

ANALISIS KELAYAKAN TEKNIS DAN EKONOMI PENGOLAHAN AIR LIMBAH PENGOLAHAN KOPI UNTUK PRODUKSI BIOGAS DI KABUPATEN JEMBER

Feasibility Analysis of Technical and Economy on the Coffee Processing Wastewater for Biogas Production at the Jember Regency

Elida Novita^{1,2*}, Sri Wahyuningsih¹, Shofa Tri Fatmawati¹, Hendra Andiananta Pradana²

¹Program Studi Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Jember
Jl. Kalimantan No 37 Kampus Tegal Boto – Sumbersari, Jember – Jawa Timur, Indonesia

²Pascasarjana, Universitas Jember

Jl. Kalimantan No 37 Kampus Tegal Boto – Sumbersari, Jember – Jawa Timur, Indonesia

*Penulis Korespondensi, email: elida_novita.ftp@unej.ac.id

Disubmit : 7 Juni 2023

Direvisi : 19 July 2023

Diterima : 27 Agustus 2023

ABSTRAK

Desa Sidomulyo merupakan salah satu desa penghasil kopi di Kabupaten Jember. Penanganan terhadap air limbah pengolahan kopi belum tersedia di Desa tersebut. Selama ini tempat pembuangan air limbah tersebut adalah sungai sehingga berdampak pada penurunan kualitas airnya. Oleh karena itu penanganan air limbah diperlukan di Unit Pengolahan Kopi Rakyat Ketakasi, Desa Sidomulyo (Ketakasi). Keberlanjutan pengembangan biogas sebagai sumber energi merupakan salah satu hasil metode penanganan air limbah pengolahan kopi yang dipengaruhi oleh faktor teknis dan ekonomi. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis kelayakan teknis dan ekonomi dari pengembangan biogas sebagai bionergi dari air limbah pengolahan kopi menggunakan metode anaerobik di salah satu Unit Pengolahan Kopi Rakyat di Kabupaten Jember. Tahapan penelitian ini meliputi pengumpulan data primer dan sekunder serta analisis kelayakan secara teknoekologi dan ekonomi. Berdasarkan hasil penelitian ini, pembuatan biogas sebagai sumber energi terbarukan dengan metode *Batch Feeding* layak secara teknoekologi, kemudahan dan kontinuitas. Disisi lain memiliki kekurangan yaitu *effluent* beban pencemaran air limbah (BOD dan COD) belum memenuhi baku mutu. Hasil akhir parameter BOD dan COD belum sesuai dengan baku mutu dan efisiensi proses yang masih belum dapat menurunkan konsentrasi parameter yang sesuai dengan standar baku mutu. Penanganan metode ini bisa diaplikasi sebagai alternatif penanganan awal air limbah pengolahan kopi. Teknologi anaerobik layak secara ekonomi, hal ini ditunjukkan oleh nilai pemasukan sebesar Rp 92.714.400/tahun lebih besar dibandingkan nilai pengeluaran sebesar Rp 29.612.000/tahun, serta nilai NPV > 0, dan jika nilai NPV layak maka nilai IRR dan B/C *ratio* juga layak dengan nilai secara beurutan 10,41 dan 3.

Kata kunci: Analisis Kelayakan; Bioremediasi; Energi Terbarukan; Kopi; Proses Anaerobik

ABSTRACT

Sidomulyo Village is one of the coffee processing unit in Jember Regency. Coffee processing wastewater treatment was not yet available in the village and it is discharged into the river. This can have an impact on decreasing the quality of water in the river. Therefore, waste water treatment is needed in Ketakasi smallholder coffee processing at Sidomulyo Village. The sustainability of biogas development from coffee processing wastewater as one result of biological treatment from these wastewater is influenced by technical and economic factors. The objective of this research is to analyze the technical and economic

feasibility of developing biogas as bioenergy from coffee processing wastewater using the anaerobic method in Jember Regency. The research procedure included the collection of primary and secondary data, and analysis of technological and economic feasibility. The production of biogas as a renewable energy source using the batch feeding method is technologically feasible, convenience and continuity. However, the effluent pollution load of wastewater does not meet quality standards. The effluent of BOD and COD parameters are not in accordance with quality standards. The method can be applied as an alternative to the initial treatment of coffee processing wastewater. Anaerobic technology is economically feasible, this is indicated by the income value of IDR 29,612,000/year greater than the expenditure value of IDR 92,714,400/year, then the NPV value > 0, if the NPV value is feasible then the IRR and B/C values the ratio is also feasible with the values of 10.41 and 3 respectively

Keywords : Anaerobic Process; Bioremediation; Coffee; Feasibility Analysis; Renewable Energy

PENDAHULUAN

Kopi merupakan salah satu komoditi perkebunan unggulan di Indonesia. Secara umum, terdapat beberapa teknik pengolahan buah kopi yaitu pengolahan kering, pengolahan semi basah, dan pengolahan basah. Pengolahan kopi semi basah dan pengolahan basah menghasilkan biji kopi dengan mutu yang lebih baik (Novita *et al.*, 2019; Karim *et al.*, 2019; Banti dan Abraham, 2021). Teknik tersebut sudah diaplikasikan untuk pengolahan kopi di Desa Sidomulyo sebagai bentuk mendukung keberlanjutan usaha perkebunan kopi dan peningkatan kualitas produk hilirnya (Novita *et al.*, 2012). Potensi perkebunan di Desa Ketakasi Sidomulyo sangat besar dan dikembangkan melalui pembinaan dan penguatan kelembagaan kelompok tani yang dilakukan oleh UNEJ sejak tahun 2007-2011 dengan berbagai pihak (Dinas Perkebunan Kabupaten Jember dan Puslitkoka Jember).

