

## Potensi Jeroan Ikan Laut Sebagai *Starter An-Aerobik* Untuk Produksi Biogas Dari *Co-Digestion* Kiambang dan Kulit Jagung

Suhirman<sup>1\*</sup>, Sela Kong<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Teknologi Proses Industri Petrokimia, Politeknik Industri Petrokimia Banten  
Jl. Raya Karang Bolong, Cikoneng, Kec. Anyar, Kabupaten Serang, Banten, Indonesia

<sup>2</sup> Department of Research, University of Puthisastra  
55, Street 180-184 Sangkat Boeung Raing, Khan Daun Penh, Phnom Penh, Cambodia

\*Email: [suhirman.suhirman@poltek-petrokimia.ac.id](mailto:suhirman.suhirman@poltek-petrokimia.ac.id)

### Abstrak

Kota Cilegon, Provinsi Banten, Indonesia, menghasilkan limbah organik melimpah berupa jeroan ikan laut (*marine fish viscera, MFV*) dari aktivitas pembersihan ikan di pasar tradisional yang hingga kini belum dimanfaatkan secara optimal. Penelitian ini bertujuan menganalisis potensi MFV sebagai starter bakteri alternatif pada produksi biogas melalui proses *co-digestion* biomassa kiambang (KIM) dan kulit jagung (KJ). Biomassa KIM dan KJ di-pretreatment secara fisik hingga ukuran partikel 50–60 mesh, dilanjutkan dengan pretreatment kimia menggunakan larutan NaOH 0,1 M, kemudian dikeringkan pada suhu 60 °C selama 24 jam. Variasi perbandingan KIM:KJ yang digunakan meliputi 10:0, 8:2, 6:4, 4:6, 2:8, dan 0:10 dengan total padatan (*total solids, TS*) sebesar 10 g. Selain itu, rasio biomassa terhadap starter MFV divariasikan sebesar 1:0,5; 1:1; 1:1,5; dan 1:2. Proses fermentasi dilakukan dalam reaktor batch anaerob dengan pH awal 8 dan penambahan air 160 mL per 10 g TS. Analisa gas metana menggunakan GC Shimadzu 8A TDC-Badan riset dan Inovasi Nasional. Volume biogas diukur setiap 2 hari selama proses fermentasi 50 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa komposisi biomassa optimum diperoleh pada perbandingan 4 g KIM dan 6 g KJ dengan produksi biogas sebesar 65 mL g<sup>-1</sup> TS. Rasio starter optimum 1:1 menghasilkan volume biogas total 986 mL, rendemen 99 mL g<sup>-1</sup> TS, dan konversi bahan organik sebesar 65% selama 50 hari fermentasi, dengan kandungan metana mencapai 60% (w/w). Penelitian ini memiliki kebaruan melalui penerapan MFV pada *codigestion* KIM dan KJ yang belum pernah dikaji, padahal berpotensi meningkatkan yield produksi biogas.

**Kata kunci:** Biogas, Kiambang, Jeroan Ikan, Kulit Jagung, Ikan Laut

### Abstract

Cilegon City, Banten Province, Indonesia, generates abundant organic waste in the form of marine fish viscera (MFV) from fish-cleaning activities in traditional markets, which remains largely underutilized. This study aimed to evaluate the potential of MFV as an alternative bacterial starter for biogas production through the *co-digestion* of water hyacinth (KIM) and corn husk (KJ) biomass. Prior to digestion, KIM and KJ were physically pretreated to a particle size of 50–60 mesh, followed by chemical pretreatment using 0.1 M NaOH. The pretreated biomass was then oven-dried at 60 °C for 24 h. Various KIM:KJ mass ratios were investigated, including 10:0, 8:2, 6:4, 4:6, 2:8, and 0:10, with a constant total solids (TS) content of 10 g. In addition, the biomass-to-MFV starter ratios were varied at 1:0.5, 1:1, 1:1.5, and 1:2. Anaerobic batch fermentation was conducted at an initial pH of 8 with the addition of 160 mL of distilled water per 10 g TS. Methane content was analyzed using a Shimadzu GC-8A equipped with a thermal conductivity detector (TCD) at the National Research and Innovation Agency (BRIN), Indonesia. Biogas volume was measured at two-day intervals over a 50-day fermentation period. The results demonstrated that the optimum biomass composition was achieved at a KIM:KJ ratio of 4:6, yielding a biogas production of 65 mL g<sup>-1</sup> TS. The optimum biomass-to-starter ratio of 1:1 resulted in a total biogas volume of 986 mL, a biogas yield of 99 mL g<sup>-1</sup> TS, and an organic matter conversion efficiency of 65% after 50 days of fermentation, with methane content reaching 60% (v/v). This study presents novelty by demonstrating, for the first time, the application of marine fish viscera as a bacterial starter in the *co-digestion* of KIM and KJ, highlighting its significant potential to enhance biogas yield while simultaneously valorizing marine processing waste.

**Keywords:** Biogas, Kiambang, Fish Viscera, Corn Husk, Marine Fish

## 1. PENDAHULUAN

Biogas merupakan salah satu energi baru berbahan biomassa yang dapat menggantikan energi fosil seperti gas alam. Dalam biogas terkandung  $\text{CH}_4$  atau gas metana yang merupakan hidrokarbon sebagai bahan bakar (Syaichurrozi dkk., 2018).

