

KADAR C-ORGANIK, NITROGEN, NILAI C/N RASIO AKHIR, NILAI PH, TEMPERATUR DAN LAMA NYALA API BIOGAS PADA C/N RASIO AWAL KOMBINASI KULIT NENAS DAN RUMEN YANG BERBEDA

Organic-C content, nitrogen content, final C/N ratio value, pH value, temperature, and biogas flame duration at initial C/N ratios of different pineapple peel and rumen combinations

Endah Purnamasari^{*1}, Muhammad Fanani², & Anwar Efendi Harahap¹

¹ Program Studi Peternakan, Fakultas Pertanian dan Peternakan, Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau, Pekanbaru-Riau, Indonesia, 28293

² Alumni Program Studi Peternakan, Fakultas Pertanian dan Peternakan, Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau, Pekanbaru-Riau, Indonesia, 28293

JL. HR. Soebrantas KM.15 Simpang Baru Panam Pekanbaru

*Email korespondensi: endah.purnama.sari@uin-suska.ac.id

ABSTRACT

This study uses a mix of cattle rumen contents and pineapple peel waste to investigate the optimal carbon-to-nitrogen (C/N) ratio in biogas production. Three C/N ratios (33.20, 34, 35) were tested using a completely randomised design, each repeated six times for reliable results. The findings highlight the significant impact of C/N ratio variations on biogas characteristics, including pH levels, organic carbon and nitrogen contents, C/N ratio, and flame duration. Initial pH values were near-neutral but increased to a more basic level at a C/N ratio of 35, indicating significant microbial shifts during fermentation ($P < 0.01$). A higher C/N ratio correlated with more organic carbon available for fermentation while inversely related to nitrogen content, suggesting lower nitrogen levels in pineapple peel waste at higher C/N ratios. Importantly, higher C/N ratios significantly favoured organic material availability over nitrogen ($P < 0.01$), creating optimal conditions for efficient biogas production. Flame duration also increased with higher C/N ratios, peaking at a C/N ratio of 34, identified as producing the highest quality biogas. In conclusion, this study determines that a C/N ratio of 34 provides the best conditions for biogas production, offering valuable insights for optimising biogas production processes and advancing sustainable organic waste management, contributing to cleaner and more efficient renewable energy solutions.

Keywords: biogas, cow rumen contents, pineapple peel waste, C/N ratio, biogas quality.

PENDAHULUAN

Pemanfaatan isi rumen sapi dari rumah potong hewan belum dioptimalkan. Data menunjukkan bahwa potensi limbah isi rumen dari Rumah Potong Hewan (RPH) sangat besar di Kota Pekanbaru. Pada tahun 2022, sekitar 15.087 sapi telah dipotong di Provinsi Riau, menghasilkan jumlah isi rumen yang signifikan mengingat rumen menyumbang 10-20% dari berat badan sapi (BPS - Statistics Indonesia, 2022). Secara umum, sapi pedaging biasanya memiliki berat hidup antara 350 hingga 600 kilogram atau lebih, tergantung pada usia dan jenisnya. Sapi perah biasanya memiliki berat hidup yang lebih ringan, sekitar 350 hingga 500 kilogram (Afotey & Sarpong, 2023). Hal ini

setara dengan perkiraan 528 hingga 1.509 Kg isi rumen basah setiap tahunnya. Oleh karena itu, mengolah isi rumen menjadi biogas tidak hanya dapat mengurangi beban lingkungan namun juga meningkatkan nilai ekonomi dari limbah tersebut.

Proses produksi biogas, yang sebagian besar berlangsung secara anaerob, menghasilkan gas metana dan karbon dioksida (Angelidaki et al., 2018). Rumen merupakan lingkungan yang kaya akan mikroba dengan potensi besar untuk produksi biogas. Terdapat beragam mikroorganisme seperti bakteri seperti *Bacillus sp*, *Escherichia coli*, *Proteus Vulgaris*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, dan *Yersinia enterocolitica*, serta fungi, dan protozoa. Keanekaragaman mikroba ini memberikan sejumlah besar enzim dan jalur metabolik yang efektif untuk menguraikan materi organik, menjadikannya tempat yang ideal untuk produksi biogas. Selain itu, di dalam rumen juga terdapat metanogen yang bertanggung jawab atas produksi metana selama fermentasi enterik. Meskipun metana adalah gas rumah kaca yang kuat, namun dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi terbarukan yang berharga. Pemanfaatan metana yang dihasilkan selama fermentasi di rumen dapat mengurangi pelepasan gas rumah kaca ke atmosfer dan mengubahnya menjadi sumber energi yang berguna. Oleh karena itu, rumen hewan ruminansia memiliki potensi yang signifikan untuk produksi biogas (Afotey & Sarpong, 2023).