Akan tetapi, pengolahan tersebut akan menghasilkan air limbah yang berpotensi meningkatkan paparan bahan pencemar pada air, udara, dan tanah jika tidak ditangani terlebih dahulu. Selama ini tempat pembuangan air limbah pengolahan kopi adalah sungai sehingga berdampak pada penurunan kualitas air di sungai. Sejalan dengan fenomena tersebut hasil penelitian Genanaw *et al.* 2021 dan Dadi *et al.*, 2018 merepresentasikan bahwa air limbah pengolahan kopi berpotensi meningkatkan paparan bahan organik pada beberapa hilir Sungai di Etiopia (Genanaw *et al.*, 2021; Dadi *et al.*, 2018). Air limbah pengolahan kopi memiliki nilai pH yang rendah dan bersifat korosif (Campos *et al.*, 2021). Hal ini

berdampak pada risiko terganggunya ekologi dan fungsi sungai sebagai penyedia sumber air. Kandungan bahan organik yang diindikasikan oleh parameter *Biochemicals Oxygen Demand* (BOD) dan *Chemicals Oxygen Demand* (COD) memberikan sumbangsih dominan dari air limbah pengolahan kopi pada permasalahan lingkungan.

Optimalisasi pengolahan air limbah ditentukan oleh karakteristik air limbah dan pemilihan teknologi pengolahannya. Studi yang dilakukan oleh Novita *et al.*, (2021) melaporkan bahwa fitoremediasi menggunakan metode *Constructed Wetland* menggunakan eceng gondok merupakan teknologi pengolahan air limbah pengolahan kopi dari Desa Ketakasi Sidomulyo dinilai layak baik secara teknis dan ekonomi. Akan tetapi teknologi ini masih menyisakan eceng gondok yang membusuk yang berpotensi menimbulkan bau dan mencemari lingkungan. Selanjutnya, teknologi ini kurang memberikan dampak ekonomi secara langsung bagi pengolahan kopi. Oleh sebab itu, diperlukan pengolahan air limbah secara terpadu yang ramah lingkungan dan berdampak penambahan *income* untuk usaha pengolahan kopi (Singh *et al.*, 2022; Kong *et al.*, 2019).

Air limbah pengolahan kopi bersifat *biodegradable* atau mudah diuraikan berdasarkan perbandingan nilai BOD dan COD (Berego *et al.*, 2022; Laili *et al.*, 2022). Kemudian, limbah ini mengandung rasio C/N yang relatif cocok untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi terbarukan. Proses anaerobik merupakan salah satu teknologi pengolahan limbah yang ramah lingkungan dan dapat menghasilkan biogas sebagai alternatif sumber energi terbarukan.

Teknologi ini dapat mereduksi polutan yang terdiri atas komponen *total solid* dan bahan organik sebesar 90% melalui proses hidrolisis, asidifikasi, dan metanogenesis (Novita *et al.*, 2019; Ijanu *et al.*, 2020; Beyene *et al.*, 2013).

Keberlanjutan dan kelayakan pemanfaatan air limbah pengolahan kopi menjadi biogas melalui proses anaerobik dipengaruhi oleh faktor ekonomi, sosial, dan teknis. Terdapat tiga komponen dalam menilai kelayakan teknologi pengolahan air limbah yaitu finansial, sosial (respon masyarakat atau responden), dan teknologi (Goffi *et al.*, 2018; Tawfik *et al.*, 2022; Nugroho dan Rifai, 2012). Tujuan dari penelitian ini yaitu menganalisis kelayakan teknis dan ekonomi pada penerapan pengembangan biogas sebagai bionergi terbarukan ramah lingkungan dari air limbah pengolahan kopi menggunakan metode anaerobik di Kabupaten Jember.

METODE

Alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain kuisioner, reaktor biogas dengan konstruksi *fixed dome* yang memiliki volume total 14,13 m³; botol winkler 125 ml dan 250 ml (Pyrex), buret 50 ml (Pyrex), pipet, erlenmeyer 250 ml (Pyrex); COD reaktor HI 93754 C (Hanna), spektrofotometer HI 83099 (Hanna). Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu hasil-hasil penelitian mengenai metode anaerobik menggunakan sistem *batch* skala laboratorium, air limbah pengolahan kopi (Ketakasi) di desa Sidomulyo, kotoran sapi, air suling bebas ion, larutan MnSO₄ 40%, larutan alkali iodida azida, H₂SO₄ 20 N, indikator amilum 5%, larutan Na₂S₂O₃ 0,025 N, reagen COD *High Range* (HR).

Tahapan dari penelitian ini yaitu pengumpulan data primer dan sekunder terkait volume air limbah pengolahan cair dan konsentrasi BOD serta COD, analisis kelayakan dengan mempertimbangkan dua faktor yaitu teknis dan ekonomi serta analisis sitensis hasil penelitian menggunakan deskriptif kualitatif.

