

# Degradasi Anaerobik Limbah Cair Organik Tinggi dalam Reaktor Digester Tunggal

Dian Ratna Suminar\*, Eli Nuryanti, Mukhtar Ghozali, Rony Pasonang Sihombing,  
Dianty Rosirda Dewi Kurnia, Lidya Risang Ayu

Program Studi Teknik Kimia, Politeknik Negeri Bandung, Indonesia

\*Koresponden email: dian.ratna@polban.ac.id

Diterima: 22 Juni 2026

Disetujui:

## Abstract

One approach to addressing the problem of domestic liquid waste is to utilize it as a feedstock for biogas production. Leachate is treated using anaerobic bacteria in a single digester reactor, producing methane (CH<sub>4</sub>) and carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) as the main products, typically in a ratio of 60:40. The degradation of leachate is enhanced by the addition of cow dung as a microbial inoculum. The parameters analyzed include Chemical Oxygen Demand (COD), Total Suspended Solids (TSS), Volatile Suspended Solids (VSS), alkalinity, pH, and temperature. This treatment process is expected to result in a daily decrease in COD, an increase in TSS and VSS, a pH range of 6–8, and a temperature range of 30–40 °C, which is suitable for the growth of mesophilic bacteria. Alkalinity measurements are used to estimate the CO<sub>2</sub> content in the produced biogas by plotting the values on an alkalinity–pH relationship curve.

**Keywords:** *biogas, anaerobic, single digester reactor, leachate*

## Abstrak

Salah satu cara mengatasi permasalahan limbah cair domestik adalah dengan memanfaatkannya menjadi bahan baku pembuatan biogas. Limbah cair (lindi) diproses dengan memanfaatkan bakteri anaerobik dalam reaktor digester tunggal menghasilkan gas metana (CH<sub>4</sub>) dan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) sebagai produk utama dengan perbandingan 60:40. Degradasi lindi dibantu dengan menggunakan kotoran sapi sebagai sumber bakteri. Parameter yang digunakan sebagai analisa adalah pengukuran COD (Chemical Oxygen Demand), TSS (Total Suspended Solid), VSS (Volatile Suspended Solid), alkalinitas, pH, dan temperatur. Pengolahan lindi ini diharapkan setiap harinya memiliki nilai COD berkurang, TSS dan VSS bertambah besar, pH antara 6-8, dan suhu 30-40 °C (untuk pertumbuhan bakteri mesofilik). Pengukuran alkalinitas untuk mengetahui berapa besar kandungan CO<sub>2</sub> dalam gas produk dengan cara memplotkannya pada grafik alkalinitas vs pH.

**Kata Kunci:** *biogas, anaerobik, reaktor digester tunggal, lindi*

## 1. Pendahuluan

Sampah merupakan masalah dari berbagai negara yang sampai saat ini belum berhasil ditangani secara efektif. Sampah domestik menyebabkan permasalahan lingkungan dan permasalahan kesehatan [1], [2]. Penanganan akhir adalah dengan menempatkan sampah di Tempat Pembuangan Akhir (TPA). Namun lahan TPA yang semakin sempit mengakibatkan permasalahan ini semakin besar [1]. Permasalahan yang timbul dari limbah sampah adalah pencemaran air tanah oleh lindi (*leachate*) karena tidak adanya lapisan dasar dan tanah penutup, sehingga akan menyebabkan lindi semakin banyak. Permasalahan yang lain adalah: pencemaran udara akibat gas, bau dan debu, serta permasalahan kehidupan akuatik karena menurunkan kadar oksigen terlarut [3].

Pengolahan limbah cair yang mengandung senyawa organik umumnya dilakukan secara biologi, yang dapat merombak atau mendegradasi senyawa organik menjadi produk gas dan biomassa padat (*solid biomass*). Pengolahan secara biologi yang melibatkan oksigen dikenal dengan pengolahan *aerob*, sedangkan pengolahan biologi tanpa menggunakan oksigen disebut pengolahan *anaerob* [4]. Pengolahan limbah untuk kandungan organik relatif tinggi (BOD atau COD yang terlalu tinggi), lebih efisien menggunakan pengolahan anaerobik [5]. Keuntungan pengolahan limbah secara anaerobik adalah kebutuhan nutrisi rendah dan produksi lumpur sedikit [6].

Timbunan sampah dan air lindi berdampak buruk pada kualitas air di sekitar TPA, dan menyebabkan ekosistem badan air disekitarnya ikut tercemar [7], [8]. Air lindi terdiri dari zat organik dan anorganik, serta logam berat. BOD (*Biochemical Oxygen Demand*) dan COD (*Chemical Oxygen Demand*) merupakan