Pada umumnya biogas bersumber dari satu jenis biomassa seperti jerami padi, kulit durian, kulit jagung atau bonggol jagung (Dwityaningsih dkk., 2024). Biogas berbahan kiambang (*Salvinia molesta*) (suhirman, 2023). Penelitian yang mengkombinasikan antara kulit jagung dengan Kiambang belum dilakukan padahal kedua sumber ini sangat melimpah di Indonesia khususnya di provinsi Banten. Kiambang tinggi kandungan Nitrogen (N) dan kulit jagung tinggi kandungan Carbon (C) Sehingga bisa mendapatkan perbandingan C/N terbaik yaitu 20-30 (I.R. Zulkarnaen dkk., 2018). Kadar karbon terlalu tinggi mengakibatkan dekomposisi menjadi lambat dan meningkatkan kebutuhan oksigen sehingga menghambat pertumbuhan mikroorganisme dalam membentuk tahap hidrolisis, asidogenesis, asetogenesis dan metanogenesis (Syaichurrozi dkk., 2018).

Pada tahap awal produksi biogas membutuhkan *starter* untuk sumber bakteri, pada penelitian yang sedang berkembang memfokuskan bahan *starter* dari rumen sapi, padahal untuk mendapatkan bahan rumen sapi cukup sulit yaitu biasanya harus dipagi hari. Perbandingan 1:1 antara sumber biogas dengan *starter* rumen sapi yang menghasilkan 273 mL (Anggakara dkk., 2013). Perbandingan 3 g Jerami padi; 1 g *starter* rumen sapi dan 1 g jeroan ikan menghasilkan 350 liter biogas (Damayanti dkk., 2024).

Jeroan ikan memiliki fungsi yang cenderung sama dengan rumen sapi yaitu sebagai *starter* pada pembuatan biogas karena kandungan mikroorganisme. Jeroan ikan yang biasanya dipakai adalah limbah campuran dari beberapa jenis jeroan ikan, jeroan hewan, rumen sapi dan bakteri murni. Contohnya Seperti 1 g jeroan kambing; 0,2 g jeroan ikan (Nabila & Hendriyanto, 2021). Fungsi dari *starter* adalah menyediakan mikroorganisme pada proses pembentukan biogas dengan bervariasi (Garwan et al., 2022).

Jenis jeroan ikan yang dapat digunakan sebagai *starter* pada produksi biogas yaitu menggunakan aneka campuran jeroan ikan dengan biomassa eceng gondok (Dwityaningsih

dkk., 2024). Jenis jeroan ikan yang dapat dijadikan *starter* pada produksi biogas yaitu ikan laut dan ikan air tawar, kisaran biogas yang dihasilkan dengan *starter* ikan 750 mL  $\text{CH}_4$  per g total solid. Jeroan ikan dapat dikombinasikan dengan rumen sapi sebagai *starter* yang dapat menghasilkan *yield* produksi biogas 85% (Vivekanand dkk., 2018).

Jeroan ikan laut memiliki beberapa keunggulan sebagai *starter* dalam produksi biogas, antara lain ketersediaannya yang lebih melimpah sehingga mudah diperoleh dibandingkan jeroan jenis lain, serta tidak menimbulkan bau menyengat sehingga lebih mudah diaplikasikan. Pemanfaatan jeroan ikan laut sebagai *starter* juga berkontribusi dalam mengatasi permasalahan lingkungan melalui pengelolaan limbah organik. Selain itu, jeroan ikan laut memiliki kandungan protein yang relatif tinggi, yaitu sekitar 15–20%, sehingga berpotensi menyediakan sumber nitrogen yang lebih baik dibandingkan jeroan ikan air tawar untuk mendukung aktivitas mikroorganisme anaerob (Sulthan dan Okik Hendri C, 2021).

Limbah jeroan ikan laut di pasar didominasi oleh tongkol (22,7%), cakalang (18,6%), tuna (15,5%), kembung (12,4%), kakap merah (8,2%), tenggiri (7,2%), lemuru (6,2%), manyung (5,2%), dan pari (4,0%). Komposisi ini menunjukkan bahwa tongkol, cakalang, dan tuna merupakan sumber utama limbah jeroan ikan laut yang berpotensi dimanfaatkan sebagai *starter* mikroorganisme biogas (Fariadi dkk., 2024).



**Gambar 1.** Jeroan Ikan Laut

Penelitian yang memfokuskan pada jeroan ikan laut sebagai *starter* pada produksi biogas berbahan KIM dan KJ masih belum ada. Melihat potensinya sendiri di kota Cilegon maka jeroan ikan laut sangat melimpah. Jeroan

ikan laut merupakan produksi samping dari pembersihan ikan laut di pasar yang dapat dikembangkan sebagai *starter* terbaru pada produksi biogas (Aryani dkk., 2024). Jeroan ikan dengan komposisi 500 g jeroan ikan, 1 liter air kelapa, dan 300 g gula merah menghasilkan total bakteri sebesar  $6,85 \times 10^6$  CFU/mL jenis bakteri asam laktat (Engga dkk., 2022; Safitri dkk., 2023).

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis potensi MFV sebagai *starter* bakteri alternatif dalam produksi biogas melalui proses *co-digestion* biomassa kiambang (KIM) dan kulit jagung (KJ). Penambahan starter jeroan ikan laut yang kaya akan mikroorganisme serta memiliki kandungan protein tinggi mampu mempercepat pembentukan gas metana. Selain itu, kandungan protein tersebut berperan dalam meningkatkan kadar nitrogen pada substrat, sehingga rasio C/N menjadi lebih seimbang dan proses produksi biogas berlangsung lebih optimal.

Sebagai pembanding, *codigestion* kiambang dan jerami padi (4:6) dengan starter rumen sapi menghasilkan yield biogas yang lebih rendah, yaitu 53,25–61,38 mL/g total *solid*. Penggunaan starter bakteri murni menghasilkan *yield* sekitar 45–55 mL/g total *solid* namun membutuhkan biaya tinggi, sedangkan starter bakteri dari ikan tawar menunjukkan *yield* <50 mL/g total *solid* dengan ketersediaan terbatas. Hal ini menegaskan bahwa pemilihan starter berpengaruh terhadap efisiensi *an-aerobic codigestion* dan mendukung pemanfaatan starter jeroan ikan yang lebih berkelanjutan dan berpotensi dikembangkan pada skala industri.