Pengumpulan Data Primer dan Sekunder

Terdapat dua jenis data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu data

primer dan sekunder. Metode pengumpulan data primer dilakukan dengan survei atau kunjungan langsung untuk memperoleh gambaran umum kondisi lokasi studi, pengukuran secara langsung parameter BOD dan COD air limbah pengolahan kopi baik sebagai *Input* dan *effluent* dari reaktor biogas *fixed dome* yang bervolume 14,13 m³ di Desa Sidomulyo, dan survei pada proses pengolahan kopi. Kuisioner dibutuhkan sebagai alat bantu pengumpulan data sosial ekonomi dari masyarakat untuk menentukan kelayakan usaha. Adapun pengumpulan data sekunder dilakukan dengan studi pustaka atau literatur yang berkaitan dengan volume dan debit air limbah pengolahan kopi dan efektivitas proses anaerobik dengan metode *batch feeding* untuk reduksi polutan pada air limbah yang dihasilkan dari sektor pertanian (Novita *et al.*, 2019; Angraeni, 2014).

Analisis Kelayakan Teknoekologi

Analisis kelayakan yang ditinjau dari aspek teknis atau teknoekolgi berdasarkan perbandingan *effluent* dari reaktor biogas *fix dome* menggunakan metode *batch feeding* untuk parameter BOD dan COD dengan baku mutu air limbah yang tercantum dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014. Metode ini akan mengindikasikan performa implementasi pengolahan air limbah pengolahan kopi menggunakan proses anaerobik dalam pemenuhan kesesuaian baku mutu air limbah sesuai dengan regulasi. Secara lebih lanjut analisis teknoekologi juga mempertimbangkan efisiensi proses yang diidentifikasi dengan persentase reduksi polutan pada air limbah pengolahan kopi dan dihitung menggunakan Persamaan 1, dimana KA merupakan nilai konsentrasi awal limbah (*input*) dan KB merupakan nilai konsentrasi akhir limbah (*effluent*) (Tchobanoglous, *et al.*, 2003; Novita *et al.*, 2019; Rhofita dan Russo, 2019).

$$Efisiensi (\%) = \frac{(KA-KB)}{KA} \times 100\% \dots\dots\dots(1)$$

Kuantitas air limbah pengolahan kopi akan mempengaruhi dampak pencemarannya pada lingkungan. Beban pencemaran menjadi salah satu pertimbangan juga dalam penentuan kelayakan teknoekologi. Identifikasi dan

perhitungan beban pencemaran aktual (Persamaan 2) dan beban pencemaran maksimum (Persamaan 3) merujuk pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 yang disajikan pada persamaan 2 (Tchobanoglous *et al.*, 2003; Mikosz, 2014; Parabang, 2021), dimana *BP* merupakan beban pencemaran aktual dan *BPM* merupakan beban pencemaran maksimum (kg/hari), *DL* adalah debit air limbah (m³/hari), *KP* merupakan konsentrasi bahan pencemar aktual dan *KPm* merupakan parameter air limbah sesuai baku mutu (mg/liter), serta *f* merupakan faktor konversi (0,0864 (kg.liter.detik)/mg.m³/hari).

$$BP = DL \times KP \times f \dots\dots\dots(2)$$

$$BPM = DL \times KPm \times f \dots\dots\dots(3)$$

Analisis Biaya Pembangunan dan Pengembangan Reaktor Biogas

Biaya pengeluaran ditimbulkan dari pembangunan dan pengembangan fasilitas reaktor biogas dan bahan tambahan dalam pembuatan biogas, kemudian untuk pendapatan sendiri akan diperoleh dari kontribusi biogas yang dihasilkan. Analisis biaya digunakan sebagai salah satu rujukan dalam penentuan kelayakan ekonomi (Suryaningrat, 2011). Analisis ekonomi ini mempertimbangkan biaya inventasi pembuatan reaktor biogas yang di dalamnya terdapat komponen biaya tetap dan biaya tidak tetap. Kelayakan ekonomi atau umur fungsional dari reaktor tersebut menggunakan metode garis lurus atau *straight line* (Suryaningrat 2011). Secara lanjut, analisis kelayakan ekonomi operasional reaktor biogas untuk pengolahan air limbah kopi akan didekati dengan kelayakan berdasarkan metode analisis *Net Present Value* (NPV), *Net B/C Ratio*, dan *Internal Rate of Return* (IRR) (Nugroho dan Rifai, 2012; Cetkovic, *et al.*, 2022).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Teknoekologi

Sungai Ketakasi Sidomulyo merupakan tempat pembuangan akhir dari air limbah pengolahan kopi. Sungai tersebut merupakan sungai mati menurut penduduk Sidomulyo. Pada penelitian ini pengukuran beban pencemar air limbah sangatlah penting. Tujuan pengukuran beban pencemaran untuk mengetahui kadar pencemar dalam air limbah pengolahan kopi di Unit Pengolahan Kopi Rakyat Ketakasi Sidomulyo, sehingga mutu lingkungan disekitarnya dapat terjaga. Air limbah yang dihasilkan selama proses pengolahan kopi akan dialirkan menuju ke sungai. Hasil uji COD dan BOD proses anaerobik air limbah pengolahan kopi disajikan pada Tabel 1.

Unit Pengolahan Kopi Rakyat Ketakasi Sidomulyo melakukan pengolahan selama empat bulan yaitu pada bulan Juni-September tanpa ada hari libur. Total beban pencemaran air sungai Ketakasi Sidomulyo akan tinggi nilainya jika diakumulasikan selama empat bulan aktif tersebut. Hal itu akan berdampak pada penurunan kualitas air sungai Ketakasi Sidomulyo. Proses anaerobik terbukti mampu cukup efektif dalam mereduksi paparan polutan pada air limbah pengolahan kopi khususnya bahan organik yang diindikasikan oleh nilai BOD dan COD. Penurunan nilai COD dan BOD secara berurutan sebesar 97% dan 98%. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Debowski *et al.*, (2020) dan Crus-Salomon *et al.*, (2017), proses anaerobik dapat mereduksi nilai COD pada beberapa jenis air limbah seperti air limbah dari aktivitas agroindustri dan limbah domestik sebesar 70-90%. Reduksi polutan ini terjadi akibat aktivitas perombakan oleh beberapa mikroorganisme seperti bakteri metanagen yang secara simultan melalui tahapan hidrolisis, asidifikasi, dan metanogenesis dengan *output* biogas yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi (Pfluger *et al.*, 2019). Proses anaerobik menggunakan metode *batch feeding* cukup potensial diaplikasikan dalam penanganan air limbah pengolahan kopi dan dianggap lebih mudah operasionalnya.