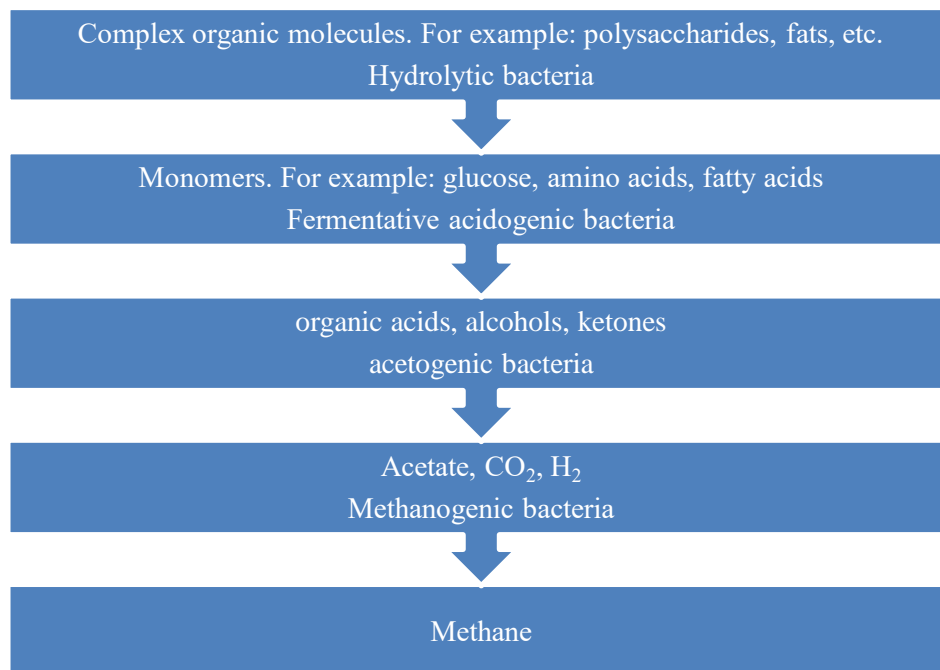
salah satu indikator untuk mengetahui kandungan zat organik dalam air dan menentukan kualitas air lindi [9]. Karakteristik lindi pada landfill umur kurang dari 2 tahun adalah sebanyak 3.000- 60.000 mg/L yang melebihi nilai baku mutu lingkungan yaitu sebesar 150 mg/L [10], [11]. Pengolahan aerobik menjadi tidak efisien, sehingga sebagai alternatif pengolahan limbah lindi dapat dilakukan dengan cara anaerobik[12]. Keuntungan pengolahan anaerobik dibandingkan dengan pengolahan aerobik adalah[11], [13]:

- Lebih hemat energi, karena proses tanpa adanya penambahan udara (aerasi).
- Menghasilkan gas metan ( $\text{CH}_4$ )
- Mampu mengolah limbah dengan nilai BOD dan COD yang tinggi
- Sludge dapat dimanfaatkan sebagai pupuk organik

Proses dekomposisi bahan organik menjadi gas bio secara anaerobik umumnya terjadi dalam tahap berikut[11], [13], [14]:

1. Hidrolisis (pemecahan molekul besar dan kompleks menjadi molekul yang lebih kecil)
2. Asidifikasi (pengasaman: merubah produk dari proses hidrolisis menjadi asam organik, asam asetat)
3. Pembentukan gas metana /biogas (perubahan dari asam asetat menjadi metana dan karbondioksida)

Mekanisme dekomposisi polutan organik dengan menggunakan proses pengolahan limbah secara biologi anaerobik ditunjukkan pada **Gambar 1** [11]:



**Gambar 1.** Dekomposisi Polutan Organik dengan Menggunakan Proses Pengolahan Limbah secara Biologi Anaerobik

Biogas adalah salah satu alternatif sumber energi yang dapat dikembangkan dan dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan manusia akan energi dan dapat digunakan sebagai pengganti minyak tanah dan LPG (liquid petroleum gas)[15], [16].

Faktor-faktor yang berpengaruh terhadap proses anaerobik adalah [17]–[20]:

1. Temperatur
2. pH
3. Pengadukan
4. Rasio substrat/starter
5. Jenis mikroorganisme
6. HRT
7. Jenis substrat

8. Pencampuran
9. Faktor hidrodinamik digester anaerobic

Penelitian ini berfokus kepada pengaruh dari parameter pH, temperature, COD, dan VSS dalam proses pengolahan anaerobik untuk pengolahan limbah lindi dengan menggunakan reaktor digester tunggal.

## 2. Metode Penelitian

### 2.1 Bahan dan Alat

Bahan untuk penelitian ini berasal dari:

- Lindi dari TPS Ciwaruga dan TPS Sarijadi, Bandung
- Starter kotoran sapi dari Cihideung Lembang

Reaktor biogas yang digunakan memiliki komponen tangki utama, saluran *slurry* masuk dan residu keluar, separator, dan saluran gas keluar. Reaktor yang digunakan dalam pengolahan lindi ini termasuk jenis digester kecepatan standar (*low rate digester*). Ciri-ciri Reaktor *low rate digester*, yaitu:

- Tidak memiliki pemanas
- Input dan output dilakukan secara terputus-putus (tidak 24 jam)

Tidak terdapatnya pompa pengaduk, mengakibatkan bahan isian tidak tercampur secara homogen (*Stratification*).

### 2.2 Tahapan proses (Metode):

#### 1. Pengadaan starter bakteri dan bahan baku

Bakteri yang digunakan sebagai starter adalah dari kotoran sapi, yang diambil dari peternakan sapi di Cihideung. Sementara lindi ambil dari Tempat Penampungan Sementara (TPS) Sarijadi, ± 500 meter dari POLBAN. Lindi yang sudah diperoleh disaring sebelum kemudian dimasukkan ke dalam reaktor, sehingga di dalam reaktor tidak terdapat sampah dalam ukuran kasar

#### 2. Pelaparan, seeding, dan aklimatisasi

Kotoran sapi cair (kotoran : air = 2 : 1 kg), didiamkan terlebih dahulu dalam reaktor agar terjadi reaksi anaerob, sampai muncul gas metan dan COD cenderung tidak berubah. Kemunculan gas pada starter tersebut mengakhiri proses pelaparan, kemudian lindi sebagai bahan baku dimasukan dengan debit tertentu secara kontinue tiap hari.

