

Anaerobic Digestion sebagai Inovasi Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu untuk Menurunkan Dampak terhadap Kesehatan Lingkungan: Literature Review

Deandra Alifia Isrofi^{1*}, M.Farid Dimjati Lusno²

¹⁻²Program Kesehatan Masyarakat, Universitas Airlangga, Indonesia

*Penulis Korespondensi: dean.alifia.idrofi-2022@fkm.unair.ac.id

Abstract. *The tofu industry generates wastewater with high organic content that can cause environmental pollution and pose risks to public health if not properly managed. This study is a literature review aimed at analyzing the effectiveness of anaerobic digestion as a sustainable innovation for tofu wastewater treatment. The review findings indicate that anaerobic digestion is capable of significantly reducing organic pollutant loads, such as biochemical oxygen demand and chemical oxygen demand, while simultaneously producing biogas as a renewable energy source. The application of this technology supports environmentally friendly waste management practices and contributes to resource recovery. Furthermore, the integration of anaerobic digestion systems has the potential to improve production efficiency, reduce water and energy consumption, and minimize adverse health impacts associated with water pollution. The development and implementation of modern monitoring systems can further enhance process stability, optimize fermentation performance, and improve the accuracy of biodigester operation control. Overall, anaerobic digestion represents an effective, strategic, and sustainable solution for managing tofu industry wastewater and promoting healthier environmental development.*

Keywords: *Anaerobic Digestion; Environmental Health; Organic Pollution; Tofu Industry Wastewater; Water Pollution Control.*

Abstrak. Industri tahu menghasilkan air limbah dengan kandungan organik tinggi yang dapat menyebabkan pencemaran lingkungan dan menimbulkan risiko bagi kesehatan masyarakat jika tidak dikelola dengan baik. Studi ini merupakan tinjauan pustaka yang bertujuan untuk menganalisis efektivitas digesti anaerobik sebagai inovasi berkelanjutan untuk pengolahan air limbah tahu. Temuan tinjauan menunjukkan bahwa digesti anaerobik mampu secara signifikan mengurangi beban polutan organik, seperti kebutuhan oksigen biokimia (BOD) dan kebutuhan oksigen kimia (COD), sekaligus menghasilkan biogas sebagai sumber energi terbarukan. Penerapan teknologi ini mendukung praktik pengelolaan limbah yang ramah lingkungan dan berkontribusi pada pemulihan sumber daya. Lebih lanjut, integrasi sistem digesti anaerobik berpotensi meningkatkan efisiensi produksi, mengurangi konsumsi air dan energi, serta meminimalkan dampak kesehatan yang merugikan terkait dengan pencemaran air. Pengembangan dan implementasi sistem pemantauan modern dapat lebih meningkatkan stabilitas proses, mengoptimalkan kinerja fermentasi, dan meningkatkan akurasi kontrol operasi biodigester. Secara keseluruhan, digesti anaerobik merupakan solusi yang efektif, strategis, dan berkelanjutan untuk mengelola air limbah industri tahu dan mendorong pembangunan lingkungan yang lebih sehat.

Kata kunci: Kesehatan Lingkungan; Limbah Industri Tahu; Pengendalian Pencemaran Air; Pencernaan Anaerobik; Pencemaran Organik.

1. LATAR BELAKANG

Sektor industri merupakan salah satu pendorong utama pertumbuhan ekonomi di Indonesia, khususnya industri pangan berbasis kedelai seperti industri tahu yang tersebar luas di berbagai daerah. Tahu menjadi salah satu makanan yang sering dikonsumsi oleh masyarakat dikarenakan mengandung protein nabati dan mempunyai nilai ekonomis (Wahyudi et al., 2022). Selain berperan dalam pemenuhan kebutuhan gizi, industri tahu juga memberikan dampak ekonomi yang cukup besar. Banyak masyarakat yang bergantung pada sektor ini sebagai sumber penghasilan, terutama bagi pelaku usaha berskala rumah tangga hingga

menengah. Keberadaan industri tahu tidak hanya berkontribusi pada ketahanan pangan, tetapi juga pada peningkatan kesejahteraan ekonomi masyarakat lokal.

