

SKRIPSI

PENGARUH INOKULUM KOTORAN SAPI TERHADAP KINERJA ABR DALAM EFISIENSI PENYISIHAN COD DAN PRODUKSI METANA PADA LIMBAH CAIR INDUSTRI TAHU



Oleh :

FAVIAN HAIDAR RINANDI

NPM 22034010084

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN" JAWA TIMUR
FAKULTAS TEKNIK DAN SAINS
PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
SURABAYA
TAHUN 2026**

**PENGARUH INOKULUM KOTORAN SAPI
TERHADAP KINERJA ABR DALAM EFISIENSI
PENYISIHAN COD DAN PRODUKSI METANA PADA
LIMBAH CAIR INDUSTRI TAHU**

SKRIPSI

**Diajukan Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Dalam Memperoleh Gelar Sarjana Teknik (S.T.)
Program Studi Teknik Lingkungan**

Diajukan Oleh :

FAVIAN HAIDAR RINANDI
NPM 22034010084

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL “VETERAN” JAWA TIMUR
FAKULTAS TEKNIK DAN SAINS
PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
SURABAYA
2026**

LEMBAR PERSETUJUAN

PENGARUH INOKULUM KOTORAN SAPI TERHADAP KINERJA ABR DALAM EFISIENSI PENYISIHAN COD DAN PRODUKSI METANA PADA LIMBAH CAIR INDUSTRI TAHU

Disusun Oleh :

FAVIAN HAIDAR RENANDI
NPM. 22034010084

Telah disetujui untuk mengikuti Ujian Penelitian

Menyetujui,

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

M. Abdus Salam Jawwad, S.T., M.Sc.
NIP. 19940727 202406 1001

Nurvita Cundaningsih, S.Si., M.T.
NIP. 19930829 202406 2004

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik dan Sains
Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur

Prof. Dr. Dra. Jariyah, M.P.
NIP. 19650403 199103 2 001

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH INOKULUM KOTORAN SAPI
TERHADAP KINERJA ABR DALAM EFISIENSI
PENYISIHAN COD DAN PRODUKSI METANA PADA
LIMBAH CAIR INDUSTRI TAHU**

Disusun Oleh :

FAVIAN HAIDAR RINANDI
NPM. 22034010084

Telah diuji kebenaran oleh Tim Penguji dan diterbitkan pada
Jurnal Wilayah, Kota dan Lingkungan (Terakreditasi Sinta 5)

Menyetujui,

Dosen Pembimbing I

Tim Penguji

1. Ketua

M. Abdus Salam Jawwad, S.T., M.Sc.

Raden Kokoh Haryo Putro S.T., MT.

NIP. 19940727 202406 1001

NIP. 19900905 201903 1 026

Dosen Pembimbing II

2. Anggota

Nurvita Cundaningsih, S.Si., M.T.

Aussie Amalia, ST., MSc.

NIP. 19930829 202406 2004

NPT. 172 1992 1124 059

Mengetahui,

**Dekan Fakultas Teknik dan Sains
Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur**

Prof. Dr. Dra. Jariyah, M.P.

NIP. 19650403 199103 2 001

LEMBAR REVISI

**PENGARUH INOKULUM KOTORAN SAPI
TERHADAP KINERJA ABR DALAM EFISIENSI
PENYISIHAN COD DAN PRODUKSI METANA PADA
LIMBAH CAIR INDUSTRI TAHU**

Disusun Oleh :


FAVIAN HAIDAR RINANDI
NPM. 22034010084

Telah direvisi dan disahkan pada tanggal 28 Agustus 2026

TIM PENILAI

KETUA

ANGGOTA


Raden Kokoh Haryo Putro S.T., MT.
NIP. 19900905 201903 1 026


Aussie Amalia, ST., MSc.
NPT. 172 1992 1124 059

SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Favian Haidar Rinandi
NPM : 22034010084
Program : Sarjana(S1)
Program Studi : Teknik Lingkungan
Fakultas : Fakultas Teknik dan Sains

Menyatakan bahwa dalam dokumen ilmiah Tugas Akhir/Skripsi/Tesis/Disertasi* ini tidak terdapat bagian dari karya ilmiah lain yang telah diajukan untuk memperoleh gelar akademik di suatu lembaga Pendidikan Tinggi, dan juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang/lembaga lain, kecuali yang secara tertulis disitasi dalam dokumen ini dan disebutkan secara lengkap dalam daftar pustaka.

