

Efek EM4 pada Penguraian Lumpur Tinja Secara Anaerobik

Veny Herdiana dan Eddy Setiadi Soedjono

Departemen Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

e-mail: soedjono@enviro.its.ac.id

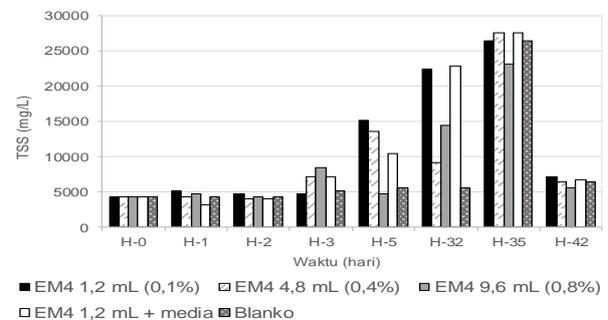
Abstrak—Lumpur tinja (*septage*) dalam *septic tank* terdiri atas feses, urine, dan air. Produk *biostarter* EM4 merupakan salah satu alternatif penanganan lumpur tinja dengan harga terjangkau dan mudah ditemukan di pasaran. Penelitian ini bertujuan menganalisis efek EM4 pada penguraian lumpur tinja dalam kondisi anaerobik. Penelitian skala laboratorium ini menggunakan reaktor dengan sistem *batch* sebanyak 66 buah, dengan *destructive sampling method*. Setiap reaktor diisi dengan lumpur tinja sebanyak 1200 mL. Penelitian ini dilakukan dalam waktu 2 (dua) bulan. Terdapat 5 (lima) variasi perlakuan yaitu tanpa EM4 atau blanko (P1), EM4 1,2 mL atau 0,1% v/v (P2), EM4 4,8 mL atau 0,4% v/v (P3), EM4 9,6 mL atau 0,8% v/v (P4), dan EM4 1,2 mL + media *attached growth* (P5). Parameter yang dianalisis meliputi TSS (termasuk VSS dan FSS), BOD₅, COD (termasuk COD_{rb}), volume lumpur dan supernatan dalam reaktor, pH, dan temperatur. Nilai BOD₅, COD (0,45 mikron), COD_{rb} (0,22 mikron) semakin menurun selama penelitian berlangsung, namun TSS mengalami kenaikan. Pemisahan antara lumpur dan supernatan terbaik adalah pada P4 = P5 > P3 > P2 > P1. Hasil menunjukkan bahwa semua perlakuan berada pada rentang pH optimum yaitu 6,5 hingga 8,0. Sementara itu, temperatur semua perlakuan berada dalam rentang 30-34°C (*mesophilic*). Konsentrasi terbaik yang dipilih untuk penguraian lumpur tinja secara anaerobik menggunakan EM4 adalah 9,6 mL atau 0,8% v/v. Konsentrasi ini dipilih karena menunjukkan penyisihan paling signifikan terhadap volume lumpur, BOD₅, COD, dan COD_{rb} masing-masing sebesar 71%, 91%, 94%, dan 100%, dibandingkan variasi konsentrasi lainnya.

Kata Kunci—Anaerobik, Bahan Organik, Bakteri Asam Laktat, EM4, Lumpur Tinja.

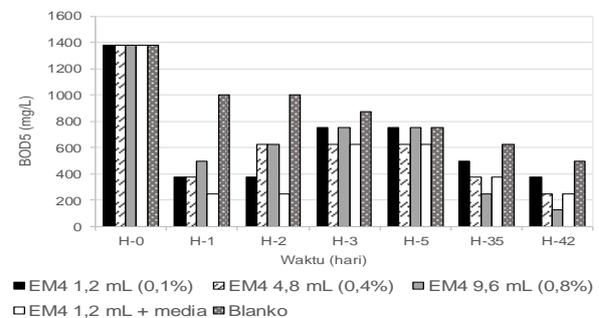
I. PENDAHULUAN

PRODUK pengurai lumpur *septic tank* kian beredar di kalangan masyarakat sebagai alternatif penanganan lumpur *septic tank*. *Septic tank* berisi padatan dan cairan yang dinamakan lumpur tinja (*septage*). *Septage* mengandung sebagian besar feses manusia, urine, dan air. *Septic tank* didesain dengan kapasitas tertentu sehingga suatu saat akan penuh. Tanda *septic tank* penuh yaitu meluapnya isi *septic tank* pada lubang kloset, hal ini berpotensi menimbulkan pencemaran, khususnya pencemaran air dan bau. Selain itu, dampak lainnya adalah kerusakan atau penurunan fungsi *septic tank* itu sendiri.

Upaya yang dianjurkan oleh pemerintah saat ini untuk penanganan *septic tank* adalah melakukan pengurasan *septic tank*. Pengurasan *septic tank* dilakukan tidak lebih dari 3 (tiga) tahun sekali [1]. Hal ini dilakukan dengan dasar pertimbangan antara lain jumlah orang dalam 1 (satu) keluarga, volume lumpur yang dihasilkan, dan volume *septic tank* yang layak untuk keluarga. Pelayanan lumpur tinja di Indonesia selama ini berjalan didasarkan pada kebutuhan (*on call basic*). Ketika masyarakat membutuhkan jasa pengurasan tinja maka masyarakat akan menghubungi PDAM atau jasa swasta untuk pengurasan [1].



Gambar 1. Nilai TSS P1, P2, P3, P4, dan P5.



Gambar 2. Nilai BOD₅ P1, P2, P3, P4, dan P5.

Penerapan pengurasan *septic tank* memiliki kendala seperti kurangnya pengetahuan masyarakat tentang *septic tank* dan fungsi penyedotan rutin lumpur tinja (Darwati, 2018). Selain itu, *willingness to pay* masyarakat Indonesia cukup rendah bila diterapkan sistem pembayaran sekaligus atau tunai untuk pengurasan *septic tank*. Perilaku masyarakat Indonesia lebih cenderung memilih mencicil atau membayar per bulan. Sebanyak 100% warga yang mengikuti diskusi di Kota Malang mau melaksanakan pengurasan *septic tank* berkala dengan membayar retribusi sebesar Rp 5.000,00-Rp 10.000,00 per bulan [2]. Sementara di Kota Makassar, 67% responden memilih tariff sebesar Rp 12.500,00-Rp 15.000,00 per bulan [3].