Industri tahu menghasilkan limbah cair dengan volume yang signifikan akibat proses pencucian kedelai, perebusan, pengepresan, hingga pencetakan tahun. Seluruh rangkaian proses tersebut memerlukan penggunaan air dengan jumlah yang cukup besar (Agnes Cynthia Sirait, 2023). Air limbah yang dihasilkan dari proses pengolahan pangan umumnya memiliki kadar *Biological Oxygen Demand* (BOD) dan *Chemical Oxygen Demand* (COD) yang tinggi serta mengandung berbagai zat pencemar. Tingginya konsentrasi bahan organik dalam perairan dapat mengubah kondisi lingkungan menjadi anaerob, yang kemudian memicu terbentuknya berbagai gas beracun seperti amonia, karbondioksida, metana, dan senyawa berbahaya lainnya

Pembuangan limbah cair tersebut dapat menurunkan kualitas lingkungan apabila dibuang tanpa pengolahan terlebih dahulu. Dalam jangka panjang, pencemaran tersebut tidak hanya mengancam biodiversitas akuatik dan siklus alami, tetapi juga mengurangi ketersediaan air bersih yang aman untuk digunakan masyarakat sekitar. Dampak lingkungan yang muncul akibat aktivitas industri tahu memiliki cakupan luas, tidak hanya dirasakan oleh lingkungan sekitar area produksi tetapi juga memberikan pengaruh secara global. Kondisi tersebut mendorong perhatian yang lebih besar terhadap upaya pengembangan berbagai teknik dan metode yang bertujuan untuk memahami, mengendalikan, serta meminimalkan dampak negatif yang ditimbulkan (Elvis Umbu Lolo, 2021).

Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah, kegiatan pengolahan kedelai menjadi tahu menghasilkan limbah cair yang harus memenuhi batas tertentu. Adapun nilai maksimum yang diperkenankan meliputi BOD sebesar 150 mg/L, COD 300 mg/L, TSS 200 mg/L, dengan derajat keasaman (pH) berada pada kisaran 6–9. Selain itu, volume air limbah yang dihasilkan dibatasi hingga maksimal 20 m³ untuk setiap ton bahan baku yang diolah. Meskipun sudah ditetapkannya peraturan tersebut, penerapan pengolahan limbah pada industri tahu skala rumah tangga masih sering mengabaikan peraturan tersebut dikarenakan keterbatasan teknologi dan biaya operasional. Diperlukannya inovasi pengolahan limbah cair industri tahu untuk menjadi fokus untuk mencegah kontaminasi lingkungan dan melindungi kesehatan masyarakat baik melalui teknologi fisiko-kimia, biologis maupun rekayasa ekosistem. Teknologi pengolahan yang efektif, berkelanjutan, dan ramah lingkungan. Salah satu inovasi yang banyak dikembangkan adalah *anaerobic digestion* atau penguraian anaerob, yaitu proses biologis yang memanfaatkan mikroorganisme dalam kondisi tanpa oksigen untuk menguraikan bahan organik menjadi biogas dan lumpur stabil (Ankathi et al., 2024). Penerapan

teknologi anaerobic digestion tidak hanya mampu menurunkan kadar pencemar pada limbah cair tahu, tetapi juga menghasilkan energi terbarukan yang dapat dimanfaatkan kembali, sehingga mendukung prinsip *circular economy*.

Kajian literatur mengenai limbah cair industri tahu penting dilakukan untuk memberikan pemahaman yang komprehensif terhadap karakteristik limbah serta dampak terhadap lingkungan. Melalui penelaahan berbagai hasil penelitian terdahulu, dapat diketahui sejauh mana aktivitas industri tahu berkontribusi terhadap pencemaran air dan tanah, serta bagaimana pengaruhnya terhadap kesehatan lingkungan secara keseluruhan. Pemahaman yang mendalam mengenai hubungan antara limbah cair industri tahu dan kesehatan lingkungan menjadi dasar penting bagi pengambilan kebijakan dalam merumuskan strategi pengelolaan yang lebih efektif dan berkelanjutan, sehingga keseimbangan ekosistem dan kualitas lingkungan tetap terjaga.