#### 3. Tahap Analisa:

- Analisa gas

Tahap analisa gas terdiri dari analisa gas metana (CH<sub>4</sub>) dan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dengan menggunakan alat emisi gas yang ada di Jurusan Teknik Energi Polban

- Analisa cairan (pH, COD, dan VSS)

### Perhitungan: COD

$$\text{COD (mg/L)} = \frac{(\text{ml FAS blanko} - \text{ml FAS sampel}) \times N \text{ FAS} \times 8000}{\text{ml sampel}} \times p$$

Keterangan:

ml FAS blanko	= Volume FAS yang digunakan untuk blanko
ml FAS sampel	= Volume FAS yang digunakan untuk sampel
N FAS	= Normalitas larutan FAS (Ferro Amonium Sulfat)
8000	= Faktor konversi yang menghubungkan jumlah oksigen yang digunakan dengan volume FAS
p	= Faktor pengenceran

### Perhitungan VSS

$$\text{VSS} = \frac{c-d}{\text{ml sampel}} \times 10^6 \text{ mg/l}$$

Keterangan:

- VSS = *Volatile Suspended Solid*  
 c = Jumlah padatan tersuspensi dalam sampel cairan yang dipisahkan (filtrasi) dan dikeringkan pada 105 °C  
 d = Jumlah padatan tersuspensi yang dapat terurai pada suhu tinggi (550 °C)

#### Perhitungan HRT (*Hydraulic Retention Time*)

$$HRT = \frac{V}{Q}$$

Keterangan:

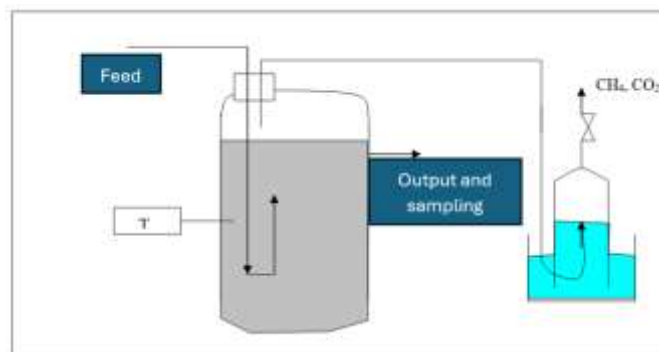
- HRT = Waktu rata-rata cairan tinggal di dalam reaktor  
 V = Volume (m<sup>3</sup>)  
 Q = Laju alir (m<sup>3</sup>/day)

#### Perhitungan % penurunan Limbah [14]

$$\frac{COD \text{ lindi awal} - COD \text{ effluen terkecil}}{COD \text{ lindi awal}} \times 100\%$$

### 3. Hasil dan Pembahasan

Reaktor yang digunakan dalam penelitian ini adalah jerigen dengan volum total 35 liter, berwarna gelap. Sebelum kotoran sapi dimasukkan, dilakukan terlebih dahulu kalibrasi untuk mengetahui volum total reaktor dan mengecek kebocoran. Reaktor dilengkapi dengan termometer untuk mengetahui temperatur di dalam reaktor, saluran keluaran pengambilan sampel (saluran *effluent*), saluran *influent*, dan saluran gas (produk) yang dihubungkan dengan penampung gas. **Gambar 2** menunjukkan reaktor digester tunggal untuk pembentukan biogas secara anaerobik.



**Gambar 2.** Reaktor Digester Tunggal untuk Pembentukan Biogas secara Anaerobik.

Kotoran sapi yang dimasukkan ke dalam reaktor sebanyak 33 liter, tujuannya agar terdapat ruang untuk gas yang dihasilkan, kemudian melalui selang gas tersebut masuk ke dalam penampung gas. Keuntungan reaktor biogas dari jerigen dalam penelitian ini adalah bahan reaktor yang terbuat dari plastik tidak akan terkorosi yang dapat mengakibatkan kebocoran reaktor. Terjadinya korosi/karat ini disebabkan oleh adanya bakteri yang mereduksi sulfat menjadi sulfit, yang ditunjukkan dengan meningkatnya kadar H<sub>2</sub>S atau besi sulfida[21].

Temperatur pada penelitian pembuatan biogas ini temperatur prosesnya berkisar sekitar 25-29°C yang termasuk kedalam temperatur yang rendah atau digester psikofilik. Pada digester psikofilik akan dihasilkan gas dengan kualitas yang lebih baik dan kestabilan proses juga lebih baik. Sesuai dengan penelitian Novita (2018) pada proses anaerobik untuk produksi biogas menggunakan temperatur proses 24,9 – 29 °C[14].

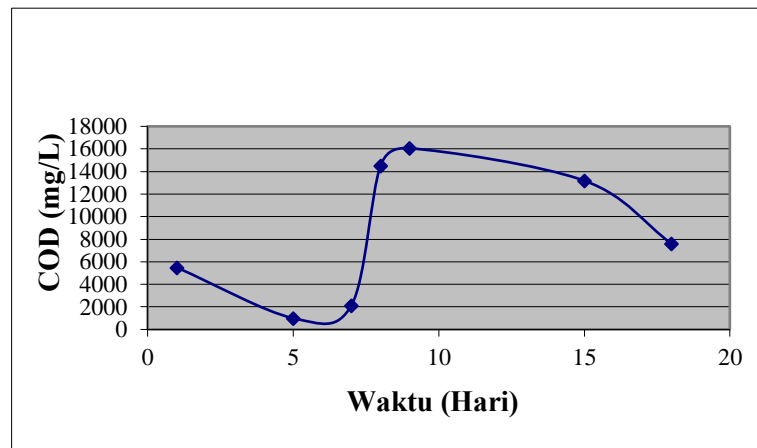
pH pada pembiakan bakteri dari kotoran sapi awalnya sebesar 6,59, kecenderungan secara umum pH mengalami penurunan sampai 5,97. Keadaan ini disebabkan terjadinya reaksi bakteri membentuk senyawa asam-asam volatil. Pada penelitian Iriani (2017), proses asetogenik terjadi pada rentang pH 5,2-5,8[19]. Sedangkan pH lindi awalnya adalah 8,56, kemudian setelah kontak dengan bakteri yang terdapat di reaktor, terjadi penurunan pH sampai nilai 7,00. Nilai ini terus menerus mengalami kenaikan sampai pH 7,51.

Kenaikan pH ini disertai dengan meningkatnya konsentrasi gas metana yang terbentuk. Proses metanogenik terjadi pada rentang pH 6,2-8,1 [12], [19].