Produk *biostarter* digunakan masyarakat sebagai alternatif penanganan lumpur tinja, sehingga diharapkan tidak perlu melakukan pengurasan rutin. Salah satu produk yang digunakan yaitu *Effective Microorganism 4* (EM4) yang ditawarkan dengan harga terjangkau dan mudah ditemukan di pasaran. EM4 merupakan kultur campuran yang sebagian besar adalah *Lactobacillus* sp. dan berisi mikroorganisme lain seperti *yeast* (*Saccharomyces* sp.), bakteri fotosintetik (*Rhodospseudomonas* sp.), dan *Actinomycetes* [4-7].

Lumpur tinja memiliki kandungan berupa karbon 44-55% dan protein 2-25%, karbohidrat 25%, dan lemak tak tercerna 2-15% [8]. Komponen feses dalam berat kering antara lain karbohidrat 10-30%, lemak 5-25%, bakteri 10-30%, bahan *nitrogenous* 2-3%, dan senyawa anorganik 10-20% [9]. Proses anaerobik dalam lumpur tinja berlangsung dengan

Tabel 1.
Karakteristik awal lumpur tinja

Parameter	Satuan	Hasil Pengujian
BOD ₅	mg/L	1375
COD (0,45 mikron)	mg/L	56880
COD _{rb} (0,22 mikron)	mg/L	45360
TSS	mg/L	4400
VSS	mg/L	3200
FSS	mg/L	1200
pH	-	7,3
Temperatur	°C	31
Gelembung Gas (tampak)	-	Tidak
Gelembung Gas (tutup stoples diketuk)	-	Ada
Vol. Lumpur dan Supernatan	-	Tidak tampak
Terbentuk <i>Scum</i>	-	Tidak

Tabel 2.
Waktu pengujian parameter

Parameter	Waktu Pengujian
TSS (VSS dan FSS)	
BOD ₅	H-0, H-1, H-2, H-3, H-4, H-5, H-7, H-10, H-14*, H-21*, H-32, H-35, H-42, H-49*, H-56*
COD (COD _{rb})	
pH	
Temperatur	
Vol. Lumpur dan Supernatan	

bantuan mikroorganisme, utamanya bakteri fermentasi dan penghasil metana [10]. Mikroorganisme EM4 mampu memecah senyawa organik kompleks (karbohidrat, protein, lemak) menjadi senyawa yang lebih sederhana [10-11]. EM4 memiliki kandungan dominan berupa bakteri asam laktat yang mampu memecah laktosa dengan cepat [12-13].

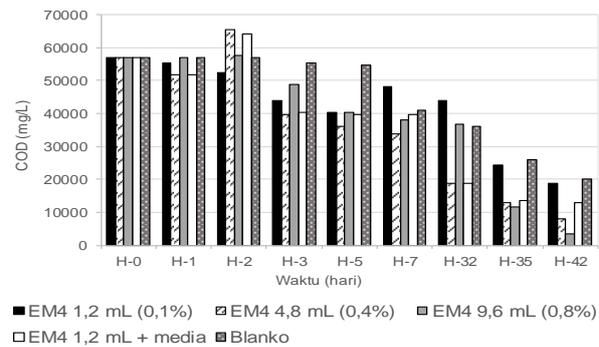
Penambahan EM4 sebagai *biostarter* lumpur tinja dimaksudkan untuk meningkatkan pertumbuhan mikroorganisme agar penguraian lebih optimal [14]. Dengan jumlah substrat tetap, pertumbuhan mikroorganisme yang semakin meningkat akan menyebabkan kompetisi dalam memecah substrat menjadi tinggi. Sehingga, penambahan EM4 diharapkan dapat mempercepat proses penguraian lumpur tinja dan memperpanjang masa pengurasan *septic tank* menjadi lebih dari 3 (tiga) tahun.

Penelitian ini dilakukan untuk mengkaji penguraian lumpur tinja (*septage*) menggunakan EM4. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis efek dan konsentrasi terbaik penguraian lumpur tinja *septic tank* menggunakan EM4. Penelitian ini menggunakan parameter uji berupa TSS (termasuk VSS dan FSS), BOD₅, COD (termasuk COD_{rb}), volume lumpur dan supernatan pada reaktor, pH, dan temperatur. Produksi gas dari proses anaerobik juga diamati dalam penelitian ini. Selain itu, biaya penggunaan EM4 untuk *septic tank* dibandingkan dengan biaya pengurasan *septic tank*. Reaktor *batch* anaerobik digunakan untuk mewujudkan kondisi yang serupa dengan *septic tank*. Kemudian, konsentrasi EM4 dan penggunaan media *attached growth* dipilih sebagai variabel bebas. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi bahan kajian atau masukan untuk penanganan lumpur *septic tank* dan studi serupa.

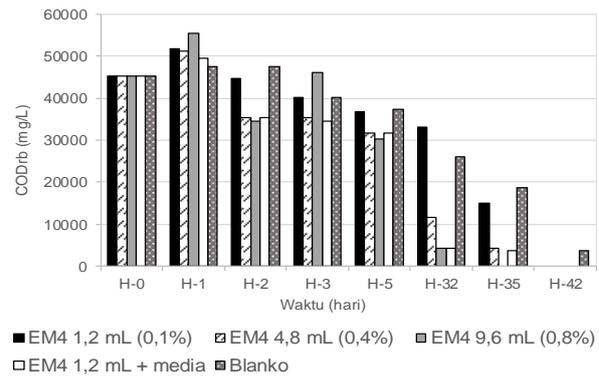
II. METODE PENELITIAN

A. Pengambilan Sampel

Lumpur tinja pada penelitian ini diambil dari *septic tank* yang berlokasi di Jalan Hidrodinamika IV Blok T Nomor 81



Gambar 3. Nilai COD P1, P2, P3, P4, dan P5.



Gambar 4. Nilai CODrb P1, P2, P3, P4, dan P5.

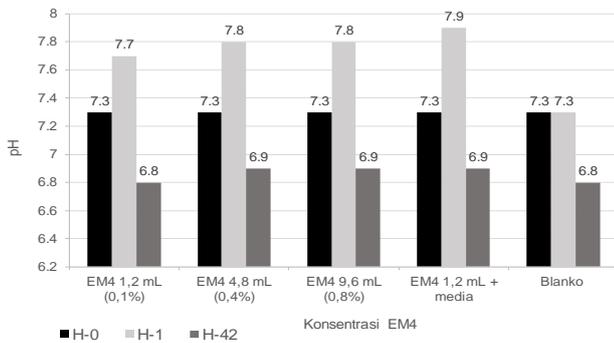
Perumdos ITS, Surabaya. Lumpur tinja yang diambil yaitu bagian atas isi *septic tank*. Lumpur tinja yang diambil merupakan akumulasi selama 3 (tiga) tahun. Lumpur tinja diambil dengan bantuan jasa sedot tinja.