2. KAJIAN TEORITIS

Karakteristik limbah cair industri tahu dan tantangan lingkungan

Limbah cair dari industri tahu umumnya memiliki kandungan bahan organik yang sangat tinggi, khususnya parameter Biochemical Oxygen Demand (BOD) dan Chemical Oxygen Demand (COD), yang sering kali berada di atas ambang standar baku mutu air limbah. Limbah dengan nilai BOD dan COD tinggi menunjukkan banyaknya zat organik yang mudah terurai namun jika dibuang langsung ke badan air tanpa pengolahan akan menjadi sumber pencemaran serius. Kandungan organik yang tinggi ini bereaksi dengan oksigen terlarut di sungai atau kanal, sehingga menurunkan konsentrasi oksigen terlarut, yang berpotensi menyebabkan kematian organisme akuatik serta gangguan fungsi ekosistem air (Suci Hardina Rahmawati, 2022).

Menurunnya tingkat oksigen terlarut juga dapat mempercepat kondisi anaerob di badan air sehingga memicu pembentukan senyawa berbau dan beracun seperti amonia dan sulfida. Selain itu, limpasan limbah tahu yang kaya nutrisi dapat mempercepat proses eutrofikasi, yaitu pertumbuhan berlebih alga dan tumbuhan air, yang selanjutnya memperburuk kualitas air dan menimbulkan fluktuasi pH yang merugikan biota perairan. Dampak ini memiliki implikasi terhadap kesehatan lingkungan dan masyarakat sekitar, karena kualitas air yang memburuk dapat meningkatkan risiko paparan patogen, vektor penyakit, dan kontaminan bagi komunitas lokal serta berpengaruh pada penggunaan air untuk sanitasi dan konsumsi sehari-hari (Siti Maryam et al., 2025)

Anaerobic Digestion

Anaerobis Digestion (AD) adalah proses biologis dimana mikroorganisme memecah bahan organik dalam kondisi tanpa oksigen untuk menghasilkan biogas (metana dan CO₂) serta produk sisa yang kaya nutrisi (*digestate*). Proses ini mencakup serangkaian tahap yaitu hidrolisis, asidogenesis, asetogenesis, dan metanogenesis yang saling bergantung terhadap komunitas mikroba yang kompleks. Pemahaman mengenai interaksi mikroba dan jalur metabolik sangat penting untuk memprediksi performa reaktor AD dan efisiensi konversi organik menjadi energi terbarukan (Cao et al., 2025). Dalam konteks pengolahan limbah cair industri, termasuk limbah padat atau pekat seperti limbah tahu yang memiliki kandungan organik tinggi, AD menawarkan solusi yang efisien dibandingkan metode konvensional berbasis aerobik karena AD menghasilkan lebih sedikit lumpur, memerlukan energi operasional lebih rendah, dan mampu memproduksi energi terbarukan berupa biogas. Hal ini menjadikan teknologi ini sesuai dengan prinsip *sustainable wastewater treatment* dan *circular economy* yang mendukung mitigasi pencemaran sekaligus pemanfaatan limbah sebagai sumber daya (Huang, 2024).

Dampak terhadap Kesehatan Lingkungan

Penerapan AD dalam skala industri terus mengalami perkembangan, termasuk melalui optimalisasi desain reaktor, peningkatan *microbial performance* dengan aditif (misalnya biochar atau material konduktif), serta strategi *co-digestion* untuk meningkatkan konversi organik dan produksi biogas. Peningkatan performa biologis ini tidak hanya mempercepat degradasi bahan organik tetapi juga memperbaiki stabilitas proses, sehingga menurunkan fluktuasi beban pencemar yang dapat berdampak buruk terhadap badan air dan kesehatan ekosistem (Li et al., 2025). Dampak kesehatan lingkungan dari limbah cair industri yang tidak terkelola dengan baik mencakup degradasi kualitas air serta potensi paparan senyawa berbahaya dan patogen yang memicu risiko kesehatan pada masyarakat sekitar. Dengan kemampuan AD dalam menurunkan parameter pencemar dan meminimalkan jumlah senyawa residu toksik, teknologi ini menjadi inovasi yang tidak hanya menangani aspek teknis pengolahan tetapi juga mendukung peningkatan kualitas hidup dan kesehatan masyarakat di wilayah industri (Ochuko M. Ojo, 2025).

