

Evaluasi Efektivitas Efektif Mikroorganisme (EM) Berbasis Buah-Buahan Dan Sayur-Sayuran Dalam Menurunkan Parameter Pencemar Limbah Cair Tahu

Kenny Jonathan*, Mangihot Tua Goeltom

Universitas Surabaya, Indonesia

*kennyjw03@gmail.com

Abstract

Tofu wastewater consists of proteins, carbohydrates, fats, H₂S, CO₂, CH₄ and NH₃ which endanger the life of aquatic biota. Tofu liquid waste has high BOD, COD, and ammonia and acidic pH exceeding standards. The high content of BOD and COD causes organisms to die due to lack of oxygen. Tofu waste processing can be done by adding microorganisms to degrade organic matter so that standards can be met. Microorganisms that are able to degrade tofu liquid waste belong to lactic acid bacteria and are found in fruits and vegetables. Microorganisms created in mixed cultures containing various kinds of microorganisms are called effective microorganisms (EM). The purpose of this experiment is to analyze the effectiveness of EM made from fruits and vegetables in processing tofu wastewater at various volumes through the parameters of BOD, COD, pH, ammonia, and pH. EM is made by mixing fruits and vegetables with sugar and coconut water which are fermented for 8 days. EM was mixed with waste at volume of 10 ml, 15 ml, 20 ml, 25 ml and incubated for 5 days. Parameters such as BOD, COD, ammonia, and pH were measured before and after incubation for 5 days. The number of coliform was also counted before and after incubation with TVC method. The findings demonstrate that adding EM at a volume of 25 ml produces the greatest outcomes since it lower the percentage of COD and ammonia reduction at the highest level while keeping the percentage of DO reduction at the lowest level.

Keywords: *Tofu Wastewater; Effective Microorganism; BOD; COD; TVC*

Abstrak

Limbah cair tahu terdiri dari protein, karbohidrat, lemak, H₂S, CO₂, CH₄, dan NH₃ yang membahayakan kehidupan biota perairan. Limbah cair tahu memiliki BOD, COD, dan amonia tinggi serta pH asam yang melebihi standar. Kandungan BOD dan COD yang tinggi menyebabkan organisme mati karena kekurangan oksigen. Pengolahan limbah tahu dapat dilakukan dengan menambahkan mikroorganisme untuk menguraikan bahan organik sehingga standar dapat terpenuhi. Mikroorganisme yang mampu menguraikan limbah cair tahu termasuk dalam kelompok bakteri asam laktat dan ditemukan pada buah-buahan serta sayuran. Mikroorganisme yang dibuat dalam kultur campuran yang mengandung berbagai jenis mikroorganisme disebut efektif mikroorganisme (EM). Tujuan dari eksperimen ini adalah untuk menganalisis efektivitas EM yang dibuat dari buah-buahan dan sayuran dalam pengolahan limbah tahu pada berbagai volume melalui parameter BOD, COD, pH, amonia, dan pH. EM dibuat dengan mencampurkan buah-buahan dan sayuran dengan gula dan air kelapa yang difermentasi selama 8 hari. EM dicampur dengan limbah dengan volume 10 ml, 15 ml, 20 ml, 25 ml dan diinkubasi selama 5 hari. Parameter seperti BOD, COD, amonia, dan pH diukur sebelum dan setelah inkubasi selama 5 hari. Jumlah koliform juga dihitung sebelum dan setelah inkubasi dengan metode ALT. Temuan menunjukkan bahwa penambahan EM dengan volume 25 ml menghasilkan hasil terbaik karena menurunkan persentase pengurangan COD dan amonia pada tingkat tertinggi sambil menjaga persentase DO pada tingkat terendah.

Kata Kunci: *Limbah Cair Tahu; Efektif Mikroorganisme; BOD; COD; ALT*

Pendahuluan

Industri tahu merupakan salah satu jenis industri yang berkembang luas di Indonesia. Saat ini, sektor ini didominasi oleh skala usaha kecil yang umumnya belum dilengkapi dengan instalasi pengolahan limbah, disebabkan oleh keterbatasan modal. Selain itu, masih banyak pelaku industri yang belum memiliki kesadaran terhadap dampak lingkungan yang ditimbulkan oleh limbah hasil produksi tahu. Kondisi ini menyebabkan limbah tahu kerap dibuang langsung ke lingkungan tanpa melalui proses pengolahan terlebih dahulu (Nimpoeno & Reihan, 2023). Limbah tahu secara umum diklasifikasikan ke dalam dua jenis, yaitu limbah padat dan limbah cair.

Limbah padat dihasilkan dari sisa pencucian kedelai, seperti kerikil, tanah, dan biji kedelai, serta dari ampas tahu yang merupakan residu penyaringan kedelai. Namun demikian, limbah padat hanya menyumbang sekitar 0,3% dari total bahan baku yang digunakan. Sebaliknya, sekitar 99,7% limbah yang dihasilkan berada dalam bentuk cair. Limbah cair ini muncul pada tahap pencucian, perebusan, dan penyaringan kedelai, serta selama proses pemerasan dan pencetakan tahu. Limbah cair tersebut umumnya dikenal sebagai *whey* atau dadih, yang merupakan cairan kental yang terpisah dari padatan tahu (Haerun, 2017).

Proses produksi tahu menghasilkan limbah yang mengandung bahan organik dalam jumlah tinggi, meliputi protein sebesar 40-60%, karbohidrat 25-50%, dan lemak sekitar 10%, serta unsur mikro seperti besi, fosfor, kalsium, dan vitamin dengan proporsi kurang dari 10% (Amalia et al., 2022). Kandungan organik yang tinggi tersebut menyebabkan limbah cair tahu memiliki nilai *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) dan *Chemical Oxygen Demand* (COD) yang cukup tinggi, yaitu masing-masing berkisar antara 1500-4000 mg/L dan 3000-8000 mg/L. Limbah cair ini juga ditandai dengan bau menyengat yang dihasilkan dari proses dekomposisi protein, yang menghasilkan gas-gas seperti amonia dan hidrogen sulfida (H₂S).

Selain itu, limbah cair tahu umumnya memiliki pH yang berada dalam kisaran 3,5-5, yang disebabkan oleh penggunaan koagulan seperti asam asetat serta fermentasi alami oleh mikroorganisme, yang menghasilkan asam-asam organik, terutama asam laktat (Yulianto et al., 2020). Limbah cair tahu berpotensi menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan apabila tidak melalui proses pengolahan terlebih dahulu. Dalam ekosistem perairan, keberadaan limbah ini dapat menyebabkan penurunan kadar oksigen terlarut akibat aktivitas mikroorganisme yang menggunakan oksigen dalam proses dekomposisi bahan organik, serta memicu terjadinya eutrofikasi.

Eutrofikasi, yaitu pertumbuhan alga secara berlebihan, turut menurunkan kadar oksigen terlarut karena proses dekomposisi alga yang mati oleh bakteri juga membutuhkan oksigen. Penurunan oksigen terlarut ini dapat mengakibatkan kematian biota akuatik, seperti ikan dan plankton, akibat kondisi hipoksia. Selain itu, senyawa berbau seperti amonia dan hidrogen sulfida yang dihasilkan dari proses dekomposisi protein menimbulkan bau tidak sedap yang dapat mengganggu kenyamanan masyarakat sekitar serta berpotensi menimbulkan gangguan kesehatan. Bau menyengat tersebut juga dapat menarik keberadaan serangga, seperti lalat, yang memanfaatkan lingkungan tercemar sebagai tempat berkembang biak atau sumber makanan.

