

Pengelolaan Limbah Industri Tempe Rumah Tangga Di Kota Salatiga dan Semarang: Analisis Masalah Dan Solusi Berkelanjutan

Study of Household-Scale Tempe Industry Waste Management in Salatiga City and Semarang Regency: Issues, Impacts, and Sustainable Alternatives Solutions

Muhammad Fadel Suryaputra, Indri Sulfazanah, Nisrina Hasna Tsabitha, Yumna Khairunnisa, Farah Bidara*

Prodi Tadris IPA, Fakultas Tarbiyah dan Ilmu Keguruan, Universitas Islam Negeri Salatiga, Salatiga, Jawa Tengah, Indonesia.

*Corresponding author: farah.bidara@uinsalatiga.ac.id

ABSTRAK

Latar Belakang: Usaha industri tempe rumahan masih menggunakan metode produksi yang tradisional dan sering tidak memiliki dokumen sebagai sebuah usaha. Banyak dari industri tempe di lingkungan rumah tangga juga tidak memperhatikan sistem pengolahan air limba, sehingga limbah dari pengolahan tempe dibuang melalui saluran pengairan secara sembarangan. Hal ini berpotensi memberikan dampak pencemaran pada lingkungan industri tempe. Penelitian ini bertujuan memberikan gambaran bagaimana pengelolaan limbah yang dihasilkan industri tempe sektor rumah tangga di Kota Salatiga dan sekitarnya.

Metode: Penelitian ini menerapkan pendekatan kualitatif deskriptif dengan pengumpulan data melalui observasi, wawancara mendalam, dan studi dokumentasi. Analisis data mengacu pada model Miles and Huberman yang terdiri dari tahap reduksi data, penyajian data, serta penarikan kesimpulan dan verifikasi. Analisis dilakukan secara tematik, dengan mengelompokkan informasi ke dalam kategori seperti jenis limbah, cara pengelolaan, hambatan yang dihadapi, tingkat kesadaran terhadap lingkungan, serta upaya solusi berkelanjutan. Kategori ini diterapkan pada dua wilayah penelitian, yakni Salatiga dan Semarang, sehingga diperoleh gambaran yang jelas mengenai kondisi pengelolaan limbah di masing-masing lokasi.

Hasil: Mayoritas pelaku industri masih kekurangan sistem pengolahan air limbah, sehingga membuang limbah cair langsung ke perairan. Produk sampingan padat, seperti kulit kedelai, seringkali digunakan kembali sebagai pakan ternak, sementara limbah cair yang kaya akan bahan organik mengancam kesehatan lingkungan. Keterbatasan pengetahuan, keterbatasan lahan, dan tingginya biaya menghambat pengembangan instalasi pengolahan. Penelitian ini merekomendasikan langkah-langkah sederhana seperti biofilter anaerobik dan pemanfaatan limbah cair sebagai pupuk organik untuk mendorong keberlanjutan dan meminimalkan kerusakan lingkungan.

Kesimpulan: Pengelolaan limbah industri tempe rumah tangga di Kota Salatiga masih tergolong minim dan tradisional, terutama untuk limbah cair yang dibuang langsung ke lingkungan tanpa pengolahan. Meskipun ada pemanfaatan limbah padat untuk pakan ternak, sistem pengelolaan yang berkelanjutan belum diterapkan. Diperlukan pelatihan, bantuan teknis, dan penerapan teknologi tepat guna seperti IPAL sederhana untuk mengurangi pencemaran dan mendukung keberlanjutan lingkungan.

Kata Kunci: Limbah; Tempe; Pencemaran; Industri; Pengelolaan; Teknologi; IPAL

ABSTRACT

Background: Most home-based tempeh producers still apply traditional methods without proper business documentation and lack adequate wastewater treatment, causing liquid waste to flow directly into nearby waters. This condition threatens environmental quality. The study focuses on examining waste management practices in the home-based tempeh industry within Salatiga City and surrounding areas.

Methods: This study employed a descriptive qualitative approach, with data collected through observation, in-depth interviews, and document analysis. Data analysis followed the Miles and Huberman model, which consists of data reduction, data display also conclusion drawing and verification. The analysis process was conducted thematically by grouping information into categories such as types of waste, management methods, challenges faced, environmental awareness levels, and sustainable solution efforts. These categories were applied to two research areas, namely Salatiga and Semarang, providing a clear picture of waste management conditions in each location. This analytical structure enabled the researcher to systematically identify patterns, issues, and potential improvements.

Result: The research revealed that many industry players still lack wastewater treatment systems, discharging liquid waste directly into waterways. Solid by-products, such as soybean skins, are often reused as animal feed, while organic-rich liquid waste threatens environmental health. Limited knowledge, land constraints, and high costs hinder treatment plant development. The study recommends simple measures like anaerobic biofilters and utilizing liquid waste as organic fertilizer to encourage sustainability and minimize environmental damage.

Conclusion: Waste handling in Salatiga's household tempeh industry remains basic, with liquid waste directly released into the environment. While solid waste is reused as animal feed, no sustainable system exists. Reducing pollution and promoting sustainability require training, technical guidance, and the adoption of simple wastewater treatment technologies

Keywords: Waste; Tempeh; Pollution; Industry; Management; Technology; Wastewater Treatment Plant

PENDAHULUAN

Isu limbah merupakan bagian penting dalam regulasi lingkungan hidup, sebagaimana tercantum dalam Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, pasal 1 ayat 20, yang menyebutkan bahwa limbah adalah sisa dari suatu kegiatan atau usaha. Dalam konteks industri, limbah menjadi perhatian serius karena dapat bersifat membahayakan maupun tidak membahayakan, namun keduanya tetap memiliki potensi mencemari lingkungan. Salah satu sektor industri rumah tangga yang menghasilkan limbah dalam jumlah signifikan adalah industri tempe, terutama limbah cairnya. Meski secara kuantitas lebih kecil dibanding industri besar, akumulasi limbah cair dari industri rumah tangga dapat memberikan dampak negatif yang serius terhadap lingkungan apabila tidak ditangani secara sistematis [1].