Dan saya menyatakan bahwa dokumen ilmiah ini bebas dari unsur-unsur plagiasi. Apabila dikemudian hari ditemukan indikasi plagiat pada Skripsi/Tesis/Desertasi ini, saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya tanpa ada paksaan dari siapapun juga dan untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Surabaya, 31 Agustus 2026

Yang Membuat pernyataan


Favian Haidar Rinandi
22034010084

KATA PENGANTAR

Puji Syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas berkat dan rahmatNya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul “Pengaruh Inokulum Kotoran Sapi terhadap Kinerja ABR dalam Efisiensi Penyisihan COD dan Produksi Metana pada Limbah Cair Industri Tahu”. Tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik tentunya tidak lepas dari peran serta berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Dra Jariyah, M.P., selaku Dekan Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur;
2. Firra Rosariawari, ST., MT., selaku Koordinator Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur;
3. Muhammad Abdus Salam Jawwad, S.T., M.Sc. dan Nurvita Cundaningsih, S.Si, M.T., selaku dosen pembimbing skripsi yang telah mengarahkan, membimbing, membantu, dan selalu memberikan motivasi dan semangat sehingga skripsi saya ini dapat selesai dengan baik;
4. Prof. Euis Nurul Hidayah, MT., PhD. selaku dosen pengampu Mata Kuliah Metodologi Penelitian yang memberikan pandangan terkait proses perancangan ide penelitian;
5. Seluruh dosen dan staff pengajar Program Studi Teknik Lingkungan, yang telah meluangkan waktunya dan membagikan ilmu yang bermanfaat untuk saya kedepannya;
6. Keluarga tercinta yang memberikan dukungan baik secara moral maupun material sehingga saya bisa melampaui semua ini;
7. Mahasiswa Teknik Lingkungan khususnya angkatan 2022 yang tidak dapat disebutkan satu persatu, telah menjadi teman diskusi sehingga tugas ini berhasil diselesaikan;
8. Terima kasih kepada Warkop Saudara yang telah menjadi salah satu tempat bagi penulis dalam menyelesaikan berbagai proses penyusunan skripsi ini. Suasana, kenyamanan, dan waktu yang telah menemani penulis selama proses

pengerjaan menjadi bagian kecil namun berarti dalam perjalanan penyelesaian skripsi ini;

9. Penulis menyampaikan terima kasih kepada Novita Anggraini yang senantiasa memberikan dukungan, semangat, dan motivasi selama proses penyusunan skripsi ini. Kehadiran dan dukungan yang diberikan menjadi salah satu hal yang membantu penulis dalam menyelesaikan setiap tahapan penelitian;
10. Penulis juga ingin menyampaikan apresiasi dan terima kasih kepada diri sendiri atas segala usaha, ketekunan, kesabaran, serta semangat yang telah diberikan selama proses penyusunan karya ini. Berbagai tantangan, hambatan, dan proses pembelajaran yang dilalui menjadi pengalaman berharga yang membentuk penulis untuk terus berkembang. Semoga segala kerja keras yang telah dilakukan dapat menjadi langkah awal menuju keberhasilan di masa yang akan datang.

Penyusunan tugas akhir ini dilaksanakan dengan usaha maksimal meskipun kurang dari kata sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi kesempurnaan tugas akhir ini. Semoga penulisan tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi penulis dan juga para pembaca.

Surabaya, 31 Agustus 2026

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR.....	viii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	4
1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat.....	5
1.4.1 Manfaat Teoritis.....	5
1.4.2 Manfaat Praktis.....	5
1.5 Lingkup Penelitian.....	6
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Dasar Teori.....	6
2.1.1 COD (<i>Chemical Oxygen Demand</i>)	6
2.1.2 Metana	6
2.1.3 Hubungan COD dan CH ₄	7
2.2 Landasan Teori.....	8
2.2.1 Limbah Cair Tahu	8
2.2.2 Parameter Pencemar	10
2.2.3 Inokulum Kotoran Sapi	12
2.2.4 Proses Pengolahan Limbah secara Anaerobik	13
2.2.5 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Reaktor Anaerobik	17
2.2.6 <i>Anaerobic Baffled Reactor (ABR)</i>	23
2.3 Hasil Penelitian Sebelumnya	25
BAB 3 METODE PENELITIAN	34
3.1 Kerangka Penelitian.....	34
3.2 Bahan dan Alat	35
3.2.1 Bahan Penelitian	35

