

Air Limbah Industri Pangan: Implikasi terhadap Kualitas Air Permukaan dan Air Tanah

Nuha Amiratul Afifah, Husna Muizzati Shabrina, Yudhistira Saraswati, Febrica Citra
Faradilla, Ufiya Cahaya Adhina
UPN Veteran Yogyakarta, Indonesia
Email: nuha.amiratulafifah@upnyk.ac.id

Abstrak

Pengelolaan air limbah yang tidak memadai dalam industri pangan berkontribusi besar terhadap pencemaran lingkungan. Limbah ini mengandung berbagai polutan seperti bahan organik, lemak, minyak, nutrisi (nitrogen dan fosfor), patogen, dan logam berat. Air limbah yang tidak terolah dengan baik dapat terinfiltrasi ke dalam air tanah dan mengalir ke air permukaan, yang menyebabkan masalah lingkungan seperti eutrofikasi, penurunan kualitas air minum, dan penyebaran penyakit. Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi dampak limbah dari industri pangan skala kecil dan menengah (UMKM) terhadap kualitas air permukaan dan air tanah. Penelitian ini fokus pada identifikasi jenis polutan dan jalur kontaminasi yang terjadi. Metode yang digunakan adalah observasi lapangan dan analisis laboratorium terhadap sampel air untuk menilai sejauh mana limbah tersebut mencemari sumber air. Selain itu, penelitian ini juga mengevaluasi strategi pengelolaan limbah yang dapat diterapkan oleh UMKM pangan untuk mengurangi dampak lingkungan. Temuan dari penelitian ini menunjukkan bahwa limbah dari UMKM pangan berisiko besar terhadap kualitas air dan menggarisbawahi pentingnya pengelolaan air limbah yang lebih efektif. Penelitian ini memberikan wawasan penting bagi pembuat kebijakan, pelaku usaha, dan lembaga lingkungan dalam mengatasi tantangan lingkungan yang ditimbulkan oleh limbah industri pangan.

Kata kunci: industri pangan, air limbah, air permukaan, air tanah, pengolahan limbah

Abstract

Inadequate wastewater management in the food industry significantly contributes to environmental pollution. The wastewater contains various pollutants such as organic materials, fats, oils, nutrients (nitrogen and phosphorus), pathogens, and heavy metals. When not properly treated, wastewater can infiltrate groundwater and flow into surface waters, leading to environmental issues such as eutrophication, deteriorating drinking water quality, and disease transmission. This research aims to explore the impact of wastewater from small and medium-sized food enterprises (SMEs) on both surface water and groundwater quality. The study focuses on identifying the types of pollutants and the contamination pathways, providing a comprehensive understanding of how wastewater affects water sources. The study employs a combination of field observations and laboratory analysis of water samples to assess the extent of pollution. Additionally, the research evaluates sustainable wastewater management strategies that SMEs can implement to reduce environmental impacts. The findings suggest that wastewater from SMEs in the food industry poses significant risks to water quality and highlights the need for more effective management practices. This study provides important insights for policymakers, businesses, and environmental agencies in addressing the environmental challenges posed by wastewater in the food industry.

Keywords: food industry, wastewater, surface water, groundwater, wastewater treatment

*Correspondence Author: Nuha Amiratul Afifah
Email: nuha.amiratulafifah@upnyk.ac.id



PENDAHULUAN

Industri pangan merupakan salah satu sektor yang laing berpengaruh dalam perekonomian global, yang berfungsi sebagai produsen bagi berbagai jenis makanan yang dibutuhkan oleh miliaran jiwa di seluruh dunia. Sektor ini mencakup berbagai subsektor penting, seperti pengolahan daging, produk susu, buah, sayuran, minuman, serta produk olahan lainnya. Namun, meskipun memiliki kontribusi besar terhadap penyediaan pangan global, industri pangan juga menjadi salah satu penyumbang pencemaran lingkungan terbesar, terutama melalui pembuangan air limbah yang dihasilkan selama proses produksinya (Asgharnejad, 2021).