Tabel 1. Hasil pengukuran nilai BOD dan COD proses anaerobik air limbah pengolahan kopi dan kotoran sapi

Parameter	Asal Air Limbah (mg/l)		Baku Mutu Air Limbah Pengolahan Kopi (Permen LHK No. 4/2014)	Efisiensi (%)
	Input (KA)	Effluent (KB)		
COD	11.160	302,65	90	97%
BOD	7.022	172,21	200	98%

Akan tetapi, merujuk dari hasil penelitian Novita *et al.*, (2019) proporsi substrat dan jumlah mikroorganisme pada reaktor batch diprediksikan kurang seimbang dan mempengaruhi optimalisasi proses anaerobik sehingga *effluent* biogas ini belum memenuhi baku mutu air limbah yang ditetapkan berdasarkan regulasi Permen LHK No. 5 tahun 2014. Oleh sebab itu, tetap diperlukan penanganan lanjut dari *effluent* tersebut agar memenuhi baku mutu yang ditetapkan oleh regulasi. Konsentrasi BOD dan COD akan berpengaruh pula pada beban pencemaran air limbah pengolahan kopi.

Pengukuran beban pencemaran air limbah sangatlah penting untuk mengetahui kadar pencemar dalam air limbah, sehingga mutu lingkungan disekitarnya dapat terjaga. Unit Pengolahan Kopi Rakyat Ketakasi, Sidomulyo memproses kopi gelondong sebanyak 15 ton perhari (Novita, 2012). Data yang dibutuhkan dalam perhitungan beban pencemaran air limbah kopi sebagaimana menurut Permen LHK No. 5 Tahun 2014 antara lain kualitas air limbah pada *outlet* saluran pembuangan limbah dan debit air limbah yang keluar. Kualitas air limbah di unit pengolahan kopi rakyat Ketakasi Sidomulyo pada *outlet* yakni pada kolam sedimentasi air limbah pengolahan kopi, didapatkan dari penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Novita pada tahun 2012 dan rata-rata konsentrasi parameter awal dari data terbaru yakni pada tahun 2015 (Tabel 2). Data debit air limbah hasil kopi olah semi basah yang keluar diasumsikan sama dengan debit air yang digunakan untuk pengolahan kopi olah semi basah.

Acuan perhitungan beban pencemaran mengacu pada Permen LH Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah bagi Usaha dan/atau Kegiatan Industri Kopi. Berdasarkan peraturan tersebut, parameter penting dalam air

limbah pada industri kopi adalah BOD, COD dan kuantitas air limbah.

Baku mutu beban pencemaran maksimum pada air limbah industri kopi disesuaikan dengan Permen LH Nomor 5 Tahun 2014. Kuantitas air limbah maksimum (DM) industri kopi dalam baku mutu adalah 30 m³/ton produk. Hasil perhitungan debit air limbah maksimum (DM) di unit pengolahan kopi rakyat Ketakasi Sidomulyo dengan kapasitas produksi 15 ton buah kopi gelondong perhari adalah 450 m³/hari, sedangkan hasil perhitungan debit air limbah sebenarnya (DA) adalah 82,5 m³/hari. Jadi, dapat diketahui bahwa nilai debit air limbah sebenarnya (DA) lebih kecil daripada nilai debit air limbah maksimum (DM) atau dengan kata lain DA < DM. Hal tersebut menunjukkan bahwa penggunaan air untuk proses pengolahan kopi olah basah di Ketakasi Sidomulyo telah efisien.

Tabel 2. Debit air limbah pengolahan kopi di unit pengolahan kopi rakyat Ketakasi Sidomulyo

Parameter	Nilai
Kuantitas Air Limbah sesuai Baku Mutu Permen LH No 5 Tahun 2014	30 m ³ /ton
Kuantitas Air Limbah hasil pengukuran	5,5 m ³ /ton
Produksi buah kopi gelondong perhari	15 ton
Debit Air Limbah Maksimum (DM)	450 m ³ /hari
Debit Air Limbah Sebenarnya (DA)	82,5 m ³ /hari
Kesimpulan	DM > DA

Debit air limbah yang dihasilkan pada Unit Pengolahan Kopi Rakyat di Ketakasi Sidomulyo sudah sesuai dengan baku mutu air limbah industri kopi Permen