3.2.2	Alat Penelitian	35
3.3	Cara Kerja.....	36
3.3.1	Pengambilan Sampel	36
3.3.2	Analisis Pendahuluan	36
3.3.3	Pembuatan Reaktor.....	37
3.3.4	Pelaksanaan Percobaan.....	41
3.4	Variabel.....	43
3.4.1	Variabel Kontrol	43
3.4.2	Variabel Bebas	43
3.4.3	Variabel Terikat.....	45
3.5	Analisis	45
3.5.1	Uji pH	46
3.5.2	Uji COD.....	46
3.5.3	Uji Rasio C/N	47
3.5.4	Uji Temperatur.....	48
3.5.5	Pengukuran Produksi Biogas.....	48
3.5.6	Uji Kandungan Metana.....	49
3.5.7	Analisis Statistik.....	50
3.5.8	<i>Yield</i> Metana	52
3.6	Jadwal Kegiatan.....	53
3.7	Rancangan Anggaran Biaya (RAB).....	53
3.8	Matriks Penelitian.....	54
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN		56
4.1	Karakteristik Limbah Cair Industri Tahu.....	56
4.2	Pengaruh Penambahan Konsentrasi Inokulum Kotoran Sapi terhadap Fase <i>Start-Up</i> Pada <i>Anaerobic Baffled Reactor</i>	57
4.2.1	<i>Seeding</i>	58
4.2.2	Penyisihan COD pada Proses Aklimatisasi	64
4.3	Kinerja ABR dalam Penyisihan COD	68
4.4	Produksi Metana pada Reaktor ABR.....	76

4.4.1	Pengaruh Konsentrasi Inokulum terhadap terhadap Volume Produksi Biogas	77
4.4.2	Pengaruh Konsentrasi Inokulum dan Waktu Operasi terhadap Presentase Metana	81
4.5	Hubungan Penyisihan COD dengan Presentase Metana	90
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		95
5.1	Kesimpulan	95
5.2	Saran	96
DAFTAR PUSTAKA		97
LAMPIRAN A HASIL ANALISIS		107
1.	Fluktuasi MLSS, pH, dan Temperatur pada Fase <i>Seeding</i>	107
2.	Fluktuasi COD, pH, dan Temperatur pada Fase Aklimatisasi	107
3.	Fluktuasi Suhu pada Penelitian Utama	108
4.	Fluktuasi pH pada Penelitian Utama	109
5.	Penyisihan COD pada Penelitian Utama	110
6.	Fluktuasi Total Nitrogen	110
7.	Nilai COD/N	110
8.	Produksi Biogas	111
9.	Presentase Metana	111
10.	Nilai <i>Yield</i> Metana/COD Tersisihkan	111
LAMPIRAN B PERHITUNGAN		112
Perhitungan dimensi kompartemen		112
Perhitungan dimensi $\frac{1}{2}$ kompartemen		112
Perhitungan debit reaktor		113
Perhitungan waktu tunggu tiap sekat kompartemen		113
Perhitungan kecepatan aliran tiap sekat kompartemen		113
Perhitungan Produksi Biogas		114
LAMPIRAN C DOKUMENTASI		116
A.	Proses Pembuatan Reaktor	116
B.	Kalibrasi Debit Reaktor & <i>Leak Test</i>	116
C.	Pengambilan Objek Penelitian	116

D. Pembuatan <i>Sludge</i> dari Kotoran Sapi	117
E. Seeding dan Aklimatisasi	117
F. Proses Penelitian Utama	117
G. Proses Pengujian di Laboratorium.....	118
H. Hasil Pengukuran <i>Pressure Gauge</i>	118
LAMPIRAN D DATA PENDUKUNG	119