Isi *septic tank* yang telah diambil dengan selang sedot tinja, kemudian dipindahkan ke dalam kontainer. Kontainer berisi lumpur tinja diangkut ke Workshop Departemen Teknik Lingkungan FT-SPK ITS. Lumpur tinja bersifat pekat, berwarna coklat kehitaman, dan berbau. Kandungan lumpur tinja meliputi lumpur tinja, cairan, serta padatan lain seperti sisa makanan yang tidak dapat dicerna dan partikel yang bisa mengendap. Selanjutnya, lumpur tinja dituangkan pada kontainer kapasitas 130 L dan diaduk menggunakan rotor listrik supaya homogen. Lumpur tinja yang telah homogen diambil sebanyak 1200 mL dan dipindahkan ke dalam reaktor kapasitas 1330 mL, hal ini dilakukan 66 kali. Sehingga, kandungan lumpur tinja dalam satu reaktor dan yang lain sama.

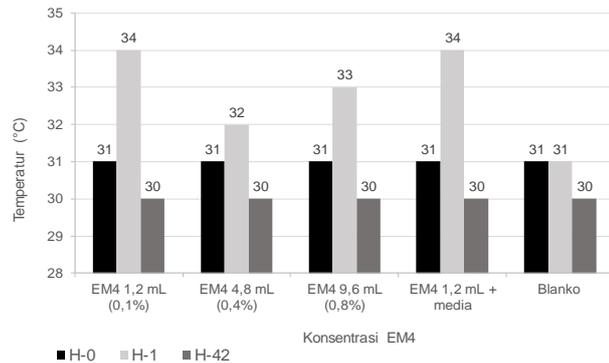
B. Aktivasi EM4

Mikroorganisme yang terkandung dalam kemasan EM4 yang baru dibeli adalah dalam keadaan *dormant* (metabolisme tidak aktif, mikroorganisme membentuk kapsul atau endospora) sehingga perlu untuk diaktivasi sebelum digunakan. Aktivasi dilakukan dengan melarutkan 100 mL EM4 pada 500 mL air dan menambahkan setengah sendok makan gula merah cair. Selanjutnya campuran dibiarkan dalam wadah tertutup rapat selama 4 (empat) hari di suhu ruang.

EM4 yang sudah aktif ditandai dengan pH > 4 dan terdapat lapisan putih pada larutan [5]. Hasil pengukuran pH pada larutan EM4 pada saat aktivasi adalah pH 4,1. Selain itu, pada larutan EM4 ditemukan lapisan putih yang tipis. Sehingga, larutan EM4 dengan pH 4,1 ini dinyatakan telah teraktivasi



Gambar 5. Nilai pH H-0, H-1, dan H-42.



Gambar 6. Nilai Temperatur H-0, H-1, dan H-42.

dan dapat ditambahkan ke dalam reaktor berisi lumpur tinja.

C. Penelitian Pendahuluan

Setelah pengambilan sampel dilakukan, sampel yang sudah diaduk dengan rotor dan ditempatkan pada reaktor kemudian disimpan selama 7 (tujuh) hari. Hal ini dimaksudkan untuk memastikan suasana anaerobik pada reaktor, kemungkinan udara yang masuk saat proses pengadukan dengan rotor dan pengambilan sampel berisiko mengubah suasana anaerobik. Saat proses pengadukan, sampel diusahakan kontak seminimal mungkin dengan udara.

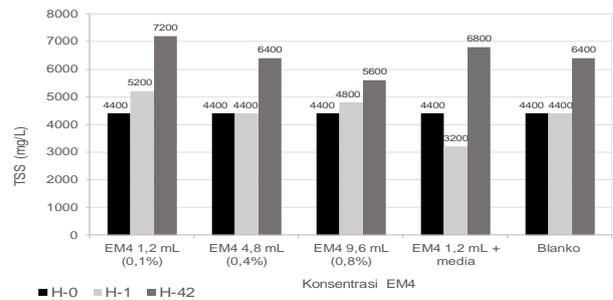
Pada penelitian pendahuluan dilakukan uji karakteristik awal lumpur tinja. Sebelum diambil, lumpur tinja dalam reaktor Hari ke-0 (H-0) diaduk secara manual supaya homogen. Hasil pengukuran parameter pada H-0 dapat dilihat pada Tabel 1.

D. Penelitian Utama

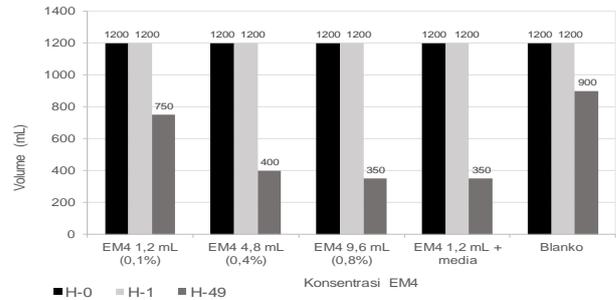
Penelitian utama dilakukan setelah penelitian pendahuluan dan didapatkan karakteristik awal lumpur tinja. Pada penelitian utama dilakukan penambahan EM4 yang sudah diaktivasi dengan variasi sebagai berikut:

1. Tanpa penambahan EM4 atau blanko (P1)
2. Penambahan EM4 1,2 mL atau 0,1% v/v (P2)
3. Penambahan EM4 4,8 mL atau 0,4% v/v (P3)
4. Penambahan EM4 9,6 mL atau 0,8% v/v (P4)
5. Penambahan EM4 1,2 mL + media *attached growth* sebanyak 10% atau 50 buah (P5)

Parameter yang diuji pada penelitian ini antara lain TSS (termasuk VSS dan FSS), BOD₅, COD (termasuk COD_{rb}), volume lumpur dan supernatan dalam reaktor, pH, dan temperatur. Penelitian ini dilakukan selama 2 (dua) bulan dan dilaksanakan selama masa pandemi COVID-19. Waktu pengukuran parameter yang direncanakan dapat dilihat pada Tabel 2. Analisis TSS, BOD₅, dan COD secara berturut-turut



Gambar 7. Nilai TSS H-0, H-1, dan H-42.



Gambar 8. Penurunan Volume Lumpur H-0, H-1, dan H-49.

menggunakan metode *Gravimetric*, *Winkler*, dan *Close Reflux Titrimetric* yang mengacu pada SNI dan *Standard Method for Examination of Water and Wastewater* Edisi ke-23. Setiap reaktor berisi 1200 mL lumpur tinja kemudian diambil sebanyak 6 mL (0,5% dari 1200 mL) sampel untuk dianalisis.