Proses pengolahan limbah dengan anaerobik pada penelitian ini terdiri dari dua tahapan: proses batch, dan proses kontinyu setelah masuk ke tahapan metanogenesis. Analisa yang dilakukan adalah: analisa COD, VSS, pH, temperatur, serta analisa gas dengan menggunakan pengecekan emisi gas.

### Analisa COD Proses *Batch*

Pada proses *batch* hanya terdiri dari starter kotoran sapi. Proses *batch* dianggap selesai sampai dengan nilai COD dan VSS turun kemudian konstan. Penurunan nilai COD menunjukkan bahwa substrat yang berasal dari kotoran sapi telah didegradasi oleh bakteri anaerobik sehingga semakin lama substrat-substrat tersebut berkurang dan akhirnya bakteri tidak mampu lagi mendegradasinya yang mengakibatkan nilai COD-nya konstan. Hasil Pengolahan dari analisa COD proses *batch* dapat dilihat dari kurva dibawah ini:

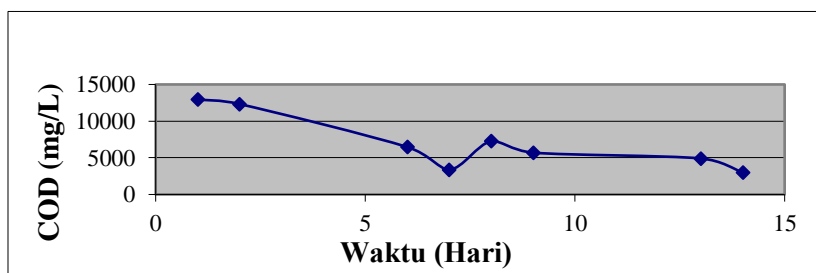


Gambar 3. Analisa COD Pada Reaktor *Batch*

Dari kurva hasil analisa COD proses *batch* dapat dilihat penurunan nilai COD dari hari ke-1 sampai hari ke-5, hal ini menunjukkan bahwa bakteri-bakteri anaerobik mampu menguraikan kandungan organik kotoran sapi. Tetapi pada hari ke-7 sampai dengan hari ke-9 COD meningkat sampai dengan 16058.11 mg/l. Mulai dari hari ke-9 sampai hari ke-19 dapat dilihat bahwa nilai COD menjadi Turun. Hal itu dikarenakan bakteri-bakteri anaerobik dapat menguraikan kandungan kotoran sapi, sehingga pada saat itu merupakan proses metanogenesis, yaitu suatu proses pembentukan gas metan (biogas) [19]. Pada hari ke 14 gas mulai muncul untuk pertama kalinya yang menunjukkan HRT. Volume reaktor adalah 33 liter. Maka didapatkan  $Q = 2,357$  liter/hari. Nilai ini menunjukkan debit lindi yang harus dimasukkan ke dalam reaktor. Akan tetapi pada pelaksanaannya debit lindi yang dimasukkan ke dalam reaktor hanya 1 liter/hari. Hal ini untuk menjaga kemungkinan bakteri mati akibat ketidaksesuaian bakteri dengan lingkungan barunya (lindi). Pada penelitian Novita (2018), tahap pengolahan limbah 14 hari yang mengakibatkan proses hidrolisis yang panjang, sehingga waktu tinggal bahan pencemar semakin lama, makan proses hidrolisisnya semakin baik [14].

### Analisa COD Proses *Continue*

Pada proses *continue* ini merupakan proses penambahan lindi ke dalam kotoran sapi yang telah berhasil melewati masa metanogenesis. Penambahan lindi ke dalam starter kotoran sapi ini yaitu sebanyak 1 liter per hari . Hasil Pengolahan dari analisa COD proses *continue* dapat dilihat dari kurva dibawah ini:

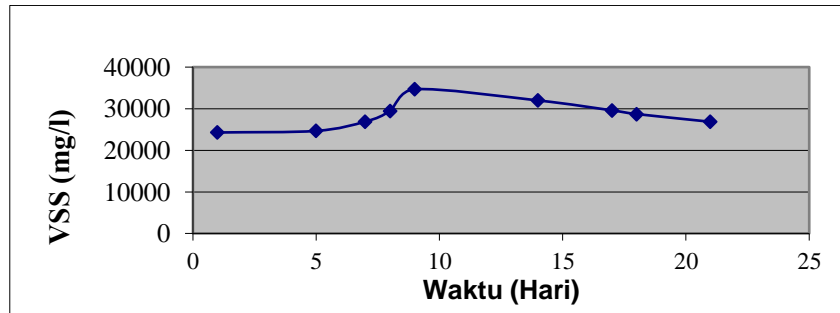


Gambar 4. Analisa COD Proses *Continue*

Kurva tersebut adalah nilai COD efluen lindi setelah masuk reaktor. Dari kurva tersebut diketahui bahwa nilai COD setiap harinya fluktuatif, hal ini dikarenakan pada proses *continue* penambahan lindi dapat mempengaruhi kondisi dalam reaktor. Akan tetapi, secara keseluruhan nilai COD tersebut cenderung mengalami penurunan. Nilai COD terkecil mencapai 1127,17 mg/l, dimana diketahui COD lindi awal (sebelum masuk reaktor) sebesar 21391,87 mg/l. Sehingga diperoleh persen penurunan limbah sebesar 94,72%. Penurunan COD menjadi indikator utama dalam penurunan beban limbah [22].