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

### 2.1 Biomassa dan Inokulum

Kiambang atau *Salvinia molesta* (KIM) diperoleh dari daerah Lebak, Provinsi Banten-Indonesia (Budiyono dkk., 2021). Sedangkan limbah kulit jagung (KJ) diperoleh dari Perkebunan daerah wisata Gunung Curi, Lebak Provinsi Banten Indonesia. Inokulum yang digunakan adalah spesifik jeroan ikan laut (MFV). Adapun jenis ikan laut yang digunakan adalah ikan tongkol, cakalang, ikan kembung, kakap merah, tenggiri dan Jeroan ikan bandeng diperoleh dari Pasar Kelapa Cilegon, Provinsi Banten (Irnawati dkk., 2020).



**Gambar 2. (a) Kiambang (KIM) (b) Kulit Jagung (KJ)**

### 2.2 Prosedur

#### 2.1 Pre-treatment KIM dan KJ

Kiambang dan kulit jagung dijemur sinar matahari selama 24 jam. Lalu biomassa diperkecil ukurannya menjadi 50-60 *mesh* dan dikenai *pretreatment* dengan NaOH 0,1 Molar selama 12 jam. Tahap selanjutnya dikeringkan dalam oven selama 7 jam pada suhu 60°C (Budiyono dkk., 2023).



Keterangan: (1) Reaktor biogas, (2) Pipa karet, (3) Gelas ukur, (4) Gelas beker

**Gambar 3. Rangkaian Alat Produksi Biogas**

#### 2.1 Codigestion Biogas

Pembuatan biogas dilakukan sesuai dengan variabel penelitian yang disajikan pada Tabel 1. Biomassa hasil treatment dimasukkan kedalam *reactor batch* dengan ditambahkan air pada perbandingan 1 g:160 mL aquadest. Mengatur pH awal yang yaitu pada pH 8 (Budiyono dkk., 2021). Menambahkan inokulan jeroan ikan laut sesuai dengan variabel penelitian. Pengukuran biogas dilakukan selama 30 hari untuk variasi KIM:KJ dan 50 hari untuk TS:starter dengan pengecekan setiap dua hari (Anggakara dkk., 2013).

**Tabel 1 Variabel Penelitian**

KIM:KJ (mL)	MFV (mL)	Air (mL)	Waktu (Hari)	Pengulangan
0:10	10	160	30	3
8:2	10	160	30	3
6:4	10	160	30	3
4:6	10	160	30	3
2:8	10	160	30	3
0:10	10	160	30	3
Terbaik	5	160	50	3
Terbaik	10	160	50	3
Terbaik	15	160	50	3
Terbaik	20	160	50	3

### 2.3 Analisa

#### 2.3.1 Pengukuran Biogas

Volume biogas diukur secara manual menggunakan *water displacement method*. Biogas yang terbentuk mendorong *fluida* cair, dan volume *fluida* yang berpindah dianggap setara dengan volume biogas yang dihasilkan. Sampel dilakukan pengulangan sebanyak tiga kali. Kemudian menganalisa menggunakan metode ANOVA dan Uji Tukey HSD (post-hoc).

#### 2.3.1 Pengukuran Kandungan Biogas

Biogas yang dihasilkan dari variabel terbaik ditampung dalam botol biogas selama 50 hari. Kemudian biogas tersebut di analisa kadar metana dalam biogas menggunakan GC Shimadzu 8A TDC-Badan riset dan Inovasi Nasional (Syaichurrozi dkk., 2018).

#### 2.3.1 Pengukuran MVLS

Setelah produksi biogas selesai selama 50 hari, maka mengitung total padatan dalam volume biogas. Pengeringan dilakukan pada suhu 105 °C dengan waktu pengecekan setiap 5 menit sampai massa total padatan tetap (Syaichurrozi dkk., 2018).

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kiambang menjadi gulma pengganggu sektor pertanian yang belum diatasi dengan tepat yang memiliki kandungan nitrogen sebesar 0,56 dan karbon sebesar 25 sehingga nitrogen/karbon atau C/N yaitu 45. Sedangkan limbah pertanian kulit jagung memiliki nitrogen sebesar 1,47 dan karbon sebesar 40, sehingga C/N sebesar 27 (Evi Arianingsih dkk., 2021). Metode campuran bertujuan untuk memperoleh C/N pada rentang optimum sehingga meningkatkan produksi biogas, menurut Rahmadian pada tahun 2008 berada pada

rentang 25-30 (Budiyono dkk., 2023). Hasil pengujian yang telah dilakukan pada sampel kiambang disajikan dalam Tabel 2.

**Tabel 2 Kandungan Kiambang (*Salvinia molesta*)**

Komponen	Kandungan	Satuan
H <sub>2</sub> O	13,02	% Bahan
Total Solid (TS)	86,98	% Bahan
Abu	41,58	%TS
Kadar Lemak Kasar	0,93	%TS
Kadar Serat Kasar	25,40	%TS
Kadar Protein Kasar	3,53	%TS
Kadar Hemiselulosa	12,57	% SK
Kadar Selulosa	8,28	% SK
Kadar Lignin	53,11	% SK
NDF	73,97	% SK
ADF	61,39	% SK

### 3.1 Hubungan Perbandingan Kiambang dan Kulit Jagung terhadap Volume Biogas

Pada skenario pertama, penelitian ini menetapkan rasio 1 g TS:160 mL air, pH awal yaitu 8, dan jeroan ikan laut 1:1 sebagai variabel tetap, sedangkan perbandingan kiambang dan kulit jagung digunakan sebagai variabel bebas untuk menentukan volume biogas optimal.