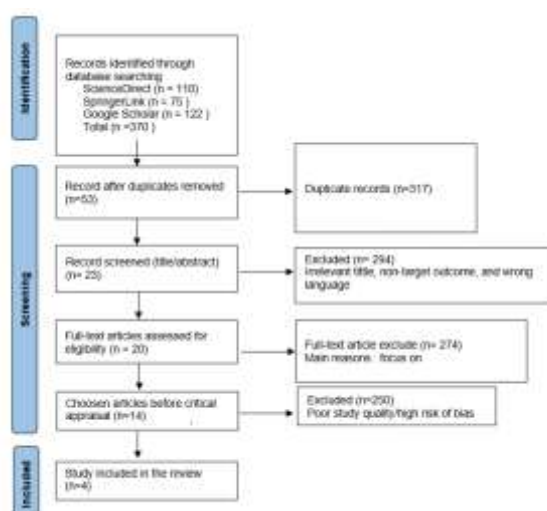
Integrasi Energi Terbarukan dan Ekonomi Sirkular

Biogas yang dihasilkan dari proses *Anaerobis Digestion* (AD) tidak hanya berguna sebagai energi alternatif (misalnya untuk kebutuhan proses industri atau rumah tangga), tetapi juga mendukung strategi ekonomi sirkular dengan pemanfaatan limbah sebagai sumber daya. Hal ini meningkatkan nilai tambah limbah cair dan mendukung pengurangan penggunaan

bahan bakar fosil serta penurunan emisi gas rumah kaca (Wang et al., 2025). Penelitian aplikasi *Anaerobis Digestion* (AD) pada limbah tahu menunjukkan potensi pemanfaatan limbah sebagai bahan baku biogas, serta optimasi proses fermentasi untuk meningkatkan produksi biogas. Selain aspek teknis, penerapan AD dalam industri tahu harus disertai strategi monitoring dan manajemen proses untuk menjamin performa stabil, ketahanan mikroba, dan pemenuhan standar lingkungan (Purboyo & Fahrudin, 2024).

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menerapkan metode *systematic literature review* yang disusun berdasarkan pedoman PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Review and Meta-Analysis*). Penggunaan pendekatan ini bertujuan untuk menjamin bahwa tahapan pencarian, penyaringan, serta analisis literatur dilakukan secara terencana, transparan, dan konsisten, sehingga temuan kajian memiliki validitas dan reliabilitas yang baik. Pengumpulan data dilakukan dengan menelusuri artikel ilmiah pada beberapa basis data, yaitu *Google Scholar*, *ScienceDirect*, *SpringerLink*, dan *Scopus*, menggunakan kata kunci yang relevan dengan topik penelitian. ("anaerobic digestion" OR "anaerobic process" OR "biodegradation" OR "biomethanation") AND ("tofu" OR "soybean" OR "soy" OR "soja") AND ("waste management" OR "waste treatment" OR "waste disposal" OR "resource recovery") AND ("biogas" OR "methane" OR "renewable energy" OR "energy recovery") AND ("environmental impact" OR "sustainability" OR "pollution" OR "efficiency"). Pencarian literature difokuskan pada periode tahun 2021 hingga 2025 guna memperoleh hasil penelitian yang paling mutakhir dan relevan dengan perkembangan terkini.



Gambar 1. Metode *Systematic Literature Review*.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1. Empat Penelitian Terbaru.