Perairan yang tercemar limbah cair tahu umumnya tampak keruh, berbusa, dan mengeluarkan aroma tidak sedap. Pembuangan limbah cair tahu ke tanah juga dapat menimbulkan dampak negatif, antara lain mengubah struktur tanah, menurunkan atau mengubah pH, serta mengganggu keseimbangan kimia tanah akibat akumulasi zat organik yang berlebihan. Kondisi ini dapat menghambat aktivitas mikroorganisme tanah yang berperan penting dalam siklus hara. Selain itu, limbah cair tahu berisiko mencemari air tanah maupun sumber air bersih seperti sumur, sehingga berpotensi mengganggu

ketersediaan air bersih bagi masyarakat (Pagoray et al., 2021). Dengan demikian, tahu perlu melalui proses pengolahan terlebih dahulu sebelum dibuang ke lingkungan guna mencegah dampak pencemaran. Pemerintah Indonesia, melalui Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. P.68/MenLHK/Setjen/Kum.1/8/2016 menetapkan baku mutu air limbah domestik yang juga menjadi acuan bagi industri tahu dalam memastikan limbah yang dihasilkan memenuhi standar keamanan lingkungan.

Beberapa parameter penting yang harus dipenuhi antara lain nilai pH dalam kisaran 6,0-9,0, konsentrasi *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) maksimal 100 ppm, *Chemical Oxygen Demand* (COD) maksimal 300 ppm, serta kandungan amonia ($\text{NH}_3\text{-N}$) tidak melebihi 10 ppm. Beragam pendekatan telah diterapkan dalam pengolahan limbah organik maupun limbah cair industri, mencakup metode fisika, kimia, dan biologi. Pendekatan fisik seperti filtrasi dan sedimentasi umumnya kurang efektif dalam menurunkan kadar bahan organik secara signifikan.

Metode kimia, termasuk koagulasi-flokulasi serta penggunaan agen pengoksidasi seperti ozon dan klorin, terbukti mampu menurunkan parameter pencemar secara efisien, namun metode ini berpotensi menghasilkan residu kimia berbahaya dan memerlukan biaya operasional yang relatif tinggi. Sebaliknya, pendekatan biologis berbasis mikroorganisme semakin banyak dikembangkan karena dianggap lebih ramah lingkungan dan ekonomis. Salah satu metode biologis yang banyak diterapkan adalah penggunaan *Effective Microorganisms* (EM) komersial, yang diketahui mampu mempercepat proses dekomposisi bahan organik, menurunkan nilai BOD dan COD, serta menghambat pertumbuhan mikroorganisme patogen (Munawaroh et al., 2013).

Meskipun demikian, penggunaan EM komersial masih memiliki sejumlah keterbatasan, antara lain harga yang relatif tinggi dan ketergantungan pada komposisi strain mikroba tertentu yang belum tentu sesuai dengan kondisi lingkungan setempat. *Effective Microorganisms* (EM) merupakan konsorsium mikroorganisme menguntungkan, seperti *Lactobacillus spp*, *Saccharomyces spp* dan *Bacillus subtilis*, yang berperan penting dalam mempercepat proses dekomposisi bahan organik serta menurunkan tingkat pencemaran pada limbah industri.

Dalam proses penguraian limbah, EM menghasilkan berbagai enzim seperti *protease*, lipase, dan selulase yang berfungsi menghidrolisis senyawa organik kompleks termasuk protein, lemak, dan polisakarida menjadi senyawa sederhana yang lebih mudah diuraikan secara biologis. Proses dekomposisi ini umumnya berlangsung dalam kondisi anaerob, di mana mikroorganisme EM melakukan fermentasi bahan organik menjadi senyawa seperti asam organik (misalnya asam asetat dan asam laktat), alkohol, serta gas seperti karbon dioksida (CO_2) dan metana (CH_4) (Badrah et al., 2021).

Salah satu mikroorganisme kunci dalam konsorsium EM adalah *Lactobacillus spp* yaitu kelompok bakteri asam laktat yang berfungsi memfermentasi gula menjadi asam laktat. Senyawa ini berperan penting dalam menurunkan pH lingkungan, sehingga menghambat pertumbuhan mikroorganisme patogen dan menciptakan kondisi yang mendukung stabilitas serta dominansi mikroba menguntungkan (Sulastri et al., 2020). Selain itu, *Saccharomyces spp* sebagai jenis ragi turut berperan dalam fermentasi alkohol, yakni mengonversi gula menjadi etanol dan karbon dioksida, serta menghasilkan senyawa bioaktif seperti vitamin dan enzim yang menunjang aktivitas mikroba lainnya. Etanol yang terbentuk juga berfungsi sebagai agen pengawet alami dalam sistem EM (Efendi et al., 2017).

Sementara itu, *Bacillus subtilis*, yang termasuk bakteri proteolitik, berkontribusi dalam proses degradasi protein melalui aktivitas enzim *protease*, yang kemudian menghasilkan peptida dan asam amino (Mulyadi et al., 2023). Dalam konteks pengolahan limbah industri, khususnya yang berasal dari proses produksi berbasis bahan organik

seperti industri tahu, *Effective Microorganisms* (EM) mampu menurunkan nilai *Biological Oxygen Demand* (BOD) dan *Chemical Oxygen Demand* (COD) secara signifikan. Efektivitas ini disebabkan oleh kemampuannya dalam mempercepat proses degradasi bahan organik terlarut yang menjadi faktor utama penurunan kadar oksigen terlarut dalam perairan. Selain itu, EM juga berperan dalam menurunkan konsentrasi senyawa volatil, seperti amonia (NH_3) dan hidrogen sulfida (H_2S), yang merupakan penyebab utama timbulnya bau tidak sedap pada limbah cair.

Penurunan BOD, COD, dan senyawa volatil ini berkontribusi terhadap peningkatan kualitas air limbah hasil pengolahan, sehingga lebih aman untuk dibuang ke lingkungan atau dimanfaatkan kembali, misalnya sebagai pupuk cair organik (Rizky, 2013). Oleh karena itu, EM memiliki potensi besar sebagai agen biologis dalam sistem pengolahan limbah yang berkelanjutan, terutama bagi sektor industri kecil dan menengah yang memproduksi limbah organik dalam jumlah besar. Pemanfaatan *Effective Microorganisms* (EM) berbasis buah dan sayur merupakan pendekatan inovatif dan berkelanjutan dalam pengolahan limbah, khususnya limbah organik yang dihasilkan oleh industri berskala kecil hingga tingkat rumah tangga.

Penggunaan bahan baku berupa buah dan sayur didasari oleh kandungan nutrisinya yang melimpah, seperti karbohidrat sederhana, vitamin, mineral, serta enzim alami seperti *protease* dan amilase, yang mendukung pertumbuhan mikroorganisme menguntungkan, termasuk bakteri asam laktat, ragi, dan bakteri fotosintetik. Salah satu keunggulan utama dari EM berbasis bahan alami ini adalah kemudahan dalam proses produksinya serta biaya yang relatif rendah, karena memanfaatkan limbah organik yang tidak terpakai sebagai substrat fermentasi.

Selain itu, EM dari buah dan sayur juga memiliki keunggulan dari aspek lingkungan, yakni proses pembuatannya tidak menghasilkan residu kimia berbahaya sebagaimana yang umum dijumpai pada metode kimiawi seperti koagulasi-flokulasi. Meskipun demikian, mikroorganisme yang berkembang dalam media fermentasi alami ini berasal dari lingkungan terbuka dan tidak melalui proses seleksi terkontrol, sehingga komposisinya sangat dipengaruhi oleh jenis bahan baku, kondisi fermentasi, dan kebersihan lingkungan. Akibatnya, efektivitas dalam mendekomposisi limbah dapat bersifat fluktuatif dan cenderung membutuhkan waktu lebih lama, karena mikroorganisme perlu beradaptasi terlebih dahulu terhadap karakteristik substrat limbah yang diolah (Patrisyawati et al., 2024).