Berdasarkan data dari sektor industri kecil menengah di Kota Salatiga, terdapat 54 pelaku usaha tempe rumah tangga yang aktif, meskipun dua di antaranya tidak ditemukan alamat usahanya. Aktivitas produksi tempe menghasilkan dua jenis limbah utama: limbah padat berupa kulit ari kedelai, dan limbah cair yang berasal dari air proses pencucian, perendaman, serta perebusan kedelai. Kulit ari kedelai dan sebagian air rebusan masih dimanfaatkan sebagai pakan ternak. Namun, sebagian besar limbah cair dari proses pencucian dan perendaman tidak mengalami proses pengolahan terlebih dahulu, melainkan langsung dibuang ke badan air seperti selokan atau sungai, yang menjadi sumber utama pencemaran.

Limbah cair tempe mengandung senyawa organik seperti protein, karbohidrat, dan lemak, serta padatan terlarut dan tersuspensi yang dapat mengalami degradasi biologis, fisik, dan kimia. Dalam kondisi anaerob, proses ini dapat menghasilkan senyawa beracun dan menciptakan lingkungan yang mendukung pertumbuhan mikroorganisme patogen. Limbah cair yang tidak diolah akan berubah warna menjadi gelap

dan menghasilkan bau yang menyengat, yang berpotensi menimbulkan gangguan pernapasan. Jika limbah meresap ke dalam tanah dan mencemari air sumur, maka masyarakat kehilangan akses terhadap air bersih. Dengan kata lain, limbah cair tempe berisiko mencemari baik air permukaan maupun air tanah [2].

Kandungan bahan organik yang tinggi dalam limbah cair tempe memang menjadikannya biodegradable, tetapi tanpa proses pengolahan, limbah ini tetap menimbulkan pencemaran lingkungan [3]. Nilai BOD (*Biochemical Oxygen Demand*), COD (*Chemical Oxygen Demand*), dan TSS (*Total Suspended Solids*) dari limbah tempe sering kali melebihi ambang batas yang ditetapkan dalam Permen LH No. 5 Tahun 2014, yakni BOD 300 mg/L, COD 150 mg/L, dan TSS 100 mg/L. Artinya, limbah tempe, meskipun tidak tergolong B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun), tetap memerlukan perlakuan khusus sebelum dibuang ke lingkungan untuk memastikan tidak menimbulkan dampak ekologis [4].

Limbah cair yang dihasilkan dari proses pencucian dan perendaman pada industri tempe secara umum mengandung senyawa organik seperti protein, karbohidrat, dan lemak. Limbah cair tempe ini jika tidak dikelola dengan benar akan menimbulkan bau tidak sedap yang dapat mengganggu indra penciuman. Limbah cair yang dihasilkan dari proses pembuatan tempe yang belum dikelola dengan baik dapat menimbulkan masalah yang serius bagi lingkungan karena menimbulkan bau yang menyengat, kualitas air disekitar industri tempe akan menurun karena terpapar limbah. Penurunan kualitas air yang tidak memenuhi baku mutu standar bisa memberikan dampak negatif terhadap makhluk hidup maupun lingkungan. Oleh karena itu sangat penting bagi pemilik industri tempe untuk menangani limbah cair tempe agar nanti bisa dibuang dengan aman dan tidak mengganggu penduduk sekitar [5].

Urgensi penanganan limbah industri tempe harus dilakukan karena seperti yang sudah dituliskan bahwa limbah cair tempe dapat menyebabkan bau yang dapat mengganggu indra penciuman serta limbah cairnya juga dapat meningkatkan BOD, COD dan TSS di sungai. Edukasi dan solusi juga harus diberikan kepada pemilik industri tempe. Salah satu cara untuk menangani limbah cair tempe adalah dengan menggunakan IPAL (Instalasi Penanganan Air Limbah) agar limbah cair yang akan dibuang kedalam sungai akan lebih aman dan tidak menimbulkan bau serta tidak meningkatkan BOD, COD dan TSS di sungai. Selain aspek lingkungan, penanganan limbah juga penting untuk menjaga keberlanjutan usaha industri tempe itu sendiri dan meningkatkan kualitas hidup masyarakat sekitar. Pengelolaan limbah yang baik dapat menciptakan lingkungan yang sehat, meningkatkan kenyamanan sosial dan mengurangi konflik antara pelaku industri dan masyarakat. Berdasarkan dari pentingnya pengelolaan limbah industri tempe, pertanyaan penelitian ini difokuskan pada pengolahan limbah yang dianggap masih kurang memadai. Dengan demikian, pertanyaan penelitian yang diajukan adalah “Bagaimana pengelolaan limbah industri tempe yang baik dan benar demi keberlangsungan usaha?”

METODE

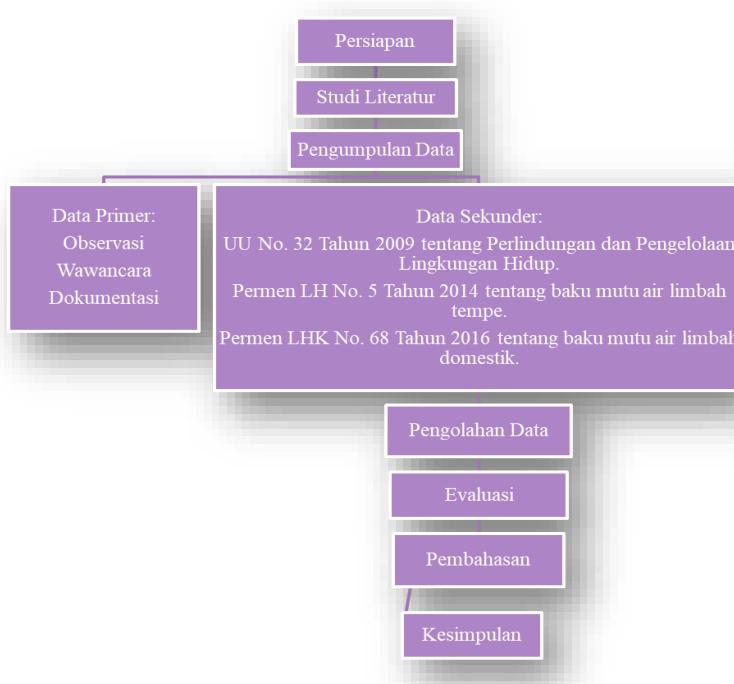
Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif deskriptif dengan tujuan untuk mendapatkan pemahaman yang lebih mendalam mengenai pengelolaan limbah industri tempe rumah tangga di wilayah Kota Salatiga dan Kabupaten Semarang. Data primer dalam penelitian ini dikumpulkan melalui observasi lapangan, wawancara mendalam, dan dokumentasi. Data primer adalah “data yang berasal dari sumber asli atau pertama. Data ini tidak tersedia dalam bentuk terkompilasi ataupun dalam bentuk file-file. Data ini harus dicari melalui narasumber atau dalam istilah teknisnya responden, yaitu orang yang kitajadikan objek penelitian atau orang yang kitajadikan sebagai sarana mendapatkan informasi ataupun data.” Dalam penelitian ini data primer diperoleh dari hasil wawancara terhadap seseorang (informan) melalui video call dalam berkomunikasi sehari-hari.