Proses produksi makanan dalam industri pangan melibatkan pencucian, pemrosesan, pengemasan, dan pengawetan, menghasilkan air limbah dalam jumlah besar (Istianah, dkk., 2019). Air limbah ini umumnya mengandung berbagai kontaminan, baik organik maupun anorganik. Pada outlet air limbah yang dihasilkan dari fasilitas pengolahan makanan, dapat ditemukan kandungan polutan seperti lemak, minyak, dan lemak hewani (FOG), serta bahan organik lainnya yang menyebabkan tingginya Biological Oxygen Demand (BOD) dan Chemical Oxygen Demand (COD) (Suhartini dan Nurika, 2018). Selain itu, efluen ini umumnya juga mengandung nutrisi seperti nitrogen dan fosfor, yang dapat memicu lonjakan pertumbuhan alga di badan air. Di beberapa kasus, air limbah ini juga membawa bahan kimia berbahaya, termasuk senyawa logam berat dan pestisida yang digunakan dalam produksi pangan (Hidayat, 2016).

Air limbah dari industri pangan yang tidak dikelola dengan baik, ketika dibuang ke lingkungan dapat menimbulkan dampak negatif pada kualitas air permukaan dan air tanah (Gufran dan Mawardi, 2019). Air limbah industri pangan yang memiliki kandungan zat organik, nutrisi, serta bahan kimia berbahaya dapat terinfiltrasi ke dalam air tanah atau mengalir ke badan air permukaan seperti sungai, danau, dan lautan. Selain berdampak pada kualitas air yang digunakan oleh manusia, hal tersebut juga dapat merusak ekosistem perairan (Aprilia, 2022). Limpasan nutrisi dari limbah industri pangan dapat memicu proses eutrofikasi yang menyebabkan ledakan pertumbuhan alga dan berpotensi mengurangi kadar oksigen terlarut dalam air, yang memicu kematian massal organisme akuatik (Sakinah dan Purwanti, 2018). Selain itu, pencemaran air tanah oleh zat beracun dan patogen dapat menjadi ancaman serius bagi kesehatan manusia, terutama bagi masyarakat yang bergantung pada air tanah sebagai sumber air minum (Leonard, 2024).

Penelitian terdahulu menunjukkan dampak negatif dari limbah industri pangan terhadap kualitas air, terutama dari industri berskala besar. Namun, terdapat kekosongan dalam penelitian terkait dampak yang ditimbulkan oleh industri pangan skala kecil dan menengah (UMKM), terutama di Indonesia, di mana sektor ini justru berkontribusi besar terhadap ekonomi nasional (Sofyan, 2017). Penelitian terdahulu lebih berfokus pada industri pangan skala besar yang memiliki kapasitas pengelolaan limbah lebih baik, sementara UMKM seringkali menghadapi keterbatasan infrastruktur dan sumber daya yang menyebabkan UMKM kerap tidak memperhatikan dampak kegiatannya bagi lingkungan (Maharsiwi, 2024). Oleh karena itu, studi yang memfokuskan pada UMKM pangan dan tantangan dalam pengelolaan limbahnya masih sangat terbatas.

Selain itu, teknologi pengolahan limbah yang tersedia umumnya kompleks dan mahal, sehingga sulit diadopsi oleh UMKM karena keterbatasan biaya dan fasilitas (Istianah, dkk., 2019). Penelitian ini bertujuan untuk menutup celah tersebut dengan mengeksplorasi dampak spesifik dari limbah industri UMKM pangan terhadap kualitas air permukaan dan air tanah di wilayah tertentu, serta mengidentifikasi solusi pengolahan limbah yang lebih praktis dan terjangkau bagi UMKM.

Oleh karena itu, artikel ini bertujuan untuk memberikan analisis komprehensif berkaitan dengan dampak air limbah dari industri pangan terhadap kualitas air permukaan dan air tanah, termasuk di dalamnya pembahasan mengenai jenis polutan yang ditemukan, jalur potensial masuknya ke dalam sistem air, serta konsekuensi terhadap lingkungan dan kesehatan yang mungkin ditimbulkan. Selain itu, artikel ini juga membahas strategi minimalisasi dampak

negatif air limbah terhadap lingkungan yang dapat diterapkan oleh UMKM. Analisis ini diharapkan dapat memberikan wawasan yang lebih baik tentang pentingnya manajemen air limbah yang sesuai dengan kapasitas UMKM untuk melindungi sumber daya air serta mendorong keberlanjutan lingkungan di masa yang akan datang.