Sebaliknya, inokulum mikroba komersial diformulasikan dengan komposisi mikroorganisme yang telah dipilih secara spesifik dan dikultur dalam kondisi terkontrol untuk membentuk konsorsium yang optimal dalam mendegradasi senyawa organik tertentu. Beberapa mikroorganisme yang umum digunakan dalam formulasi produk komersial meliputi *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas spp*, *Trichoderma spp* dan *Lactobacillus spp* yang telah diketahui memiliki aktivitas enzimatik tinggi terhadap senyawa kompleks seperti protein, lemak, dan selulosa, serta senyawa toksik seperti hidrokarbon dan fenol.

Oleh karena itu, aplikasi inokulum komersial cenderung menghasilkan proses pengolahan limbah yang lebih cepat, efisien, dan konsisten bila dibandingkan dengan inokulum berbasis bahan alami (Zulkifliani et al., 2015). Secara umum, efektivitas bahan alami sebagai sumber mikroorganisme dalam pembuatan *Effective Microorganisms* (EM) cenderung bersifat generalis dan kurang optimal dalam mendekomposisi senyawa organik yang kompleks atau bersifat toksik. Oleh karena itu, aplikasi EM berbahan alami lebih sesuai untuk skala kecil atau rumah tangga. Sebaliknya, inokulum mikroba komersial menawarkan keunggulan karena dapat diformulasikan secara spesifik untuk menangani jenis limbah tertentu, seperti limbah industri, limbah pertanian, atau tumpahan

minyak, sehingga lebih sesuai untuk kebutuhan industri yang menuntut efisiensi tinggi dan hasil yang cepat. Dengan demikian, pemilihan antara EM berbasis bahan alami dan inokulum komersial harus disesuaikan dengan karakteristik limbah, skala aplikasi, serta ketersediaan sumber daya. EM berbasis bahan alami lebih tepat digunakan dalam pendekatan berbasis masyarakat yang berorientasi pada keberlanjutan lingkungan, sementara inokulum komersial lebih cocok untuk penggunaan teknis di sektor industri dengan tuntutan mutu dan konsistensi yang tinggi. Dalam penelitian ini, efektivitas EM berbasis bahan alami dalam pengolahan limbah cair tahu akan dievaluasi melalui variasi volume aplikasi yang digunakan.

Metode

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif yang diawali dengan pembuatan *Effective Microorganisms* (EM) berbasis bahan alami. Proses preparasi EM dilakukan dengan menghancurkan 250 gram pepaya matang (*Carica papaya*), 250 gram pisang cavendish matang (*Musa acuminata*), 250 gram nanas matang (*Ananas comosus*), 125 gram kangkung (*Ipomoea aquatica*), dan 125 gram kacang panjang (*Vigna unguiculata* subsp *sesquipedalis*) hingga membentuk puree. Puree tersebut kemudian dicampur dengan 500 gram gula dan 250 mL air kelapa, lalu dimasukkan ke dalam wadah plastik tertutup rapat dan difermentasi selama 8 hari pada suhu ruang ($\pm 25^{\circ}\text{C}$) di tempat gelap. Setelah fermentasi selesai, campuran disaring dan hasil filtrat disimpan dalam botol tertutup di tempat gelap sebagai larutan EM. Larutan EM yang telah diperoleh selanjutnya diaplikasikan ke dalam 200 mL limbah cair tahu dalam botol *Winkler* dengan lima variasi volume penambahan EM, yaitu 0 mL, 10 mL, 15 mL, 20 mL, dan 25 mL. Parameter limbah cair tahu diukur pada hari ke-0 sebagai data awal. Parameter yang dianalisis meliputi *Biological Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), konsentrasi amonia, pH, dan *Angka Lempeng Total* (ALT). Setiap perlakuan dilakukan dalam tiga kali ulangan. Seluruh botol *Winkler* ditutup rapat dan diinkubasi menggunakan orbital *shaker* pada kecepatan 150 rpm dan suhu 36°C selama lima hari. Setelah masa inkubasi, pengukuran parameter dilakukan kembali pada hari ke-5. Pengukuran nilai BOD dilakukan menggunakan *dissolved oxygen (DO) meter*, sedangkan nilai COD ditentukan melalui reaksi antara 0,5 mL sampel dengan 0,3 mL larutan $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 0,1 N dan 0,7 mL larutan Ag_2SO_4 dalam H_2SO_4 . Campuran tersebut kemudian dipanaskan pada suhu 150°C selama dua jam menggunakan *heating block* dan didinginkan hingga mencapai suhu kamar, kemudian absorbansinya diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 620 nm. Konsentrasi amonia dianalisis dengan mencampurkan 1 mL sampel dengan 0,1 mL reagen Nessler, kemudian absorbansi diukur pada panjang gelombang 425 nm menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Untuk analisis ALT, digunakan metode *pour plate* pada dua media, yaitu *Nutrient Agar* (NA) dan *de Man, Rogosa, and Sharpe* (MRS) agar, dengan pengenceran menggunakan larutan NaCl 0,9%. Inkubasi dilakukan pada suhu 36°C selama 48 jam. Nilai pH diukur menggunakan pH meter. Data hasil pengukuran dianalisis secara deskriptif dengan menghitung rata-rata dari tiga kali ulangan untuk masing-masing perlakuan.

Hasil dan Pembahasan

1. Peningkatan Jumlah Mikroorganisme Dalam EM

Peningkatan jumlah mikroorganisme pada kedua media menunjukkan bahwa starter EM mampu berkembang dengan baik, sebagaimana terlihat pada Tabel 1. Jumlah total mikroba (ALT) yang lebih rendah pada media MRS dibandingkan dengan NA mengindikasikan bahwa EM yang diformulasikan dari berbagai buah dan sayuran tidak hanya mengandung bakteri asam laktat, tetapi juga terdiri atas konsorsium

mikroorganisme lainnya. Jika ditinjau lebih lanjut, laju pertumbuhan mikroorganisme dari hari ke-3 hingga hari ke-8 tidak secepat pertumbuhan dari hari ke-0 hingga hari ke-3. Hal ini dapat disebabkan oleh peralihan mikroorganisme menuju fase stasioner dalam kurva pertumbuhan bakteri setelah melewati fase eksponensial yang terjadi antara hari ke-0 hingga hari ke-3. Studi yang dilakukan oleh Saádah (2016) juga menunjukkan bahwa mikroorganisme dalam EM yang digunakan untuk fermentasi limbah padat bioetanol dalam produksi silase mengikuti pola pertumbuhan bakteri, yaitu melalui fase lag, eksponensial, stasioner, dan fase kematian.

Tabel 1. Nilai ALT dari EM

Media	ALT (CFU/ml)		
	Hari 0	Hari 3	Hari 8
MRS	$7.0 \times 10^3 \pm$	$2.18 \times 10^6 \pm 85244.75$	$2.91 \times 10^6 \pm 108012.34$
Agar	163.30	$2.87 \times 10^6 \pm 78740.08$	$3.46 \times 10^6 \pm 158954.92$
NA	$1.2 \times 10^4 \pm$ 2160.25		

Sumber: Dokumentasi Pribadi

2. Perubahan Parameter Limbah Cair Tahu

Berdasarkan Tabel 2, terlihat bahwa peningkatan volume EM berbanding lurus dengan penurunan nilai BOD. Penurunan ini dapat dikaitkan dengan nilai DO pada hari ke-5 yang tidak mengalami penurunan signifikan dibandingkan hari ke-0. Semakin kecil selisih antara DO hari ke-0 dan hari ke-5, maka nilai BOD yang dihasilkan akan cenderung lebih rendah. Nilai BOD yang rendah menunjukkan bahwa kandungan bahan organik yang dapat terdegradasi oleh mikroorganisme juga rendah, yang selanjutnya mencerminkan peningkatan kualitas air (Masri et al., 2023).