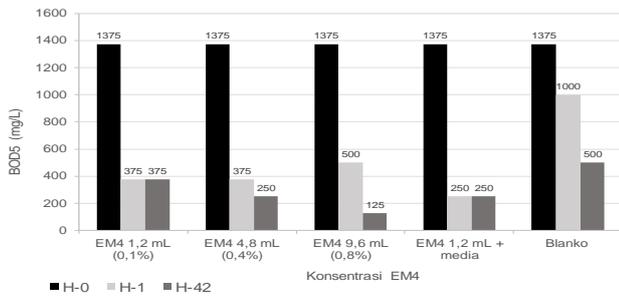
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Efek Variasi Konsentrasi EM4 pada Penguraian Lumpur Tinja Secara Anaerobik

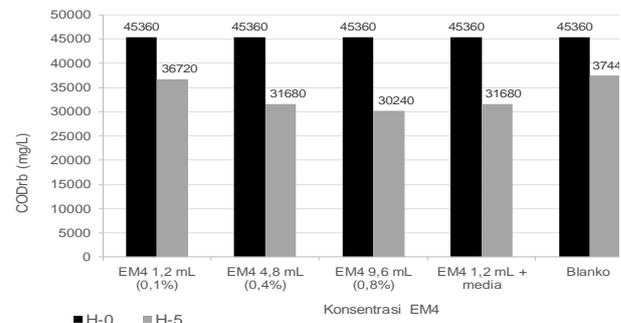
Hasil menunjukkan bahwa P1, P2, P3, P4, dan P5 memiliki pH yang berada dalam rentang optimum untuk pertumbuhan bakteri yaitu 6,5 hingga 8,0 [15], [5]. pH dalam rentang tersebut optimal untuk memecah bahan organik [15], [5]. Penurunan pH disebabkan karena terjadi proses fermentasi oleh bakteri asam laktat EM4 yang menghasilkan *Volatile Fatty Acids* atau VFAs. Penurunan pada pH dapat disebabkan karena akumulasi VFAs yang dihasilkan selama fase asidogenesis dan asetogenesis proses anaerobik. Penurunan pH dapat menghambat pertumbuhan mikroorganisme patogen. Dalam penelitian ini, penurunan pH tidak signifikan sehingga tidak bisa untuk menghambat patogen.

Sementara itu, temperatur P1, P2, P3, P4, dan P5 berada dalam rentang 30-34°C (Gambar 1). Hal ini menunjukkan bahwa jenis mikroorganisme yang hidup di dalam reaktor adalah jenis *mesophilic* dengan ciri temperatur optimal 20-45°C [15]. Sehingga, kesimpulan yang didapat adalah variasi konsentrasi tidak memberikan efek signifikan untuk temperatur masing-masing perlakuan.

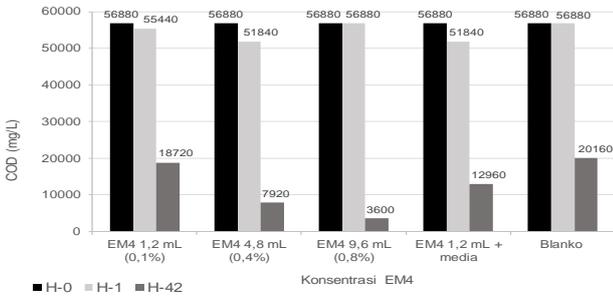
Variasi konsentrasi EM4 berpengaruh terhadap tingkat kekentalan sampel yaitu P4 = P5 > P3 > P2 > P1 pada H-1 hingga H-42. Variasi konsentrasi juga berpengaruh terhadap gelembung *scum* yang terbentuk selama H-1 hingga H-42. *Scum* terbanyak adalah pada P4 = P5 > P3 > P2 > P1. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi EM4 maka akan semakin kental lumpur tinja dan semakin banyak *scum* yang terbentuk.



Gambar 9. Nilai BOD₅ H-0, H-1, dan H-42.



Gambar 11. Nilai CODrb H-0 dan H-5.



Gambar 10. Nilai COD H-0, H-1, dan H-42.

Analisis TSS yang dilakukan meliputi TSS, VSS, dan FSS. Nilai TSS dinyatakan benar apabila nilai VSS lebih besar daripada FSS. VSS digunakan untuk menyatakan bahan organik *suspended* sedangkan FSS untuk bahan anorganik *suspended* dalam sampel uji. Nilai TSS P1, P2, P3, P4, dan P5 mengalami kenaikan hingga H-42, dapat dilihat pada Gambar 1. Pada H-35 terjadi kenaikan pesat nilai TSS pada semua perlakuan. Pada penguraian anaerobik sistem *batch*, TSS seharusnya semakin menurun karena *substrat* (jumlahnya tetap) diuraikan oleh mikroorganisme.

Sementara itu, mikroorganisme seiring berjalannya waktu akan mengalami kompetisi sehingga sebagian mengalami fase *endogenous respiration* atau *decay* [16]. Faktor yang menyebabkan nilai TSS H-32 dan H-35 mengalami kenaikan drastis salah satunya adalah pengadukan saat pengambilan sampel.

Tujuan pengadukan adalah untuk membuat sampel lumpur tinja homogen. Namun, dalam penelitian ini, pengadukan kemungkinan menyebabkan partikulat selain TSS (seperti *grit*) di bawah reaktor ikut bercampur bersama sampel uji. Karena sampel diaduk dalam kondisi tutup stoples dibuka, maka ada kemungkinan terjadi intervensi oksigen. Sehingga, hal ini menyebabkan proses anaerobik terganggu, khususnya dalam penguraian TSS karena bahan *suspended* lebih sulit diuraikan daripada bahan *dissolved*.

Dalam penelitian pengolahan limbah cair tahu dengan variasi konsentrasi EM4 dalam reaktor *batch* aerobik-anaerobik, nilai TSS mengalami kenaikan sebesar 350% pada H-20. Kenaikan TSS ini dapat disebabkan oleh *ammonia* yang terserap dalam bahan *suspended* sehingga tercampur dalam sampel [5].

Dalam penelitian menggunakan EM4 untuk pengolahan aerobik limbah cair industri permen, nilai TSS mengalami kenaikan setelah H-11 baik pada reaktor tanpa EM4 dan dengan EM4. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh rendahnya jumlah mikroorganisme aktif yang ada di dalam limbah cair atau kondisi lingkungan yang kurang mendukung mikroorganisme EM4 untuk berkembang optimal. Wujud TSS secara tampak (fisik) adalah berupa lumpur.