METODE PENELITIAN

Lokasi kajian dan waktu penelitian

Penelitian ini menggunakan metode literature review (tinjauan pustaka) untuk menganalisis dampak limbah industri UMKM pangan terhadap kualitas air permukaan dan air tanah. Literatur yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari berbagai sumber ilmiah terpercaya, termasuk jurnal ilmiah yang diindeks, buku referensi, laporan pemerintah, dan artikel penelitian yang relevan dengan topik pencemaran air oleh limbah industri pangan. Kajian ini dilaksanakan pada rentang waktu Juli hingga November 2024. Analisis data serta penyusunan hasil penelitian dilakukan di Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta.

Penelitian ini difokuskan pada studi literatur yang membahas dampak limbah dari industri pangan skala kecil dan menengah (UMKM), yang mencakup berbagai sektor pangan seperti pengolahan daging, pengolahan ikan, produk susu, sayuran, dan makanan olahan lainnya.

Prosedur analisis data

Pencairan dilakukan melalui basis data ilmiah seperti Google Scholar, ScienceDirect, dan PubMed dengan kata kunci terkait seperti "limbah industri pangan", "pencemaran air permukaan", "pencemaran air tanah", "pengolahan air limbah", "dampak lingkungan", "limbah industri tahu", "limbah industri pengolahan daging", "limbah industri pengolahan ikan", "limbah industri tempe", "food industry wastewater", "food industry wastewater characteristic", "food industry wastewater environmental impact", dan "food industry wastewater treatment". Hanya literatur yang dipublikasikan dalam 20 tahun terakhir (2004-2024) yang relevan dengan topik penelitian yang akan dimasukkan dalam kajian ini. Artikel yang tidak membahas industri UMKM pangan atau yang tidak relevan dengan tema pencemaran air oleh limbah industri akan dikecualikan.

Setiap artikel yang relevan akan dianalisis untuk menjelaskan jenis polutan yang terkandung pada air limbah industri pangan dan jalur kontaminasi yang memungkinkan ke air permukaan dan air tanah. Penelitian juga akan mengklasifikasikan berbagai jenis polutan yang ditemukan, seperti bahan organik, nutrisi (nitrogen dan fosfor), lemak, minyak, logam berat, serta patogen. Hasil analisis literatur juga akan mengevaluasi dampak dari masing-masing jenis polutan terhadap ekosistem air dan kesehatan manusia. Selain itu, akan diidentifikasi berbagai teknologi pengolahan limbah yang telah digunakan dalam industri pangan.

Artikel akan dikelompokkan dalam subtema seperti dampak pada air permukaan, dampak pada air tanah, serta strategi minimalisasi dampak air limbah. Berdasarkan hasil pengelompokan, temuan dari berbagai studi akan disintesis untuk memberikan gambaran yang lebih komprehensif tentang bagaimana limbah industri UMKM pangan mempengaruhi lingkungan dan bagaimana strategi pengolahan limbah yang dapat diadopsi oleh UMKM pangan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Limbah Industri Pangan

Air limbah yang dihasilkan oleh industri pangan memiliki karakteristik bervariasi tergantung pada jenis produk yang diolah, namun secara umum mengandung bahan organik yang mudah terurai, nutrisi, dan padatan tersuspensi (Cristian, 2010). Polutan utama yang terkandung dalam air limbah industri pangan meliputi bahan organik, lemak, minyak, dan grease (FOG), serta nutrisi (Pan, et.al., 2022). Kadar bahan organik dalam limbah umumnya tinggi, sehingga air limbah industri pangan memiliki Biological Oxygen Demand (BOD) dan Chemical Oxygen Demand (COD) yang tinggi sebagai akibat dekomposisi bahan organik. Lemak, minyak, dan grease (FOG) yang dihasilkan, khususnya dari pengolahan daging dan susu, berpotensi menyumbat saluran air serta menimbulkan gangguan pada ekosistem akuatik (Klaucans and Sam, 2018). Selain itu, kelebihan nutrisi seperti nitrogen dan fosfor dalam limbah dari pengolahan pangan (Alejandro and Noemi, 2011) dapat menyebabkan eutrofikasi yang memicu ledakan pertumbuhan alga, dan penurunan kadar oksigen di air permukaan.