Isi rumen dengan komunitas mikroba simbiotiknya, memiliki potensi sebagai sumber produk bernilai tambah. Mikroba ini menghasilkan enzim yang mampu mendegradasi polisakarida (Bhujbal et al., 2022). Isi rumen merupakan sumber N sehingga waktu yang dibutuhkan untuk proses awal penguraian dalam tahap pembentukan biogas lebih singkat. Produksi biogas pada tiap reaktor digester cenderung bertambah sampai hari ke-40 (Widjaja et al., 2021). Meskipun isi rumen merupakan sumber nitrogen yang baik, limbah peternakan sering kali kekurangan karbon yang cukup untuk pembentukan metana. Oleh karena itu, limbah pertanian seperti kulit nenas dapat menjadi bahan pelengkap dalam produksi biogas (Aworanti et al., 2018; Ogunleye et al., 2016).

Salah satu campuran yang potensial di provinsi Riau adalah limbah kulit nenas. Berdasarkan Data BPS (2020), produksi nenas di Provinsi Riau sebanyak 214.277 ton. Residu serat dan lemak sebanyak 30-35% pada buah nenas menyebabkan nenas memiliki nilai yang rendah (Maurya, 2022). Kulit nenas menawarkan potensi sebagai bahan campuran yang menjanjikan di Provinsi Riau. Pada tahun 2020, produksi nenas di Riau mencapai 214.277 ton. Dengan kandungan serat dan lemak yang relatif rendah, kulit nenas memiliki potensi untuk menghasilkan biogas berkualitas tinggi (Chhandama et al., 2022). Kulit nenas sebagai limbah merupakan salah satu sumber bahan organik yang tersedia melimpah serta berpotensi untuk dijadikan sebagai bahan baku isian biogas (Mamo et al., 2019). Hasil penelitian Olukanni et al. (2022) menyatakan bahwa limbah kulit nenas menghasilkan volume biogas yang lebih tinggi dibandingkan penggunaan limbah melon. Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa kombinasi limbah peternakan dan pertanian dapat meningkatkan kualitas dan kuantitas biogas (Bharathi & Yogesh, 2022; Sumardiono et al., 2021; Tasnim et al., 2022).

Namun demikian, ketersediaan bahan organik serta kontrol selama fermentasi sangat penting dalam proses pembentukan biogas (Rasapoor et al., 2020; Rodriguez et al., 2017). Mengingat kandungan nutrisi dari isi rumen dan kulit nenas, kombinasi keduanya diharapkan dapat menghasilkan biogas dengan komposisi gas metana dan karbon dioksida yang optimal. Komposisi bahan campuran yang tepat akan menghasilkan biogas dengan produk utama adalah gas metana (55–65%) dan karbon dioksida (30–45%) dan lebih sedikit hidrogen sulfida, amonia, hidrogen, dan oksigen (Chhandama et al., 2022).

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi perbandingan C/N pada biogas isi rumen sapi dengan limbah kulit nenas terhadap nilai pH awal dan akhir, mengidentifikasi kandungan C-organik dalam biogas isi rumen sapi dengan limbah kulit nenas berdasarkan variasi perbandingan C/N, menganalisis kandungan nitrogen dalam biogas isi rumen sapi dengan limbah kulit nenas berdasarkan variasi perbandingan C/N, menganalisis rasio C/N dalam biogas isi rumen sapi dengan limbah kulit nenas berdasarkan variasi perbandingan C/N, membandingkan hasil analisis dengan penelitian sebelumnya untuk menentukan efisiensi dan kualitas biogas yang dihasilkan dari campuran isi rumen sapi dan limbah kulit nenas.

BAHAN DAN METODE

Tempat dan Waktu

Penelitian ini berlangsung selama periode 2 bulan, dimulai dari bulan Agustus hingga September 2016. Penelitian ini dilakukan di Balai Penelitian dan Pengembangan Pertanian (UARDS) Fakultas Pertanian dan Peternakan UIN Suska Riau. Analisis sampel dilakukan di Laboratorium Ilmu Tanah Fakultas Pertanian Universitas Riau.

Alat dan Bahan

Dalam penelitian ini, digunakan isi rumen yang diperoleh dari Rumah Potong Hewan (RPH) yang terletak di Jalan Cipta Karya, Kecamatan Tampan, Pekanbaru. Sedangkan kulit nenas diambil dari sisa proses pengolahan nenas di Rimbo Panjang, Kecamatan Tambang, Kabupaten Kampar. Adapun bahan kimia yang digunakan meliputi $K_2C_2O_7$, H_2PO_4 , H_2SO_4 , $NaOH$, campuran selen, dan H_3BO_3 .

Untuk proses pembuatan biogas, alat-alat yang diperlukan antara lain galon udara berkapasitas 19 liter, ember dari plastik, tas plastik, karet gelang, selang dari plastik, corong berukuran besar, perekat plastik, pipa berbentuk T, keran yang terbuat dari kuningan, pematik api, alat menulis, pisau tajam, alat pengukur pH, termometer, alat solder, skala, wadah pengukuran, kamera jenis digital, gun silikon, stopwatch, oven, tungku, dan Flame Spectrophotometer.