Berdasarkan hasil analisis, kulit jagung (KJ) memiliki kandungan karbon (C) sebesar 40% dan nitrogen (N) sebesar 1,47% dari total substrat. Dengan menggunakan Persamaan (1), diperoleh rasio C/N sebesar 27,21. Nilai ini berada dalam rentang optimal rasio C/N untuk proses pencernaan anaerob, yaitu 25–30, sehingga kulit jagung secara single digestion berpotensi menghasilkan biogas secara optimal. Namun, pada penelitian ini kulit jagung digunakan dalam sistem co-digestion dengan kiambang, yang memiliki rasio C/N sangat tinggi, dengan tujuan menyeimbangkan rasio C/N substrat campuran sehingga dapat meningkatkan kinerja proses produksi biogas.

$$Ratio\ C/N = \frac{Kandungan\ Carbon\ (C)}{Kandungan\ Nitrogen\ (N)} \quad (1)$$

Sementara itu, kiambang memiliki kandungan nitrogen sebesar 0,565% dan kandungan karbon sebesar 29,21%. Berdasarkan perhitungan menggunakan

Persamaan (3.1), diperoleh rasio C/N sebesar 51,7. Nilai tersebut berada di atas rentang optimal rasio C/N untuk proses pencernaan anaerob, yaitu 25–30, sehingga kiambang belum optimal digunakan sebagai substrat tunggal (*single digestion*) dalam produksi biogas.

Berdasarkan variasi percobaan yang dilakukan sebagaimana tercantum pada Tabel 1, proses *co-digestion* antara kiambang dan kulit jagung menghasilkan rasio C/N campuran yang dihitung menggunakan Persamaan (3.2). Nilai rasio C/N hasil *co-digestion* tersebut disajikan secara rinci pada Tabel 3.

$$\text{Ratio } C/N_{\text{campuran}} = \frac{(f_{\text{KIM}} \times C/N_{\text{KIM}}) + (f_{\text{KJ}} \times C/N_{\text{KJ}})}{(f_{\text{KIM}} + f_{\text{KJ}})} \quad (2)$$

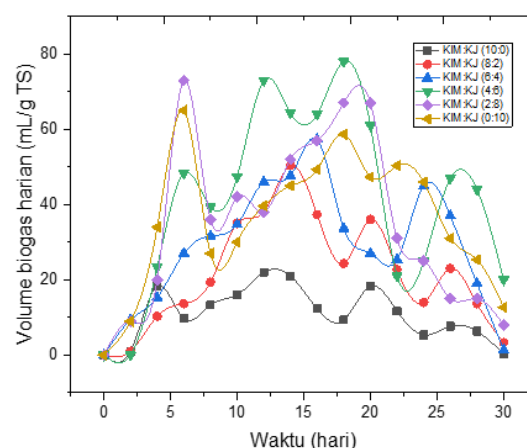
Tabel 3. C/N Campuran

KIM:KJ (g)	Fraaksi KIM	Fraaksi KJ	C/N Campuran
10:0	1,0	0,0	52,0
8:2	0,8	0,2	47,0
6:4	0,6	0,4	42,0
4:6	0,4	0,6	37,0
2:8	0,2	0,8	32,0
0:10	0,0	1,0	27,0

Gambar 4 menunjukkan bahwa perbandingan kiambang:kulit jagung 4:6 menghasilkan volume biogas tertinggi, yaitu 656 mL dengan yield 65 mL/g TS, karena rasio C/N mendekati pada rentang optimal 25–30 (Budiyono et al., 2023).

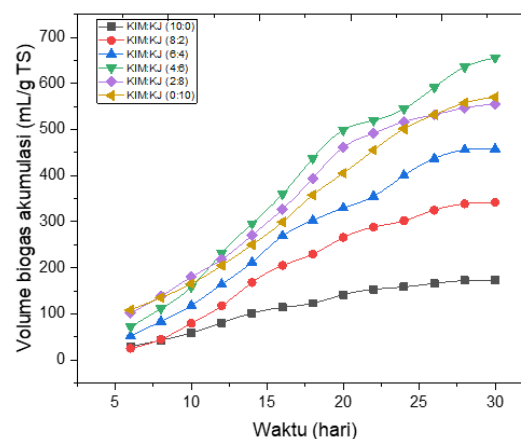
Perlakuan 10:0; 8:2; dan 6:4 menghasilkan volume biogas lebih rendah (17,3; 34,2; dan 45,7 mL/g TS) akibat rasio C/N yang terlalu tinggi (52,0; 47,0; dan 42,0), sehingga nitrogen cepat dikonsumsi mikroorganisme dan pembentukan biogas menjadi terbatas (Purnamasari et al., 2024).

Sementara itu, perbandingan 2:8 dan 0:10 menghasilkan biogas 55,5 dan 57,0 mL/g TS, lebih rendah dibandingkan 4:6. Hal ini disebabkan oleh laju degradasi kulit jagung yang lebih lambat akibat kandungan selulosa dan lignin yang tinggi, sehingga menghambat proses hidrolisis (Matin dkk., 2016).



Gambar 4. Volume Biogas Harian pada Perbandingan Kiambang dan Kulit Jagung

Hasil akumulasi produksi biogas untuk setiap rasio KIM:KJ disajikan pada Gambar 5. Rasio KIM:KJ sebesar 100:0, 8:2, 6:4, 4:6, 2:8 dan 0:100 (v/v) menghasilkan total produksi biogas masing-masing sebesar 173; 342; 457; 656; 555 dan 570 mL biogas g<sup>-1</sup> total substrat. Hasil tersebut menunjukkan bahwa rasio KIM:KJ optimum adalah 4:6 karena menghasilkan akumulasi produksi biogas tertinggi, yaitu sebesar 656 mL biogas g<sup>-1</sup> total substrat.