Pada H-49, terjadi pemisahan antara lumpur dan supernatan untuk P1, P2, P3, P4, dan P5. Pemisahan yang paling signifikan adalah pada P4 dan P5, dengan volume lumpur awal 1200 mL menjadi 350 mL lumpur dan 850 mL supernatan. Penurunan volume lumpur H-49 menandakan bahwa lumpur (TSS) dapat menurun setelah H-42. Namun, dalam penelitian ini, nilai TSS H-49 tidak bisa didapatkan karena kebijakan *lockdown* Laboratorium. Maka dari itu, penelitian dengan waktu lebih dari H-42 perlu dilakukan.

Nilai VSS cenderung mengalami kenaikan, serta pada H-32 hingga H-35 mengalami kenaikan signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa proses anaerobik tidak sesuai dengan kondisi ideal. Secara teori, penyebab *volatile solids* meningkat adalah karena bahan organik digunakan mikroorganisme untuk metabolisme dan pembelahan sel sehingga mikroorganisme bertambah jumlahnya. Pada penguraian anaerobik sistem *batch*, lama-kelamaan VSS akan turun sebab mikroorganisme akan mengalami fase *endogenous respiration* atau *decay* akibat berkurangnya *substrat* [16].

Nilai FSS cenderung mengalami kenaikan. Penguraian bahan organik terjadi dalam dua tahap. Pertama, bahan organik diuraikan menjadi bahan anorganik. Kedua, bahan anorganik tidak stabil diubah menjadi stabil. Sehingga, apabila terjadi kenaikan pada FSS, hal itu dapat disebabkan karena mikroorganisme mampu mengubah bahan organik menjadi bahan anorganik. Secara teori, nilai FSS akan semakin menurun. Mikroorganisme akan memecah *substrat suspended* menjadi *dissolved*. Kenaikan yang terjadi menunjukkan bahwa FSS tidak sesuai dengan kondisi ideal. Faktor penyebab kenaikan ini diduga karena intervensi oksigen akibat pengadukan sampel dalam keadaan stoples terbuka. Sehingga, hal ini dapat mengganggu proses anaerobik berjalan sempurna.

BOD mewakili bahan organik *biodegradable* pada sampel lumpur tinja. Lumpur tinja memiliki nilai BOD₅ lebih tinggi daripada air limbah 'kuat' [15]. Distribusi ukuran partikel memberi pengaruh pada BOD₅. Semakin kecil ukuran partikel maka akan semakin cepat reaksi BOD₅ [15]. Faktor lain yang memengaruhi nilai BOD₅ yaitu filtrasi, pengenceran, dan metode pengambilan sampel [15]. Dalam pengujian BOD₅ dengan metode Winkler, pengadukan dengan *stirrer* memberikan pengaruh signifikan yakni nilai BOD₅ pada sampel yang diaduk lebih besar 15-30% dibanding sampel yang tidak diaduk [17].

Nilai BOD₅ semua perlakuan mengalami penurunan dari H-0 hingga H-42, dapat dilihat pada Gambar 2. Penurunan terbesar H-0 hingga H-42 dialami P4. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi EM4 maka semakin besar

penyisihan BOD₅. Penyisihan dapat disebabkan karena aktivitas mikroorganisme EM4 yang mampu melakukan fermentasi bahan organik *biodegradable*. EM4 memiliki kandungan dominan berupa bakteri asam laktat (*Lactobacillus* sp.) yang mampu dengan cepat mengonversikan laktosa menjadi asam-asam organik dan gas anaerobik. Keberadaan *Lactobacillus* sp. Mempercepat terjadinya penguraian bahan organik yang ada dalam sampel [5]. Selain itu, *yeast* dalam EM4 (*Saccharomyces* sp.) mampu menghasilkan enzim sehingga dapat mempercepat fermentasi bahan organik. Enzim-enzim yang berperan dalam proses fermentasi dengan *Lactobacillus* sp. dan *Saccharomyces* sp. di antaranya enzim *lactase*, *zymase*, *protease*, dan *lipase*. Enzim *protease* dapat memecah protein menjadi *ammonia*, *nitrit*, *nitrat*, *karbon dioksida*, dan *air*.

Pada air limbah, nilai COD/BOD₅ yang tinggi (rasio > 2,5) menunjukkan dekomposisi yang lambat dan kandungan bahan organik tinggi dan sulit terurai. Dalam penelitian ini, hasil menunjukkan bahwa pada sampel uji semua perlakuan menunjukkan rasio COD/BOD₅ > 2,5 yang mengindikasikan bahwa bahan organik tinggi dan sulit terurai. Nilai BOD₅ yang kecil dapat disebabkan oleh sebagian BOD yang terbawa melalui pembuangan supernatan ke dalam sistem infiltrasi tanah atau ke saluran permukaan.

Nilai COD (0,45 mikro) mengalami penurunan signifikan hingga H-42 pada semua perlakuan, dapat dilihat pada Gambar 3. Penurunan terbesar terjadi pada P4. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar konsentrasi EM4 maka semakin besar pula penurunan COD. Penurunan nilai COD disebabkan oleh aktivitas mikroorganisme anaerobik yang menguraikan bahan organik. Sebagian besar COD *biodegradable* dalam sampel tereliminasi habis pada proses metanogenesis [18]. Dalam penelitian ini, penurunan signifikan pada COD dibandingkan dengan BOD mengindikasikan bahwa mikroorganisme EM4 dapat menguraikan bahan organik *non-biodegradable* dalam lumpur tinja. Sampel yang ditambah EM4 mengalami penurunan lebih cepat dibandingkan sampel tanpa EM4. Hal ini disebabkan karena EM4 mengandung *Lactobacillus* sp. yang dapat menguraikan laktosa secara cepat dengan enzim *lactase* [5]. Selain itu, *Saccharomyces* sp. mampu menghasilkan enzim *zymase* sehingga mempercepat fermentasi bahan organik. Enzim-enzim yang berperan dalam proses fermentasi dengan *Lactobacillus* sp. dan *Saccharomyces* sp. di antaranya enzim *lactase*, *zymase*, *protease*, dan *lipase*.

COD *readily biodegradable* (COD_{rb}) semua perlakuan mengalami penurunan, dapat dilihat pada Gambar 4. Penurunan signifikan terjadi pada P4, dimana pada H-35 memiliki nilai 0 mg/L. Hal ini menunjukkan bahwa COD_{rb} telah habis terurai dan yang tersisa adalah COD *slowly biodegradable* (COD_{sb}) yang harus melalui tahap hidrolisis dahulu sebelum bisa digunakan mikroorganisme. Bahan *readily biodegradable* dapat langsung digunakan oleh mikroorganisme untuk metabolisme. Sedangkan, bahan organik kompleks, *slowly biodegradable*, *non-biodegradable*, dan tidak terlarut akan mengalami proses hidrolisis yang akan menyebabkan terbentuknya monomer terlarut yang ukuran partikelnya lebih kecil. Dalam hidrolisis, polisakarida diuraikan menjadi monomer gula, protein menjadi asam amino, serta lemak menjadi gliserol dan *Long*

Chain Fatty Acids atau LCFAs [15].