Metode Penelitian

Desain Penelitian

Desain eksperimental dari penelitian ini dilaksanakan dengan metode percobaan, mengadopsi Rancangan Acak Lengkap (RAL). Ada tiga jenis perlakuan yang diuji: P0 dengan rasio C/N sebesar 33,20; P1 dengan rasio C/N sebesar 34; dan P2 dengan rasio C/N sebesar 35. Setiap jenis perlakuan tersebut diulangi sebanyak 6 kali, menghasilkan total 18 unit percobaan.

Prosedur Penelitian

Perancangan digester

Bagian leher atas galon diberi lubang kecil dengan solder yang disesuaikan dengan ukuran diameter selang plastik (sekitar 0,5 inchi) yang sudah tersedia. Selang tersebut dimasukkan ke dalam lubang tersebut dan bagian tersebut ditempel dengan lem khusus plastik hingga tampak kepad udara

tanpa celah. Ujung dari selang tersebut dihubungkan ke pipa T. Setiap ujung selang yang terhubung ke pipa T diarahkan ke benen untuk mengamati pembentukan gas metana yang ditandai dengan pengembangan pada benen. Sedangkan ujung selang yang lainnya dihubungkan ke kran untuk mengeluarkan gas.

Penentuan C, N, dan C/N isi rumen sapi dan limbah kulit nenas

Hasil analisis isi rumen sapi dan limbah kulit nenas digunakan sebagai acuan untuk membuat campuran bahan isian dalam produksi biogas sesuai dengan kelompok perlakuan perbedaan tingkat rasio C/N, yaitu C/N 33,20, C/N 34, C/N 35 (Tabel 1).

Tabel 1. Analisis awal bahan sampel penelitian

Bahan	Pengabuan C-Organik (%)	Kjedhal N-Total (%)	C/N	Kadar Air (%)	Bahan Kering (gr)
Isi Rumen Sapi	45,67	1,38	33,20	85,73	14,27
Kulit Nenas	48,60	0,10	463,03	62,59	37,41

Tabel 1 memperlihatkan bahwa isi rumen Sspi memiliki rasio C/N 33,20, yang masuk dalam rentang optimal untuk fermentasi biogas (20:1 hingga 30:1). Sebaliknya, kulit Nenas memiliki rasio C/N yang sangat tinggi yaitu 463,03. Rasio ini jauh melebihi rentang optimal, menunjukkan kekurangan nitrogen relatif terhadap karbon. Hal ini bisa menghambat proses fermentasi karena nitrogen merupakan nutrisi esensial bagi mikroorganisme dalam fermentasi. Selain itu, isi rumen sapi memiliki kadar air yang sangat tinggi, yaitu 85,73%. Kadar air yang tinggi dapat menghambat proses fermentasi karena kekurangan bahan organik yang dapat difermentasikan. Sementara itu, kulit nenas memiliki kadar air 62,59%, yang lebih rendah dibandingkan isi rumen sapi, namun masih cukup tinggi.

Isi rumen sapi memiliki bahan kering sebanyak 14,27 gr, sementara kulit nenas memiliki bahan kering sebanyak 37,41 gr, yang lebih banyak daripada Isi Rumen Sapi. Bahan kering yang lebih banyak menunjukkan adanya lebih banyak bahan organik yang dapat difermentasikan. Berdasarkan hasil analisis, meskipun Kulit Nenas memiliki kandungan C-Organik yang lebih tinggi daripada Isi Rumen Sapi, rasio C/N-nya yang ekstrem tinggi membuatnya kurang ideal untuk fermentasi biogas tanpa adanya modifikasi atau penambahan sumber nitrogen lainnya. Sebaliknya, Isi Rumen Sapi, dengan rasio C/N yang dekat dengan rentang optimal, tampaknya lebih sesuai untuk fermentasi biogas.

Namun, kadar air yang tinggi pada isi rumen sapi bisa menjadi hambatan. Oleh karena itu, mungkin perlu dilakukan langkah-langkah penyesuaian seperti pengurangan kadar air atau pencampuran dengan bahan lain untuk meningkatkan efisiensi fermentasi. Kulit nenas dengan bahan kering yang tinggi menunjukkan potensi yang baik sebagai bahan fermentasi, namun rasio C/N yang tidak optimal perlu ditangani, misalnya dengan mencampurnya dengan bahan dengan kandungan nitrogen yang tinggi.