Gambar 5. Volume Biogas Terakumulasi pada Perbandingan Kiambang dan Kulit Jagung

Yield biogas disajikan pada Tabel 4 dimana Rasio KIM:KJ 100:0, 8:2, 6:4, 4:6, 2:8 dan 0:100 (g/g) menghasilkan total produksi biogas masing-masing sebesar 173; 342; 457; 656; 555 dan 570 mL biogas g<sup>-1</sup> total substrat. Hasil tersebut menunjukkan bahwa rasio KIM:KJ optimum adalah 4:6 karena menghasilkan akumulasi produksi biogas

tertinggi, yaitu sebesar 656 mL biogas g<sup>-1</sup> total substrat.

Proses *co-digestion* anaerob pada rasio KIM:KJ 4:6 meningkatkan total produksi biogas sebesar 3,8 kali dibandingkan dengan *mono-digestion* anaerob KIM dan sebesar 1,2 kali dibandingkan dengan *mono-co-digestion* anaerob KJ. Peningkatan ini disebabkan oleh komposisi nutrisi *substrat* campuran yang lebih seimbang. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Syaichurrozi bahwa perbandingan yang terbaik adalah perbandingan C/N pada kisaran 40:60. (Syaichurrozi dkk., 2026).

**Tabel 4. Total solid removal dan yield pada perbandingan kiambang dan kulit jagung**

KIM: KJ (gr)	Total TS (g)	Volume Biogas (mL)	Yield (mL/g TS)
10:0	10	173	17,3
8:2	10	342	34,2
6:4	10	457	45,7
4:6	10	656	65,6
2:8	10	555	55,5
0:10	10	570	57,0

### 3.2 Pengaruh Starter Jeroan Ikan laut terhadap Volume Biogas

Berdasarkan skema pertama bahwa produksi biogas yang terbaik dengan menggunakan perbandingan antara KIM dan KJ adalah 4:6 dengan penggunaan *starter* bakteri 1:1 maka selanjutnya membuktikan kerja *starter* yang optimal. Maka tahap selanjutnya yang dilakukan adalah memvariasikan perbandingan total padatan (TS) dengan *starter* jeroan ikan laut yaitu 1:0,5; 1:1; 1:1,5 dan 1:2. Berdasarkan referensi terdahulu bahwa perbandingan *starter* optimal berbeda-beda misalkan menggunakan *starter liquid bacteria* terhadap total solid adalah 0,6:1 sedangkan menggunakan *starter* biodekstran terhadap total solid adalah 1:1 (Perdana dkk., 2013).

*Starter* jeroan ikan memiliki fungsi untuk menambahkan mikroorganisme dalam proses pembentukan biogas. Jumlah *starter* yang terbaik adalah yang optimal

bukan minimal atau maksimal Hal ini karena jika jumlah mikroorganisme berlebihan maka akan kekurangan makanan yang dampaknya proses anerobik tidak optimal. Dalam kondisi jumlah mikroorganisme terlalu sedikit maka jumlah makanan terlalu banyak sehingga menghambat pertumbuhan mikroorganisme (Syaichurrozi dkk., 2021).

Kekurangan *starter* berdampak pada bakteri tidak optimal maka beberapa tahap pembentukan metan akan terhambat. Pada proses hidrolisis akan lambat karena mikroorganisme seperti *clostridium* dan *bacillus* yang bertugas memecah bahan organik menjadi karbohidrat, protein dan lemak terhambat (Saputra dkk., 2023).

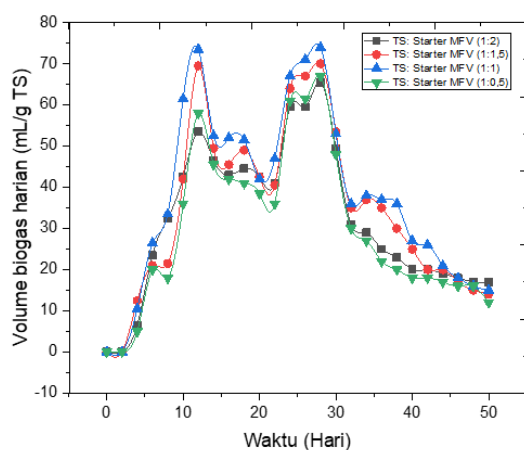
Pada Tabel 5. menunjukkan hasil bahwa perbandingan 1 g TS: 1 g *starter* adalah yang terbaik yang menghasilkan volume biogas 986 mL per gram TS. Sedangkan 1 g TS:0,5 g *starter* jeroan ikan menghasilkan volume biogas paling sedikit yaitu 774 mL yang diakibatkan jumlah mikroorganisme cenderung sedikit sehingga produksi biogas terhambat (Siddharth dkk., 2024). Sebagai pembanding, penelitian *codigestion* antara kiambang dan jerami padi pada perbandingan 4:6 dengan menggunakan *starter* rumen sapi menghasilkan *yield* biogas yang lebih rendah, yaitu sebesar 53,25–61,38 mL/g total solid (Syaichurrozi dkk., 2018).