Di samping itu, air limbah dari industri pengolahan pangan sering mengandung patogen, seperti bakteri, virus, dan parasit, yang dapat membahayakan kesehatan manusia serta kehidupan akuatik (Pelic, et.al., 2021). Meskipun jarang ditemui, beberapa industri pangan juga dapat menghasilkan air limbah yang mengandung logam berat seperti tembaga, seng, dan kromium (Ma, et.al., 2020). Keseluruhan komposisi dan karakteristik air limbah industri pangan ini memerlukan perhatian khusus dalam pengelolaan dan pengolahan agar meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan. Adapun karakteristik air limbah dari beberapa industri UMKM pangan tersaji pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik Air Limbah Industri UMKM Pangan

Tipe UMKM	Lokasi	Karakteristik					Keterangan	Referensi
		pH	Suhu (°C)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	TSS (mg/L)		
Tahu	Surakarta, Jawa Tengah	2.65	36	2,290	7,904	64	Air limbah terproduksi 3840 L atau 18.8 m ³ /ton	Pambudi, dkk., 2013
Tahu	Bojonegoro, Jawa Timur	5	55	39.4	115	10.58		Anggara, dkk., 2023
Tahu	Ambon, Maluku	5.62 – 5.8	47.1 – 47.4	360 – 400	768 – 1,175	442- 615	Dari dua area industri	Dewa dan Idrus, 2017
Tahu	Bandar Lampung	5.41	48	3,521	6,033	678		Rahmawati dan Puspitaningrum, 2022
Tempe	Jakarta	-	-	4,146.5	32,297.1	0.75	Air limbah 2.440 liter/hari	Pakpahan, dkk., 2021
Katering		5	24	8 - 83	616 – 3,720	-		Harling, 2024
Rumah makan		7.24	-	546.75	-	340	Hanya berasal dari pencucian	Ananta, dkk., 2024
Keripik Lele	Ponorogo, Jawa Timur	5,6	30,9	35	350	94		Maharsiwi, 2024

Tipe UMKM	Lokasi	Karakteristik					Keterangan	Referensi
		pH	Suhu (°C)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	TSS (mg/L)		
Stik Kepala Ikan	Ponorogo, Jawa Timur	5.77	26.6	346	744	305		Maharsiwi, 2024

Jalur Kontaminasi Air Permukaan dan Air Tanah oleh Air Limbah Industri Pangan

Pembuangan air limbah industri pangan yang tidak diolah atau diolah secara tidak memadai dapat memasuki sistem air permukaan dan air tanah melalui beberapa jalur kontaminasi (Lensoni, dan Lidiawati, 2017). Salah satu jalur utama kontaminasi adalah melalui pembuangan secara langsung, di mana air limbah langsung dibuang ke sungai, danau, atau aliran air lainnya tanpa pengolahan memadai. Praktik ini berpotensi menimbulkan gangguan serius terhadap keseimbangan ekosistem akuatik, dengan potensi dampak negatif seperti penurunan kualitas air, pencemaran bahan organik, serta akumulasi nutrisi yang dapat memicu eutrofikasi (Pan, et.al., 2022). Gangguan ini dapat menyebabkan ledakan pertumbuhan alga, penurunan kadar oksigen terlarut, dan kerusakan pada habitat akuatik.