LH No. 5 Tahun 2014 karena tidak melebihi debit air limbah maksimum yang telah ditetapkan. Hasil perhitungan debit serta beban pencemaran maksimum dan sebenarnya dapat dilihat seperti pada Tabel 3. Beban pencemaran sebenarnya air limbah perhari (BP) parameter BOD dan COD terjadi peningkatan dari tahun 2012 ke 2015 disebabkan oleh adanya peningkatan produksi kopi di Sidomulyo. Pada Tabel 3 juga diketahui bahwa BP parameter BOD dan COD lebih besar dibandingkan beban pencemaran maksimum perhari (BPM). Berdasarkan hasil perhitungan tersebut bahwa debit dan beban pencemaran air limbah pengolahan kopi di unit rakyat Ketakasi Sidomulyo memberikan konsentrasi pencemaran besar terhadap parameter BOD dan COD. Hal ini mengindikasikan bahwa paparan bahan organik mudah urai pada air limbah pengolahan kopi lebih besar dibandingkan dengan bahan organik yang susah diuraikan secara alami. Sejalan dengan hal ini, dengan fenomena dampak ratio BOD/COD terhadap kemampuan reduksi polutan oleh tanaman maupun mikroorganisme. Air limbah dari hasil aktivitas agroindustri cenderung besar > 0,1 sehingga daya serap tanaman dan mikroorganisme pada bahan organik cukup baik (Al-Rosyid *et al.*, 2021). Dengan demikian, pengolahan biologi dianggap lebih cocok dan ramah lingkungan untuk air limbah dari aktivitas agroindustri, seperti pengolahan kopi.

Tabel 3. Beban pencemaran air limbah pengolahan kopi di unit pengolahan kopi rakyat Ketakasi Sidomulyo

Indikator	Beban Pencemaran	
	BOD	COD
BPM (kg/hari)	40,5	90
BP tahun 2012 (kg/hari)	65,175	125,4
BP tahun 2015 (kg/hari)	317,27	566,63
Kesimpulan	BPM < BP	BPM < BP

Pengolahan air limbah di Desa Sidomulyo berupa reaktor dan kolam tempat penampungan limbah. B

Berdasarkan perhitungan debit air limbah harian yaitu sebesar 82,5 m³/hari, maka reaktor biogas yang dirancang memiliki dengan diameter 3 meter dan kedalaman 2 meter. Reaktor biogas skala rumah tangga dengan kapasitas 14,13 m³ untuk menampung kotoran sapi sebagai *starter* dan selanjutnya memanfaatkan air limbah pengolahan kopi sebagai bahan produksi biogas terutama pada saat panen raya kopi. Kolam sedimentasi yaitu dengan ukuran dimensi *p x l x t* dari kolam tersebut adalah (10 x 1,5 x 1) meter dengan kapasitas 15 m³. Maka kedua tempat pengolahan limbah tersebut kurang memadai apabila digunakan untuk menampung potensi limbah yang besar. Pengolahan semi basah kopi gelondong di Sidomulyo untuk 15 ton buah kopi gelondong menghasilkan debit limbah sebesar 82,5 m³/hari. Diperlukan penambahan reaktor agar *output* volume air limbah pengolahan kopi yang keluar perharinya dapat ditampung. Kapasitas digester akan mempengaruhi optimalisasi proses metonogenesis. Merujuk pada hasil penelitian, Nurdimansyah *et al.*, 2012, pengaturan jumlah *feeding* pada reaktor anaerobik yang kedap udara mendukung optimalisasi proses anerobik. Pada Tabel 4 menunjukkan bahwa reaktor biogas dan kolam yang telah tersedia di Ketakasi Sidomulyo tidak mampu menampung volume limbah cair yang keluar perharinya. Maka supaya dapat menampung volume *output* air limbah kopi perharinya, diperlukan pembangunan reaktor biogas yang baru dengan kapasitas jumlah volume reaktor sebesar 53,37 m³. Penambahan reaktor biogas diharapkan akan mampu menampung kapasitas volume output limbah cair kopi perharinya.

Tabel 4. Sisa kebutuhan volume reaktor untuk pengembangan teknologi biogas

Volume Kolam yang Tersedia (m ³)	Volume Reaktor yang Tersedia (m ³)	Volume Output Air Limbah Perhari (m ³)	Sisa Kebutuhan Volume Reaktor (m ³)
15	14,13	82,5	53,37

Kebutuhan penambahan reaktor sebanyak 4 reaktor biogas dengan kapasitas

yang jika volumenya dijumlahkan yaitu sama dengan 53,37 m³. Jika dibandingkan dengan penambahan pembangunan kolam lebih baik dengan penambahan reaktor, dikarenakan penerapan teknologinya lebih mudah, ramah lingkungan, biaya lebih sedikit, dan dapat menghasilkan (pupuk cair, pupuk padat, dan biogas).

Analisis Ekonomi

Analisis ekonomi dilakukan untuk menentukan suatu usaha apakah layak atau tidak jika ditinjau dari sisi investasi usaha. Suatu usaha yang dijalankan dalam jangka panjang biasanya perlu diketahui kelayakannya dengan alat analisis kriteria investasi, antara lain NPV (*Net Present Value*), IRR (*Internal Rate Of Return*), dan *Net B/C*. Menurut beberapa hasil penelitian sebuah industri dapat dikatakan layak dari aspek finansialnya apabila nilai NPV>0, IRR> suku bunga yang berlaku, dan B/C rasio>1. Untuk mengetahui nilai kelayakan operasional suatu industri dari aspek finansial menggunakan tiga parameter tersebut maka terlebih dahulu dilakukan analisis biaya. Analisis biaya yang dilakukan antara lain yaitu menghitung biaya pokok, biaya tetap, biaya tidak tetap, dan biaya operasional. Biaya tetap merupakan biaya yang selama satu periode kerja nilainya tetap, tidak bergantung pada jumlah produk yang dihasilkan dan besarnya biaya tetap relatif sama setiap periodenya (per tahun).