**Tabel 5. Total solid removal and yield pada perbandingan TS dan starter**

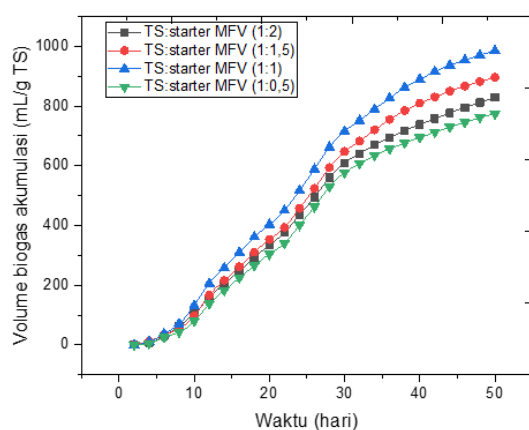
KIM: KJ	TS: Starter (g)	Total TS (g)	Volume Biogas (mL)	Yield (mL/g TS)
4:6	1:0,5	10	774	77
4:6	1:1	10	986	99
4:6	1:1,5	10	896	90
4:6	1:2	10	829	83

Gambar 6 menunjukkan grafik biogas harian selama 50 hari. Tahap awal, belum

terbentuk biogas pada seluruh variabel. Hal ini disebabkan oleh proses adaptasi mikroorganisme terhadap substrat. Selanjutnya, pada hari ke-2 hingga hari ke-12, produksi biogas cenderung meningkat. Kondisi ini mengindikasikan bahwa mikroorganisme bekerja secara optimal dalam membentuk gas metana. Namun, pada rentang hari ke-12 hingga hari ke-22, produksi biogas rata-rata mengalami penurunan. Penurunan ini mengindikasikan bahwa proses hidrolisis, asidogenesis, dan asetogenesis masih berlangsung, sementara kandungan serat pada KIM dan KJ mulai berkurang akibat dikonsumsi oleh mikroorganisme, sehingga laju pembentukan gas metana menurun.



**Gambar 6** Volume Biogas Harian pada Perbandingan Total Solid Campuran Kiambang dan Kulit Jagung dengan *starter*



**Gambar 7.** Volume Biogas Terakumulasi pada Perbandingan Total Solid Campuran Kiambang dan Kulit Jagung dengan *starter*

Pada Gambar 7. grafik akumulasi produksi biogas menunjukkan bahwa produksi

biogas meningkat dari awal pengamatan hingga hari ke-30. Setelah periode tersebut, meskipun produksi biogas masih berlangsung, laju pembentukannya menjadi lebih lambat dan cenderung menurun hingga mendekati kondisi habis. Fenomena ini sejalan dengan tren penelitian yang dilaporkan oleh Syaichurrozi yang menyatakan bahwa laju produksi biogas melambat setelah hari ke-30 akibat sebagian besar substrat yang dapat terkonversi menjadi metana telah habis (Syaichurrozi dkk., 2021).

### 3.3 Kadar Metana Biogas

Biogas yang diproduksi dari 4 g kiambang dan 6 g kulit jagung dengan perbandingan TS dengan *starter* rumen sapi yaitu 1:1 menghasilkan volume biogas 986 mL, total solid *removal* 65% dan *yield* 99 mL/g TS dengan kandungan metana sebesar 60% w/w. Biogas dari fermentasi limbah organik mengandung metana (CH<sub>4</sub>) yaitu 55-75 % (Ritonga & Masrukhi, 2019).

**Tabel 6.** Total *solid removal* and *yield* pada perbandingan TS dan *starter*

Senyawa	Konsentrasi (w/w%)
H <sub>2</sub>	0,73
CO	0,16
CH <sub>4</sub>	60,48
CO <sub>2</sub>	38,62

### 3.3 Pemodelan *Modified Gompertz*

Analisis statistik dilakukan menggunakan uji ANOVA satu arah (one-way ANOVA) untuk mengevaluasi perbedaan antara tiga replikasi percobaan (R1, R2, dan R3) pada taraf signifikansi  $\alpha = 0,05$ . Hasil uji ANOVA menunjukkan nilai rata-rata untuk setiap sample  $F = 0,96$  dengan  $p\text{-value} = 0,389$ , yang menandakan tidak terdapat perbedaan yang signifikan secara statistik antar replikasi ( $p > 0,05$ ).

Untuk memperkuat hasil tersebut, dilakukan uji lanjut Tukey's Honestly Significant Difference (HSD). Hasil uji Tukey menunjukkan bahwa seluruh pasangan replikasi

(R1–R2, R1–R3, dan R2–R3) tidak berbeda nyata ( $p > 0,05$ ). Hal ini mengindikasikan bahwa data antar replikasi bersifat homogen dan memiliki tingkat keterulangan (repeatability) yang baik, sehingga nilai rata-rata  $\pm$  deviasi standar layak digunakan untuk analisis dan pemodelan selanjutnya. Produksi biogas kumulatif terbaik dapat dimodelkan menggunakan *Modified Gompertz Model*, yang menggambarkan fase lag, fase eksponensial, dan fase stasioner dari aktivitas mikroba anaerob.

$$B(t) = B_{\max} \exp \left\{ - \exp \left[ \frac{R_{\max}}{B_{\max}} (\lambda - t) + 1 \right] \right\} \quad (3)$$

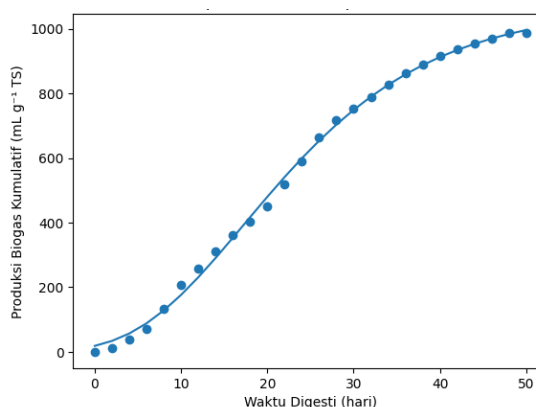
Produksi biogas kumulatif pada waktu tertentu dinyatakan sebagai  $B_{(t)}$  dengan satuan 986 mL  $g^{-1}$  TS. Parameter  $B_{\max}$  merepresentasikan produksi biogas maksimum yang menggambarkan potensi biogas teoritis dari sistem *co-digestion an-aerob*. Laju maksimum produksi biogas dinyatakan sebagai  $R_{\max}$  (mL  $g^{-1}$  TS·hari<sup>-1</sup>), yang menunjukkan tingkat aktivitas mikroorganisme metanogen pada fase eksponensial. Parameter  $\lambda$  merupakan waktu lag (hari) yang menggambarkan fase adaptasi mikroorganisme terhadap substrat sebelum produksi biogas berlangsung secara signifikan. Sementara itu,  $t$  menyatakan waktu fermentasi atau waktu digesti anaerob (50 hari).