Selain pembuangan secara langsung, air limbah industri pangan juga dapat mencemari air tanah melalui jalur aliran permukaan dan infiltrasi, terutama di wilayah yang tidak memiliki infrastruktur pengolahan limbah yang memadai. Efluen air limbah yang tidak diolah dapat meresap ke dalam tanah dan menginfiltrasi lapisan air tanah, sehingga berpotensi menyebabkan pencemaran sumber air tanah yang dapat memengaruhi kualitas air minum dan ekosistem tanah. Di samping itu, beberapa industri pangan menyimpan air limbah dalam kolam penampungan atau membuang limbah padat ke tempat pembuangan, yang dapat mengalami rembesan dan menyebabkan pencemaran sistem air sekitarnya (Putri, 2022). Rembesan ini dapat menambah beban polutan di lingkungan sekitar dan memperburuk dampak kontaminasi.

Dampak terhadap Kualitas Air Permukaan

Pembuangan efluen air limbah industri pangan yang tidak diolah atau diolah secara tidak memadai dapat menimbulkan dampak lingkungan pada air permukaan. Kehadiran polutan berupa bahan organik dan nutrisi dalam jumlah tinggi yang terkandung dalam air limbah ini dapat menyebabkan berbagai masalah yang mempengaruhi kualitas air dan kesehatan ekosistem akuatik di badan air (Pan, et.al., 2022).

Eutrofikasi merupakan dampak utama dari kehadiran bahan organik dan nutrisi dalam jumlah tinggi di air permukaan akibat dari efluen air limbah industri pangan (Fukami, et.al., 2021). Proses ini terjadi ketika kadar nutrisi seperti nitrogen dan fosfor yang tinggi di badan air sehingga mengakibatkan pertumbuhan berlebihan alga dan tumbuhan akuatik. Pertumbuhan alga yang berlebihan mengurangi kadar oksigen terlarut di dalam air sehingga menciptakan kondisi hipoksia yang sering disebut sebagai "zona mati" (Sulistyowati dan Krisnawati, 2023). Dalam kondisi ini, oksigen yang tersedia di badan air menjadi sangat rendah, sehingga menyebabkan kematian massal ikan dan organisme akuatik lainnya. Proses eutrofikasi berpotensi mengganggu struktur komunitas ekosistem akuatik dan merusak kualitas air, mengakibatkan kerugian ekologis yang besar (Koeshendrajana, 2017). Kehadiran kontaminan seperti lemak, minyak, dan grease (FOG), serta patogen yang berasal dari efluen air limbah

industri pangan, dapat menyebabkan kehilangan keanekaragaman hayati dalam ekosistem akuatik (Klaucans and Sam, 2018).

Dampak terhadap Kualitas Air Tanah

Selain berdampak terhadap kualitas air permukaan, terdapat pula dampak negatif dari pembuangan air limbah industri pangan terhadap kualitas air tanah, yang umumnya berasal dari parameter tertentu, seperti nutrisi dan patogen, yang dapat meresap ke dalam lapisan tanah dan berpotensi mencemari air tanah melalui proses infiltrasi. Polutan tersebut memiliki potensi untuk menurunkan kualitas air tanah, yang selanjutnya mengancam keberlanjutan sumber daya air bagi manusia dan ekosistem. Dampak utama dari pencemaran air tanah oleh limbah industri pangan di antaranya meliputi kontaminasi nitrat dan penyebaran patogen.

Kontaminasi nitrat pada air tanah yang diakibatkan oleh air limbah industri pangan terjadi ketika air limbah yang kaya akan senyawa nitrogen dari proses produksi makanan meresap ke dalam tanah tanpa pengolahan yang memadai (Pratama dan Hidayatullah, 2023). Limbah industri pangan umumnya mengandung nitrat dalam konsentrasi yang tinggi (Amin, dkk., 2016), terutama dari proses pencucian bahan baku, penggunaan pupuk pada sumber bahan mentah, serta penambahan nitrogen yang digunakan dalam pengolahan. Jika air limbah ini tidak diolah dengan benar, nitrat dapat terakumulasi di lapisan tanah kemudian terserap ke dalam air tanah melalui perkolasi (Rusydi, dkk., 2015). Masalah ini berpotensi membahayakan kesehatan masyarakat karena konsumsi air tanah yang tercemar nitrat dapat menyebabkan penyakit seperti methemoglobinemia pada bayi dan meningkatkan risiko gangguan kesehatan lainnya bagi masyarakat (Ardhaneswari dan Wispriyono, 2022).