Dengan demikian, kombinasi kedua bahan ini dalam proporsi tertentu mungkin dapat menghasilkan rasio C/N yang lebih optimal untuk produksi biogas. Rasio C/N yang optimum untuk produksi biogas yaitu berkisar 25-30 (Budiyono et al., 2023). Rasio C/N isi rumen sapi adalah 33,20. Perlakuan yang diterapkan adalah rasio C/N 33, 34, dan 35. Selanjutnya untuk menghitung massa bahan biogas tiap-tiap perlakuan menggunakan rumus Richard and Trautmann (1996), yaitu :

$$R = \frac{Q_1(C_1 \times (100 - M_1)) + Q_2(C_2 \times (100 - M_2))}{Q_1(N_1 \times (100 - M_1)) + Q_2(N_2 \times (100 - M_2))}$$

Keterangan :

R = nisbah C/N bahan biogas

Q₁ = massa isi rumen sapi (kg)

Q₂ = limbah kulit nenas (kg)

C₁ = kadar C isi rumen sapi (%)

C₂ = kadar C limbah kulit nenas (%)

N₁ = kadar N isi rumen sapi (%)

N₂ = kadar N limbah kulit nenas (%)

M₁ = kadar air isi rumen sapi (%)

M₂ = kadar air limbah kulit nenas (%)

Campuran antara isi rumen sapi dan limbah kulit nenas di hitung kadar bahan keringnya. Kadar bahan kering C/N 33,20 adalah 14,27 %, sedangkan untuk rasio C/N 34 kadar bahan kering 16,34%, dan untuk rasio C/N 35 kadar bahan kering 14,94%. Material yang tersisa diperkirakan setelah proses anaerobik digesti memiliki kandungan bahan kering yang lebih rendah dibandingkan dengan influent yang belum tercerna: setidaknya 50% dari kandungan bahan kering diubah menjadi metana (CH₄) dan karbon dioksida (CO₂) (Al Seadi et al., 2013).

Tabel 2. Komposisi bahan penelitian

Komposisi Bahan	C/N Rasio		
	33,20	34	35
Isi rumen sapi			
- Persentase (%)	100,0	98,9	97,8
- Jumlah (kg/5 kg bahan)	5	4,9	4,8
Limbah kulit nenas			
- Persentase (%)	00,0	1,1	2,2
- Jumlah (kg/5 kg bahan)	00,0	0,05	0,11
Inokulum 1%(l)	0,25	0,33	0,28
Air (1/5 kg)	5,1	6,6	5,6

Tabel 2 memperlihatkan komposisi bahan yang digunakan dalam penelitian, dengan berfokus pada perbandingan antara isi rumen sapi dan limbah kulit nenas pada tiga rasio C/N yang berbeda (33,20; 34; dan 35). Peningkatan rasio C/N dari 33,20 ke 35 menunjukkan penurunan persentase isi rumen sapi dan peningkatan persentase limbah kulit nenas. Ini menunjukkan bahwa semakin banyak kulit nenas yang ditambahkan, rasio C/N meningkat. Selain itu, perbedaan jumlah inokulum dan air yang digunakan pada setiap rasio C/N menunjukkan bahwa ada penyesuaian dalam proses fermentasi berdasarkan komposisi bahan. Inokulum ditambahkan sebanyak 1% dari air pengencer dalam campuran 5 kg isi rumen sapi dan limbah kulit nenas, untuk kontrol banyaknya air yang ditambahkan adalah 5,1 l dan inokulum 0,25 l, untuk rasio C/N 34 banyaknya air yaitu 6,6 l dan inokulum 0,33 l, dan untuk rasio C/N 35 banyaknya air yaitu 5,6 l dan inokulum 0,28 l. Variasi komposisi untuk menemukan rasio C/N yang optimal yang akan menghasilkan hasil biogas terbaik. Hasil analisis digunakan untuk memahami bagaimana perubahan komposisi bahan mempengaruhi kualitas dan kuantitas biogas yang dihasilkan.

Persiapan dan pencampuran bahan

Isi rumen yang digunakan dalam penelitian ini dalam kondisi segar karena lebih mudah di proses. Kemudian kulit nanas dicacah dengan ukuran 2-3 cm. Setelah itu, bahan ditimbang sesuai dengan perlakuan. Jumlah air yang ditambahkan pada masing-masing perlakuan yaitu 5 liter. Pencampuran bahan dilakukan dalam ember plastik dengan mencampurkan isi rumen dan kulit nenas sesuai perlakuan pada Tabel 2, kemudian bahan diaduk hingga semua bahan tercampur homogen.

Kontrol kualitas biogas

Bahan dasar yang telah dimasukkan ke dalam digester sesuai dengan perlakuan, kemudian diberi label berdasarkan perlakuan. Posisi digester disesuaikan berdasarkan suhu lingkungan di sekitarnya. Hal ini dilakukan agar dapat memaksimalkan produksi gas selama proses fermentasi dan melindunginya dari paparan langsung sinar matahari yang bisa menyebabkan pertumbuhan lumut pada dinding digester. Bagian atas digester dikunci erat dengan tutup dari galon air mineral yang sebelumnya sudah diberi lapisan plastik dan dikencangkan dengan karet dalam kondisi anaerobik.