Jika dibandingkan dengan standar yang ditetapkan dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. P.68/MenLHK/Setjen/Kum.1/8/2016 tentang baku mutu air limbah domestik, nilai BOD yang dihasilkan telah berada di bawah ambang batas yang diperbolehkan. Efektivitas penurunan BOD akibat penambahan EM dapat dijelaskan melalui aktivitas bakteri asam laktat yang bersifat anaerob fakultatif. Karakteristik ini memungkinkan mereka untuk melakukan dekomposisi bahan organik tanpa memerlukan oksigen secara langsung, sekaligus menjaga agar kadar oksigen terlarut tidak turun drastis melalui fermentasi. Dalam proses ini, mikroorganisme memanfaatkan senyawa organik sebagai sumber energi, sehingga mengurangi jumlah senyawa yang membutuhkan oksigen dalam proses dekomposisinya (Deffy et al., 2020).

Tabel 2. Efek penambahan EM pada nilai BOD Limbah Cair Tahu

Penambahan Volume EM (ml)	BOD (mg/l)
0	7.88 ± 0.79
10	7.73 ± 0.79
15	7.58 ± 0.79
20	5.98 ± 0.50
25	4.77 ± 0.50

Sumber: Dokumentasi Pribadi

Selain BOD, parameter lain yang dianalisis meliputi pH, amonia, dan COD, sebagaimana disajikan pada Tabel 3. Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai pH, COD, dan amonia masih melebihi ambang batas yang ditentukan dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. P.68/MenLHK/Setjen/Kum.1/8/2016, sehingga belum sesuai dengan baku mutu air limbah domestik. Pada parameter pH, teramati adanya penurunan nilai pada hari ke-5 pada sampel limbah yang diberi perlakuan dengan EM. Sebaliknya, pada kontrol negatif (tanpa penambahan EM), terjadi peningkatan nilai pH.

Hal ini disebabkan oleh aktivitas mikroorganisme alami yang memecah protein menjadi amonia, senyawa bersifat basa lemah yang dapat meningkatkan pH (Jenny et al., 2012). Penambahan EM memicu proses fermentasi oleh bakteri, yang menghasilkan senyawa seperti asam laktat dan asam asetat, sehingga menyebabkan penurunan pH. Temuan ini sejalan dengan hasil penelitian Aini et al., (2022) yang menunjukkan bahwa EM yang mengandung bakteri asam laktat dan jamur fermentasi mampu menguraikan bahan organik dalam limbah menjadi senyawa sederhana, termasuk asam-asam organik yang berkontribusi terhadap penurunan pH.

Tabel 3. Efek Penambahan EM Pada Nilai pH, COD, dan Amonia Limbah Cair Tahu

Penambahan Volume EM (ml)	pH		Amonia (ppm)		COD (ppm)	
	Hari ke- 0	Hari ke- 5	Hari ke-0	Hari ke-5	Hari ke-0	Hari ke-5
0	3.71 ± 0	3.78 ± 0.02	279.33 ± 21.49	179.71 ± 25.81	635.71 ± 96.9	581.20 ± 165.36
10	3.78 ± 0	3.76 ± 0	5818.60 ± 1392.05	1944.96 ± 31.64	4221.46 ± 374.18	3706.53 ± 165.27
15	3.79 ± 0	3.75 ± 0.02	10984.76 ± 3141.06	2361.83 ± 94.43	5150 ± 363.10	4358.59 ± 176.62
20	3.80 ± 0.01	3.76 ± 0.02	13314.02 ± 2114.79	1875.58 ± 250.38	7507.14 ± 776.70	6176.59 ± 450.09
25	3.82 ± 0	3.78 ± 0	17184.63 ± 2643.60	1432.13 ± 176.78	8964.29 ± 409.08	7202.49 ± 244.20

Sumber: Dokumentasi Pribadi

Penurunan konsentrasi amonia teramati pada seluruh perlakuan pada hari ke-5. Hal ini disebabkan oleh proses ionisasi amonia (NH_3) menjadi amonium (NH_4^+), yang dipicu oleh kehadiran asam laktat. Penambahan asam laktat menurunkan pH lingkungan, sehingga mendorong pergeseran kesetimbangan kimia amonia menuju bentuk amonium melalui peningkatan konsentrasi ion hidrogen (H^+) (Tanti et al., 2023). Asam laktat ini dihasilkan selama proses fermentasi oleh mikroorganisme, terutama bakteri asam laktat dalam EM. Dibandingkan amonia, amonium bersifat kurang toksik terhadap organisme akuatik karena bentuk ioniknya tidak mampu menembus membran sel. Sebaliknya, amonia dalam bentuk non-ionik dapat dengan mudah melewati lapisan *fosfolipid bilayer* membran sel dan berpotensi menyebabkan kerusakan seluler (Irnawati & Selsi, 2020). Selain pembentukan asam laktat, penurunan kadar amonia juga dapat dipengaruhi oleh aktivitas mikroorganisme lain dalam EM seperti ragi yang mampu memanfaatkan amonia sebagai sumber nitrogen. Selain itu, proses nitrifikasi oleh bakteri nitrifikasi juga dapat berkontribusi dalam menurunkan konsentrasi amonia.

Penelitian oleh Triyanta (2019) mendukung temuan ini, di mana penambahan EM terbukti mampu menurunkan kadar amonia dalam limbah cair melalui fermentasi. Penurunan pH akibat aktivitas EM juga turut mengurangi volatilitas amonia, menjadikannya lebih stabil dan ramah terhadap lingkungan. Penurunan nilai COD teramati pada hari ke-5 dibandingkan dengan hari ke-0. Penurunan ini terjadi akibat aktivitas mikroorganisme dalam EM yang memfermentasi bahan organik kompleks dalam limbah. Limbah tahu mengandung senyawa seperti lemak, protein, dan amonia yang berkontribusi terhadap tingginya nilai COD.

Meskipun pada hari ke-0 terjadi peningkatan nilai COD seiring penambahan EM, hal ini disebabkan oleh kandungan bahan organik yang juga terdapat dalam EM itu sendiri. Namun, setelah proses fermentasi berlangsung, nilai COD menurun sebagai hasil dari aktivitas enzimatik mikroorganisme dalam EM yang memecah rantai karbon senyawa organik menjadi bentuk yang lebih sederhana. Selain itu, kondisi fermentasi

yang optimal termasuk ketersediaan nutrisi dan durasi inkubasi yang memadai mendukung aktivitas metabolik mikroba, memungkinkan mereka untuk memanfaatkan bahan organik sebagai sumber energi (Ramlan, 2017).

Perbandingan perubahan parameter BOD, COD, amonia, dan pH antara kontrol negatif (tanpa penambahan EM) dan berbagai perlakuan penambahan EM pada hari ke-5 disajikan dalam Tabel 4. Teramati bahwa nilai BOD menurun seiring dengan peningkatan volume EM. Semakin besar volume EM yang ditambahkan, semakin signifikan penurunan nilai BOD. Hal ini konsisten dengan peran bakteri asam laktat dalam EM yang melakukan fermentasi, sehingga menjaga ketersediaan oksigen terlarut melalui pemanfaatan bahan organik secara efisien. Sebaliknya, nilai COD cenderung meningkat dengan meningkatnya volume EM. Peningkatan ini kemungkinan disebabkan oleh kandungan bahan organik dalam EM itu sendiri, seperti karbohidrat yang berasal dari buah dan sayuran. Meskipun demikian, penambahan EM juga memperkaya populasi mikroorganisme dalam limbah, yang pada akhirnya mempercepat proses degradasi bahan organik.