Observasi lapangan dilakukan secara langsung untuk memantau proses produksi tempe dan pengelolaan limbah oleh pelaku usaha rumahan, sehingga dapat memahami secara mendalam praktik yang diterapkan. Wawancara mendalam dilakukan terhadap pelaku industri tempe skala rumah tangga,

tokoh masyarakat, serta pihak terkait dari dinas lingkungan hidup setempat untuk memperoleh informasi yang komprehensif. Dokumentasi aktivitas lapangan dilakukan dengan merekam kegiatan produksi dan pengelolaan limbah, serta mengumpulkan dokumen-dokumen pendukung seperti foto, dan catatan produksi limbah. Dengan metode ini, data yang diperoleh dapat digunakan untuk menganalisis proses produksi tempe dan pengelolaan limbah yang berkelanjutan.

Selain menggunakan data primer, penelitian ini juga menggunakan data sekunder untuk melengkapi analisis. Data sekunder tersebut diperoleh dari regulasi dan kebijakan yang relevan dengan perlindungan lingkungan dan pengelolaan limbah cair industri. Beberapa peraturan yang dijadikan rujukan antara lain Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah bagi Usaha dan/atau Kegiatan Industri Tempe, serta Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor P.68/Menlhk-Setjen/2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik. Ketiga regulasi tersebut menjadi acuan dalam menilai kelayakan dan keberlanjutan sistem pengelolaan limbah yang diterapkan oleh pelaku usaha [6].

Analisis data dalam penelitian ini dilakukan secara kualitatif dengan menggunakan model interaktif dari Miles dan Huberman, yang mencakup tiga tahapan utama, yaitu reduksi data, penyajian data, serta penarikan kesimpulan dan verifikasi. Reduksi data merupakan proses memilih, memfokuskan, menyederhanakan, dan mengabstraksi data mentah dari lapangan, di mana hanya data yang relevan dengan pengelolaan limbah cair yang dianalisis lebih lanjut. Selanjutnya, data yang telah direduksi disajikan dalam bentuk naratif, matriks, tabel, atau visualisasi lainnya untuk memudahkan penarikan makna dan pola. Tahapan terakhir adalah penarikan kesimpulan dan verifikasi, di mana kesimpulan dikembangkan secara induktif berdasarkan pola-pola temuan yang konsisten dan diverifikasi secara terus-menerus selama proses penelitian untuk menjamin ketepatan, kelengkapan, dan konsistensi makna yang diperoleh. Dengan menggunakan pendekatan ini, diharapkan akan mendapatkan gambaran yang komprehensif mengenai permasalahan, dampak, serta alternatif solusi berkelanjutan dalam pengelolaan limbah cair industri tempe rumah tangga.



Gambar 1. Alur Penelitian

Penelitian ini dilakukan di berbagai Industri tempe berbasis rumah tangga Di Kota Salatiga dan sekitarnya pada tanggal 28 Mei 2025. Sumber informasi peneliti terdiri dari Informan Kunci (IK) sebanyak 5 orang penanggung jawab atau pemilik industri tempe berbasis rumah tangga yang berada di Desa Tengaran sebanyak 2 orang, Desa Pulutan 2 orang, dan di Desa Kauman 1 orang. Serta Informan tambahan (IT) dari para masyarakat disekitar industri rumah tangga pembuatan tempe.

HASIL

Tempe menjadi salah satu komoditi favorit bagi semua kalangan masyarakat, khususnya di Salatiga dan Kabupaten Semarang, Jawa Tengah, karena memiliki harga yang terjangkau. Dengan banyaknya tempat industri tempe, maka akan banyak muncul limbah dari proses pengolahan kedelai menjadi tempe. Limbah tersebut harus dikelola dengan baik agar tidak menimbulkan pencemaran lingkungan. Namun, belum banyak pelaku usaha tempe yang memiliki kesadaran untuk mengolah limbah hasil produksi tempe.

Limbah dari produksi tempe ini ada dua jenis, yaitu limbah semi padat dan limbah cair. Limbah tempe sendiri dihasilkan mulai dari proses pembuatannya, dari perebusan, hingga pencuciannya. Limbah semi padat dari pengolahan tempe ini berupa kulit kacang (kleci) dan ada ampas dari pemerasan kedelai yang biasanya digunakan sebagai campuran pakan ternak. Sedangkan limbah cair tempe ini adalah air sisa perebusan, perendaman dan pencucian kedelai. Limbah cair ini masih memiliki protein, karbohidrat, air dan zat padat (tanah, bakteri, jamur) yang tersuspensi (zat yang tidak dapat larut dalam air, namun dapat dihilangkan melalui filtrasi), yang apabila tidak dilakukan penyaringan sebelum dibuang akan menghasilkan bau yang tidak sedap. Biasanya disebabkan oleh bahan organik yang terutama senyawa organik dan protein yang mengalami dekomposisi.

Pengelolaan limbah tempe

Pengelolaan limbah yang bersifat cair dari usaha pembuatan tempe wajib dilakukan dikarenakan dampak secara langsung yaitu menimbulkan bau disekitar sumber air, dalam hal ini sebagaimana informasi yang disampaikan produsen tempe di desa Tengaran sebagai Informan Kunci (IK), berikut pernyataan dari informan kunci selaku pemilik industri pembuatan tempe:

"Limbahnya ada dua yaitu kulit kedelai (kleci) sama air dari pencucian, perendaman, dan perebusan. Ditempat saya kalau air dari pencucian dan perendaman itu langsung dibuang ke selokan lalu menuju ke sungai, sedangkan air perebusan sekitar 200 liter per produksi untuk minum ternak. Limbah padatnya juga untuk pakan ternak." (IK₁)

Pada industri tempe lainnya, terdapat keterangan berbeda sebagaimana disampaikan oleh informan kunci berikut: Informasi lain disampaikan oleh Informan Kunci pada industri tempe 2, memberikan keterangan sebagai berikut:

"Limbahnya tidak ada pengelolaan khusus, yang dari pencucian sama perendaman kedelai langsung dibuang ke saluran pembuangan, kalau limbah air perebusan itu nanti ada warga yang mengambil untuk minum hewan ternak. Limbah dari kulit kedelai juga ada yang mengambil untuk makanan hewan ternak." (IK₂)

Tabel 1. Analisis Wawancara Kelima Informan Kunci (IK₁–IK₅)

Aspek	IK ₁ (Tengaran)	IK ₂ (Tengaran)	IK ₃ (Pulutan)	IK ₄ (Pulutan)	IK ₅ (Kauman)
Jenis Limbah	Kulit kedelai (padat), air perebusan, perendaman, pencucian (cair)	Kulit (padat), air perebusan, perendaman, pencucian (cair)	Kulit kedelai (padat), air perebusan, perendaman, pencucian (cair)	Kulit kedelai (padat), air perebusan, perendaman, pencucian (cair)	Kulit kedelai (padat), air perebusan, perendaman, pencucian (cair)
Pengelolaan Limbah Padat	Dimanfaatkan sebagai pakan ternak	Diambil warga untuk makanan ternak	Ditampung dan diberikan ke peternakan lokal	Diambil peternak setiap hari untuk pakan ternak	Dimanfaatkan oleh peternak sekitar
Pengelolaan Limbah Cair (Pencucian dan Perendaman)	Langsung dibuang ke saluran pembuangan yang menuju sungai. Limbah cair yang dihasilkan sekitar 150 liter.	Langsung dibuang ke saluran pembuangan yang menuju sungai. Limbah cair yang dihasilkan sekitar 120 liter.	Langsung dibuang ke saluran pembuangan yang menuju sungai.	Langsung dibuang ke saluran pembuangan yang menuju sungai.	Langsung dibuang ke saluran pembuangan yang menuju sungai. Limbah cair yang dihasilkan sekitar 150 liter.
Pengelolaan Limbah Cair (Perebusan)	Dimanfaatkan untuk minum hewan ternak	Dimanfaatkan untuk minum hewan ternak	Dimanfaatkan untuk minum hewan ternak	Dimanfaatkan untuk minum hewan ternak	Dimanfaatkan untuk minum hewan ternak
Adanya IPAL	Tidak tersedia, pernah mencoba septic tank ikan tapi lahan tidak cukup	Tidak tersedia, memiliki wacana membuat kolam ikan tapi lahan tidak cukup	Tidak tersedia	Tidak tersedia	Tidak tersedia, biaya menjadi kendala.
Masalah Bau atau Pencemaran	Tidak dilaporkan adanya bau yang berlebihan	Tidak menyebut adanya bau menyengat	Terdapat sedikit bau dari air rebusan jika terlalu lama	Tidak terdapat keluhan bau, air meresap ke tanah	Terdapat bau jika tidak langsung dimanfaatkan oleh peternak
Kesadaran Potensi Limbah	Dimanfaatkan untuk ternak, tidak menyebutkan potensi lain	Terdapat saran manfaat air limbah untuk ikan (belum dilaksanakan)	Menyadari limbah bisa menjadi biogas, tetapi tidak mampu karena keterbatasan biaya	Menyadari potensi "tempe bosok" untuk kuliner tradisional	Menyebut bisa dijadikan biogas, tetapi biaya terlalu tinggi.

Selain informasi tersebut, praktik pengelolaan limbah di industri tempe ternyata tidak seragam. Setiap produsen memiliki cara tersendiri dalam membuang atau memanfaatkan limbah yang dihasilkan.

Sementara itu, hasil wawancara dengan produsen tempe di desa lain menunjukkan praktik pengelolaan limbah yang tidak jauh berbeda. Informan kunci di desa Pulutan memberikan penjelasan sebagai berikut:

"Tidak ada pengelolaan limbah di industri tempe saya, semua limbahnya langsung dibuang. Ada yang ditampung untuk dijadikan makan minum ternak, kebetulan belakang rumah saya ada peternakan ayam dan Sapi. Limbahnya juga tidak ada bau sama sekali, misal adapun itu karena air dari perebusan yang tidak diambil semua oleh peternak, biasanya langsung saya buang kalau sudah 2-3 hari." (IK₃):

Hasil wawancara juga memperlihatkan bahwa pola pengelolaan limbah pada industri tempe sangat bervariasi antar pelaku usaha. Perbedaan ini dipengaruhi oleh kondisi lingkungan sekitar, ketersediaan fasilitas, serta kebiasaan masing-masing produsen. Salah satu informan kunci menguraikan praktik yang diterapkan di tempat usahanya sebagai berikut:

"Semua limbahnya langsung dibuang ke saluran pembuangan. Ada pipa besar yang mengarah ke sungai belakang rumah dan kebetulan sungainya itu sudah mati tidak ada aliran airnya. Jadi limbah cair itu otomatis meresap ke tanah. Untuk limbah padatnya setiap hari ada yang mengambil untuk pakan ternak. Jika ada tempe yang sudah tidak layak konsumsi biasanya kami jadikan 'tempe bosok' untuk dijual kembali, biasanya 'tempe bosok' digunakan di sayur seperti 'sambal tumpang'." (IK₄)

Temuan lain menunjukkan adanya variasi praktik pemanfaatan limbah, khususnya pada industri rumah tangga yang beroperasi dengan keterbatasan biaya dan fasilitas. Salah satu produsen tempe di Desa Kauman (IK₅) menjelaskan bahwa meskipun terdapat potensi pengolahan limbah menjadi energi alternatif seperti biogas, keterbatasan modal membuat pilihan tersebut sulit direalisasikan. Adapun praktik pengelolaan yang dilakukan dijelaskan sebagai berikut:

"Limbah cairnya ada yang langsung dibuang ke saluran pembuangan dan ada yang ditampung di ember besar untuk diambil oleh peternak. Kalau limbah padatnya juga sudah ada peternak yang mengambil, bersamaan dengan limbah perendaman tadi. Sebenarnya limbah cair tersebut bisa diolah menjadi Biogas tetapi itu memerlukan banyak biaya. Untuk industri rumah seperti saya ini tidak mampu membuat pengolahan tersebut." (IK₅)



Gambar 2. Limbah cair, sisa perebusan, dan perendaman



Gambar 3. Limbah padat

Selain memperoleh informasi dari para pemilik industri tempe, penelitian ini juga menggali keterangan dari masyarakat sekitar sebagai pihak yang terdampak langsung oleh aktivitas pembuangan limbah. Hal ini penting untuk melihat sejauh mana limbah tempe menimbulkan gangguan atau justru dimanfaatkan oleh warga. Salah satu informan tambahan (IT₁) yang merupakan tetangga dari pemilik industri (IK₁) menyampaikan pendapatnya sebagai berikut:

"Saya tidak merasa terganggu dengan adanya industri tersebut, limbahnya juga tidak ada bau yang menyengat. Kalau dimusim kemarau saya justru ikut memanfaatkan limbah cair tersebut untuk menyiram pohon alpukat. Sebenarnya dulu mau di pasang pipa sampai ke sungai tetapi saya minta untuk sampai selokan dekat kebun saja karena saya juga mau memanfaatkan air tersebut. Jika berbicara limbah memang sedikit mencemari lingkungan karena selokan ini terhubung dengan sungai yang masih dimanfaatkan oleh masyarakat sekitar untuk mencuci. Tetapi debit airnya juga tidak sebanding dengan limbah yang diperoleh, jadi saya rasa cukup aman." (IT₁)

Selain digunakan oleh pemilik industri sendiri, sebagian limbah tempe juga dimanfaatkan oleh masyarakat sekitar untuk kepentingan ekonomi, terutama sebagai pakan ternak. Hal ini menunjukkan bahwa limbah tidak hanya dipersepsikan sebagai sumber pencemaran, tetapi juga memiliki nilai guna. Seorang peternak yang tinggal di sekitar lokasi (IT₂) menyampaikan pengalamannya sebagai berikut:

"Setiap hari saya mengambil limbah cair dan limbah kulit kedelai ini untuk makan ternak saya. Kadang saya ambil sekitar jam 9 atau 10 setelah industri itu selesai mengolah kedelainya. Untuk bau ya jelas ada, tetapi tidak yang menyengat sekali karena satu kali pengambilan itu biasanya langsung habis untuk satu kali makan. Saya juga hanya mengambil sekitar 200 liter saja untuk limbah cairnya."

Pembuangan limbah tempe

Dari hasil wawancara dengan seluruh informan kunci, diketahui bahwa pembuangan limbah pada usaha pembuatan tempe sebagian besar masih dilakukan secara langsung tanpa proses pengelolaan terlebih dahulu. Limbah cair yang dihasilkan dari proses pencucian, perendaman, dan perebusan kedelai dialirkan ke saluran pembuangan atau selokan, kemudian bermuara ke sungai yang berada di belakang area industri. Kondisi ini dapat terlihat pada selokan (Gambar 4) dan saluran pembuangan (Gambar 5), serta aliran yang menuju ke sungai (Gambar 6 dan Gambar 7).



Gambar 4. Selokan Limbah



Gambar 5. Saluran pembuangan/selokan



Gambar 6. Selokan Pembuangan Menuju Sungai



Gambar 7. Sungai belakang industri

Ketersediaan IPAL

Selain menanyakan praktik pembuangan dan pemanfaatan limbah, wawancara juga menggali informasi terkait ketersediaan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) pada industri tempe. Hal ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana upaya pengelolaan limbah dilakukan oleh produsen, khususnya dengan adanya fasilitas penanganan limbah. Berikut penjelasan salah satu informan kunci (IK₁):

“Untuk sekarang di tempat kami belum ada IPAL, air bekas perendaman dan pencucian langsung dibuang ke parit di belakang tempat produksi yang nantinya bermuara ke irigasi besar. Dulu pernah coba pakai septic tank ukuran 2 x 1meter dengan kedalaman 1,5meter tapi ternyata baru 1 tahun septic tank sudah penuh, air meluber sehingga malah menimbulkan masalah baru”. (IK₁)

Terdapat pula informasi dari produsen tempe lain mengenai usulan pengelolaan limbah yang datang dari masyarakat sekitar. Usulan ini berkaitan dengan pemanfaatan air limbah untuk tujuan yang lebih produktif, meskipun pada kenyataannya belum dapat diterapkan karena keterbatasan lahan. Informan kunci 2 (IK₂) memberikan penjelasan sebagai berikut. Penyataan lain disampaikan oleh Informan Kunci 2 (IK₂) pada usaha tempe 2, Kutipannya sebagai berikut:

“Sebenarnya ada saran dari warga sekitar untuk membuat kolam ikan, jadi air bekas pencucian kedelai dan air bekas perendaman tadi dialirkan ke kolam, karena menurut beliau sari-sari kedelai yang ada pada air limbah itu, itu bagus untuk ikan, tetapi di tempat kami belum memiliki lahan yang cukup, kalau kolam kan harus ada tempat yang besar jadi belum bisa terealisasikan”. (IK₂)

Temuan wawancara memperlihatkan bahwa keterbatasan fasilitas pengolahan limbah masih menjadi kendala utama pada sebagian besar industri tempe skala kecil. Ketiadaan instalasi pengolahan air limbah (IPAL) menyebabkan pembuangan limbah cair tetap dilakukan secara langsung ke lingkungan sekitar. Kondisi ini diuraikan lebih lanjut oleh informan kunci 3 (IK₃) yang menyampaikan keterangan sebagai berikut:

"Di tempat kami tidak tersedia IPAL, limbah air perendaman dan pencucian langsung dialirkan ke sungai di belakang tempat usaha. Alhamdulilah warga sekitar juga tidak ada yang komplain terkait bau dari limbah. Menurut saya limbah dari tempe ini bagus apabila dimanfaatkan menjadi biogas, akan tetapi biaya untuk membuat alatnya cukup mahal". (IK₃)

Berdasarkan wawancara dengan seluruh informan kunci, diketahui bahwa pada usaha produksi tempe yang diteliti belum tersedia sarana Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL). Seluruh informan menyampaikan bahwa limbah cair dari proses produksi tempe, seperti air pencucian, perendaman, dan perebusan kedelai, masih dibuang langsung ke saluran pembuangan, parit, atau sungai di sekitar lokasi usaha. Dari keterangan yang diperoleh, ketidadaan IPAL disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain keterbatasan biaya pembangunan, keterbatasan lahan untuk fasilitas pengolahan, serta belum adanya penerapan sistem pengelolaan limbah secara khusus di tingkat industri rumah tangga.