Pemantauan temperatur selama proses *anaerob* dilakukan 1 kali dalam 2 hari dengan menggunakan thermometer ruang dalam kurun waktu 24 jam. Pada pukul 06.00, 12.00, 18.00, dan pukul 00.00 WIB (Gambar 1). Bakteri metana pada umumnya adalah bakteri golongan *mesofil* yaitu bakteri yang hidupnya dapat subur hanya pada temperatur disekitar temperatur kamar, antara 20-40°C dengan temperatur optimum yaitu 27°C-30°C (Amaru, 2004). Fermentasi dilakukan selama 10 hari, tutup tidak dibuka agar gas tidak hilang atau habis menguap sewaktu fermentasi berlangsung.



Gambar 1. Proses kontrol kualitas digester biogas

Parameter yang diukur

Parameter yang diukur dalam penelitian produksi biogas menggunakan cairan isi rumen sapi dengan limbah nenas meliputi : (1) Nilai pH, (2) Kandungan C-organik, (3) Nitrogen, (4) C/N rasio, (5) temperatur, dan (6) lama nyala api (detik).

Teknis Pengumpulan Data

Bahan baku yang telah homogen diambil 5 ml untuk pengukuran awal C awal, N awal, C/N awal dan nilai pH awal sebagai tahap pengukuran awal (Budiyono et al., 2013). Gas yang telah ditampung selama 10 hari dalam benen disulutkan pada sumber api dengan menghitung berapa tahan lama nyala api yang dihasilkan pada masing-masing *digester* dalam satuan detik sebagai data dalam uji nyala api (Ihsan, 2013). Setelah dilakukan pencatatan volume kenaikan gas dan uji nyala api kemudian dilakukan pengukuran C, N, C/N dan pH akhir (Budiyono et al., 2013), dengan mengambil *slurry* setelah fermentasi sebanyak 10 ml kemudian dibawa ke Laboratorium Ilmu Tanah Fakultas Pertanian Universitas Riau.

Untuk mengetahui kandungan C-organik (Parajuli, 2011), sampel *slurry* seberat 5 gram di-fornes pada suhu 500°C selama 5 jam. Kemudian, selama 15 menit, sampel didinginkan di dalam desikator. Sampel yang telah di-fornes ditimbang dan dimasukkan ke dalam labu ukur. 10 ml K₂C₂O₇ 1N, 20 ml H₂SO₄ pekat, dan 10 ml H₃PO₄ ditambahkan ke dalamnya. Campuran dikocok dan dibiarkan selama 30 menit. Aquades ditambahkan untuk mengencerkan dan dibiarkan hingga dingin. Keesokan harinya, absorpsi larutan jernih diukur dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 561 nm.

Metode Kjeldahl digunakan untuk menentukan kandungan Nitrogen (N) (Sáez-Plaza et al., 2013). Sampel seberat 0,50 gram ditimbang dan dimasukkan ke labu Kjeldahl. 1 gram campuran selen dan 3 ml H₂SO₄ pekat ditambahkan. Selama 4 jam, sampel didestruksi, dan kemudian selama 30-40 menit, sampel dibiarkan mendingin. Sampel dipindahkan ke labu ukur 50 ml dan aquades ditambahkan hingga tanda tera. Sampel dikocok hingga homogen. 10 ml ekstrak destruksi dan 10 ml NaOH 40% serta aquades ditambahkan hingga mencapai setengah volume labu untuk mendestilasi sampel. Dalam penampungan destilasi, 10 ml H₃BO₃ 1% dan 3 tetes mix indicator ditambahkan. Proses destilasi dianggap selesai saat warna H₃BO₃ berubah menjadi hijau. Hasil destilasi kemudian dititrasi dengan H₂SO₄ 0.5 N.

Analisis data

Data yang diperoleh dalam penelitian ini diolah dengan analisis ragam Rancangan Acak Lengkap (RAL) (Steel, 1993), model linier rancangan acak lengkap sebagai berikut:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \epsilon_{ij}$$

Keterangan :

Y_{ij} : nilai pengamatan pada perlakuan ke-i, ulangan ke j

μ : rata-rata umum

τ_i : pengaruh perlakuan ke-i

ϵ_{ij} : pengaruh galat dari perlakuan ke-i ulangan ke-j

i : 1, 2, dan 3

j : 1, 2, 3, 4, 5, dan 6

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini mengamati pengaruh perbandingan C/N antara isi rumen sapi dan limbah kulit nenas terhadap karakteristik biogas. Hasil menunjukkan variasi dalam pH, kandungan C-organik,

nitrogen, rasio C/N, dan durasi nyala api dipengaruhi oleh perbandingan C/N yang digunakan (Tabel 3).