### Analisa VSS Proses *Batch*

Pada proses *batch* hanya terdiri dari starter kotoran sapi. Proses *batch* dianggap selesai sampai dengan nilai VSS turun kemudian konstan. VSS konstan artinya bakteri sudah berada dalam kondisi stasioner, karena makannya (substrat) sudah berkurang. Hasil Pengolahan dari analisa VSS proses *batch* dapat dilihat dari kurva dibawah ini:

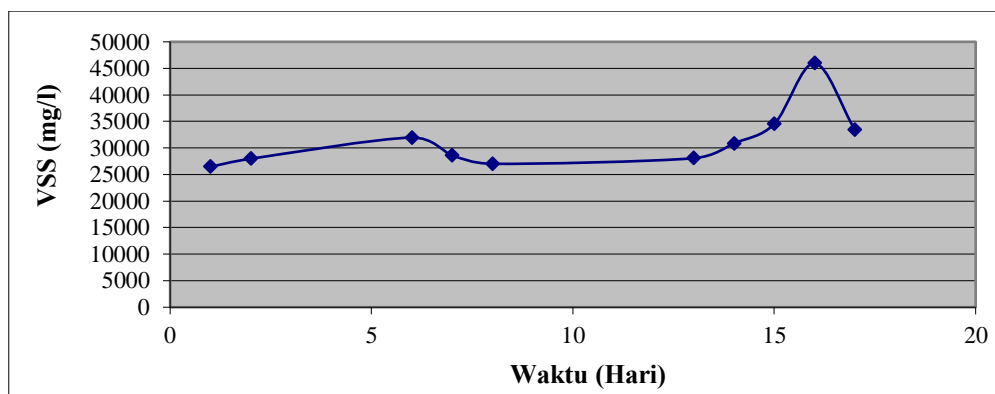


Gambar 5. Analisa VSS Proses *Batch*

Kurva tersebut menampilkan nilai VSS yang naik pada awalnya, kemudian menurun sejak hari ke 14. Pada hari tersebut pula gelembung gas untuk pertama kalinya muncul sebesar 110 ml. Naiknya nilai VSS disebabkan oleh bertambahnya asam-asam volatile akibat dari kemampuan bakteri dalam mendegradasi limbah organik. Asam-asam tersebut kemudian diubah lagi menjadi gas CO<sub>2</sub> dan CH<sub>4</sub> pada proses metanogenesis, sehingga nilai VSS menjadi turun. Penurunan VSS sejalan dengan meningkatnya produksi gas metana [23].

### Analisa VSS Proses *Continue*

Hasil pengolahan dari analisa VSS proses kontinue dapat dilihat dari kurva dibawah ini:

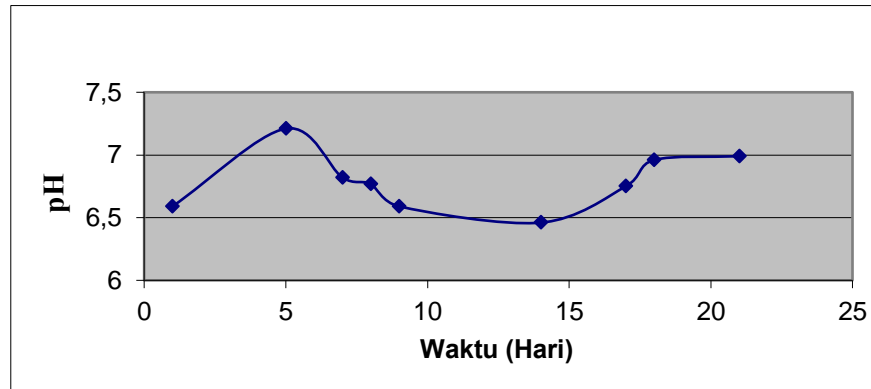


Gambar 6. Analisa VSS Proses *Continue*

Kurva tersebut adalah nilai VSS efluen lindi setelah masuk reaktor. Nilai VSS lindi pada hari ke-1 sampai ke-6 sedikit naik kemudian sampai hari ke-15 terlihat konstan hal itu menunjukkan bahwa bakteri sudah tidak mampu lagi mendegradasi limbah atau sudah berada dalam fase stasioner. Tetapi pada hari ke-16 nilai VSS effluent naik sampai dengan 45955 mg/L dan pada hari ke-17 nilai VSS effluent menurun hingga 33440 mg/L, ini menunjukkan data VSS effluent yang fluktuatif. Hal ini dikarenakan adanya penambahan lindi sebanyak 1 Liter untuk setiap harinya dapat mempengaruhi kondisi di dalam reaktor, termasuk nilai COD. Kadar VSS sangat berpengaruh terhadap proses anaerobik [23].

### Analisa pH Proses *Batch*

Analisa pH dilakukan setiap hari dengan menggunakan pH meter. Pada proses *batch* ini pH yang diukur merupakan starter kotoran sapi tanpa penambahan lindi. Hasil Pengolahan dari analisa pH proses *batch* dapat dilihat dari kurva dibawah ini:

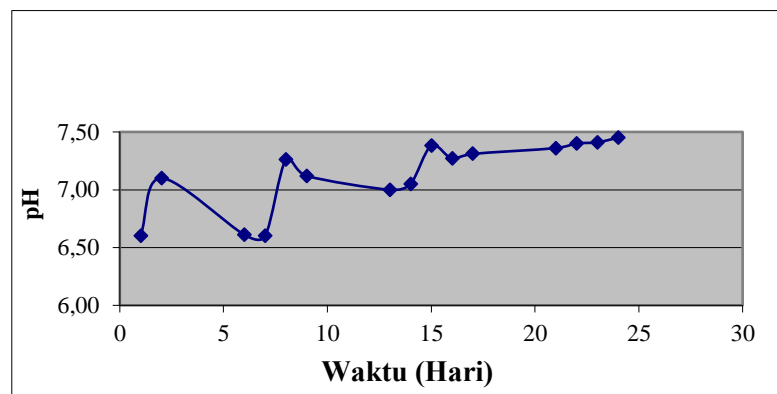


Gambar 7. Analisa pH Proses *Batch*

Dari kurva diatas dapat dilihat dari hari ke-1 sampai dengan hari ke-14 secara umum mengalami penurunan hal ini menunjukkan bahwa bakteri yang terdapat dalam starter kotoran sapi mengalami proses asidifikasi (pengasaman). Pada hari ke-17 sampai hari ke-21 pH mengalami kenaikan sampai dengan 6,99 hal ini menunjukkan bahwa dimulainya tahap metanogenesis [12], [19].