Bilangan  $e$  merupakan bilangan Euler dengan nilai 2,718 yang digunakan dalam persamaan eksponensial pada *model Gompertz*. Pada Tabel 7 menunjukkan hasil pemodelan menggunakan *Modified Gompertz* menunjukkan bahwa produksi biogas kumulatif pada rasio 1:1 memiliki potensi maksimum biogas sebesar 1068,86 mL  $g^{-1}$  TS, dengan laju produksi maksimum 31,91 mL  $g^{-1}$  TS·hari<sup>-1</sup> dan waktu lag 4,93 hari. Nilai ini mengindikasikan adaptasi mikroorganisme yang baik serta kinerja digesti anaerob yang stabil hingga hari ke-50.

**Tabel 7.** *Modified Gompertz*

Parameter	Nilai
$B_{\max}$ (mL $g^{-1}$ TS)	1068,86
$R_{\max}$ (mL $g^{-1}$ TS·hari <sup>-1</sup> )	31,91
$\lambda$ (hari)	4,93

Gambar 8. Kesesuaian model *Gompertz* terhadap data eksperimen ditunjukkan oleh nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) sebesar 0,9981 dan RMSE sebesar 14,82 mL  $g^{-1}$  TS. Hal ini mengindikasikan bahwa model *Gompertz* mampu merepresentasikan kinetika produksi biogas dengan sangat baik pada rasio substrat 1:1 hingga waktu digesti 50 hari.



**Gambar 8.** Grafik *Gompertz* vs data eksperimen

#### 4. KESIMPULAN

Variasi perbandingan KIM:KJ memengaruhi nilai C/N campuran, yang menurun dari 52,0 (10:0) menjadi 27,0 (0:10) seiring meningkatnya fraksi KJ. Campuran KIM:KJ yaitu 4:6 menghasilkan nilai C/N sebesar 37,0, yang lebih mendekati kisaran optimum untuk pencernaan anaerob dan berpotensi meningkatkan kestabilan proses biogas.

MFV menunjukkan potensi yang baik sebagai inokulum dalam produksi biogas melalui proses *co-digestion* kiambang dan kulit jagung. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perbandingan substrat kiambang terhadap kulit jagung sebesar 4:6 merupakan kondisi optimum. Selain itu, rasio antara total solid

(TS) dan MFV sebesar 1:1 menghasilkan produksi biogas kumulatif tertinggi sebesar 986 mL g<sup>-1</sup> total solid.

Batasan pengamatan pada penelitian ini meliputi belum dilakukannya analisis kandungan mikroorganisme dalam jeroan ikan laut (MFV), serta proses produksi biogas yang masih dilakukan secara batch dan belum diterapkan secara kontinyu pada skala besar.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Anggakara, P., Sudarno, & Wardhana, I. W. (2013). Pengaruh Pengenceran dan Pengadukan terhadap Produksi Biogas pada Limbah Industri Kecil Pengasapan Ikan dengan Menggunakan Ekstrak Rumen Sapi Sebagai Starter. *Teknik Lingkungan*, 1(1), 1–8.
- Budiyono, B., Matin, H. H. A., Yasmin, I. Y., & Priogo, I. S. (2023). *Effect of Pretreatment and C/N Ratio in Anaerobic Digestion on Biogas Production from Coffee Grounds and Rice Husk Mixtures. International Journal of Renewable Energy Development*, 12(1), 209–215. <https://doi.org/10.14710/ijred.2023.49298>
- Budiyono, B., Syaichurrozi, I., Suhirman, S., Hidayat, T., & Jayanudin, J. (2021). *Experiment and modeling to evaluate the effect of total solid on biogas production from the anaerobic co-digestion of Tofu liquid waste and rice straw. Polish Journal of Environmental Studies*, 30(4), 3489–3496. <https://doi.org/10.15244/pjoes/127277>
- Damayanti, S. I., Hakim, R. A., Anggraeni, A., & Saputri, Y. (2024). *Effect of Codigestion of Rice Straw, Fish Meal, and Cow Manure on Biogas Production and Quality of Solid Bioslurry Fertilizer. 13(4)*, 1272–1284.
- Dwityaningsih, R., Rahayu, T. E. P. S., Handayani, M., & Mardiyana, M. (2024). Analisis Proses Pembentukan Biogas dari Campuran Limbah Ikan, Kotoran Sapi dan Eceng Gondok (*Eichhornia Crassipes*). *Acropora: Jurnal Ilmu Kelautan Dan Perikanan Papua*, 7(1), 44–51. <https://doi.org/10.31957/acr.v7i1.3806>
- Engga Noer Wildan Efendi, Jumsurizal, J., & Amrizal, S. N. (2022). Pemanfaatan Limbah Jeroan Ikan Tongkol (*Euthynnus Affinis*) dan Rumput Laut Coklat (*Sargassum Polycystum*) Sebagai Pupuk Padat Terhadap Pertumbuhan Tanaman Sawi (*Brassica juncea L.*). *Marinade*, 5(01), 28–36. <https://doi.org/10.31629/marinade.v5i01.4058>
- Evi Arianingsih, Irdha Mirdhayati, & Anwar Efendi Harahap. (2021). Kualitas Biogas Berbahan Feses Sapi dan Jerami Jagung (*Zea mays L.*) pada C/N Rasio dan Lama Fermentasi yang Berbeda. *Jurnal Triton*, 12(1), 58–67. <https://doi.org/10.47687/jt.v12i1.155>
- Fariadi, H., Yulihartika, R. D., Azhari, D., & Saputra, J. (2024). Sosialisasi Limbah Tulang Ikan Sebagai Bahan Baku Pengolahan Produk Pangan Inovatif. *Jurnal Dehasen Untuk Negeri*, 3(1), 143–148. <https://doi.org/10.37676/jdun.v3i1.5592>
- Garwan, R., Kusumaningrum, H. D., Nurhayati, T., & Lioe, H. N. (2022). Characterization of Skipjack Viscera as Initial Screening of Sources for Housefly Traps *Musca domestica* and Antibacterial. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 25(1), 34–51. <https://doi.org/10.17844/jphpi.v25i1.38555>
- I.R. Zulkarnaen, S., H. T., & Padang, Y. A. (2018). Pengaruh Rasio Karbon Dan Nitrogen (C/N Ratio) Pada Kotoran Sapi Terhadap Produksi Biogas dari Proses Anaerob. *Dinamika Teknik Mesin*, 1–16.
- Inrawati, R., Surilayani, D., Susanto, A., Rahmawati, A., Munandar, A., Sari, R., & Nurdin, H. S. (2020). *Analysis of Determining the Base Location of*