PEMBAHASAN

Pengelolaan limbah tempe

Selain produk akhir berupa tempe, industri tempe juga menghasilkan limbah yang harus dikelola dengan hati-hati. Limbah yang dihasilkan dari proses produksi tempe dapat dibagi menjadi dua kelompok yaitu limbah cair dan limbah semi-padat. Limbah semi-padat berasal dari sisa-sisa bahan baku (kedelai) pada proses pembuatan tempe, dan seringkali memiliki nilai ekonomis. Banyak produsen mencari cara untuk memanfaatkan limbah tersebut. Sebagian besar dari mereka menjualnya kepada peternak sebagai pakan ternak, yang menjadi keuntungan tambahan bagi peternakan. Penggunaan limbah semi-padatan tidak hanya mengurangi pemborosan tetapi juga mendukung efisiensi sumber daya dalam industri.

Di sisi lain, limbah yang berbentuk cair dari proses produksi tempe umumnya tidak memiliki nilai ekonomis. Limbah cair ini berasal dari pencucian kedelai, perendaman, dan perebusan. Karena terdiri dari air dan bahan organik lainnya, limbah cair ini biasanya dibuang ke saluran pembuangan. tidak sedikit dari mereka, limbah cair ini dibuang ke sungai. Limbah cair dapat cenderung memiliki dampak negatif bagi lingkungan dan kondisi kesehatan masyarakat. Oleh karena itu, pengelolaan limbah baik jenis cair maupun semi-padatan sangat diperlukan untuk dapat membatasi dampak lingkungan akibat limbah.

Limbah cair dari proses industri tempe merupakan salah satu jenis limbah organik dengan karakteristik yang cukup mencolok. Cairan ini umumnya berwarna putih seperti susu sedikit kekuningan, disertai busa, endapan, serta aroma menyengat yang cukup mengganggu. Dalam waktu kurang dari sehari, sekitar 12 jam limbah ini mengalami perubahan signifikan pada sifat fisiknya, yang dapat memperparah dampaknya terhadap lingkungan apabila tidak segera ditangani. Oleh karena itu, dibutuhkan strategi pengelolaan yang efektif untuk menekan potensi pencemaran yang ditimbulkannya. Limbah cair yang belum dikelola dengan cara yang tepat dapat menimbulkan masalah bagi lingkungan karena menimbulkan bau yang menyengat, pembuangan limbah cair industri tempe secara langsung tanpa proses pengolahan limbah akan menurunkan kualitas air [5].

Salah satu metode yang cukup menjanjikan adalah penerapan teknologi tepat guna, seperti penggunaan saringan pasir. Teknologi ini mampu menyaring partikel padat dan mengurangi kadar bahan organik dalam limbah secara sederhana namun efisien. Saringan pasir tergolong sederhana namun sangat efektif dalam menyaring partikel padat yang terkandung dalam limbah cair, sehingga dapat mengurangi tingkat kekeruhan dan kandungan bahan padat tersuspensi. Selain itu, metode yang lebih berkelanjutan adalah mengolah limbah cair tempe menjadi pupuk cair organik [8]. Pupuk cair organik hasil fermentasi tidak hanya mengandung unsur hara penting seperti nitrogen, fosfor, dan kalium, tetapi juga mikroorganisme dapat meningkatkan kesuburan tanah dan kesehatan tanaman. Penggunaan pupuk cair organik ini secara signifikan dapat mengurangi kuantitas penggunaan pupuk kimia sintetis yang memberikan dampak buruk terhadap lingkungan. Dapat disimpulkan kandungan organik dalam limbah

dapat dimanfaatkan sebagai nutrisi bagi tanaman. Tidak hanya mengurangi beban limbah, metode ini juga memiliki manfaat tambahan dalam bentuk peningkatan produktivitas pertanian secara alami dan ramah lingkungan [9].

Penulis menyimpulkan dari hasil wawancara bahwa pengelolaan limbah di industri pembuatan tempe masih sangat minim. Sebagian besar pemilik industri membuang limbah cair, seperti air dari pencucian, perendaman, dan perebusan, ke saluran pembuangan yang mengarah ke sungai. Limbah padat terutama kulit kedelai, umumnya dimanfaatkan sebagai pakan ternak oleh peternak lokal. Di beberapa tempat, terdapat kesadaran tentang potensi pengolahan limbah cair menjadi biogas, namun biaya tinggi menjadi kendala bagi industri kecil. Secara keseluruhan, pengelolaan limbah di industri tempe ini masih bersifat tradisional dan belum terintegrasi dengan baik untuk keberlanjutan lingkungan.

Dari hasil wawancara dengan kedua informan tambahan, penulis menemukan bahwa masyarakat di sekitar lokasi justru merasakan manfaat positif dari adanya limbah industri tersebut. Warga mampu beradaptasi dengan bijak, memanfaatkannya sebagai sumber daya pendukung pertanian, misalnya diolah menjadi pupuk organik, serta dimanfaatkan dalam peternakan sebagai pakan tambahan. Pemanfaatan ini terbukti membantu mereka menekan biaya pengelolaan lahan dan perawatan ternak. Selain itu, masyarakat menilai bahwa limbah tersebut tidak memberikan dampak negatif yang signifikan terhadap kesehatan maupun lingkungan, sehingga keberadaannya dianggap membawa nilai tambah bagi kehidupan sehari-hari.

Pembuangan limbah tempe

Limbah yang dihasilkan oleh industri pangan mengandung berbagai bahan organik dan anorganik, seperti karbohidrat, protein, lemak, garam, mineral, dan sisa kimia dari proses pembersihan dan pengolahan. Limbah dari pengolahan pangan umumnya memiliki BOD dan COD tinggi serta TSS (total suspended solids), disebabkan oleh kandungan organik seperti karbohidrat, protein, lemak, serta sisa bahan kimia (pembersih, insektisida). Karena zat-zat dalam komposisi ini dapat mengganggu pertumbuhan mikroorganisme yang lebih umum di lingkungan sekitar, hal ini berpotensi menyebabkan kerusakan lingkungan. Ini membuat penanganan limbah di industri pangan menjadi fenomena yang kompleks. Air limbah dari proses pangan biasanya memiliki nilai Biological Oxygen Demand (BOD) yang tinggi, yang menunjukkan jumlah bahan organik yang membutuhkan oksigen untuk bertahan hidup secara biologis. Selain itu, limbah ini juga memiliki kandungan lain seperti alkohol, partikel tanah, panas, dan insektisida yang dapat memperburuk kualitas lingkungan perairan jika dibuang secara langsung tanpa pengolahan yang memadai [10].

