bio Educatio*, , 5(2), 377412.
- Randy Ramadania, S. S. (2021). Analysis of Temperature, Power of Hydrogen (pH), Chemical Oxygen. *IJCR-Indonesian Journal of Chemical Research*, Hal. 12-22.
- Reynolds, T. D. (1996). *Unit Operations and Processes in Environmental Engineering (Second Edition)*. United States of America: PWS Publishing Co.
- Rimantho, D. &. (2019). Analisis Kapabilitas Proses Untuk Pengendalian Kualitas Air Limbah Di Industri Farmasi. *Jurnal Teknologi*,, 11(1), 1-8.
- Rinawati, N. S. (2016). valuasi Kualitas Air dan Efisiensi Pengolahan Air Limbah Berdasarkan Parameter Padatan Total. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 22(1), 45-52.
- Ristanti, E. Y. (2016). Kandungan logam berat pada biji kakao asal Sulawesi Barat dan Tenggara. . *J. Ind. Has. Perkeb.*, 11, 67-73.
- Rivai, V. W. (2022). Efektivitas metode aerasi bubble aerator dalam menurunkan kadar bod dan cod air limbah rps laundry kota Malang. *urnal Mahasiswa" ENVIRO"*, 1(2).
- Rizani, M. D. (2023). Perencanaan instalasi pengolahan air limbah (ipal) pabrik tempe dengan digester anaerobik dan biofilter anaerobik di wilayah semarang (Studi Kasus Pabrik Tempe Dampyak Gunung Pati Kota Semarang). *Jurnal Teknik Sipil Giratory UPGRIS*, , 4(2), 81-91.

- Rubiyo, R. &. (2012). Peningkatan produksi dan pengembangan kakao (*Theobroma cacao* L.) DI INDONESIA. *Journal of Industrial and Beverage Crops*, 3, 3(1), 33-48.
- Salsabilla Nurul Aulia, F. A. (2023). Desain unit pengolahan lumpur di instalasi pengolahan air (IPA) Gunung Linggai Perumda Tirta Kencana Kota Samarinda Berdasarkan Karakteristik dan Timbulan Lumpur yang Dihasilkan. *Jukung Jurnal Lingkungan*, 9(1):73-86.
- Santoso, D. W. (2023). Perencanaan instalasi pengolahan air limbah (ipal) domestik dengan metode biofilter aerob di pt. bhanda ghara reksa (persero) divre vi lampung. *Jurnal Lingkungan dan Sumberdaya Alam (JURNALIS)*, 6(1), 45-60.
- Santoso, R. A. (2023). Mekanisme teknologi bioreaktor membran (MBR) dalam mengatasi pencemaran air. *OPTIKA: Jurnal Pendidikan Fisika*, 7(2), 439-445.
- Santoso, R. A. (2023). Mekanisme teknologi bioreaktor membran (MBR) dalam mengatasi pencemaran air. . *OPTIKA: Jurnal Pendidikan Fisika*, 7(2), 439-445.
- Sari, A. P. (2016). Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Industri Agar-agar. *urnal Teknik ITS*, 5(2), D92-D97.
- Sari, D. P. (2024). Effect of Alkalinization Process on pH Neutralization and Heavy Metal Removal in Cocoa Bean Processing Wastewater. *Journal of Environmental Engineering and Management*, 18(2), 115-123.
- Sari, N. P. (2023). Biodegradasi Minyak dan Lemak pada Limbah Industri dengan Bantuan Enzim Lipase. *Jurnal Bioteknologi Lingkungan*, 11(3), 120-130.
- Septianto, F. M. (2024). Analisis pembuatan dan penggunaan koagulan poly aluminium chloride (PAC) pada proses penjernihan air. . *Dynamics in Engineering Systems: Innovations and Applications*, 1(1), 58-71.
- Setiadji, W. E. (2023). Efektivitas Instalasi Pengolahan Air Limbah Berdasarkan Parameter COD, BOD, TSS, pH (Studi Kasus Industri Tahu di Dusun Janten Ngestiharjo Kasihan Bantul). *Proceedings Series on Physical & Formal Sciences*, 6, 20-28.
- Sholichin, M. (2012). *Modul Bahan Ajar Pengelolaan Air Limbah*. Malang: Universitas Brawijaya.