Pada parameter amonia, terlihat adanya peningkatan nilai dibandingkan dengan kontrol negatif, khususnya pada penambahan EM hingga volume 15 mL. Nilai amonia tertinggi tercatat pada volume 15 mL, sedangkan penurunan terjadi kembali pada volume 20 mL dan 25 mL. Peningkatan awal ini dapat dijelaskan oleh kandungan amonia dalam EM itu sendiri. Namun, fluktuasi nilai amonia menunjukkan bahwa peningkatan volume EM tidak selalu sejalan dengan efektivitas mikroorganisme dalam mendegradasi amonia. Hal ini mungkin disebabkan oleh jumlah mikroorganisme pengurai amonia dalam EM yang terbatas, sehingga pada volume rendah, adaptasi terhadap lingkungan limbah belum optimal. Sementara itu, pada parameter pH tidak terjadi perubahan yang signifikan dengan penambahan EM, di mana penurunan pH tercatat kurang dari 1%, menunjukkan stabilitas pH dalam sistem meskipun terdapat aktivitas mikrobiologis.

Tabel 4. Efek Penambahan EM Pada Perubahan Nilai BOD, COD, Amonia, dan pH Limbah Cair Tahu Dibandingkan Dengan Kontrol Negatif

Penambahan Volume EM (ml)	Perubahan BOD (%)	Perubahan COD (%)	Perubahan Amonia (%)	Perubahan pH (%)
10	-1.90	+537.73	+982.27	-0.52
15	-3.0	+649.93	+1214.24	-0.79
20	-24.11	+962.73	+943.67	-0.52
25	-39.46	+1139.24	+696.91	0

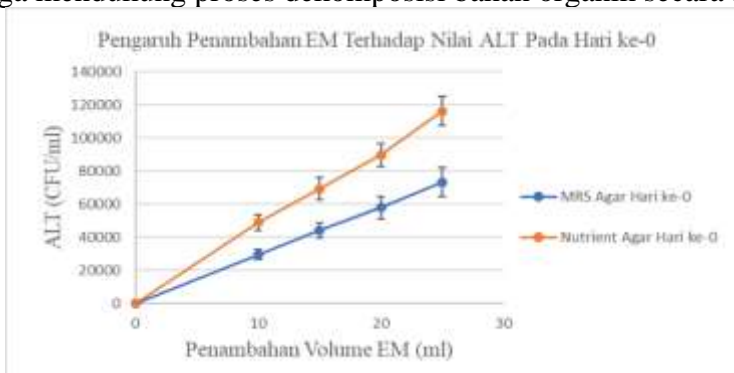
Sumber: Dokumentasi Pribadi

Keterangan: Simbol (-) Menandakan Terjadinya Penurunan Dibandingkan Dengan Control Negatif Simbol (+) menandakan terjadinya peningkatan dibandingkan dengan kontrol negatif

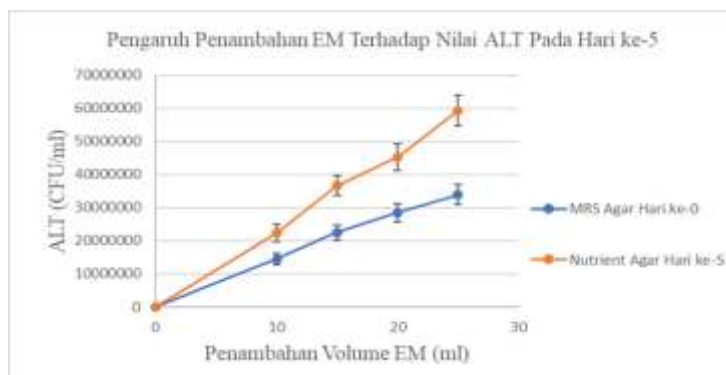
3. Peningkatan Nilai ALT Dalam Limbah Cair Tahu yang Ditambahkan EM

Salah satu parameter tambahan yang dianalisis dalam pengolahan limbah cair tahu adalah angka lempeng total (ALT), yang ditampilkan pada Grafik 1 untuk hari ke-0 dan Grafik 2 untuk hari ke-5. Terdapat peningkatan nilai ALT pada hari ke-5 jika dibandingkan dengan hari ke-0, yang mengindikasikan bahwa mikroorganisme dalam EM berhasil beradaptasi dan berkembang dalam lingkungan limbah cair tahu. Pertumbuhan mikroorganisme yang lebih tinggi pada media NA dibandingkan dengan MRS Agar menunjukkan bahwa tidak hanya bakteri asam laktat yang mampu bertahan, tetapi juga terdapat konsorsium mikroorganisme lain yang turut berperan dalam proses biodegradasi (Berlian et al., 2023).

Pada perlakuan kontrol negatif (tanpa penambahan EM), meskipun data ALT tidak ditampilkan pada grafik, tetap terdeteksi keberadaan mikroorganisme pada kedua media, dengan nilai ALT yang tidak nol. Hal ini menunjukkan bahwa limbah cair tahu secara alami mengandung mikroorganisme. Temuan ini sejalan dengan hasil penelitian Asril dan Sovia (2019), yang mengidentifikasi adanya isolat bakteri dari limbah tahu yang memiliki aktivitas proteolitik, yaitu kemampuan untuk menghidrolisis protein dalam limbah, sehingga mendukung proses dekomposisi bahan organik secara alami.



Grafik 1. Pengaruh Penambahan EM Terhadap Nilai ALT Pada Hari ke-0 (Sumber: Dokumentasi Pribadi)



Grafik 2. Pengaruh Penambahan EM Terhadap Nilai ALT Pada Hari ke-5 (Sumber: Dokumentasi Pribadi)

4. Peran Mikroba Dalam Dekomposisi Limbah Cair Tahu

Limbah cair tahu mengandung kadar protein, karbohidrat, dan lemak yang relatif tinggi, yang berfungsi sebagai substrat bagi berbagai jenis mikroorganisme. Proses dekomposisi senyawa organik kompleks dalam limbah ini melibatkan kerja sinergis antar kelompok mikroba untuk mengubahnya menjadi senyawa yang lebih sederhana. Terdapat empat kelompok mikroorganisme utama yang berperan dalam proses biodegradasi limbah cair tahu, yaitu bakteri asam laktat, bakteri proteolitik, ragi, dan bakteri pengurai amonia (Joshi et al., 2019).

Bakteri asam laktat seperti *Lactobacillus plantarum*, *Leuconostoc mesenteroides*, dan *Lactobacillus casei*, yang umum ditemukan pada buah-buahan seperti pisang dan nanas serta sayuran seperti kacang panjang, memfermentasi karbohidrat dalam limbah tahu menjadi asam laktat. Selain itu, meskipun dalam jumlah terbatas, bakteri ini juga menghasilkan enzim *protease* yang dapat memecah protein menjadi senyawa yang lebih sederhana seperti peptida dan asam amino (Nayak et al., 2020). Kelompok mikroorganisme kedua yang dominan adalah bakteri proteolitik, dengan contoh spesies seperti *Bacillus subtilis* dan *Pseudomonas fluorescens*. Bakteri ini merupakan agen utama dalam produksi enzim *protease* yang berperan dalam pemecahan protein kedelai menjadi

bentuk yang lebih sederhana. Selain itu, bakteri proteolitik juga menghasilkan enzim deaminase yang berfungsi mengubah asam amino menjadi amonia (NH_3) dan ion amonium (NH_4^+), yang kemudian dapat ditransformasi lebih lanjut oleh bakteri nitrifikasi (Asril & Sovia, 2019). Kelompok mikroorganisme ketiga yang juga berperan signifikan dalam proses dekomposisi limbah cair tahu adalah ragi. Spesies ragi seperti *Saccharomyces cerevisiae* dan *Candida tropicalis*, yang umum ditemukan pada buah nanas dan pepaya, diketahui menghasilkan enzim amilase dan *invertase*. Kedua enzim ini berfungsi untuk menghidrolisis karbohidrat kompleks dalam limbah menjadi gula sederhana seperti glukosa dan fruktosa. Glukosa yang terbentuk kemudian dapat difermentasi oleh ragi menjadi etanol dan karbon dioksida (CO_2).