- Anchovy Fisheries and its Marketing Distribution in The Banten Province. Jurnal Sosial Ekonomi Kelautan Dan Perikanan*, 15(2), 159–168.
- Matin, H. H. A., Syafrudin, & Nugraha, W. D. (2016). Pengaruh C/N Ratio Pada Produksi Biogas Dari Limbah Sekam Padi Dengan Metode Solid State Anaerobic Digestion (SS-AD). *Jurnal Teknik Lingkungan*, Vol. 5, No. 4 (2016), 5(1), 1–10.
- Nabila, S. N., & Hendriyanto, O. (2021). *Produksi Biogas Dari Kombinasi Kotoran Kambing. Volume 2 N*, 1–8.
- Perdana, D. A., Ebrianto, A. L., & Sari, T. I. (2013). *Penggunaan Starter Envirosolve Dan Dari Bahan Baku Ampas Tahu*. 19(1).
- Purnamasari, E., Fanani, M., Anwar, & Harahap, E. (2024). *Organic-C content, nitrogen content, final C/N ratio value, pH value, temperature, and biogas. Seminar Nasional Integrasi Pertanian Dan Peternakan*, 2(1), 193–204. <https://semnasfpp.uin-suska.ac.id/index.php/snipp>
- Ritonga, A., & Masrukhi. (2019). *Optimization Of Methana Content (CH4) Biogas of Cow Dug Using Various Types of Adsorben*. 10, 8–17.
- Safitri, W., Novalina, S. A., Apriandi, A., Hasil Perikanan, T., & Ilmu Kelautan dan Perikanan, F. (2023). Manufacture of Local Microorganisms (MOL) From Fish Offal. *Marinade*, 06(010), 1–7.
- Saputra, A. O., Mafruddin, M., Handono, S. D., & Riduan, M. (2023). Pengaruh Jenis Starter Terhadap Produktivitas dan Nilai Kalor Biogas Sampah Organik. *Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 12(2). <https://doi.org/10.24127/trb.v12i2.2894>
- Siddharth, Shesh Vijay Sharma, & V. K. Pandey. (2024). *Isolation and Characterization of Microorganisms Involved in Biogas Production from Agricultural Waste. International Journal of Scientific Research in Science and Technology*, 11(2), 718–730. <https://doi.org/10.32628/ijrst24112118>
- Suhirman, S. (2023). Uji Kemampuan Partikel KMnO<sub>4</sub> Terlembam Dalam Karbon Aktif Tempurung Kelapa Sawit Terhadap H<sub>2</sub>S Dalam Reaktor Biogas Unggun Tetap. *UNISTEK*, 10, 134–143. <https://doi.org/10.33592/unistek.v10i2.3806>
- Sulthan Nafis Nabila dan Okik Hendriyanto C. (2021). *Produksi Biogas Dari Kombinasi Kotoran Kambing dan Limbah Ikan Dalam Biodigester Anaerob Sulthan*. 2, 88–95.
- Syaichurrozi, I., Suhendi, E., Kustiningsih, I., & Nurulshani, S. (2026). *Bioresource Technology Reports Enhancement of biogas production through anaerobic co-digestion of tofu wastewater and cassava starch wastewater in Indonesia. Bioresource Technology Reports*, 33 (December 2025), 102557. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2026.102557>
- Syaichurrozi, I., Suhirman, S., & Hidayat, T. (2018). *Effect of initial pH on anaerobic co-digestion of Salvinia molesta and rice straw for biogas production and kinetics. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 16, 594–603. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2018.10.007>
- Syaichurrozi, I., Suhirman, S., & Hidayat, T. (2021). *Effect of Substrate/Water Ratio on Biogas Production from the Mixture Substrate of Rice Straw and Salvinia molesta. Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri*, 12(2), 45–55. <https://doi.org/10.21771/jrtpi.2021.v12.no2.p45-55>
- Vivekanand, V., Mulat, D. G., Eijsink, V. G. H., & Horn, S. J. (2018). *Synergistic effects of anaerobic co-digestion of whey, manure and fish*

*ensilage. Bioresource Technology*,  
249, 35–41.  
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.09.169>