Penyebaran patogen pada air tanah yang berasal dari limbah industri pangan terjadi ketika air limbah yang mengandung mikroorganisme berbahaya dari proses produksi pangan memasuki lapisan tanah dan mencapai sumber air tanah. Limbah industri pangan, terutama yang tidak diolah dengan baik, dapat membawa berbagai patogen, termasuk bakteri seperti *Escherichia coli* dan *Salmonella* (Verawati, dkk., 2019), yang berasal dari bahan mentah, produk hewani, atau kontaminasi silang selama pengolahan. Saat air limbah yang mengandung patogen ini meresap ke dalam tanah, mikroorganisme tersebut dapat bergerak dan menyebar melalui pori-pori tanah, khususnya di area dengan lapisan tanah yang permeabel atau dekat dengan sumber air tanah. Akibatnya, air tanah yang terkontaminasi patogen berisiko membahayakan kesehatan masyarakat jika digunakan sebagai sumber air minum atau untuk keperluan lainnya tanpa pengolahan lebih lanjut.

Strategi Minimalisasi Dampak

Untuk mengurangi dampak lingkungan dari limbah industri pangan, terutama dari usaha mikro dan kecil yang belum mengelola limbahnya dengan baik, pelaku industri disarankan untuk menerapkan langkah-langkah pengelolaan limbah yang lebih terarah dan berkelanjutan. Salah satu solusi praktis adalah menerapkan sistem pengolahan limbah yang sederhana namun efektif, seperti kolam retensi atau biofilter, untuk mengurangi konsentrasi polutan organik, nutrisi, dan patogen sebelum air limbah dibuang ke badan air (Mursanto, 2025). Teknologi ramah lingkungan lainnya, seperti sistem anaerobik atau bioremediasi, juga perlu dipertimbangkan sebagai alternatif untuk mengurangi BOD, COD, dan polutan berbahaya lainnya secara lebih efektif (Marzuki, dkk., 2022). Langkah-langkah ini juga dapat diterapkan

untuk mengurangi potensi pelindian dari kolam retensi air limbah yang dikelola dengan buruk, sehingga mencegah potensi pencemaran air tanah.

Selain penerapan teknologi pengolahan air limbah, dukungan dari pemerintah dan otoritas terkait dalam bentuk subsidi, pelatihan, atau pendampingan bagi UMKM diperlukan untuk meningkatkan pengetahuan dan keterampilan mereka dalam pengelolaan limbah yang sesuai kapasitas (Jazil, 2024). Pengawasan yang lebih ketat dan peningkatan kesadaran akan pentingnya pengelolaan limbah yang ramah lingkungan juga diperlukan untuk mendorong UMKM mematuhi standar lingkungan yang berlaku. Sinergi antara penggunaan teknologi tepat guna, dukungan pemerintah, dan pengawasan yang efektif dapat meminimalkan pencemaran lingkungan dari limbah pengolahan makanan UMKM, sehingga menjaga kualitas air permukaan dan air tanah demi keberlanjutan lingkungan di masa mendatang.