Biaya tidak tetap merupakan biaya yang dikeluarkan pada saat alat digunakan dan besarnya tergantung pada jumlah jam kerja pemakaian. Biaya pokok merupakan biaya yang dikeluarkan untuk kebutuhan pengembangan reaktor biogas dan operasional hasil biogas seperti kompor, kemudian biaya tetap terdiri atas biaya penyusutan, biaya perbaikan dan pemeliharaan, serta biaya suku bunga investasi. Selanjutnya biaya tidak tetap terdiri atas biaya pengembangan reaktor biogas dan tenaga kerja serta biaya operasional adalah biaya yang dikeluarkan untuk operasional produksi dan pengembangan biogas. Rincian biaya pengembangan reaktor biogas dapat dilihat pada Tabel 5. Tingkat suku bunga yang berlaku di daerah penelitian adalah dengan asumsi suku bunga yang berlaku pada saat penelitian berlangsung, yaitu sebesar 10%.

Berdasarkan Tabel 5 menjelaskan biaya pengeluaran pengembangan reaktor (bahan konstruksi dan instalasi biogas), pembuatan pupuk cair (kebutuhan peralatan; kemasan, botol plastik, pengaduk, bahan pupuk yakni molases, aktivator EM4 dan kapur tohor), pupuk padat (kebutuhan peralatan; kemasan, botol plastik, pengaduk, bahan pupuk yakni molases, aktivator EM4 dan kapur tohor), dan biogas (bahan tambahan pembuatan biogas seperti kapur tohor dan biaya pengangkutan kotoran ternak) yaitu sejumlah Rp 29.612.000.

Tabel 5. Biaya pengeluaran dan pemasukan penanganan air limbah pengolahan kopi menggunakan proses anaerobik skala rumah tangga

No	Pengeluaran	Biaya (Rp)	(+) 4 Reaktor (Rp)	Pemasukan	Biaya (Rp)	(x) Setiap Produksi Pemasukan (Rp)	Hasil /hari	Setiap Tahun (Rp)
1	Biaya pembuatan reaktor	4.216.000	16.846.000	Pupuk cair	25.500	210.120	-	25.214.400
2	Biaya pupuk cair	2.349.000	9.396.000	Pupuk padat	5.000	537.500	8,24 liter	64.500.000
3	Biaya pupuk padat	19.965.000	79.860.000	Biogas	10.000	25.000	107,5 kg	3.000.000
4	Biogas	2.992.000	11.968.000				2,5 kg	
Jumlah		29.612.000	118.070.000		40.500	772.620		92.714.400

Jika terdapat 4 reaktor maka semua biaya pengeluaran tersebut dikalikan 4 senilai Rp 118.070.000. Penanganan limbah secara anaerobik ini dapat menghasilkan pupuk cair, pupuk padat, dan biogas. Dari ketiga *output* setiap produksi, jika dijual menghasilkan uang sejumlah Rp 772.620/hari. Pemasukan pada penanganan limbah ini terlihat bahwa *output* yang dihasilkan dari pengolahan air limbah kopi yaitu setiap kali produksi akan menghasilkan sebanyak 8,24 liter pupuk cair per hari, jika pupuk cair dijual dengan harga Rp 25.500/liter maka akan menghasilkan uang sebesar Rp 210.120. Pupuk padat sebanyak 107,5 kg dengan harga Rp 5.000/kg, maka hasil perkalian tersebut akan menghasilkan pendapatan sebesar Rp 537.500. Biogas sebanyak 2,5 ban (1 ban = 1 kg) per hari jika Rp10.000/ban, maka uang yang didapatkan senilai Rp 25.000. Ketiga *input* yaitu pupuk cair, pupuk padat, dan biogas hasil penanganan limbah secara anaerobik tersebut jika dijumlahkan akan menghasilkan keuntungan senilai Rp 92.714.400 setiap tahun (4 bulan atau 120 hari kerja).

Hasil analisis akan berkorelasi dengan analisis kelayakan secara ekonomi. Merujuk pada Tabel 6, nilai *Net Present Value* (NPV) pada hasil penerapan proses anaerobik limbah cair pengolahan kopi di Desa Ketakasi Sidomulyo Kecamatan Silo dapat dikatakan layak secara finansial dikarenakan nilai NPV>0, nilai NPV menunjukkan bahwa hasil yang diperoleh lebih besar dibandingkan biaya yang dikeluarkan. Pada tingkat suku bunga yang digunakan sebesar 10% (suku bunga komersial yang dikeluarkan pemerintah pada tahun 2016 (saat penelitian berlangsung) dengan waktu 1 hingga 5 tahun proses penerapan anaerobik memperoleh keuntungan sesuai dengan yang telah disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Parameter kelayakan ekonomis operasional reaktor biogas di Desa Ketakasi Sidomulyo

Parameter	Nilai
NPV	2.388.517,11
IRR (%)	10,41
B/C Ratio	3

Nilai *Internal Rate of Return* (IRR) menunjukkan kelayakan, dikarenakan nilai IRR>suku bunga komersil 10%, dapat dikatakan bahwa penerapan proses anaerobik mampu mengembalikan pinjaman investasi yang digunakan hanya sampai pada tingkatan suku bunga komersil sebesar 10%. Sejalan dengan hal ini, penetapan suku bunga 10% berdasarkan pajak pertambahan nilai (PPN) digunakan sebagai dasar kelayakan operasional pengolahan air bersih di Badung Selatan (Harmayani *et al.*, 2019). Jadi IRR merupakan kemampuan suatu usaha untuk menghasilkan pengembalian atau tingkat keuntungan yang akan dicapai dengan tingkat suku bunga yang berlaku. Pada analisis NPV, IRR, dan B/C Ratio penerapan proses anaerobik dapat dikatakan layak secara finansial. Hasil analisis tersebut dapat dikatakan bahwa jika nilai NPV layak maka nilai IRR dan B/C Ratio juga layak.