B. Efek Penambahan Media Attached Growth pada Penguraian Lumpur Tinja Secara Anaerobik

P5 menggunakan kombinasi media *attached growth* (*biocarriers*) dan EM4 konsentrasi 0,1% v/v. Media *biocarrier* yang terendam terus-menerus akan menyebabkan mikroorganisme membentuk biofilm. Biofilm merupakan material organik berupa mikroorganisme yang melekat pada matriks polimer yang dibentuk oleh mikroorganisme itu sendiri. Komposisi biofilm antara lain sel-sel mikroorganisme, detritus, polisakarida, dan air. Sementara bahan-bahan pembentuk lapisan biofilm dapat berupa protein, lemak, dan lektin. Struktur bentuk biofilm tergantung pada lingkungannya.

Bakteri denitrifikasi ditemukan terakumulasi pada biofilm (*attached growth*) [19]. Bakteri denitrifikasi mereduksi senyawa nitrat (NO₃⁻) menjadi senyawa nitrogen bebas (N₂). Bakteri yang mampu melakukan metabolisme ini salah satunya *Pseudomonas* sp. [20]. Sedangkan pada *suspended growth*, bakteri denitrifikasi lebih sedikit ditemukan dibanding pada *attached growth* [19].

Nilai pH P5 berada dalam rentang optimum yaitu 6,5 hingga 8,0. Temperatur P5 juga berada dalam rentang 30-34°C (*mesophilic*). TSS mengalami kenaikan hingga H-42. Pada H-1, P5 yang merupakan kombinasi *suspended growth* dan *attached growth* dapat menyebabkan penurunan VSS lebih besar daripada P1 yang merupakan *suspended growth* saja. Penurunan VSS pada P5 sebesar 1200 mg/L lebih besar dibandingkan P1 sebesar 400 mg/L. Hal ini menunjukkan bahwa mikroorganisme P5 lebih banyak daripada P2. Namun, perbedaan ini tidak signifikan sehingga perlu ada peninjauan terhadap parameter lain. Dalam penelitian ini FSS mengalami kenaikan. Hal ini tidak sesuai dengan kondisi ideal dan kemungkinan disebabkan karena ada intervensi oksigen selama pengadukan. Dalam kondisi ideal, FSS akan semakin menurun karena bahan anorganik terpecah dari bentuk *suspended* menjadi *dissolved*.

BOD₅ P5 cenderung mengalami penurunan. Penurunan BOD₅ disebabkan karena bahan organik *biodegradable* telah berhasil diuraikan oleh mikroorganisme anaerobik dalam lumpur tinja. Pada H-42, P5 memiliki nilai BOD₅ lebih kecil yaitu 250 mg/L daripada P2 yaitu 375 mg/L. Sehingga, P5 memiliki kemampuan lebih baik untuk menguraikan bahan organik *biodegradable* dibandingkan P2. Hal ini disebabkan oleh penambahan media *biocarrier*. COD dan COD_{rb} P5 mengalami penurunan signifikan. Penurunan COD P5 lebih besar daripada P2. Pada H-42, nilai COD P5 sebesar 12960 mg/L sementara P2 sebesar 18720 mg/L. Hal ini menunjukkan bahwa dengan penambahan media *biocarrier* maka kemampuan menurunkan COD menjadi lebih baik dibandingkan tanpa media. Sementara untuk COD_{rb}, P5 dan P2 menunjukkan angka 0 mg/L pada H-42. Penurunan COD_{rb} pada P5 terjadi secara bertahap, sedangkan pada P2 terjadi secara cepat di awal pekan. COD_{rb} adalah COD yang langsung bisa digunakan untuk metabolisme mikroorganisme tanpa melalui proses hidrolisis terlebih dahulu. Keadaan ini menguntungkan mikroorganisme *suspended* karena area di sekitarnya adalah *substrat* itu sendiri (COD_{rb}), sementara pada mikroorganisme *attached* perlu menempel pada media.

C. Penentuan Konsentrasi Terbaik EM4 untuk Penguraian Lumpur Tinja Secara Anaerobik

Waktu optimum penguraian lumpur tinja secara anaerobik yang didapatkan dalam penelitian ini yaitu H-42. Sementara itu, *septic tank* yang merupakan sistem kontinu diasumsikan memiliki waktu detensi satu hari. Sehingga, pada penelitian ini dibandingkan data H-0, H-1, dan H-42. Efek variasi konsentrasi EM4 dan media yang ditambahkan pada sampel lumpur tinja dianalisis berdasarkan H-0, H-1, dan H-42.

Semua perlakuan memiliki pH dalam rentang optimum yaitu 6,5 hingga 8,0, dapat dilihat pada Gambar 5. Semua perlakuan berada dalam rentang 30-34°C (*mesophilic*), dapat dilihat pada Gambar 6. Perubahan pada pH dan temperatur tidak memberikan efek signifikan dalam penentuan konsentrasi terbaik karena semua dalam rentang optimum untuk penguraian lumpur tinja secara anaerobik.

Variasi konsentrasi menyebabkan penurunan volume lumpur dan supernatan pada H-49, dengan $P4 = P5 > P3 > P2 > P1$. Hal ini berarti bahwa sampel yang ditambah EM4 memiliki kemampuan menurunkan lumpur lebih tinggi dibandingkan tanpa EM4. Semakin besar konsentrasi EM4 menyebabkan semakin besar penurunan lumpur dan semakin baik kinerja penguraian yang terjadi. Kinerja penguraian terbaik ditinjau dari penurunan lumpur adalah P4 dan P5.

Nilai TSS ditinjau dari H-0 hingga H-1 untuk melihat efeknya jika diterapkan pada *septic tank*. TSS juga ditinjau pada waktu optimum yaitu H-0 hingga H-42 untuk melihat proses penguraian anaerobik yang terjadi. Penurunan TSS tercepat dialami oleh P5 yang terjadi pada H-1, dapat dilihat pada Gambar 7. Wujud TSS secara tampak (fisik) adalah berupa lumpur. Dalam penelitian ini, terjadi pemisahan antara lumpur dan supernatan pada H-49, dapat dilihat pada Gambar 8. Penurunan terbesar terjadi pada P4 dan P5 yaitu volume lumpur turun dari 1200 mL menjadi 350 mL. Penurunan volume lumpur pada H-49 menandakan bahwa lumpur (TSS) dapat menurun setelah H-42. Namun, dalam penelitian ini, nilai TSS H-49 tidak bisa didapatkan karena kebijakan *lockdown* Laboratorium. Maka dari itu, penelitian lebih dari H-42 perlu dilakukan. Penurunan TSS dapat disebabkan karena bahan organik didegradasi oleh mikroorganisme dalam reaktor. Selain itu, dengan penambahan media, penurunan terjadi lebih cepat karena mikroorganisme dan *substrat* juga melekat pada media.