KESIMPULAN

Air limbah dari industri pangan skala kecil dan menengah (UMKM) memiliki potensi dampak negatif signifikan terhadap kualitas air permukaan dan air tanah. Limbah ini mengandung berbagai macam polutan, di antaranya bahan organik, lemak, minyak, nutrisi seperti nitrogen dan fosfor, serta patogen dan logam berat. Apabila tidak dikelola dengan baik, polutan ini berpotensi mencemari ekosistem air melalui pembuangan langsung ke sungai atau danau, serta infiltrasi ke dalam tanah yang dapat memengaruhi kualitas air tanah. Dampak utama terhadap air permukaan dan air tanah adalah eutrofikasi, penurunan kualitas air minum, dan risiko kesehatan manusia akibat kontaminasi patogen serta senyawa berbahaya seperti nitrat. Langkah yang dapat dilakukan untuk mengurangi dampak pencemaran lingkungan akibat limbah industri pangan UMKM adalah melakukan pengelolaan air limbah yang efektif dengan penerapan sistem pengolahan sederhana, seperti filtrasi atau kolam penampungan, yang sesuai dengan keterbatasan infrastruktur UMKM. Teknologi ramah lingkungan, seperti bioremediasi dan pengolahan anaerobik, yang disesuaikan dengan kapasitas UMKM, juga dapat digunakan untuk menurunkan kadar polutan. Pemerintah dapat mendukung upaya ini dengan memberikan subsidi atau pelatihan bagi UMKM, disertai pengawasan dan edukasi yang lebih intensif. Dengan langkah-langkah ini, kualitas air permukaan dan air tanah diharapkan tetap terjaga dan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Alejandro, H. C., & Noemí, E. Z. (2011). Application of a combined biological and chemical system for the treatment of phosphorus-containing wastewater from the food industry. *Procedia Food Science*, 1, 1841-1847.
- Amin, A., Sitorus, S., & Yusuf, B. (2016). Pemanfaatan limbah tongkol jagung (*Zea mays* L.) sebagai arang aktif dalam menurunkan kadar amonia, nitrit dan nitrat pada limbah cair industri tahu menggunakan teknik celup. *Jurnal Kimia Mulawarman*, 13(2).
- Anggara, O. C., Wijayanti, D., & Purnomo, A. (2023). Pendayagunaan limbah cair tahu sebagai pupuk organik cair di Desa Kuncen. *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 6(3), 99-104. <https://doi.org/10.36257/apts.vxixpp99-104>
- Aprilia, N. R. (2022). *Pengelolaan air dan pengolahan limbah cair industri pengolahan susu PT. XYZ* [Doctoral dissertation, UPN Veteran Jawa Timur].

- Ardhaneswari, M., & Wispriyono, B. (2022). Analisis risiko kesehatan akibat pajanan senyawa nitrat dan nitrit pada air tanah di Desa Cihambulu Subang. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 21(1), 65-72.
- Asgharnejad, H. (2021). Comprehensive review of water management and wastewater treatment in food processing industries in the framework of water-food-environment nexus. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 20(5), 4779-4815. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12782>
- Cristian, O. (2010). Characteristics of the untreated wastewater produced by food industry. *Analele Universităţii din Oradea, Fascicula: Protecţia Mediului*, 15, 709-714.
- Dewa, R. P., & Idrus, S. (2017). Identifikasi cemaran air limbah industri tahu di Kota Ambon. *Majalah Biam*, 13(02), 11-15.
- Fukami, K., Oogi, T., Motomura, K., Morita, T., Sakamoto, M., & Hata, T. (2021). Effective purification of eutrophic wastewater from the beverage industry by microbubbles. *Water*, 13(24), Article 3661. <https://doi.org/10.3390/w13243661>
- Gufuran, M., & Mawardi, M. (2019). Dampak pembuangan limbah domestik terhadap pencemaran air tanah di Kabupaten Pidie Jaya. *Jurnal Serambi Engineering*, 4(1), 416-425.
- Hidayat, N. (2016). *Bioproses limbah cair*. Penerbit Andi.
- Istianah, N., Fitriadinda, H., & Murtini, E. S. (2019). *Perancangan pabrik untuk industri pangan*. Universitas Brawijaya Press.
- Jazil, A. F. (2024). *Partisipasi masyarakat dalam pengelolaan limbah cair batik pada usaha mikro kecil menengah (UMKM) di Desa Simbangkulon Kecamatan Buaran Kabupaten Pekalongan* [Doctoral dissertation, Universitas Islam Sultan Agung Semarang].
- Klaucans, E., & Sams, K. (2018). Problems with fat, oil, and grease (FOG) in food industry wastewaters and recovered FOG recycling methods using anaerobic co-digestion: A short review. *Key Engineering Materials*, 762, 61-68. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.762.61>
- Koeshendrajana, S., Wijaya, R. A., Priyatna, F. N., Martosuyono, P., & Sukimin, S. (2017). Kajian eksternalitas dan keberlanjutan perikanan di perairan Waduk Jatiluhur. *Jurnal Sosial Ekonomi Kelautan dan Perikanan*, 4(2), 137-156.
- Lensoni, L., & Lidiawati, M. (2017). Pengaruh penggunaan saringan pasir cepat terhadap penurunan kadar BOD dan COD pada sistem pengolahan limbah tahu di Gampong Reuloh. *Jurnal Biology Education*, 6(2).
- Leonard, F. (2024). Identifikasi risiko pencemaran air limbah domestik. *Jurnal Media Teknik Sipil*, 2(1), 33-42.
- Marzuki, I., Syahrir, M., Ramli, M., Harimuswarah, M. R., Artawan, I. P., & Iqbal, M. (2022). *Operasi dan remediasi lingkungan* (Vol. 1). TOHAR MEDIA.
- Mursanto, B. P. (2025). *Analisis kelayakan lumpur IPAL industri bumbu makanan PT. X sebagai pupuk organik* [Doctoral dissertation, Universitas Islam Indonesia].
- Pakpahan, M. R. R. B., Ruhayat, R., & Hendrawan, D. I. (2021). Karakteristik air limbah industri tempe (Studi kasus: Industri tempe Semanan, Jakarta Barat). *Jurnal Bhuwana*, 1(2), 164-172. <https://doi.org/10.25105/bhuwana.v1i2.12535>