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Karakteristik umum limbah cair tahu	8
Tabel 2. 2 Baku Mutu Air Limbah pada Kegiatan Industri Tahu	10
Tabel 2. 3 Jenis substrat dan rasio C/N.....	21
Tabel 2. 4 Penelitian Sebelumnya.....	25
Tabel 3. 1 Metode Analisis Parameter	46
Tabel 3. 2 Jadwal Kegiatan Selama Penelitian	53
Tabel 3. 3 Rencana Anggaran Biaya (RAB).....	53
Tabel 3. 4 Matriks Penelitian.....	54
Tabel 4. 1 Hasil Analisa Awal Limbah Cair Industri Tahu	56
Tabel 4. 2 Kondisi Reaktor pada Proses <i>Seeding</i> Reaktor A	58
Tabel 4. 3 Kondisi Reaktor pada Proses <i>Seeding</i> Reaktor B.....	59
Tabel 4. 4 Kondisi Reaktor pada Proses <i>Seeding</i> Reaktor C.....	60
Tabel 4. 5 Penyisihan COD pada Reaktor A	64
Tabel 4. 6 Penyisihan COD pada Reaktor B	65
Tabel 4. 7 Penyisihan COD pada Reaktor C	66

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Diagram Proses Pembuatan Tahu	9
Gambar 2. 2 Proses Tahapan Anaerob	16
Gambar 2. 3 Pengaruh temperatur terhadap proses anaerobik	19
Gambar 2. 4 Skema Reaktor <i>Anaerobic Baffled Reactor</i> (ABR)	23
Gambar 3. 1 Kerangka Penelitian	35
Gambar 3. 2 Lokasi pengambilan sampel limbah cair industri tahu	36
Gambar 3. 3 Tampak Samping Reaktor ABR Skala Laboratorium	40
Gambar 3. 4 Tampak Atas Reaktor ABR Skala Laboratorium	40
Gambar 3. 5 <i>Set Up</i> Reaktor ABR Skala Laboratorium	41
Gambar 3. 6 <i>Layout</i> Keseluruhan Reaktor ABR Skala Laboratorium	41
Gambar 4. 1 Perkembangan MLSS pada Fase Seeding	61
Gambar 4. 2 Kinerja ABR dalam Penyisihan COD dengan berbagai Variasi	69
Gambar 4. 3 Uji Normalitas Efisiensi Removal COD (%).....	73
Gambar 4. 4 Uji ANOVA <i>Two-way</i> Removal COD (%) versus I/S; Waktu Kontak	74
Gambar 4. 5 Pengaruh Rasio Inokulum / Substrat terhadap Produksi Biogas	78
Gambar 4. 6 Presentase Metana berdasarkan Rasio Inokulum / Substrat	81
Gambar 4. 7 Rasio COD / N.....	84
Gambar 4. 8 Uji Normalitas Presentase Metana.....	88
Gambar 4. 9 Uji ANOVA <i>Two-Way</i> Presentase Metana	88
Gambar 4. 10 Hubungan COD Tersisihkan	90
Gambar 4. 11 Yield Metana per Gram COD tersedisihkan	91
Gambar 4. 12 Analisis Korelasi Removal COD dan Presentase Metana	94