Tabel 3. Karakteristik Biogas dari Isi Rumen Sapi dengan Variasi Rasio C/N Limbah Kulit Nanas

C/N Ratio	pH Awal (%) ^{ns}	pH Akhir (%)	C-organik (%)	Nitrogen (%)	C/N Rasio (%)	Lama Nyala (detik)
33,20	7,00 ± 0,18	7,04 ± 0,23 ^a	8,53 ± 0,45 ^a	0,04 ± 0,004 ^c	213,25 ± 25,61 ^a	14,67 ^a
34	6,82 ± 0,24	7,57 ± 0,39 ^b	10,92 ± 0,66 ^b	0,03 ± 0,003 ^b	364,00 ± 50,31 ^b	31,50 ^{bc}
35	6,72 ± 0,21	8,00 ± 0,32 ^c	13,09 ± 0,95 ^c	0,02 ± 0,003 ^a	654,50 ± 138,71 ^c	28,50 ^b

^{ns}Non Significant (P>0,05)

^{a,b,c}Superskrip yang berbeda pada kolom yang sama menunjukkan pengaruh berbeda sangat nyata (P<0,01).

Nilai pH awal pada variasi ketiga rasio C/N berkisar antara 6,72 hingga 7,00, menunjukkan kondisi yang hampir netral. Namun, saat proses berlangsung, pH akhir hingga rasio C/N 35 mencapai 8,00, sedikit lebih basa dibandingkan dengan dua variasi rasio lainnya. Ini dapat menunjukkan adanya perubahan dalam lingkungan mikrobiologis selama fermentasi secara signifikan (P<0,01). Hal ini sejalan dengan hasil penelitian (Kotamraju et al., 2023) bahwa kondisi awal eksperimen dan jenis bahan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap perubahan pH. Hal ini dapat memberikan informasi penting untuk penyesuaian proses atau kondisi eksperimental agar dapat mencapai kondisi optimal.

Konsentrasi C-organik dan nitrogen memiliki korelasi terbalik terhadap rasio C/N. Pada rasio C/N 33,20, konsentrasi C-organik mencapai 8,53%, sementara nitrogen sebesar 0,04%. Pada rasio C/N 34, terjadi peningkatan konsentrasi C-organik menjadi 10,92% dan penurunan nitrogen menjadi 0,03%. Selanjutnya, pada rasio C/N 35, konsentrasi C-organik tertinggi ditemukan, yaitu 13,09%, dengan nitrogen terendah pada 0,02%. Hal ini menunjukkan variasi yang signifikan dalam konsentrasi C-organik dan nitrogen berdasarkan rasio C/N yang berbeda. Berdasarkan Tabel 1 dan Tabel 3, terlihat adanya hubungan yang signifikan antara komposisi awal bahan sampel dengan karakteristik biogas yang dihasilkan. Tabel 1 menunjukkan komposisi awal bahan sampel yaitu isi rumen sapi dengan rasio C/N sebesar 33,20 dan kulit nanas dengan rasio C/N yang sangat tinggi, yaitu 463,03. Ini mengindikasikan bahwa kulit nanas memiliki kandungan karbon yang dominan dibandingkan dengan nitrogen, sedangkan isi rumen sapi memiliki rasio C/N yang lebih seimbang.

Terdapat peningkatan kandungan C-organik dengan meningkatnya rasio C/N secara signifikan (P<0,01). Hal ini menunjukkan bahwa dengan rasio C/N yang lebih tinggi, lebih banyak bahan organik tersedia untuk proses fermentasi. Sebaliknya, kandungan nitrogen menurun dengan meningkatnya rasio C/N. Hal ini mungkin mengindikasikan bahwa limbah kulit nenas dengan rasio C/N yang lebih tinggi memiliki kandungan nitrogen yang lebih rendah. Fermentasi anaerob merupakan proses biologis yang terjadi tanpa keberadaan oksigen, berperan penting dalam memecah bahan organik dan menstabilkannya dengan mengubahnya menjadi gas CH₄ (metana) dan CO₂ (karbon dioksida), serta menghasilkan residu yang hampir stabil.

Selama proses ini, mikroorganisme bekerja untuk menghasilkan biogas, yang biasanya terdiri dari 50 hingga 65% (volume) CH₄, 35 hingga 50% (volume) CO₂, dengan kandungan H₂S (hidrogen sulfida) sekitar 4 hingga 6 g/m³ dan udara sebanyak 30 -160 gram/m³. Proses fermentasi anaerob melibatkan beberapa tahapan penting, yaitu hidrolisis, di mana bahan organik kompleks dipecah oleh enzim menjadi produk yang larut; acidogenesis, yang menghasilkan produk antara seperti asam lemak

rantai pendek; asetogenesis, di mana produksi asetat terjadi; dan terakhir, metanogenesis, yang merupakan tahap produksi CH₄ oleh bakteri penghasil metana. Tahap produksi metana ini merupakan tahap akhir dari degradasi anaerob, dengan berbagai spesies bakteri yang memiliki spesialisasi dalam produksi metana dari senyawa yang berbeda dan jalur katabolik yang sangat kompleks (Parajuli, 2011).