Limbah cair industri tempe sebagian besar berasal dari proses perendaman dan perebusan kedelai. Limbah ini perlu dikelola dengan tepat dan berkelanjutan untuk mencegah kerusakan lingkungan. Namun, dalam praktiknya limbah cair sering langsung dibuang ke perairan sekitar tanpa pengolahan. Kondisi ini dapat menurunkan kadar oksigen terlarut (DO) yang mengganggu kehidupan ekologi dan berpotensi menyebabkan kematian ikan serta biota air lainnya [11]. Usaha pembuatan tempe harus menerapkan sistem pengolahan limbah yang sederhana namun efisien untuk mengatasi masalah limbah cair yang dibuang langsung ke sungai. Membangun instalasi pengolahan air limbah (IPAL) skala kecil dengan menggunakan proses biologis seperti kolam oksidasi atau biofilter untuk menurunkan kadar bahan organik dan BOD sebelum limbah dibuang adalah salah satu cara yang dapat dilakukan. Untuk membuat praktik pembuangan limbah menjadi lebih bertanggung jawab dan berkelanjutan, pelaku usaha harus dididik dan dilatih tentang pentingnya pengelolaan limbah yang ramah lingkungan.

Berdasarkan kajian literatur, salah satu alternatif teknologi yang dapat diterapkan pada skala rumah tangga adalah IPAL biofilter sederhana. Teknologi ini menggunakan wadah penampung berkapasitas sekitar 200 liter yang terhubung dengan unit filtrasi berlapis (pasir kuarsa, zeolit, arang

tempurung kelapa) serta fitoremediasi menggunakan eceng gondok. Sistem ini dirancang dengan aliran upflow, memanfaatkan proses filtrasi fisik, kimia, dan biologis untuk menurunkan kadar polutan. Rincian alat, bahan, dan tahapan pembuatan dapat dilihat pada Lampiran 1. [12].

Ketersediaan IPAL

IPAL (Instalasi Pengolahan Air Limbah) adalah sistem yang terdiri dari struktur, teknologi, dan peralatan yang dirancang untuk mengolah limbah, sehingga dapat dibuang ke lingkungan tanpa menimbulkan dampak negatif. Limbah yang ditangani biasanya berasal dari kegiatan rumah tangga (limbah domestik), operasional industri atau pabrik, hingga sektor pertanian [13]. Secara umum, Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL), yang juga dikenal sebagai Wastewater Treatment Plant (WWTP), merupakan fasilitas yang dirancang untuk menghilangkan limbah biologis maupun kimia dari air, agar air limbah dapat digunakan kembali untuk berbagai keperluan. Dalam prosesnya, IPAL menjalankan serangkaian tahapan seperti penyaringan polutan, pemisahan partikel kasar, penghilangan zat beracun, serta inaktivasi patogen. Dengan demikian, air limbah yang telah diproses (efluen) dapat dilepaskan kembali ke lingkungan secara aman. Selain sebagai sistem pengolahan, IPAL juga berfungsi mengurangi volume air limbah, menjaga kelestarian sumber daya air alam, dan mendukung pemanfaatan energi ramah lingkungan [14].

Pengelolaan limbah cair industri tempe memerlukan solusi yang tepat untuk mencegah dampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan masyarakat. Apabila limbah cair dibuang langsung ke sungai tanpa melalui proses reduksi terlebih dahulu, kondisi ini berpotensi menimbulkan pencemaran lingkungan sekaligus masalah kesehatan bagi penduduk yang tinggal di sekitar lokasi produksi. Salah satu dampak yang dapat ditimbulkan adalah munculnya gas H_2S dari limbah tempe, yang menghasilkan bau tidak sedap dan berisiko mengganggu sistem pernapasan [15]. Alternatif sarana pengolahan yang dapat diterapkan adalah instalasi biofilter anaerob, karena tidak memerlukan lahan yang luas serta biaya pembuatannya relatif murah.

Biofilter anaerob memiliki sejumlah keunggulan ketika digunakan sebagai Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL). Teknologi ini dirancang dengan konsep yang sederhana dan mudah dioperasikan, sehingga penerapannya tidak rumit. Kebutuhan energinya pun rendah karena tidak memerlukan proses aerasi yang intensif. Dibandingkan dengan sistem lumpur aktif, biofilter anaerob menghasilkan lumpur dalam jumlah lebih sedikit. Selain itu, metode ini efektif mengurangi kandungan nitrogen dan fosfor yang dapat memicu eutrofikasi, serta mampu menangani limbah dengan kadar BOD tinggi dan padatan tersuspensi secara optimal [16].

KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini bertujuan untuk memahami bagaimana pengolahan limbah dari industri pembuatan tempe berbasis rumah tangga di Kota Salatiga dan Kabupaten Semarang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sebagian besar pelaku usaha belum memiliki sistem pengolahan limbah yang memadai, khususnya untuk limbah cair. Limbah cair dari proses pencucian, perendaman, dan perebusan kedelai umumnya langsung dibuang ke saluran pembuangan atau sungai tanpa pengolahan lebih lanjut. Hal ini menimbulkan potensi pencemaran lingkungan karena limbah cair tempe mengandung senyawa organik yang tinggi dan berdampak pada kualitas air.

Meskipun demikian, terdapat pemanfaatan limbah padat seperti kulit kedelai sebagai pakan ternak, yang memberikan nilai tambah secara ekonomi. Bahkan dalam beberapa kasus, masyarakat sekitar justru memanfaatkan limbah cair untuk kebutuhan pertanian atau peternakan. Namun, pemanfaatan tersebut belum dilakukan secara optimal dan belum berbasis sistem yang terintegrasi serta ramah lingkungan. Kurangnya pengetahuan, biaya, dan ketersediaan lahan menjadi faktor utama yang menghambat pembangunan instalasi pengolahan limbah seperti IPAL di industri tempe rumah tangga.

Secara umum, pengelolaan limbah pada industri tempe rumah tangga masih bersifat tradisional dan belum mengacu pada prinsip keberlanjutan lingkungan. Minimnya penerapan teknologi pengolahan limbah yang sederhana namun efektif menyebabkan tingginya risiko pencemaran air dan gangguan kesehatan lingkungan. Oleh karena itu, dibutuhkan solusi praktis dan edukatif untuk meningkatkan kesadaran pelaku usaha mengenai pentingnya pengelolaan limbah, sekaligus menyediakan alternatif teknologi yang terjangkau dan sesuai dengan kondisi usaha rumahan.