Kehadiran etanol hasil fermentasi ini diketahui mampu menghambat pertumbuhan mikroorganisme pembusuk yang menyebabkan bau tidak sedap. Selain itu, ragi juga memproduksi enzim *protease* yang berperan dalam pemecahan protein (Qadir, 2019). Kelompok mikroorganisme keempat yang dominan adalah bakteri nitrifikasi. Bakteri ini berfungsi untuk mengubah amonia menjadi bentuk nitrogen yang lebih stabil dan kurang toksik melalui proses dua tahap. *Nitrosomonas spp* merupakan bakteri yang mengoksidasi amonia menjadi nitrit (NO_2^-), sedangkan *Nitrobacter spp* melanjutkan proses oksidasi tersebut dengan mengubah nitrit menjadi nitrat (NO_3^-). Mengingat bahwa konsentrasi amonia yang tinggi bersifat toksik bagi lingkungan perairan, konversi ini sangat penting untuk mengurangi dampak negatif dari limbah (Yanqoritha et al., 2022).

5. Penentuan Penambahan EM Terbaik Dalam Mengurangi Parameter Limbah Cair Tahu

Evaluasi efektivitas volume penambahan EM dalam menurunkan parameter pencemar limbah cair tahu dilakukan dengan membandingkan nilai parameter pada hari ke-5. Volume EM yang dianggap paling optimal adalah yang mampu menurunkan konsentrasi COD dan amonia secara signifikan, disertai dengan penurunan nilai DO yang relatif rendah. Berdasarkan hasil yang ditampilkan pada Tabel 4, volume EM sebesar 25 ml menunjukkan kinerja terbaik. Pada perlakuan ini, terjadi penurunan kadar amonia dan COD masing-masing sebesar 91,67% dan 19,65%, serta penurunan nilai DO sebesar 58%. Hasil ini menunjukkan bahwa penambahan EM sebesar 25 ml paling efektif dalam meningkatkan efisiensi pengolahan limbah cair tahu.

Tabel 5. Efek Penambahan EM Pada Reduksi Nilai DO, Amonia, dan COD Limbah Cair Tahu pada hari ke 5 dengan hari ke 0

Penambahan Volume EM (ml)	Reduksi DO (%)	Reduksi Amonia (%)	Reduksi COD (%)	Reduksi pH (%)
0	97.3	35.66	8.57	+ 1.89
10	83.16	66.57	12.19	0.53
15	76.75	78.50	15.36	1.06
20	69.44	85.91	17.71	1.05
25	58	91.67	19.65	1.05

Sumber: Dokumentasi Pribadi

Keterangan: Simbol (+) menandakan terjadinya peningkatan pada hari ke 5 dibandingkan dengan hari ke 0.

Berdasarkan data pada tabel, terdapat tren bahwa peningkatan volume penambahan EM diikuti oleh peningkatan persentase penurunan COD dan amonia. Namun, tren sebaliknya terlihat pada parameter DO, di mana persentase penurunannya justru semakin rendah seiring bertambahnya volume EM. Meskipun pola ini menunjukkan bahwa volume EM yang lebih tinggi dapat meningkatkan efektivitas

pengolahan limbah, penggunaan EM secara berlebihan dapat menimbulkan dampak negatif. Penambahan mikroorganisme dalam jumlah berlebih berpotensi menyebabkan kematian sel akibat keterbatasan oksigen dan nutrisi (Afifah et al., 2021). Sel mikroba yang mengalami lisis akan menjadi beban organik tambahan yang meningkatkan nilai COD dan BOD karena proses dekomposisinya memerlukan oksigen.

Selain itu, kelebihan mikroba juga dapat memicu akumulasi senyawa sampingan yang bersifat toksik, seperti hidrogen sulfida (H_2S) dan berbagai asam organik, yang berpotensi mengganggu kestabilan proses pengolahan limbah (Munawarah, 2024). Oleh karena itu, meskipun volume EM sebesar 25 ml menunjukkan efisiensi tertinggi dalam menurunkan parameter pencemar, diperlukan upaya optimasi lebih lanjut untuk menentukan dosis EM yang ideal agar kinerja mikroorganisme tetap maksimal tanpa memunculkan dampak negatif terhadap sistem. Terlepas dari beberapa keterbatasan seperti penurunan pH dan peningkatan nilai ALT, hasil penelitian ini membuktikan bahwa starter EM dapat diformulasikan secara efektif dari bahan-bahan lokal yang mudah diperoleh seperti buah dan sayuran.

6. Analisis Keberlanjutan *Effective Microorganism* (EM): Aspek Ekonomi dan Lingkungan Serta Potensi Implementasi Pada Sektor Industri

Effective Microorganisms (EM) yang diformulasikan dari bahan-bahan alami seperti pepaya, nanas, pisang, kangkung, kacang panjang, air kelapa, dan gula menunjukkan potensi signifikan sebagai alternatif pengolahan limbah cair industri tahu yang bersifat ramah lingkungan dan hemat biaya. Dalam penelitian ini, bahan-bahan yang digunakan merupakan buah dan sayuran matang yang masih layak konsumsi, dengan tujuan menjaga kendali variabel secara optimal. Penggunaan bahan segar membantu memastikan bahwa mikroorganisme yang berkembang berasal langsung dari bahan tersebut, sehingga mengurangi potensi kontaminasi oleh mikroorganisme asing yang mungkin muncul jika menggunakan bahan yang telah membusuk.

Namun demikian, bahan-bahan segar ini berpotensi untuk disubstitusi dengan limbah organik seperti buah dan sayuran yang sudah membusuk. Penggunaan limbah tersebut memiliki keuntungan ekonomis yang lebih besar karena berasal dari bahan tak terpakai, sekaligus memberikan nilai tambah melalui pengelolaan sampah organik. Selain mengurangi biaya produksi EM, pendekatan ini juga mengurangi ketergantungan terhadap starter mikroba komersial dan memungkinkan EM dikembangkan sebagai biokatalisator yang dapat dipasarkan untuk keperluan pengolahan limbah cair.

Dari sisi lingkungan, pemanfaatan bahan organik yang membusuk lebih berkelanjutan dibandingkan metode konvensional seperti koagulasi dan flokulasi, karena tidak mengandung bahan kimia sintetis yang berpotensi meninggalkan residu toksik. Selain itu, proses fermentasi EM tergolong hemat energi karena tidak memerlukan proses intensif seperti pembakaran atau distilasi, menjadikannya pilihan yang efisien dan ekologis dalam pengolahan limbah. Walaupun EM dapat diproduksi dengan relatif mudah di laboratorium, penerapannya dalam skala industri memerlukan penyesuaian tertentu untuk menjamin keberhasilan produksi massal. Salah satu kendala utama dalam produksi skala besar adalah menjaga stabilitas dan keseimbangan populasi mikroorganisme selama proses fermentasi. Parameter lingkungan seperti suhu, pH, ketersediaan *nutrien*, dan kadar oksigen sangat memengaruhi aktivitas mikroba di dalam EM. Sebagai contoh, bakteri asam laktat menunjukkan aktivitas optimal pada kisaran pH 5,5-6,0 Sionek et al., (2024) sementara ragi lebih stabil pada kondisi minim cahaya (Pasa et al., 2019). Oleh karena itu, dibutuhkan sistem produksi terkontrol seperti fermentor industri yang mampu mengatur suhu dan pH secara konsisten, serta proses standardisasi bahan baku untuk menghasilkan formulasi EM yang seragam dan efektif.

Di sisi lain, aspek penyimpanan juga menjadi perhatian penting karena mikroorganisme di dalam EM harus tetap hidup dan fungsional hingga waktu penggunaan. Salah satu pendekatan yang dapat diterapkan adalah transformasi EM cair menjadi bentuk padat menggunakan metode pengeringan seperti *spray drying* atau *freeze drying*, sehingga menghasilkan produk berbentuk bubuk yang lebih stabil, tahan lama, dan lebih mudah dalam distribusi serta aplikasi pada skala industri (Hanidah et al., 2021). Dari perspektif penerapan, EM menunjukkan potensi yang signifikan untuk digunakan dalam pengolahan limbah cair pada industri tahu di Indonesia.