### Analisa pH Proses *Continue*

Pada proses *continue* ini pH yang diukur merupakan starter kotoran sapi yang ditambahkan lindi. Hasil Pengolahan dari analisa pH proses kontinue dapat dilihat dari kurva dibawah ini:

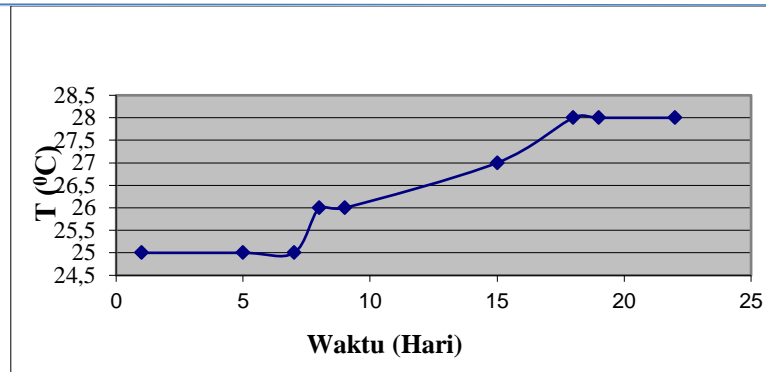


Gambar 8. Analisa pH Proses *Continue*

Dari kurva diatas dapat dilihat kurva pH pada proses *continue* secara umum fluktuatif yaitu dari hari ke-1 sampai dengan hari ke-15, hal ini dikarenakan ketidakstabilan lindi yang dimasukan ke dalam reaktor karena penyimpanan lindi diluar kulkas, hanya disimpan dalam bak es yang sewaktu-waktu dapat mencair dan pada hari libur tidak dilakukan penambahan es. Pada hari ke-16 sampai dengan hari ke-24 pH mengalami kenaikan sampai dengan 7,45 ini menunjukkan bakteri yang terdapat dalam lindi dan starter mengalami proses metanogenesis (pembentukan gas metan) [19].

### Pengamatan Temperatur Proses *Batch*

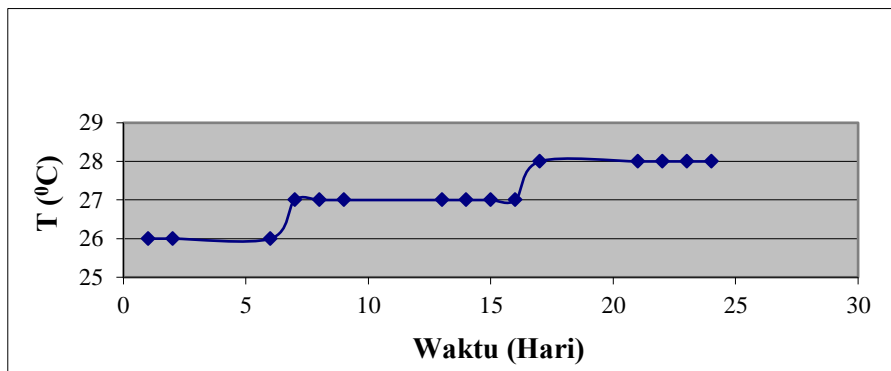
Hasil Pengolahan dari pengamatan temperatur proses *batch* dapat dilihat dari kurva pada Gambar 9. Temperatur starter kotoran sapi dalam reaktor berkisar antara 25-28 °C. Kondisi ini menunjukkan bahwa temperatur starter dalam reaktor berkisar pada rentang yang psikofilik. Walaupun temperatur starter yang terdapat didalam reaktor tidak mencapai temperatur optimum (sekitar 35 °C) karena di dalam reaktor biogas tidak terdapat pemanas tapi pada rentang psikofilik ini masih dapat menghasilkan biogas. Suhu 25 °C adalah suhu optimal terjadi proses hidrolisis dan asidifikasi, dan semakin meningkatnya suhu menunjukkan terjadinya proses metanogenesis [14].



Gambar 9. Analisa suhu Proses *Batch*

### Pengamatan Temperatur Proses *Continue*

Hasil Pengolahan dari pengamatan temperatur proses kontinue dapat dilihat dari kurva dibawah ini

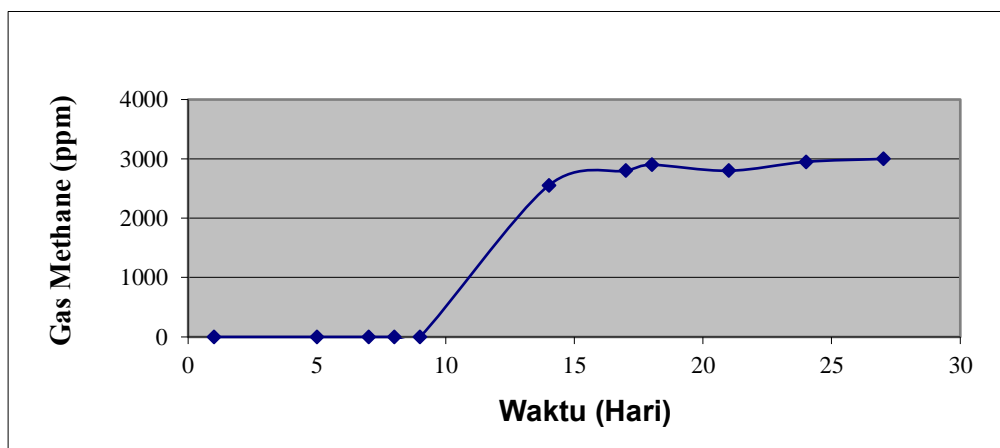


Gambar 10. Analisa suhu Proses *Continue*

Dari kurva diatas dapat dilihat temperatur lindi dan starter kotoran sapi berkisar antara 26-28 °C. Kondisi ini menunjukkan bahwa temperatur starter dalam reaktor berkisar pada rentang yang psikofilik [24]. Temperatur pada proses *continue* ini menurun apabila dibandingkan dengan temperatur akhir pada proses *batch* yaitu dari 28 °C ke 26 °C hal ini dikarenakan lindi yang dimasukkan ke dalam starter kotoran sapi dalam keadaan dingin. Penurunan temperatur menyebabkan keberadaan bakteri metanogenesis berubah [25], [26].