No.	Nama Penulis & Tahun	Judul Jurnal	Metode Penelitian	Hasil Penelitian	Kelebihan	Kekurangan
1.	Suci Hardina Rahmawati & Citra Puspitaningrum (2022)	<i>Analisis Pengolahan Air Limbah Industri Tahu dan Efektivitasnya terhadap Masyarakat dan Lingkungan di Bandar Lampung</i>	Studi literatur dan survei; analisis SWOT; evaluasi teknis pengolahan limbah	Instalasi pengolahan limbah anaerob–aerob menurunkan BOD 98,12% dan COD 96,34%; menghasilkan biogas & kompos; efektif menjaga kualitas lingkungan	Menyediakan data kuantitatif BOD/COD; memberi rekomendasi teknologi; analisis SWOT lengkap	Tidak menjelaskan detail lokasi survei dan karakteristik pabrik; metode terbatas (hanya literatur + survei singkat)
2.	Moh Nadir, Nur Umamah, Fadllan (2025)	<i>Integrasi Prinsip Green Islamic Economy dalam Pengelolaan Limbah Tahu: Model Sirkular Berbasis Biogas</i>	Kualitatif; studi kasus; wawancara mendalam; observasi lapangan; analisis tematik	Model pengelolaan limbah berbasis biogas mengurangi pencemaran, menghasilkan energi alternatif, menghemat biaya rumah tangga; nilai agama (masalahah, anti-israf, khalifah) mempercepat penerimaan masyarakat	Menyatu- padukan aspek teknologi, sosial, ekonomi & nilai Islam; pendekatan holistik; data lapangan kaya	Tidak memberikan data kuantitatif; subjektif karena berbasis wawancara; generalisasi terbatas
3.	Fitri Oktafiani, Amirul Mukminin, Iin Darmiyati, dkk. (2025)	<i>Rancang Bangun Sistem Monitoring IoT pada Biodigester Limbah Industri Tahu di Sumber Balikpapan</i>	Eksperimen; perancangan sistem IoT berbasis ESP32, MQ- 4, DHT22; pengujian laboratorium	Sistem IoT mampu memantau suhu 33.8–34°C dan kelembapan 93.9–94.5% secara real- time; data otomatis terkirim ke Google Spreadsheet; mendukung efisiensi pemantauan	Menggabungkan teknologi IoT dengan pengolahan limbah; data real- time; solusi inovatif	Tidak membahas dampak lingkungan secara luas; pengujian hanya pada satu lokasi; belum diuji jangka panjang

4.	Rani Anggraini, Suprihatin, Nastiti S. Indrasti (2022)	<i>Kajian Peluang Penerapan Produksi Bersih di Industri Tahu (Studi Kasus di Martapura, Sumatera Selatan)</i>	Audit produksi bersih; identifikasi masalah; analisis kelayakan kuantitatif	biodigester Cleaner production menurunkan konsumsi energi menjadi 8.63–20.69 MJ/kg; limbah cair turun 24.76–36.08% ; penggunaan kayu bakar turun 64.42%; penghematan Rp 2.2–16.9 juta/bulan	Data lengkap & numerik; memberikan opsi solusi nyata; analisis kelayakan kuat	Tidak menilai dampak sosial; fokus hanya pada 3 pabrik; hasil tidak diuji implementasi jangka panjang
----	--	---	---	---	---	---

Pengelolaan limbah industri tahu merupakan isu lingkungan yang semakin mendapatkan perhatian, terutama karena tingginya volume limbah cair dan padat yang dihasilkan dari proses produksi tahu, serta potensi dampak negatifnya terhadap kualitas lingkungan dan kesehatan masyarakat. Empat penelitian terbaru menunjukkan bahwa persoalan limbah tahu tidak hanya berkaitan dengan aspek teknis pengolahan, tetapi juga berhubungan dengan aspek ekonomi, sosial, dan nilai-nilai keberlanjutan. Dalam konteks teknis, penelitian Suci Hardina Rahmawati (2022) menemukan bahwa sebagian besar industri tahu skala kecil di Bandar Lampung belum memiliki sistem pengolahan limbah yang memadai sehingga limbah dibuang langsung ke sungai dan menyebabkan pencemaran dalam bentuk bau tidak sedap, meningkatnya BOD, COD, serta menurunnya kualitas air. Namun, penelitian tersebut menunjukkan bahwa penerapan sistem instalasi pengolahan limbah berbasis metode anaerob-aerob dapat menurunkan nilai BOD hingga 98,12% dan COD 96,34%, yang menandakan bahwa pengolahan tersebut sangat efektif dalam menekan beban pencemar. Temuan ini menegaskan bahwa sistem pengolahan yang tepat dapat memberikan dampak signifikan terhadap perbaikan kualitas lingkungan sekaligus menghasilkan biogas dan kompos sebagai produk samping yang bernilai ekonomis.