SIMPULAN

Pemanfaatan air limbah pengolahan kopi sebagai biogas dinilai layak menjadi salah satu alternatif teknologi yang dikembangkan untuk usaha pengolahan kopi (Ketakasi) di Desa Ketakasi Sidomulyo baik secara teknis maupun ekonomi. Hal ini didukung oleh hasil analisis kelayakan teknoekologi yang menunjukkan bahwa pembuatan biogas sebagai sumber energi terbarukan dengan metoda *Batch Feeding* layak secara kemudahan dan kontinuitas operasional. Teknologi anaerobik layak secara ekonomi, hal ini ditunjukkan oleh nilai pemasukan lebih besar dibandingkan nilai pengeluaran secara berurutan sebesar Rp 92.714.400 dan Rp 29.612.000 per tahun. Hal tersebut didukung juga dengan nilai NPV>0, dan jika nilai NPV layak maka nilai IRR dan B/C Ratio juga layak. Akan tetapi berdasarkan penelitian ini produksi biogas dari air limbah pengolahan kopi menggunakan metode *batch feeding* kekurangan yaitu *effluent* beban pencemaran air limbah (BOD dan COD) yang belum memenuhi baku mutu. Penanganan metode ini bisa diaplikasi sebagai alternatif penanganan awal air limbah pengolahan kopi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Direktorat Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi yang telah memberikan dukungan dana pada penelitian ini pada Program Penelitian Strategis Nasional tahun 2015, Unit Pengolahan Kopi Rakyat Ketakasi Desa Sidomulyo Kecamatan Silo Kabupaten Jember, Universitas Jember yang telah memberikan dukungan fasilitas, dan semua pihak yang terlibat sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Rosyid, L, -M., Titah, H, -S., Santoso, I, -B., Makoediharjdo, -S., 2021. Review on BOD/COD ratio toxicity *Daphnia magna*, *Artemia salina*, and *Brachydanio*. *Nature Environment and Pollution Technology*. 20(4), 1741-1748. <https://doi.org/10.46488/NEPT.2021.v20i04.039>
- Angraeni, -A., 2014. Pengolahan limbah cair tahu secara anaerob menggunakan sistem batch. *Jurnal Reka Lingkungan*. 2(1), 31-40. <https://doi.org/10.26760/rekalingkungan.v2i1.%25p>
- Banti, -M. Abraham, -E., 2021. Coffee processing methods, coffee quality and related environmental issues. *Journal of Food and Nutrition Sciences*. 9(6), 144-152. <https://doi.org/10.11648/jjfn.20210906.12>
- Berego, Y, -S., Sota, S, -S., Ulsido, M, -D., Beyene, E, -M., 2022. Treatment performance assessment of natural and constructed wetlands on wastewater from Kege wet coffee processing plant in Dale Woreda, Sidama Regional State, Ethiopia. *Environmental Health Insights*. 16. <https://doi.org/10.1177/11786302221142749>
- Beyene -A., Yemane, -D., Addis, -T., Assayie, A, -A., Trieset, -L., 2013. Experimental evaluation of anaerobic digestion for coffee wastewater treatment and its biomethane recovery material. *International Journal Environmental Science Technology*. 11, 1881-1886. <https://doi.org/10.1007/s13762-013-0339-4>
- Campos, R, -C., Pinto, V, R, -A., Melo, L, -F., Rocha, S, J, S, -S., Coimbra, J, -S., 2021. New sustainable perspectives for "coffee wastewater" and other by-products: a critical review. *Future Foods*. 4, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2021.100058>
- Cetkovic, -J., Kenezovic, -M., Lacic, -S., Zarkovic, -M., Vujadinovic, -R., Zivkovic, -A., Cvijovic, -J. 2022. Financial and economic investment evaluation of wastewater treatment plant. *Water (MDPI)*. 14(1), 1-23. <https://doi.org/10.3390/w14010122>
- Cruz-Salomon, -A., Rios-Valdovinos, -E., Pola-Alberos, -F., Meza-Gordillo, -R., Lagunes-Rivera, -S., Riuz-Valdiviezo, V, -M., 2017. Anaerobic treatment of agro-industrial wastewater for COD removal in expanded granular sludge bed bioreactor. *Biofuel Research Journal*. 16(2017), 715-720. <https://doi.org/10.18331/BRJ2017.4.4.3>
- Dadi, -D., Mengistie -E., Terefe, -G., Getahun, -T., Haddis, -A., Birke, -W., Beyene, -A., Luis -P., Bruggen B, V, -der., 2018. Assessment of the effluent quality wet processing wastewater and its influence on downstream water quality. *Ecology & Hydrobiology*. 18(2018), 201-211. <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2017.10.007>
- Debowski, -M., Kisielowska, -M., Kazimierowicz, -J., Zielinski, -M., 2023. Methane production from confectionary wastewater treated in the anaerobic labyrinth-flow bioreactor. *Energies*. 16(571), 1-18. <https://doi.org/10.3390/en16010571>
- Genanaw, -W., Kanno, G, -G., Derese, -D., Aregu, M, -B., 2021. Effect of wastewater discharge from coffee processing plant on river water quality, Sidama, South Ethiopia. *Environmental Health Insights*. 15. <https://doi.org/10.1177/11786302211061047>
- Goffi A, -S., Trojan, -F., Lima, J, D, -de, Lizot, -M., Thesari, S, -S., 2018. Economic feasibility for selecting wastewater treatment system. *Water Science & Technology*. 78(12), 2518-2531. <https://doi.org/10.2166/wst.2019.012>
- Ijanu, E, -M., Kamaruddin, M, -A., Norashiddin, F, -A., 2020. Coffee wastewater processing treatment: a critical review on current treatment technologies with a proposed alternative. *Applied Water Science*. 10(11), 1-11. <https://doi.org/10.1007/s13201-019-1091-9>
- Karim, M, -A., Wijayanti, -F., Sudaryanto, -A., 2019. Comparative studies of coffee processing methods for decision making in appropriate technology implementation.