- Sigit Setyawan, I. S. (2021). Modifikasi Proses Pengolahan Boiler Feed Water (BFW) dari All volatile Treatment (ATV) menjadi oxygenated treatment (OT) untuk produksi listrik ramah Lingkungan. *JURNAL REKAYASA PROSES*.
- SILA, N. (2021). Identifikasi bakteri pengurai bahan pencemar organik pada air limbah domestik pulau kodingareng lombo. *Doctoral dissertation, Universitas Hasanuddin*, hal 44-51.
- Singh, G. S. (2021). The fate of organic pollutants and their microbial degradation in water bodies. . In *Pollutants and Water Management: Resources, Strategies and Scarcity*, 210-240.
- Sobari, H. A. (2020). *Mengevaluasi Instalasi Proses Pengolahan Air Bersih Pada Unit IPA PDAM Tirtana di Medan Sunggal*. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Soyan, R. V. (2022). Perancangan Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik pada Industri Pertambangan PT X. *Journal of Sustainable Infrastructure*, , 1(1), 13-23.
- Srinawati, Y. L. (2024). Perancangan Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik Dengan Sistem Kombinasi Anaerob-Aerob Di Kelurahan Karame Kota Manado. *TEKNO*., 22(88), 1341-1347.
- Subroto, M. (2020). Penyisihan organik dan nutrisi pada air limbah domestik dari gedung perkantoran menggunakan sistem pengolahan anoksik fixed bedmbbr dengan variasi rasio resirkulasi dan aerasi berkala. *Teknik Lingkungan*, Hal. 11.
- Sulfirani, e. a. (2024). Pemberdayaan masyarakat desa Watunohu dalam pengolahan biji kakao menjadi tepung kakao. *Jurnal Ilmiah Pengabdian Kepada Masyarakat UMPR*, 656–664.
- Syarifain, R. I. (2022). Formulasi pembawa rizobakteri penambat nitrogen dan pelarut fosfat, serta aplikasinya di pembibitan kelapa sawit yang diberi komposisi dan dosis amelioran yang berbeda. *Jurnal Kultivasi*., 21(2), 190-201.
- Tchobanoglous, G. S. (2014). *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery (5th ed.)*. New York: McGraw-Hill Education.
- Tilley, E. U. (2014). *Compendium of Sanitation Systems and Technologies Functional Group T: (Semi-) Centralized Treatment*. Switzerland: Switzerland: Eawag – Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology.

- Umah, N. R. (2018). Efektivitas Dosis Ferri Klorida (FeCl_3) dalam Menurunkan Kadar Chemical Oxygen Demand (COD) pada Limbah Pabrik Tahu di Tempelsari Kalikajar Wonosobo. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 6(6), 279-288.
- Utami, K. a. (2022). Analisis kadar Total Dissolved Solid (TDS) dan Total Suspended Solid (TSS) Pada Limbah Cair dari Industri Gula Tebu. *IJCRIndonesian Journal of Chemical Research*, Hal 43-49.
- Wahyudi, R. K. (2022). Efektivitas Penurunan Surfaktan pada Air Limbah Cuci Tangan Menggunakan Filtrasi KELARA (Kerikil, Zeolite, Arang Aktif, dan Pasir). *Ruwa Jurai: Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 16(3), 146–151.
- Wang, Z. M. (2014). Membrane cleaning in membrane bioreactors. A review. *Journal of membrane science*, 468, 276-307.
- William Asante Nnuro, M. A. (2018). Determination of the Levels of Some Heavy Metals in Cocoa. *Food Science and Quality Management*, hal 1339.
- WILLY, T. A. (2022). Metode pengolahan air limbah proses utama menggunakan wastewater treatment plant (wwtp) pada pt. indonesia power grati power generation and operation&maintanance services unit (POMU). Doctoral dissertation, UNIVERSITAS AIRLANGGA).
- Wu, W. L. (2023). Impacts of floc breakage on dewaterability of chemically conditioned sludges and implications on practical conditioning strategies. . *Chemical Engineering Journal*, 459, 141626.
- Xia, Z. C. (2023). Optimization on structure and operation parameters of biofilter for decentralized sewage treatment. *Environmental Research*, 219, 115004.
- Yeboah, S. D.-W. (2024). Heavy metal status in cocoa (*Theobroma cacao* L.) soils and beans: the case of Abuakwa North Municipality of Eastern Region, Ghana. *Environmental Monitoring and Assessment*, 196(2), 156.
- Yuliana, S. e. (2022). Karakteristik Kimia Pulpa Kakao dan Potensi Pemanfaatannya. *Jurnal Agroteknologi*, 15(3), 123-130.
- Yunasthania Wowor, B. Y. (2023). Perbedaan Variasi Ketebalan Media Filter Arang Aktif Terhadap Penurunan Kadar Total

- Dissolved Solids (TDS). *urnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, , 22(1), 76-83.
- Zahra, L. Z. (2015). Pengolahan Limbah Rumah Makan dengan Proses Biofilter Aerobik. *Jurnal Teknik ITS*,, 4(1), D35-D39.
- Zahrah, M. (2018). Bangunan industri Pengolahan Kakao di Blitar dengan Konsep Arsitektur Ekologi . (*Doctoral dissertation, Universitas Brawijaya*).
- Zaiful Rizal, I. W. (2025). Kandungan biological oxygen demand (bod) dan total suspended solid (tss) pada aliran sungai desa klampar kecamatan proppo kabupaten pamekasan. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Seri III*, 755-761.
- Zhang, C. L. (2024). Assessing the impact of low organic loading on effluent safety in wastewater treatment: Insights from an activated sludge reactor study. . *Journal of Hazardous Materials*, , 465, 133083.
- Zhang, Y. S. (2023). Simultaneous increases of filter-feeding fish and bivalves are key for controlling cyanobacterial blooms in a shallow eutrophic lake. *Water Research*,, 245, 120579.