Pada H-1, nilai TSS P3 dan P1 tetap. Sementara itu, P2 dan P4 mengalami kenaikan. Namun, kenaikan pada P2 dan P4 tidak signifikan. Penelitian tentang penggunaan EM4 untuk penguraian lumpur tinja anaerobik dengan variasi kadar air menunjukkan hasil berupa kenaikan pada *volatile solids* mulai H-7 hingga H-21 [14]. Kenaikan ini dapat disebabkan karena mikroorganisme mengalami pertumbuhan setelah memanfaatkan bahan organik untuk metabolisme dan pembelahan selnya [14]. Penelitian tentang pengolahan limbah cair tahu dengan variasi konsentrasi EM4 dalam reaktor *batch* aerobik-anaerobik menunjukkan hasil berupa kenaikan TSS [5]. TSS mengalami kenaikan dari 330 mg/L pada H-0 menjadi 1881 mg/L (tanpa EM4), 1546 mg/L (EM4 5%), dan 2811 mg/L (EM4 10%) pada H-20 [5]. Kenaikan ini dapat disebabkan oleh *ammonia* (hasil pemecahan protein) terserap dalam *suspended solids* sehingga tercampur dalam sampel.

Semua perlakuan mengalami kenaikan TSS pada H-1,

kecuali P5. Jika dilihat dari hasil TSS tersisa di H-42, maka yang memiliki TSS paling sedikit adalah P4. Sementara untuk penurunan volume lumpur sesuai Gambar 8., P4 dan P5 menunjukkan kinerja yang sama.

Selanjutnya, nilai BOD₅ pada waktu optimum juga dibandingkan untuk menentukan konsentrasi terbaik EM4 dalam penguraian lumpur tinja secara anaerobik. Nilai BOD₅ yang mengalami penurunan berarti bahwa mikroorganisme mampu menguraikan bahan organik *biodegradable*. Penurunan BOD₅ paling signifikan dari H-0 hingga H-42 yaitu pada P4, dapat dilihat pada Gambar 9. Sementara pada H-0 hingga H-1, penurunan terbanyak terjadi pada P5.

Pada H-42, jumlah BOD₅ pada P4 lebih kecil daripada P5. Hal ini menunjukkan bahwa P5 lebih cepat memulai penguraian bahan organik *biodegradable*, namun *removal* BOD₅ di H-42 lebih kecil. P4 memerlukan penyesuaian lebih lama di dalam reaktor, namun memberikan hasil *removal* lebih besar dari P5. Karena *septic tank* digunakan secara kontinu untuk jangka panjang, maka konsentrasi terbaik ditinjau dari *removal* pada H-42.

Penurunan nilai COD merepresentasikan bahan organik berhasil terurai pada lumpur tinja. Perubahan nilai COD dapat dilihat pada Gambar 10. Pada waktu optimum yaitu H-42, nilai COD paling kecil adalah pada P4. P4 tidak langsung menguraikan bahan organik pada H-1 karena membutuhkan waktu untuk aklimatisasi terlebih dahulu. P4 mendapatkan penambahan EM4 dengan konsentrasi paling tinggi untuk penelitian ini. Hal ini membuktikan bahwa semakin banyak konsentrasi yang ditambahkan, maka semakin cepat pula penurunan bahan organik yang ada pada lumpur tinja. Penurunan signifikan pada nilai COD dibandingkan dengan BOD mengindikasikan bahwa mikroorganisme EM4 dapat menguraikan bahan organik *non-biodegradable*.

Sementara itu, nilai COD_{rb} mewakili bahan organik yang bisa dipakai mikroorganisme untuk metabolisme dan pertumbuhan secara langsung tanpa melalui proses hidrolisis. Pada H-0 hingga H-5, penurunan tercepat untuk COD_{rb} adalah pada P4, dapat dilihat pada Gambar 11. Hal ini menunjukkan bahwa semakin banyak konsentrasi EM4 maka semakin cepat penurunan bahan organik *readily biodegradable*. Penurunan signifikan pada COD_{rb} menunjukkan bahwa bahan organik *readily biodegradable* suatu saat jumlahnya akan menipis karena termasuk *substrat* yang cepat diuraikan oleh mikroorganisme.

Ditinjau dari penurunan volume lumpur, semua perlakuan mengalami penurunan. Persen penurunan lumpur berturut-turut untuk P1, P2, P3, P4, dan P5 sebesar 25%, 38%, 67%, 71%, dan 71%. Hal ini menunjukkan bahwa penurunan lumpur terbanyak terjadi pada P4 dan P5. Sementara nilai TSS semua perlakuan mengalami kenaikan. Pada kondisi ideal, TSS dalam proses anaerobik akan menurun. Namun, penurunan TSS pada penguraian anaerobik memang membutuhkan waktu yang lama. Bila dilihat dari H-0, H-1, dan H-42, maka kenaikan yang paling tidak signifikan adalah pada P4. *Removal* BOD₅ untuk P1, P2, P3, P4, dan P5 berturut-turut adalah 64%, 73%, 82%, 91, dan 82%. Nilai BOD₅ yang turun paling signifikan yaitu pada P4. *Removal* COD berturut-turut untuk P1, P2, P3, P4, dan P5 adalah 65%, 67%, 86%, 94%, dan 77%. Penurunan tercepat untuk COD dan COD_{rb} adalah pada P4.

P5 mengalami penurunan paling signifikan untuk

parameter TSS, BOD, dan COD pada H-0 hingga H-1. Namun, *septic tank* tidak beroperasi hanya dalam satu hari saja. Selain itu, pada P5 tidak ada jaminan bahwa setiap hari akan terjadi penurunan yang sama seperti pada H-0 hingga H-1. P5 memberi reaksi cepat untuk menguraikan bahan organik dilihat pada perubahan parameter H-0 hingga H-1. Namun, jika ditinjau dalam jangka waktu yang lebih panjang, maka P4 memberikan hasil penguraian bahan organik (TSS, BOD, COD) yang lebih baik.