ABSTRAK

Industri tahu menghasilkan limbah cair dengan beban organik sangat tinggi. Analisis pendahuluan pada penelitian ini menunjukkan karakteristik limbah dengan COD 8.973 mg/L, TSS 486 mg/L, dan pH 4, jauh melampaui baku mutu COD 300 mg/L sesuai Peraturan Menteri Lingkungan Hidup RI No. 5 Tahun 2014. Limbah ini juga memiliki rasio COD/N yang rendah akibat tingginya fraksi protein kedelai, sehingga berpotensi menimbulkan hambatan nutrisi pada proses anaerobik. *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR) merupakan alternatif pengolahan yang efektif, namun kerap terkendala pada fase *start-up* yang lambat karena akumulasi asam lemak volatil dan terbatasnya populasi metanogen awal. Permasalahan yang diangkat adalah bagaimana pengaruh penambahan inokulum kotoran sapi terhadap fase *start-up*, efisiensi penyisihan COD, produksi metana, serta keterkaitan antara keduanya. Penelitian ini bertujuan menganalisis kinerja ABR dalam menyisihkan COD dan menghasilkan metana pada limbah cair industri tahu melalui penambahan inokulum kotoran sapi. Penelitian dilakukan secara eksperimental skala laboratorium menggunakan reaktor ABR akrilik 24 L yang dioperasikan secara semi-batch dengan HRT 24 jam, kondisi mesofilik, dan pH terkontrol 6,5–7,5. Variabel bebas berupa rasio inokulum/substrat 0% (Reaktor A), 10% (Reaktor B), dan 25% (Reaktor C) dengan pengamatan pada hari ke-0, 7, 14, dan 21. Pengujian COD mengacu pada SNI 6989.15:2019, volume biogas diukur secara manometrik, dan kandungan metana dianalisis menggunakan *Gas Chromatography*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan inokulum mempercepat fase *start-up*, yaitu MLSS >3.000 mg/L tercapai pada hari ke-14 (Reaktor C), ke-17 (Reaktor B), dan ke-19 (Reaktor A). Pada hari ke-21, efisiensi penyisihan COD tertinggi diperoleh Reaktor C sebesar 90,64%, diikuti Reaktor B dan A (83,68–88,18%). Volume biogas meningkat dari 185,53 mL (0%) menjadi 463,83 mL (10%) dan 649,36 mL (25%), dengan kandungan metana tertinggi 52,64% serta *yield* metana 16,96 mL CH₄/g COD tersisihkan pada Reaktor C. Peningkatan efisiensi penyisihan COD berbanding lurus dengan peningkatan persentase metana yang dihasilkan pada seluruh reaktor. Dengan demikian, penambahan inokulum kotoran sapi terbukti mempercepat *start-up*, meningkatkan efisiensi penyisihan COD, sekaligus memperbesar konversi bahan organik menjadi metana pada pengolahan limbah cair

industri tahu menggunakan ABR, meskipun efluen yang dihasilkan masih memerlukan pengolahan lanjutan agar memenuhi baku mutu.

Kata kunci: *Anaerobic Baffled Reactor*, inokulum kotoran sapi, limbah cair tahu, penyisihan COD, produksi metana

ABSTRACT

The tofu industry generates wastewater with a very high organic load. Preliminary analysis in this study showed wastewater characteristics of COD 8,973 mg/L, TSS 486 mg/L, and pH 4, far exceeding the COD standard of 300 mg/L stipulated in Regulation of the Minister of Environment of the Republic of Indonesia No. 5 of 2014. This wastewater also has a low COD/N ratio due to the high fraction of dissolved soybean protein, which may cause nutrient imbalance during anaerobic treatment. The Anaerobic Baffled Reactor (ABR) is an effective treatment alternative, yet it is frequently constrained by a slow start-up phase caused by volatile fatty acid accumulation and a limited initial methanogenic population. The problems addressed in this study are the effect of cow manure inoculum addition on the start-up phase, COD removal efficiency, methane production, and the relationship between the two. This study aims to analyze the performance of an ABR in removing COD and producing methane from tofu industry wastewater through the addition of cow manure inoculum. The research was conducted experimentally at laboratory scale using a 24 L acrylic ABR operated in semi-batch mode with an HRT of 24 hours, mesophilic conditions, and a controlled pH of 6.5–7.5. The independent variable was the inoculum-to-substrate ratio of 0% (Reactor A), 10% (Reactor B), and 25% (Reactor C), observed on days 0, 7, 14, and 21. COD was analyzed according to SNI 6989.15:2019, biogas volume was measured manometrically, and methane content was determined by Gas Chromatography. The results show that inoculum addition accelerated the start-up phase, with MLSS above 3,000 mg/L reached on day 14 (Reactor C), day 17 (Reactor B), and day 19 (Reactor A). On day 21, the highest COD removal efficiency was achieved by Reactor C at 90.64%, followed by Reactors B and A (83.68–88.18%). Biogas volume increased from 185.53 mL (0%) to 463.83 mL (10%) and 649.36 mL (25%), with the highest methane content of 52.64% and a methane yield of 16.96 mL CH₄/g COD removed in Reactor C. The increase in COD removal efficiency was directly proportional to the increase in methane percentage in all reactors. Therefore, the addition of cow manure inoculum is proven to accelerate the start-up phase, improve COD removal efficiency, and enhance the conversion of organic matter into methane in the treatment of tofu industry wastewater using an ABR, although the

resulting effluent still requires further polishing treatment to comply with the applicable effluent standard.

Keywords: *Anaerobic Baffled Reactor, cow manure inoculum, tofu wastewater, COD removal, methane production*