- Surakarta, Indonesia, *AIP Conference Proceeding*. 2114(1), 1-7. <https://doi.org/10.1063/1.5112399>
- Kong, -Z., Li, -L., Xue, -Y., Yang, -M., Li, Y, -Y., 2019. Challenges and prospects for the anaerobic treatment of chemicals-industrial organic wastewater: A review. *Journal of Cleaner Production*. 231(10), 913-927. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.233>
- Laili, -N., Indrasti, N, -S., Wahyudi, -D., 2022. Design of suitable processing wastewater treatment system using K-means clustering algorithm. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 1063(2022), 1-7. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1063/1/012032>
- Mikosz, -J., 2014. Determination of permissible industrial pollution load at a municipal wastewater treatment plant. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 12, 827-836. <https://link.springer.com/article/10.1007/s13762-013-0472-0>
- Novita -E., Pradana, H, -A., Wahyuningsih, -S., Marhaenanto, -B., Sujarwo, M, -W., Hafidz, M, S, -A., 2019. Anaerobic digester variation for biogas production on coffee wastewater treatment. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*. 8(3), 164-174. <http://dx.doi.org/10.23960/jtep-lv8i3.164-174>
- Novita, E. 2012. Desain Proses Pengolahan Pada Agroindustri Kopi Robusta Menggunakan Modifikasi Teknologi Olah Basah Berbasis Produksi Bersih. Disertasi. Institut Pertanian Bogor. Bogor
- Novita, -E., Suryaningrat, I, -B., Andriyani, -I., Widyotomo, -S., 2012. Analisis keberlanjutan kawasan usaha perkebunan kopi (KUPK) rakyat di Desa Ketakasi Sidomulyo Kabupaten Jember. *Agritech*. 32(2), 126-135. <https://doi.org/10.22146/agritech.9621>
- Novita, -E., Wahyuningsih, -S., Adinda, -C., 2021. Studi kelayakan teknik dan biaya terhadap alternatif fitoremediasi pada air limbah pengolahan kopi. *Agrointek: Jurnal Teknologi Industri Pertanian*. 15(2), 513-520. <https://doi.org/10.21107/agrointek.v15i2.9056>
- Nugroho, -P., Rifai, -A., 2012. Penelitian kelayakan ekonomi rencana pembangunan instalasi pengolahan air limbah (IPAL) domestik komunal sistem UASB-DHS di kota Bogor. *Jurnal Teknologi Lingkungan*. 13(3), 269-276. <https://doi.org/10.29122/jtl.v13i3.1396>
- Nurdimansyah, S., Utami, ARL., Qurrabi, A. 2012. Analisis Pengaruh Level Substrat Digester Pada Digester Anaerob Skala Laboratorium Terhadap Produksi Metan. Skripsi. Universitas Telkom, Bandung
- Parabang, -S., 2021. Pollution load analysis of biological oxygen demand from household sources. *International Journal of Scientific and Research Publication*. 11(4), 411-417. <https://doi.org/10.29322/IJSRP.11.04.2021.p11254>
- Pfluger, -A., Erickson, -R., Vanzin, -G., Hahn, -M., Callahan, -J., Munakata-Marr, -J., Figueroa, -L., 2019. Energy-generating potential of anaerobically enhanced primary treatment of domestic wastewater using multiple-compartment bioreactors. *Environmental Science: Water Research & Technology*. 6(2020), 117-131. <https://doi.org/10.1039/C9EW00526A>
- Rhofita, E, -I., Russo, A, -E., 2019. Efektivitas kinerja instalasi pengolahan air limbah (IPAL) industri gula di Kabupaten Kediri dan Kabupaten Sidoarjo. *Jurnal Teknologi Lingkungan*. 20(2), 235-242. <https://doi.org/10.29122/jtl.v20i2.3469>
- Singh, -D., Gosmami, R, -K., Agrawal, -K., Chaturvedi, -V., Verma, -P., 2022. Bio-inspired remediation of wastewater: A contemporary approach for environmental clean-up. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*. 5(2022), 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.crgsc.2022.100261>
- Suryaningrat, I. 2011. *Ekonomi Teknik Teori dan Aplikasi untuk Agroindustri*. University Jember Press, Jember
- Tawfik, -A., Bakr, M, -H., Nasr, -M., Haider, -J., Mesfer, M., Lim, -H., Qyyum, M, -A., Lam, S, -S., 2022. Economic and environmental sustainability for anerobic biological treatment of wastewater from paper and cardboard manufacturing industry. *Chemosphere* 289, 133166. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.133166>
- Tchnobanoglous, G., Burton, FL., Stensel, HD., Metcalf, Inc, E. 2003. *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. 4th Edition. McGraw-Hill Education, Boston