Hal ini relevan mengingat sebagian besar industri tahu di Indonesia merupakan usaha kecil dan menengah yang umumnya memiliki keterbatasan dalam hal pengelolaan limbah secara efektif. Limbah cair tahu yang tidak dikelola dengan baik dapat mencemari badan air, seperti sungai, dan memicu proses eutrofikasi yaitu peningkatan *nutrien* yang berlebihan dalam air sehingga menyebabkan ledakan populasi alga dan penurunan kadar oksigen terlarut, yang pada akhirnya mengganggu keseimbangan ekosistem akuatik (Muharrahmi et al., 2023). Penggunaan EM dalam pengolahan limbah ini tidak hanya menawarkan solusi yang lebih ekonomis, tetapi juga mampu menurunkan dampak lingkungan secara signifikan. Selain itu, pemanfaatan EM dapat memberikan nilai tambah bagi industri, karena residu hasil pengolahan limbah dapat didaur ulang menjadi produk bermanfaat seperti pupuk organik untuk pertanian lokal atau sebagai bahan baku dalam produksi biogas apabila dikombinasikan dengan sistem pengolahan anaerobik.

Meski memiliki prospek yang menjanjikan, terdapat sejumlah kendala yang perlu diatasi sebelum teknologi EM dapat diimplementasikan secara luas dalam industri tahu. Salah satu tantangan utama adalah keterbatasan pengetahuan dan pemahaman para pelaku industri mengenai prinsip kerja serta manfaat penggunaan EM. Banyak unit usaha kecil-menengah masih mengandalkan metode pengolahan limbah konvensional, atau bahkan membuang limbah secara langsung ke lingkungan tanpa proses pengolahan, yang sebagian besar disebabkan oleh minimnya akses terhadap teknologi alternatif yang lebih ramah lingkungan. Oleh karena itu, dibutuhkan program pelatihan dan edukasi yang sistematis untuk meningkatkan pemahaman dan mendorong adopsi teknologi EM di kalangan pelaku industri (Sukreni et al., 2023). Di samping itu, standarisasi produk EM sangat penting guna memastikan konsistensi efektivitasnya dalam proses pengolahan limbah. Peran pemerintah juga menjadi krusial dalam mendorong penggunaan teknologi ini, baik melalui pemberian insentif bagi industri yang mengadopsi sistem pengolahan berbasis EM, maupun melalui penerapan regulasi yang mewajibkan pengolahan limbah sebelum pembuangan ke lingkungan.

Dengan memperhatikan aspek keberlanjutan, efisiensi, dan potensi penerapan dalam skala besar, penggunaan EM yang diformulasikan dari bahan dasar buah dan sayuran menunjukkan prospek sebagai alternatif inovatif dalam pengelolaan limbah industri tahu di Indonesia. Teknologi ini tidak hanya mampu menekan tingkat pencemaran lingkungan, tetapi juga menawarkan solusi yang lebih ekonomis dibandingkan metode pengolahan limbah konvensional. Apabila tantangan dalam proses produksi dan penerapannya dapat diselesaikan secara optimal, maka EM berpotensi untuk dijadikan sebagai standar baru dalam sistem pengolahan limbah cair industri tahu, sekaligus mendorong transformasi menuju praktik industri yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan.

Kesimpulan

Effective Microorganisms (EM) berbahan dasar buah dan sayur menunjukkan kemampuan dalam menurunkan parameter pencemar pada limbah cair tahu setelah proses pengolahan selama lima hari, dengan volume optimum sebesar 25 mL. Pada kondisi

tersebut, terjadi penurunan BOD sebesar 39,46%, COD sebesar 19,65%, amonia sebesar 91,67%, dan pH menurun sebesar 1,05%. Meskipun demikian, hasil pengolahan limbah cair tahu menggunakan EM ini belum sepenuhnya memenuhi baku mutu yang ditetapkan dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. P.68/MenLHK/Setjen/Kum.1/8/2016, terutama untuk parameter COD, amonia, dan pH. Hanya parameter BOD yang telah berada di bawah ambang batas yang diperkenankan

Daftar Pustaka

- Aditia, A. (2020). Pengolahan Air Limbah Menggunakan Bioreaktor Membran (BRM). *Jurnal Ilmiah Maksitek*, 5(4), 162-168.
- Afifah, A. S., Prajati, G., Adicita, Y., Darwin, D., & Firmansyah, Y. W. (2021). Pemanfaatan Mikroalga dalam Penurunan Kadar Amonia Dengan Variasi Penambahan Effective Microorganism. *Jurnal Serambi Engineering*, 6(2), 1762-1767.
- Aini, N. R. Q., Mintan, M., Yoshua, B., & Nurrochman. (2021). Pengaruh EM4 Terhadap Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu Menjadi Pupuk Organik Cair. *Jurnal Pengendalian Pencemaran Lingkungan (JPPL)*, 4(1), 7-12.
- Amalia, R. N., Shalaho, D. D., Angga, S. K., Nur, H., Elisa, D. S., Dira, A. A. R., Febry, M. F., Nur, A. S., & Guntur, A. A. (2022). Potensi Limbah Cair Tahu sebagai Pupuk Organik Cair di RT. 31 Kelurahan Lempake Kota Samarinda. *ABDIKU: Jurnal Pengabdian Masyarakat Universitas Mulawarman*, 1(1), 36-41.
- Asril, M., & Leksikowati, S. S. (2019). Isolasi Dan Seleksi Bakteri Proteolitik Asal Limbah Cair Tahu Sebagai Dasar Penentuan Agen Pembuatan Biofertilizer. *Elkawnie Journal of Islamic Science and Technology*, 5(2), 86-99.
- Badrah, S., Resti, P. A., & Andi, A. (2021). Pemanfaatan Effective Microorganisms 4 (EM4) Menggunakan Media Biofilm Untuk Menurunkan Amonia dan Fosfat pada Limbah Cair Rumah Sakit. *Faletahan Health Journal*, 8(2), 102-108.
- Berlian, M. A., Hamdan, D. P., Nur, A. D., Maulana, D. Z., & Denny, O. R. (2023). Peningkatan Inovasi Superlizer Menggunakan Biokatalisator EM4 untuk Mempercepat Pertumbuhan Tanaman Cabai. *VISA: Journal of Visions and Ideas*, 3(3), 493-503.
- Deffy, T., Nilandita, W., & Munfarida, I. (2020). Bioremediasi Limbah Cair Industri Tahu Menggunakan Larutan EM4 secara Anaerob-Aerob. *Jurnal Presipitasi Media Komunikasi dan Pengembangan Teknik Lingkungan*, 17(3), 233-241.
- Efendi, Y., Yusra, Y., & Vivi, O. E. (2017). Optimasi Potensi Bakteri Bacillus subtilis Sebagai Sumber Enzim Protease. *Jurnal Akuatika Indonesia*, 2(1), 87-94.
- Haerun, R. (2017). Efisiensi Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu Dengan Penambahan Efektif Mikroorganisme 4 Dengan Sistem Upflow. *Jurnal Nasional Ilmu kesehatan*, 1(2), 1-11.
- Hanidah, I., Kirana, A. I., Nurhadi, B., & Sumanti, D. M. (2021). Fungsionalitas Mikroenkapsulasi Bakteri Probiotik Pengeringan Semprot: Kajian Literatur. *Industria: Jurnal Teknologi dan Manajemen Agroindustri*, 10(3), 274-282.
- Irnawati, I., & Selsi, S. (2020). *Penurunan Kadar Amoniak Pada Limbah Cair Menggunakan Tanaman Eceng Gondok (Eichhornia Crassipes)*. Doctoral dissertation, Politeknik Negeri Ujung Pandang.
- Jenny, I., Surono, S., & Christiyanto, M. (2012). Produksi Amonia, Undegraded Protein Dan Protein Total Secara In Vitro Bungkil Biji Kapuk Yang Diproteksi Dengan Tanin Alami. *Animal Agriculture Journal*, 1(1), 277-284.