P4 (EM4 9,6 mL atau 0,8% v/v) mengalami penurunan lumpur terbanyak, volume lumpur 1200 mL menjadi 350 mL. Di antara semua perlakuan yang mengalami kenaikan TSS, P4 yang paling mengalami kenaikan tidak signifikan. Untuk BOD₅, P4 memberikan hasil *removal* paling banyak yaitu 91%. Sementara untuk COD, P4 mampu melakukan *removal* 94% COD yang ada dalam lumpur tinja. P4 membutuhkan aklimatisasi terlebih dahulu selama dua hari, sehingga mulai bekerja efektif mengurai bahan organik (COD) pada H-3. Sehingga, konsentrasi terbaik yang dipilih untuk penguraian lumpur tinja anaerobik menggunakan EM4 adalah 9,6 mL atau 0,8% v/v.

IV. KESIMPULAN

Penambahan EM4 dapat menurunkan bahan organik *biodegradable* dan *non-biodegradable* pada penguraian lumpur tinja secara anaerobik. EM4 menunjukkan kinerja signifikan dalam menguraikan BOD₅ dan COD (bahan *dissolved*) pada lumpur tinja, namun menghasilkan TSS (bahan *suspended*) tinggi. Pemisahan antara lumpur dan supernatan terbaik adalah pada P4 (9,6 mL) = P5 (1,2 mL + media) > P3 (4,8 mL) > P2 (1,2 mL) > P1 (blanko). Sementara untuk pH dan temperatur tidak memberi efek signifikan. Hasil menunjukkan bahwa semua perlakuan berada pada rentang pH optimum yaitu 6,5 hingga 8,0. Sementara itu, temperatur semua perlakuan berada dalam rentang 30-34°C (*mesophilic*).

Konsentrasi terbaik yang dipilih untuk penguraian lumpur tinja secara anaerobik menggunakan EM4 adalah 9,6 mL atau 0,8% v/v. Konsentrasi ini dipilih karena menunjukkan penyisihan paling signifikan terhadap volume lumpur, BOD₅, COD, dan COD_{rb} masing-masing sebesar 71%, 91%, 94%, dan 100%, dibandingkan variasi konsentrasi lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kementerian PUPR, *Buku E Panduan Perencanaan Pelayanan Lumpur Tinja*, 1st ed. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2018.
- [2] C. A. Azizah, "Layanan Lumpur Tinja Terjadwal di Kecamatan Lowokwaru Kota Malang," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2017.
- [3] U. Subhan, M. Selintung, and I. R. Rahim, "Studi Kelayakan Pelaksanaan Program Layanan Lumpur Tinja Terjadwal (LLTT) di Kota Makassar," Universitas Hasanuddin, Makassar, 2017.
- [4] I. W. K. Suryawan, G. Prajati, A. S. Afifah, M. R. Apritama, and Y. Adicita, "Continuous piggery wastewater treatment with anaerobic baffled reactor (ABR) by bio-activator effective microorganisms (EM4)," *Indones. J. Urban Environ. Technol.*, vol. 3, no. 1, pp. 1–12, 2019.
- [5] U. Munawaroh, M. Sutisna, and K. Pharmawati, "Penyisihan parameter pencemar lingkungan pada limbah cair industri tahu menggunakan efektif mikroorganisme 4 (EM4) serta pemanfaatannya," *J. Reka Lingkungan*, vol. 1, no. 2, pp. 93–104, 2013.
- [6] I. G. E. Kusuma, A. A. G. Arjana, and I. K. Berata, "Pemberian effective microorganism (Em4®) terhadap gambaran histopatologi hati tikus putih (*Rattus norvegicus*) betina," *Indones. Med. veterinus*, vol. 1, no. 5, pp. 582–595, 2012.
- [7] Z. Zakaria, S. Gairola, and N. M. Shariff, "Effective microorganisms (EM) technology for water quality restoration and potential for sustainable water resources and management," *Int. Congr. Environ. Model. Softw.*, vol. 142, pp. 80–87, 2010.
- [8] C. Rose, A. Parker, B. Jefferson, and E. Cartmell, "The characterization of feces and urine: a review of the literature to inform advanced treatment technology," *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.*, vol. 45, no. 17, pp. 1827–1879, 2015.
- [9] J. Colón, A. A. Forbis-Stokes, and M. A. Deshusses, "Anaerobic digestion of undiluted simulant human excreta for sanitation and energy recovery in less-developed countries," *Energy Sustain. Dev.*, vol. 29, pp. 57–64, 2015.
- [10] M. Megawati, "Pengaruh penambahan EM4 (Effective Microorganism-4) pada pembuatan biogas dari eceng gondok dan rumen sapi," *J. Bahan Alam Terbarukan*, vol. 3, no. 2, pp. 42–49, 2014.
- [11] F. Ali, D. P. Utami, and N. A. Komala, "Pengaruh penambahan EM4 dan larutan gula pada pembuatan pupuk kompos dari limbah industri crumb rubber," *J. Tek. Kim.*, vol. 24, no. 2, pp. 47–55, 2018.
- [12] A. Rahmadi, *Bakteri Asam Laktat dan Mandai Cempedak*, 1st ed. Samarinda: Mulawarman University Press, 2018.
- [13] Y.-H. Moon, K.-B. Lee, Y.-J. Kim, and Y.-M. Koo, "Current status of EM (effective microorganisms) utilization," *KSBB J.*, vol. 26, no. 5, pp. 365–373, 2011.
- [14] E. Mirwandono *et al.*, "Nutrition Quality Test of Fermented Waste Vegetables by Bioactivator Local Microorganisms (MOL) and Effective Microorganism (EM4)," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2018, vol. 122, no. 1, p. 12127.
- [15] L. Strande, M. Ronteltap, and D. Brdjanovic, *Faecal Sludge Management*, 1st ed. London: IWA Publishing, 2015.
- [16] Metcalf and Eddy, *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery*, 5th ed. New York: McGraw-Hill Education, 2014.
- [17] U. Heins, S. A. Larmie, and M. Strauss, *Characteristics of Faecal Sludges and their Solids-Liquid Separation*, 1st ed. Dübendorf: Eawag/Sandec, 1999.
- [18] R. Petruy, "Anaerobic Treatment of Protein, Lipid and Carbohydrate Containing Wastewaters Using the EGSB Technology," Wageningen University and Research, 1999.
- [19] C. Li, X. L. Li, M. Ji, and J. Liu, "Performance and microbial characteristics of integrated fixed-film activated sludge system treating industrial wastewater," *Water Sci. Technol.*, vol. 66, no. 12, pp. 2785–2792, 2012.
- [20] C. A. Carlson and J. L. Ingraham, "Comparison of denitrification by *Pseudomonas stutzeri*, *Pseudomonas aeruginosa*, and *Paracoccus denitrificans*," *Appl. Environ. Microbiol.*, vol. 45, no. 4, pp. 1247–1253, 1983.