Sementara itu, kajian (Rani Anggraini, 2022) memperluas analisis pengelolaan limbah tahu melalui pendekatan produksi bersih (cleaner production). Dalam penelitian ini, dilakukan audit produksi bersih pada tiga industri tahu di Martapura, Sumatera Selatan, untuk mengidentifikasi inefisiensi penggunaan bahan, air, dan energi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa produksi bersih mampu menurunkan konsumsi energi secara signifikan, yaitu menjadi 15.87–20.69 MJ/kg kedelai, serta menurunkan limbah cair sebesar 24,76–36,08%. Selain itu, implementasi produksi bersih berpotensi meningkatkan produksi tahu sebesar 5,19% dan

mengurangi penggunaan kayu bakar hingga 64,42%. Temuan ini memperlihatkan bahwa strategi produksi bersih tidak hanya bermanfaat secara lingkungan, tetapi juga berdampak langsung pada peningkatan efisiensi dan penghematan biaya produksi, mencapai Rp 2,2–16,9 juta per bulan. Jika dibandingkan dengan penelitian Suci Hardina Rahmawati (2022), maka terlihat bahwa pendekatan teknis seperti IPAL anaerob–aerob dapat dipadukan dengan strategi sistem produksi bersih untuk menghasilkan sistem pengelolaan limbah yang lebih efektif dan berkelanjutan.

Di sisi lain, pendekatan yang lebih inovatif ditunjukkan dalam penelitian Oktafiani et al., (2025) yang merancang sistem monitoring berbasis Internet of Things (IoT) pada biodigester limbah tahu di Balikpapan. Sistem yang dirancang menggunakan mikrokontroler ESP32 yang dipadukan dengan sensor MQ-4 untuk mendeteksi gas metana serta sensor DHT22 untuk mengukur suhu dan kelembapan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa biodigester beroperasi pada suhu 33.8–34°C dan kelembapan 93.9–94.5%, yang merupakan kondisi optimal bagi aktivitas mikroorganisme dalam proses fermentasi. Data yang diperoleh secara real-time dan tersimpan otomatis di cloud memberikan manfaat besar dalam pengambilan keputusan terkait manajemen biodigester. Penelitian ini memberikan kontribusi dalam aspek digitalisasi pengelolaan limbah, memperkenalkan konsep smart monitoring yang dapat meningkatkan efisiensi dan akurasi pengolahan limbah organik menjadi energi terbarukan. Jika dikaitkan dengan penelitian sebelumnya, inovasi IoT ini dapat mendukung IPAL anaerob–aerob dan juga strategi produksi bersih dengan menyediakan data akurat dan terukur secara terus-menerus.

Lebih jauh dari aspek teknis dan manajerial, penelitian (Nadir et al., 2024) menawarkan perspektif yang lebih komprehensif karena mengintegrasikan prinsip-prinsip green Islamic economy dalam pengelolaan limbah tahu berbasis biogas di Pamekasan. Penelitian ini menyoroti bahwa keberhasilan program pengelolaan limbah tidak hanya ditentukan oleh teknologi, tetapi juga oleh penerimaan masyarakat, nilai agama, regulasi desa, dan dinamika sosial di lingkungan sekitar. Melalui pendekatan kualitatif, penelitian ini mengungkapkan bahwa nilai-nilai Islam seperti maslahah (kemanfaatan bersama), larangan israf (berlebihan), dan konsep khalifah (tanggung jawab manusia sebagai penjaga bumi) menjadi landasan moral yang memperkuat penerimaan dan dukungan masyarakat terhadap inovasi biogas dari limbah tahu. Selain itu, program ini dinilai mampu mengurangi pencemaran air dan bau tidak sedap, sekaligus menghasilkan energi alternatif yang dapat menurunkan biaya rumah tangga dan meningkatkan aktivitas ekonomi lokal. Perspektif ini memperkaya pembahasan mengenai

pengelolaan limbah tahu dengan menunjukkan bahwa keberlanjutan lingkungan membutuhkan integrasi antara teknologi, nilai sosial budaya, dan kelembagaan.