Berdasarkan temuan tersebut, peneliti menyarankan agar pelaku industri tempe rumah tangga diberikan pelatihan dan penyuluhan mengenai pengelolaan limbah yang aman dan berkelanjutan. Pemerintah daerah bersama instansi terkait dapat menyediakan program pendampingan teknis serta insentif dalam bentuk bantuan alat atau subsidi untuk pembangunan IPAL sederhana, seperti biofilter anaerob. Penerapan teknologi tepat guna ini penting untuk mendorong perubahan perilaku dan meningkatkan kualitas lingkungan. Selain tindakan praktis, perlu dilakukan pengembangan teori dan model pengelolaan limbah skala mikro yang relevan dengan karakteristik industri rumah tangga. Model ini dapat mengintegrasikan aspek ekonomi, sosial, dan lingkungan sehingga lebih aplikatif dan diterima oleh masyarakat pelaku usaha. Secara teoretis, temuan ini memperkuat pentingnya pendekatan partisipatif dan transdisipliner dalam pengelolaan limbah skala kecil, khususnya dalam konteks ekonomi informal dan masyarakat berbasis komunitas. Implikasi praktisnya menunjukkan bahwa keberhasilan pengelolaan limbah tidak hanya ditentukan oleh aspek teknologi, tetapi juga oleh faktor sosial-ekonomi dan edukasi masyarakat.

Namun demikian, penelitian ini memiliki keterbatasan, terutama dalam hal cakupan lokasi dan jumlah informan yang masih terbatas sehingga belum mewakili seluruh variasi praktik industri tempe rumah tangga di wilayah lain. Selain itu, penelitian ini belum mengukur secara kuantitatif dampak pencemaran yang ditimbulkan. Oleh karena itu, penelitian lanjutan disarankan untuk memperluas wilayah studi, melibatkan lebih banyak responden, serta mengombinasikan pendekatan kualitatif dengan kuantitatif guna menganalisis kadar pencemar dan efektivitas teknologi pengolahan limbah yang diusulkan. Penelitian lanjutan juga dapat mengeksplorasi keterlibatan komunitas lokal dalam membangun sistem pengelolaan limbah kolektif berbasis gotong royong.

DAFTAR PUSTAKA

1. Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2009 Nomor 140. 2009 [cited 2025 Aug 15]. Available from: [https://jdih.esdm.go.id/common/dokumen-external/UU%2032%20Tahun%202009%20\(PPLH\).pdf](https://jdih.esdm.go.id/common/dokumen-external/UU%2032%20Tahun%202009%20(PPLH).pdf)
2. Mulyono S. Analisis kinerja zeolit alam dalam reduksi pencemaran limbah cair tempe. J Kolaborasi Sains Ilmu Terapan. 2024;2(2):38–42. <https://doi.org/10.69688/juksit.v2i2.30>
3. Harissa H, Mawardi M, Arifianto B. Perbandingan efisiensi jenis media polyurethane sponge dan kaldness (K5) terhadap pengolahan limbah cair tempe menggunakan ecological floating bed (EFB). J Teknol Lingkung Lahan Basah. 2024;12(1):131–6. <https://doi.org/10.26418/jtllb.v12i1.72691>
4. Pakpahan MRRB, Ruhiyat R, Hendrawan DI. Karakteristik air limbah industri tempe (studi kasus: industri tempe Semanan, Jakarta Barat). J Bhuwana. 2021;1(2):164–72. <https://doi.org/10.25105/bhuwana.v1i2.12535>
5. Palipi B, Nurhasanah N, Wibowo S. Implementasi pengolahan limbah cair industri tempe berbasis eco-friendly dan zero waste pada UKM tempe di Desa Jambesari Kabupaten Bondowoso. J Dedikasi. 2022;3(1):1–11. <https://doi.org/10.31479/dedikasi.v3i1.208>

6. Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.68/Menlhk-Setjen/2016 tentang baku mutu air limbah domestik. Jakarta: KLHK; 2016.
7. Cundari L, Tiara A, Zannah K-RY. Biocoagulant effectivity test in tempe wastewater treatment: the effect of biocoagulant type and dosage. J Litbang Ind. 2023;13(2):99–106. <http://dx.doi.org/10.24960/jli.v13i2.8098.99-106>
8. Putra AP, Setiawan B. Optimalisasi Penggunaan Saringan Pasir dalam Pengolahan Limbah Industri Rumah Tangga. J Teknik Lingkungan. 2019;14(3):145–152.
9. Prihatiningsih D, Utama I. Pengolahan limbah cair tempe menjadi pupuk organik cair berbasis fermentasi. J Teknol Ind Pangan. 2020;11(2):85–92. <https://doi.org/10.35965/saintis.v4i2.399>
10. Pramaningsih W, Herlambang R, Ardiansyah H. Wastewater quality and pollution load of each stage in tempeh production. J Environ Eng Waste Manag. 2022;5(3):209–22. <https://doi.org/10.25105/urbanenvirotech.v5i3.12838>
11. Sutaryo S, Andriani D, Syaichurrozi I. Anaerobic co-digestion of tempe wastewater and dairy cow dung. Livest Res Rural Dev. 2023;35(12). <http://www.lrrd.org/lrrd35/12/sutar35120.html>
12. Isma FH. Efektivitas pengolahan limbah pasar ikan menggunakan rapid sand filter dalam menyisihkan kadar turbiditas, BOD, COD, dan TSS [disertasi]. Banda Aceh: UIN Ar-Raniry; 2022.
13. Wahyudi A. Mengenal lebih jauh tentang IPAL (Instalasi Pengolahan Air Limbah) komunal di Kabupaten Lampung Timur. In: Prosiding Seminar Nasional Insinyur Profesional (SNIP). 2022;2(1):54. <https://doi.org/10.23960/snip.v2i1.27>
14. Silva JA. Wastewater treatment and reuse for sustainable water resources management: a systematic literature review. Sustainability. 2023;15(14):10940. <https://doi.org/10.3390/su151410940>
15. Apriyanti E, Andini D, Rahmawati N. Implementasi Pengolahan Limbah Cair Industri Tempe Berbasis Ultrafiltrasi dan Zero Waste di Desa Bandungrejo Mrangen Demak. Merdeka Indonesia Jurnal International. 2025;5(1):9–19. <https://doi.org/10.69796/miji.v5i1.313>
16. Loh ZZ, Foo DCY, Tan RR, Lee CT. Shifting from conventional to organic filter media in wastewater biofiltration treatment: a review. Appl Sci. 2021;11(18):8650. <https://doi.org/10.3390/app11188650>