Seperti yang diharapkan, rasio C/N meningkat dengan meningkatnya rasio C/N limbah kulit nenas secara signifikan ($P < 0,01$). Rasio C/N yang lebih tinggi menunjukkan ketersediaan bahan organik yang lebih besar dibandingkan dengan nitrogen, yang dapat mendukung produksi biogas yang lebih efisien. Temuan bahwa semakin tinggi rasio C/N, semakin banyak bahan organik yang tersedia untuk proses fermentasi, berdampak luas pada berbagai bidang. Dalam konteks efisiensi proses fermentasi, hal ini bisa berarti peningkatan produksi dan kualitas produk fermentasi karena tersedianya substrat yang lebih banyak. Hal ini sangat relevan dalam industri pengolahan limbah organik, di mana bahan organik yang melimpah dapat diolah menjadi produk bernilai tambah, sekaligus mengurangi dampak lingkungan dari limbah tersebut. Manajemen nutrisi menjadi aspek kritis di sini, karena rasio C/N yang tinggi dapat membantu menciptakan keseimbangan nutrisi yang optimal bagi mikroorganisme yang terlibat dalam fermentasi (Luo et al., 2023).

Durasi nyala api biogas juga meningkat dengan meningkatnya rasio C/N secara signifikan ($P < 0,01$), mencapai maksimum pada rasio C/N 34. Hal ini menunjukkan bahwa biogas yang dihasilkan dari rasio C/N 34 memiliki kualitas yang lebih baik dan dapat membakar lebih lama dibandingkan dengan rasio C/N lainnya. Temuan bahwa biogas dapat terbakar dengan nyala api biru setelah retensi waktu menunjukkan bahwa biogas tersebut memiliki kualitas yang baik dan cukup murni. Biasanya, nyala api biru menunjukkan pembakaran yang lebih sempurna dan efisien, yang berarti biogas tersebut memiliki kandungan metana yang tinggi dan kandungan impuritas yang rendah. Hal ini sangat penting untuk penerapan biogas sebagai sumber energi karena kualitas yang baik menjamin pembakaran yang lebih efisien dan menghasilkan energi lebih banyak (Ibeaja et al., 2023)

Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa variasi rasio C/N limbah kulit nenas mempengaruhi karakteristik dan kualitas biogas yang dihasilkan. Rasio C/N 34 nampaknya memberikan kualitas biogas yang paling optimal berdasarkan parameter yang dianalisis.

KESIMPULAN

Penelitian ini bertujuan mengetahui pengaruh variasi perbandingan C/N antara isi rumen sapi dan limbah kulit nenas terhadap karakteristik biogas. Disimpulkan bahwa rasio C/N berperan penting dalam menentukan kualitas biogas yang dihasilkan. Berdasarkan hasil analisis, rasio C/N 34 memberikan kualitas biogas yang paling optimal, ditandai dengan kandungan C-organik yang meningkat, kandungan nitrogen yang menurun, serta durasi nyala api yang lebih lama dibandingkan dengan rasio C/N lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa pemilihan rasio C/N yang tepat dapat meningkatkan efisiensi dan kualitas produksi biogas dari campuran isi rumen sapi dan limbah kulit nenas. Sebagai rekomendasi, untuk produksi biogas yang lebih efisien dan berkualitas, rasio C/N 34 harus dipertimbangkan sebagai rasio optimal. Selain itu, untuk penelitian lanjutan, dapat dilakukan eksplorasi lebih lanjut untuk memahami dampak dari variasi rasio C/N lainnya terhadap karakteristik biogas dan mengidentifikasi komponen lain yang mungkin mempengaruhi produksi biogas.

UCAPAN TERIMA KASIH

Disampaikan menyampaikan terima kasih dan pengakuan atas kontribusi mahasiswa (MF) dalam penelitian ini. Hasil telah didokumentasikan dengan baik dalam repositori perpustakaan UIN Suska Riau. Keputusan untuk mempublikasikan hasil penelitian ini dalam prosiding SNIPP 2 telah diambil bersama oleh semua penulis, dan dengan persetujuan dari pembimbing dan mahasiswa yang terlibat. Tim penulis menyatakan bahwa tidak ada konflik kepentingan yang berkaitan dengan publikasi makalah ini, memastikan integritas dan transparansi dalam proses publikasi. Kontribusi EP: menulis sebagian besar naskah, terlibat dalam perencanaan eksperimen hingga penyajian hasil, MF: merencanakan eksperimen, mengumpulkan data, menganalisis dan menyajikan hasil, AEH: memberikan panduan dan bimbingan.