Jika keempat penelitian tersebut disintesis, dapat disimpulkan bahwa pengelolaan limbah tahu harus dilakukan melalui pendekatan multidimensi. Secara teknis, metode anaerob–aerob (Suci Hardina Rahmawati, 2022) terbukti efektif dalam pengolahan limbah organik, sementara strategi produksi bersih (Rani Anggraini, 2022) dapat meningkatkan efisiensi proses dan meminimalkan limbah dari hulu. Pada saat yang sama, inovasi digital berupa sistem monitoring IoT (Oktafiani et al., 2025) mampu memperkuat kontrol kualitas pengolahan limbah dan membantu proses pengambilan keputusan berbasis data. Namun, keberhasilan jangka panjang tetap bergantung pada penerimaan sosial dan dukungan masyarakat yang diperkuat melalui nilai-nilai agama dan institusi lokal (Nadir et al., 2024). Oleh karena itu, model pengelolaan limbah tahu yang paling efektif adalah model yang tidak hanya berbasis teknologi, tetapi juga berakar pada nilai-nilai masyarakat, partisipasi komunitas, efisiensi produksi, dan keberlanjutan lingkungan.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan keempat penelitian yang dikaji, dapat disimpulkan bahwa pengelolaan limbah industri tahu merupakan isu penting yang membutuhkan pendekatan komprehensif mencakup aspek teknis, manajerial, sosial, hingga nilai-nilai keberlanjutan. Secara teknis, pengolahan limbah dengan metode anaerob–aerob terbukti sangat efektif menurunkan beban pencemar seperti BOD dan COD hingga lebih dari 95%, sehingga mampu memperbaiki kualitas lingkungan secara signifikan. Pendekatan produksi bersih juga menunjukkan potensi besar dalam meningkatkan efisiensi penggunaan bahan, air, dan energi, sekaligus menurunkan volume limbah dan biaya operasional pabrik. Inovasi teknologi berupa sistem monitoring biodigester berbasis IoT memperkuat proses pengolahan limbah dengan menyediakan data real-time yang membantu pengambilan keputusan lebih akurat dan efisien. Namun, keberhasilan pengelolaan limbah tidak hanya bergantung pada teknologi, melainkan juga pada penerimaan sosial dan nilai-nilai lokal, sebagaimana terlihat dalam integrasi prinsip green Islamic economy yang mampu meningkatkan partisipasi masyarakat dan memperkuat keberlanjutan program. Secara keseluruhan, pengelolaan limbah tahu yang optimal membutuhkan sinergi antara teknologi tepat guna, manajemen produksi bersih, inovasi digital, serta dukungan sosial dan kelembagaan berbasis nilai-nilai keberlanjutan.