- Joshi, H., Somduttand, P. C., & Mundra, S. L. (2019). Role of Effective Microorganisms (EM) in Sustainable Agriculture. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 8(3), 172-181
- Masri, M., Alya, S., & Rosmah, R. (2023). Analisis Kadar Biochemical Oxygen Demand (BOD) Salah Satu Sungai Di Sulawesi Selatan. *Filogeni: Jurnal Mahasiswa Biologi*, 3(2), 112-116.
- Muharrahi, F., Meisya, A., Nisa, I., & Abdurrozzag, H. (2023). Analisis Dampak Limbah Cair Pada Pabrik Tahu Terhadap Pencemaran Lingkungan Di Kecamatan Tanjung Morawa Kab. Deli Serdang. *Journal Of Health And Medical Research*, 3(3), 385-390.
- Mulyadi, D., Reni, M., & Lutfia, H. (2023). Pengaruh Konsentrasi Ragi (*Saccharomyces Cerevisiae*) Pada Proses Fermentasi Limbah Kulit Buah Sukun (*Artocarpus Altilis*) Dalam Pembuatan Bioetanol. *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*, 4(3), 154-161.
- Munir, M., Martunis, L., & Rahayu, S. (2023). Pemanfaatan Limbah Buah-Buahan Dan Air Leri Sebagai Bahan Pembuatan Em4 Alami Di Desa Aje Cut Kabupaten Aceh Besar. *Jurnal Pengabdian Magister Pendidikan IPA*, 6(1), 1-5.
- Munawarah, S. (2024). *Penyisihan Cod, Bod, Amonia Dan Tss Menggunakan Metode Elektrokoagulasi Dengan Kombinasi Elektroda Aluminium (Al) Dan Besi (Fe) Pada Air Limbah Hasil Pengolahan Ikan*. Doctoral Dissertation, UIN Ar-Raniry Fakultas Sains dan Teknologi.
- Munawaroh, U., Mumu, S., & Kancitra, P. (2013). Penyisihan Parameter Pencemar Lingkungan Pada Limbah Cair Industri Tahu Menggunakan Efektif Mikroorganisme 4 (EM4) Serta Pemanfaatannya. *Jurnal Institut Teknologi Nasional*, 2(1), 93-104.
- Nayak, N., Koushik, S., Bijoy, K. S., & Mahapatra, P. (2020). Beneficial Effect Of Effective Microorganism On Crop And Soil- A Review. *Journal of Pharmacognosy And Phytochemistry*, 9(4), 3070-3074.
- Nimpoeno, S. A. P., & Reihan, A. A. (2023). *Perencanaan Sistem Pengelolaan Air Limbah UMKM Tahu di Desa Sugihmanik, Kecamatan Tanggunharjo, Kabupaten Grobogan*. Semarang: Universitas Diponegoro Institutional Repository.
- Pagoray, H., Sulistyawati, S., & Fitriyani, F. (2021). Limbah Cair Industri Tahu Dan Dampaknya Terhadap Kualitas Air Dan Biota Perairan. *Jurnal Pertanian Terpadu*, 9(1), 53-65.
- Pasa, A. R., Ana, N. R., Ana, A., Danielle, I. R. N., Wahidatus, S. S., & Wijdan, S. (2019). *Pengaruh Intensitas Cahaya Pada Pertumbuhan Mikroba Saccharomyces Cereviceae Fermipan Dengan Media Potato Dextrose Agar*. Semarang: Academia.
- Patrisyawati, W., Muniroh, C., Fakhruddin, F., Widiyanto, A., & Trisnowati, E. (2024). Efektivitas Penambahan EM-4 pada Proses Fermentasi Eco Enzyme: Pengolahan Sampah Rumah Tangga Menjadi Produk Serba Guna. *EDUPROXIMA: (Jurnal Ilmiah Pendidikan IPA)*, 6(3), 1016-1023.
- Qadir, G. (2019). Yeast A Magical Microorganism In The Wastewater Treatment. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 8(4), 1498-1500.
- Ramdhani, R., Endro, S., & Irawan, W. W. (2014). Penurunan Konsentrasi Amonia Limbah Cair Tahu Menggunakan Teknologi Biofilm-Pond Dengan Media Pipa PVC Sarang Tawon dan Bata Ringan Disertai Penambahan Lumpur Aktif. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 3(4), 1-10.

- Ramlan, M., & Astuti, D. (2017). *Keefektifan Em-4 (Effective Microorganism-4) Dalam Menurunkan Chemical Oxygen Demand (Cod) Limbah Cair Industri Batik*. Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Rizky, K. A., Astuti, S. K. M. D., & Darnoto, S. K. M. S. (2013). *Pengaruh Penambahan EM-4 (Effective Microorganisms-4) Terhadap Penurunan BOD (Biological Oxygen Demand) Limbah Cair Tahu*. Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Surakarta).
- Saadah, H. M. H. (2016). *Kurva Pertumbuhan Bakteri Effective Microorganism-4 yang Digunakan dalam Fermentasi Limbah Padat Bioetanol Secara Anaerob Untuk Pembuatan Silase*. Doctoral Dissertation, UIN Sunan Gunung Djati Bandung.
- Sionek, B., Szydłowska, A., Trzaskowska, M., & Kołożyn-Krajewska, D. (2024). The Impact Of Physicochemical Conditions On Lactic Acid Bacteria Survival In Food Products. *Fermentation*, 10(6), 1-17.
- Sukreni, T., Nuraliyah, A., Thamrin, D., Khasanah, F. N., Untari, D. T., Pertiwi, R., & Ningsih, R. (2023). Pelatihan Pengolahan Limbah Cair Tahu Bagi Pengelola Industri Tahu di Mangunjaya. *SWARNA: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 2(7), 771-778.
- Sulastri, A., Baso, M., & Leggina, R. V. (2020). Analisis Viabilitas *Lactobacillus Lactis* Pada Inovasi Media Dasar Pertumbuhan Alternatif Dan Media Dasar Penepungan Bakteri Asam Laktat. *Jurnal Tambora*, 4(2), 16-22.
- Tanti, D. A., Arif, R., Opik, T., Asri, I., Wiwiek, S., & Amalia, N. (2023). Konsentrasi Gas NH₃ di Daerah Perkotaan. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 24(2), 143-148.
- Triyanta, T., & Nine, E. M. (2019). Efektifitas Em-4 (Effective Microorganism-4) dalam Menurunkan NH₃ (Amoniak) dan TSS (Total Suspended Solid) Limbah Cair BBKPM Surakarta. *Jurnal Ilmu Kesehatan Masyarakat Berkala*, 1(1), 34-40.
- Yanqoritha, N., & Sulhatun, S. (2022). Evaluation of Kinetic Parameters of Nitrification Process in Biofilter System to Effluent Liquid Waste of Tofu Industry. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 8(6), 2744-2751.
- Yulianto, R., Ratna, L. P., Sri, R., & Iriani. (2020). Penurunan Kandungan COD dan BOD Limbah Cair Industri Tahu Dengan Metode Ozonasi. *ChemPro Journal*, 1(1), 9-15.
- Zamzami, A., Rustam, Y., & Fierdaus, M. (2015). Biodegradasi Senyawa Fenol Dengan Menggunakan Bakteri *Pseudomonas Aeruginosa* Dan *Bacillus Subtilis*. *Jurnal Lembaran Publikasi Minyak Dan Gas Bumi*, 49(3), 271-277.