### Analisa Gas

Analisa gas metana dimulai pada hari ke 15 sampai hari ke 35 pada proses *continue*, karena pada hari tersebut sudah terdapat sample yang cukup memenuhi kebutuhan untuk analisa dengan menggunakan *Gas Emission Analyzer*. Tujuan dari analisa gas ini untuk mendapatkan konsentrasi metana (ppm) yang terkandung dalam biogas. Berikut adalah grafik gas metana:



Gambar 11. Produksi Gas Metana

Dari grafik di atas, terlihat bahwa konsentrasi gas metana yang terkandung dalam biogas fluktuatif. Dari hari ke 15 sampai ke 17 konsentrasi gas metana mengalami kenaikan, hal ini menunjukkan kualitas gas metana semakin baik. Akan tetapi, mulai pada hari ke-20 konsentrasi gas metana fluktuatif. Laju produksi gas metana yang fluktuatif karena adanya penurunan pH dan perubahan kondisi operasi [27].

#### 4. Kesimpulan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses pengolahan lindi (leachate) mampu menghasilkan gas metana dengan konsentrasi berkisar antara 2.596–4.107 ppm selama periode pengambilan data selama 20 hari. Produksi gas metana ini mengindikasikan bahwa proses degradasi anaerobik terhadap bahan organik dalam lindi berlangsung secara aktif dan konsisten sepanjang periode pengamatan. Sejalan dengan hal tersebut, efektivitas proses pengolahan juga tercermin dari penurunan nilai Chemical Oxygen Demand (COD) lindi yang mencapai 94,72%, yang menunjukkan bahwa sebagian besar bahan organik terlarut dalam lindi berhasil didegradasi secara efisien oleh mikroorganisme selama proses berlangsung.

Selain parameter produksi gas dan efisiensi penurunan COD, kondisi operasional selama penelitian juga berada pada rentang yang mendukung aktivitas mikroorganisme anaerobik secara optimal. Suhu proses tercatat berkisar antara 25–28°C, yang merupakan rentang suhu mesofilik ideal bagi pertumbuhan dan aktivitas bakteri metanogenik. Adapun nilai pH selama penelitian berada pada kisaran 6,59–6,99 untuk proses batch dan 6,60–7,45 untuk proses continue, yang keduanya berada dalam rentang pH netral yang sesuai bagi stabilitas proses anaerobik dan pembentukan gas metana secara berkelanjutan.

#### 5. Ucapan Terima Kasih

Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada Politeknik Negeri Bandung atas bantuan dana hibah yang diberikan dalam melaksanakan penelitian ini (DIPA Polban).

#### 6. Singkatan

<i>COD</i>	<i>Chemical Oxygen Demand</i>
<i>TSS</i>	<i>Total Suspended Solids</i>
<i>VSS</i>	<i>Volatile Suspended Solids</i>
<i>BOD</i>	<i>Biochemical Oxygen Demand</i>
<i>HRT</i>	<i>Hydraulic Retention Time</i>

#### 7. Daftar Pustaka

- [1] S. A. Mulasari, A. H. Husodo, and N. Muhadjir, "Kebijakan Pemerintah dalam Pengelolaan Sampah Domestik," *Kesmas Natl. Public Heal. J.*, vol. 8, no. 8, p. 404, 2014, doi: 10.21109/kesmas.v8i8.412.
- [2] A. Salsabella, A. Widiyanti, and M. R. Dani Santoso, "Studi Pemilahan Sampah Domestik Di Tempat Pengolahan Sampah Terpadu (TPST) Tambakrejo Kecamatan Waru Kabupaten Sidoarjo," *J. Teknol. Lingkung. Lahan Basah*, vol. 11, no. 1, p. 001, 2023, doi: 10.26418/jtlb.v11i1.56528.
- [3] A. S. Sudarwanto, "Peran Strategis Perempuan Dalam Pengelolaan Limbah Padat Bernilai Ekonomi," *J. EKOSAINS*, vol. II, no. 1, pp. 65–74, 2010.
- [4] L. I. Utami, W. Wihandhita, S. Marsela, and K. N. Wahyusi, "Pengolahan limbah cair minyak bumi secara biologi aerob proses batch," *J. Tek. Kim.*, vol. 11, no. 2, pp. 37–41, 2017, [Online]. Available: <http://www.ejournal.upnjatim.ac.id/index.php/tekkim/article/viewFile/828/692>
- [5] N. Adi Rohmana, N. Azizah, and N. Hidayat, "Teknologi Penanganan Limbah Cair Industri Pengolahan Susu Sapi Secara Biologis: Artikel Review," *Biotropika J. Trop. Biol.*, vol. 9, no. 2, pp. 121–130, 2021, doi: 10.21776/ub.biotropika.2021.009.02.04.
- [6] D. Karadag, O. E. Köroğlu, B. Ozkaya, and M. Cakmakci, "A review on anaerobic biofilm reactors for the treatment of dairy industry wastewater," *Process Biochem.*, vol. 50, no. 2, pp. 262–271, 2015, doi: 10.1016/j.procbio.2014.11.005.
- [7] C. Ling and Q. Zhang, "Evaluation of surface water and groundwater contamination in a MSW landfill area using hydrochemical analysis and electrical resistivity tomography: a case study in Sichuan province, Southwest China," *Environ. Monit. Assess.*, vol. 189, no. 4, 2017, doi: 10.1007/s10661-017-5832-7.
- [8] S. Royani, A. S. Fitriana, A. B. P. Enarga, and H. Z. Bagaskara, "Kajian Cod Dan Bod Dalam Air Di Lingkungan Tempat Pemrosesan Akhir (Tpa) Sampah Kaliori Kabupaten Banyumas," *J. Sains & Teknologi Lingkung.*, vol. 13, no. 1, pp. 40–49, 2021, doi: 10.20885/jstl.vol13.iss1.art4.