DAFTAR REFERENSI

- Agnes Cynthia Sirait, I. A. dan S. P. (2023). Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Pada Industri Pembuatan Tahu Skala Kecil . *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 11, 155–163.
- Ankathi, S. K., Chaudhari, U. S., Handler, R. M., & Shonnard, D. R. (2024). Sustainability of Biogas Production from Anaerobic Digestion of Food Waste and Animal Manure. *Applied Microbiology*, 4(1), 418–438. <https://doi.org/10.3390/applmicrobiol4010029>
- Cao, J., Zhang, C., Li, X., Wang, X., Dai, X., & Xu, Y. (2025). Microbial Community and Metabolic Pathways in Anaerobic Digestion of Organic Solid Wastes: Progress, Challenges and Prospects. *Fermentation*, 11(8), 457. <https://doi.org/10.3390/fermentation11080457>
- Elvis Umbu Lolo, R. I. G. A. Y. K. Y. S. P. (2021). Penilaian Dampak Lingkungan Industri Tahu Menggunakan Life Cycle Assessment (Studi Kasus: Pabrik Tahu Sari Murni Kampung Krajan, Surakarta). *Serambi Engineering*, VI, 2337–2347.
- Huang, X. (2024). The Promotion of Anaerobic Digestion Technology Upgrades in Waste Stream Treatment Plants for Circular Economy in the Context of “Dual Carbon”: Global Status, Development Trend, and Future Challenges. *Water*, 16(24), 3718. <https://doi.org/10.3390/w16243718>
- Li, Y., Campos, L. C., & Hu, Y. (2025). The role of sludge microstructure in enhancing anaerobic digestion: a comprehensive review combining bibliometric and experimental insights. *Environment, Development and Sustainability*. <https://doi.org/10.1007/s10668-025-06702-6>
- Nadir, M., Umamah, N., & Fadllan. (2024). Integrasi Prinsip Green Islamic Economy dalam Pengelolaan Limbah Tahu: Model Sirkular Berbasis Biogas. *Moderasi: Journal of Islamic Studies*, 5(2), 657–672. <https://doi.org/10.54471/moderasi.v5i2.135>
- Ochuko M. Ojo. (2025). Anaerobic Digestion for Wastewater Treatment: A Review of Principles, Processes and Performance. *Journal of Energy Technology and Environment*, 7, 52–60.
- Oktafiani, F., Mukminin, A., Darmiyati, I., Risna, R., Kusuma Wijaya, S., Mutaqim, A., Bagus Purnomo, F., & Sholeha, M. (2025). Rancang Bangun Sistem Monitoring IoT pada Biodigester Limbah Industri Tahu di Sumber Balikpapan. *Jurnal Teknik Elektro Uniba (JTE UNIBA)*, 10(1), 657–664. <https://doi.org/10.36277/jteuniba.v10i1.1305>
- Purboyo, P. D., & Fahrudin, A. (2024). Analisa Pengujian Instalasi Anaerobic Digestion untuk Pemanfaatan Limbah Cair Tahu menjadi Biogas dengan Penambahan Variasi Kotoran Sapi. *Innovative Technologica: Methodical Research Journal*, 3(2), 13. <https://doi.org/10.47134/innovative.v3i2.102>
- Rani Anggraini, S. S. dan N. S. I. (2022). KAJIAN PELUANG PENERAPAN PRODUKSI BERSIH DI INDUSTRI TAHU (Studi Kasus pada Beberapa Industri Tahu di Kota Martapura, Sumatera Selatan). *Urnal Teknologi Industri Pertanian*, 32, 107–120.

- Siti Maryam, Resta Mazlina, Angga Pratama Hadinata, Idwar Imanullah, Silva Mahendi Yolanda, Indri Widia Putri, Irham, Hilmiati, Muhammad Aldi Julian Firas, Nilmala Febriani, & Sujarti Nirmaya. (2025). SOSIALISASI PELATIHAN PEMBUATAN PUPUK ORGANIK CAIR DARI LIMBAH CAIR TAHU KKN PMD UNRAM DESA PUYUNG. *Jurnal Wicara Desa*, 3.
- Suci Hardina Rahmawati. (2022). Analisis pengolahan air limbah industri tahu dan efektivitasnya terhadap masyarakat dan lingkungan di Bandar Lampung. *Open Science and Technology*, 2.
- Wahyudi, R., Indriani, H., & Haris, M. S. (2022). Tahu Sabar (Sari Bahari) Upaya Pemanfaatan Limbah Produksi Garam sebagai Tahu Bahan Organik Ramah Lingkungan bagi Penderita Stunting. *Amerta Nutrition*, 6(1), 44. <https://doi.org/10.20473/amnt.v6i1.2022.44-52>
- Wang, Z., Liu, Y., Zhang, A., Liu, Z., & Gai, H. (2025). A review of process development, mechanistic insights, and enhancement technologies for anaerobic digestion in industrial wastewater treatment. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 13(5), 118217. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2025.118217>