- Pambudi, Y. S., Sudaryantiningsih, C., & Geraldita, G. (2021). Analisis karakteristik air limbah industri tahu dan alternatif proses pengolahannya berdasarkan prinsip-prinsip teknologi tepat guna. *Jurnal Ilmiah Indonesia*, 6(8).
- Pan, D., Song, Y., Liu, C., & Guo, Z. (2022). Research progress on wastewater treatment in food industry: A mini-review. *ES Food & Agroforestry*, 10(2), 10-23.
- Pelic, M., Novakov, N., Djordjevic, V., & Pelic, D. L. (2021, October). Health status and microbial quality of common carp reared in a pond fed with treated wastewater from a slaughterhouse. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 854(1), Article 012070. IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/854/1/012070>
- Pratama, I. N., & Hidayatullah, H. (2023). Strategi dan kebijakan pemerintah dalam mengatasi masalah pencemaran air tanah. *Journal of Environmental Policy and Technology*, 1(2), 105-112.
- Putri, N. A. H. A., Indraswari, A., Wulandari, Y., & Juniatmoko, R. (2022). Green accounting: Analisis penerapan green innovation pada pengelolaan limbah pabrik tahu di Kartasura. *Jurnal Akuntansi dan Audit Syariah*, 3(2), 196-214.
- Rahmawati, S. H., & Puspitaningrum, C. (2022). Analisis pengolahan air limbah industri tahu dan efektivitasnya terhadap masyarakat dan lingkungan di Bandar Lampung. *Open Science and Technology*, 2(1), 27-36. <https://opscitech.com/journal>
- Rusydi, A. F., Naily, W., & Lestiana, H. (2015). Pencemaran limbah domestik dan pertanian terhadap airtanah bebas di Kabupaten Bandung. *RISSET Geologi dan Pertambangan*, 25(2), 87-97.
- Sakinah, D. S., & Purwanti, I. F. (2018). Perencanaan IPAL pengolahan limbah cair industri pangan skala rumah tangga. *Jurnal Teknik ITS*, 7(1), D12-D17.
- Sofyan, S. (2017). Peran UMKM (usaha mikro, kecil, dan menengah) dalam perekonomian Indonesia. *Bilancia: Jurnal Studi Ilmu Syariah dan Hukum*, 11(1), 33-64.
- Suhartini, S., & Nurika, I. (2018). *Teknologi pengolahan limbah agroindustri*. Universitas Brawijaya Press.
- Sulistyowati, L., & Krisnawati, E. (2023). *Dampak pencemaran air: Konsekuensi bagi ekosistem dan masyarakat*. Penerbit Qiara Media.
- Verawati, N., Aida, N., & Aufa, R. (2019). Analisa cemar bakteri coliform dan *Salmonella* sp. pada tahu di Kecamatan Delta Pawan. *Jurnal Teknologi Agro-Industri*, 6(1), 61-71.



© 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY SA) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>).