- [9] E. Koda, A. Miszowska, and A. Siczka, "Levels of organic pollution indicators in groundwater at the old landfill and waste management site," *Appl. Sci.*, vol. 7, no. 6, 2017, doi: 10.3390/app7060638.
- [10] KLHK No. P.16, "Permen KLHK," *Peratur. Menteri Lingkung. Hidup Dan Kehutan. Republik Indones. Perubahan Kedua atas Peratur. Menteri Lingkung. Hidup Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2019, [Online]. Available: file:///C:/Users/User/Downloads/fvm939e.pdf
- [11] N. I. Said and D. R. K. Hartaja, "Pengolahan Air Lindi Dengan Proses Biofilter Anaerob-Aerob Dan Denitrifikasi," *J. Air Indones.*, vol. 8, no. 1, 2018, doi: 10.29122/jai.v8i1.2380.
- [12] L. I. Ramadhani, A. D. Kirana, G. A. Khairani, and H. Budastuti, "Pengaruh Penggunaan Bioreaktor Dua Tahap terhadap," vol. IX, no. 4, pp. 10784–10789, 2024.
- [13] W. S. Winanti, P. Prasetiyadi, and W. Wiharja, "Pengolahan Palm Oil Mill Effluent (POME) menjadi Biogas dengan Sistem Anaerobik Tipe Fixed Bed tanpa Proses Netralisasi," *J. Teknol. Lingkung.*, vol. 20, no. 1, p. 143, 2019, doi: 10.29122/jtl.v20i1.3248.
- [14] E. Novita, S. Wahyuningsih, and H. A. Pradana, "Variasi Komposisi Input Proses Anaerobik Untuk Produksi Biogas Pada Penanganan Limbah Cair Kopi," *J. Agroteknologi*, vol. 12, no. 01, p. 43, 2018, doi: 10.19184/j-agt.v12i1.7887.
- [15] M. S. Desy Rahmayanti, Abdi Dharma, "Fermentasi Anaerob dari Sampah Pasar Untuk Pembentukan Biogas," *J. Kim. Unand*, vol. 2, pp. 66–71, 2013.
- [16] R. Indrawati, "Penurunan Bod Pada Biogas Kotoran Sapi Campuran Limbah Cair Industri Penyamakan Kulit Dengan Variasi Kecepatan Dan Lama Pengadukan," *J. Res. Technol.*, vol. 3, no. 2, pp. 44–53, 2017, doi: 10.55732/jrt.v3i2.239.
- [17] P. Prayitno, Sri Rulianah, and Hilman Nurmahdi, "Pembuatan Biogas dari Limbah Cair Tahu Menggunakan Bakteri Indigeneous," *J. Tek. Kim. dan Lingkung.*, vol. 4, no. 2, pp. 90–95, 2020, doi: 10.33795/jtkl.v4i2.141.
- [18] B. A. Adem Yilmaz, Sinan Unvar, Abdulkadir Kocer, "Factors Affecting the Production of Mycotoxins," *Int. J. Sci. Eng. Res.*, vol. 9, no. 5, 2018, doi: 10.1111/j.1365-2672.1971.tb02278.x.
- [19] P. Iriani, Y. Suprianti, and F. Yulistiani, "Fermentasi Anaerobik Biogas Dua Tahap Dengan Aklimatisasi dan Pengkondisian pH Fermentasi," *J. Tek. Kim. dan Lingkung.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–10, 2017, doi: 10.33795/jtkl.v1i1.16.
- [20] B. Singh, Z. Szamosi, and Z. Siménfalvi, "State of the art on mixing in an anaerobic digester: A review," *Renew. Energy*, vol. 141, pp. 922–936, 2019, doi: 10.1016/j.renene.2019.04.072.
- [21] Y. F. da Lopez, "Korosi dan Pencegahan Korosi," *Politek. Pertan. Negeri Kupang*, pp. 1–5, 2023.
- [22] G. A. Al Bazedid and M. A. Abdel-Fatah, "Correlation between operating parameters and removal efficiency for chemically enhanced primary treatment system of wastewater," *Bull. Natl. Res. Cent.*, vol. 44, no. 1, 2020, doi: 10.1186/s42269-020-00368-y.
- [23] J. Kuo and J. Dow, "Biogas production from anaerobic digestion of food waste and relevant air quality implications," *J. Air Waste Manag. Assoc.*, vol. 67, no. 9, pp. 1000–1011, 2017, doi: 10.1080/10962247.2017.1316326.
- [24] B. Chala, H. Oechsner, and J. Müller, "Introducing temperature as variable parameter into kinetic models for anaerobic fermentation of coffee husk, pulp and mucilage," *Appl. Sci.*, vol. 9, no. 3, 2019, doi: 10.3390/app9030412.
- [25] K. Navickas, K. Venslauskas, A. Petrauskas, and V. Zuperka, "Influence of temperature variation on biogas yield from industrial wastes and energy plants," *Eng. Rural Dev.*, pp. 405–410, 2013.
- [26] M. chang Wu, K. wei Sun, and Y. Zhang, "Influence of temperature fluctuation on thermophilic anaerobic digestion of municipal organic solid waste.," *J. Zhejiang Univ. Sci. B.*, vol. 7, no. 3, pp. 180–185, 2006, doi: 10.1631/jzus.2006.B0180.
- [27] S. Qian *et al.*, "Research on Methane-Rich Biogas Production Technology by Anaerobic Digestion Under Carbon Neutrality: A Review," *Sustain.*, vol. 17, no. 4, 2025, doi: 10.3390/su17041425.