DAFTAR PUSTAKA

- Afotey, B., & Sarpong, G. T. (2023). Estimation of biogas production potential and greenhouse gas emissions reduction for sustainable energy management using intelligent computing technique. *Measurement: Sensors*, 25, 100650. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.measen.2022.100650>
- Al Seadi, T., Drogg, B., Fuchs, W., Rutz, D., & Janssen, R. (2013). 12 - Biogas digestate quality and utilisation. In A. Wellinger, J. Murphy, & D. Baxter (Eds.), *The Biogas Handbook* (pp. 267-301). Woodhead Publishing. <https://doi.org/https://doi.org/10.1533/9780857097415.2.267>
- Angelidaki, I., Treu, L., Tsapekos, P., Luo, G., Campanaro, S., Wenzel, H., & Kougias, P. G. (2018). Biogas upgrading and utilisation: Current status and perspectives. *Biotechnology Advances*, 36(2), 452-466. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2018.01.011>
- Aworanti, O. A., Agarry, S. E., & Ogunleye, O. O. (2018). Kinetic and thermodynamic modelling studies of enhanced mixed animal wastes biomethanisation co-digested with pineapple fruit waste and chicken rumen. *International Journal of Renewable Energy Technology*, 9(4), 393-415. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1504/IJRET.2018.095793>
- Bharathi, S., & Yogesh, B. (2022). Anaerobic Co-digestion as a Smart Approach for Enhanced Biogas Production and Simultaneous Treatment of Different Wastes. In *Biotechnology for Zero Waste: Emerging Waste Management Techniques* (pp. 1-17). Wiley-VCH.
- Bhujbal, S. K., Ghosh, P., Vijay, V. K., Rathour, R., Kumar, M., Singh, L., & Kapley, A. (2022). Biotechnological potential of rumen microbiota for sustainable bioconversion of lignocellulosic waste to biofuels and value-added products. *Science of The Total Environment*, 152773. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152773>
- BPS - Statistics Indonesia. (2022). *Jumlah Ternak yang dipotong di RPH/TPH menurut Provinsi dan Jenis Ternak (Ekor) 2020-2022*. Jakarta: BPS - Statistics Indonesia
- 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. <https://doi.org/https://doi.org/10.14710/ijred.2023.49298>

- Budiyono, B., Syaichurrozi, I., & Sumardiono, S. (2013). Biogas production from bioethanol waste: the effect of pH and urea addition to biogas production rate. *Waste Technology*, 1(1), 1-5.
- Chhandama, M. V. L., Chetia, A. C., Satyan, K. B., Ruatpuia, J. V., & Rokhum, S. L. (2022). Valorisation of food waste to sustainable energy and other value-added products: A review. *Bioresource Technology Reports*, 100945. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.biteb.2022.100945>
- Ibeaja, A. C. E., Nwaogazie, I. L., & Udeh, N. (2023). Influence of Potash on Biogas Production from Cow Dung and Food Waste. *J. Eng. Res. Rep*, 24(7), 43-52.
- Ihsan, A., S. Bahri, dan Musafira. (2013). Produksi biogas menggunakan cairan isi rumen sapi dengan limbah cair tempe *Universitas Tadulako. Online Jurnal of Natural Science*, 2 27-35. <https://doi.org/https://doi.org/10.22487/25411969.2013.v2.i2.1644>
- Kotamraju, A., Logan, M., & Lens, P. N. L. (2023). Integrated bioprocess for Se(VI) remediation using duckweed: Coupling selenate removal to biogas production. *Journal of Hazardous Materials*, 459, 132134. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.132134>
- Luo, X., Liu, Y., Lei, L., Shen, J., Zhang, Q., Wang, Y., Ruan, R., & Cui, X. (2023). Co-ensiling of rice straw and distillers grains to increase methane production and maximise energy output. *Bioresource Technology*, 386, 129496. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biortech.2023.129496>
- Mamo, T. Z., Dutta, A., & Jabasingh, S. A. (2019). Start-up of a pilot scale anaerobic reactor for the biogas production from the pineapple processing industries of Belgium. *Renewable Energy*, 134, 241-246. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2018.11.058>
- Maurya, N. K. (2022). *Pharmacognosy & Nutrition Volume 2*. Virgin Sahityapeeth.
- Ogunleye, O. O., Aworanti, O. A., Agarry, S. E., & Aremu, M. O. (2016). Enhancement of animal waste biomethanation using fruit waste as co-substrate and chicken rumen as inoculums. *Energy Sources Part a-Recovery Utilization and Environmental Effects*, 38(11), 1653-1660. <https://doi.org/10.1080/15567036.2014.933286>
- Olukanni, D. O., Megbope, G. I., & Ogundare, O. J. (2022). Assessment of Biogas Generation Potential of Mixed Fruits Solid Waste. In *Biomethane through Resource Circularity* (pp. 177-188). CRC Press. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1201/9781003204435-20>
- Parajuli, P. (2011). Biogas measurement techniques and the associated errors. In Rasapoor, M., Young, B., Brar, R., Sarmah, A., Zhuang, W. Q., & Baroutian, S. (2020). Recognising the challenges of anaerobic digestion: Critical steps toward improving biogas generation. *Fuel*, 261, 116497. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.116497>
- Richard, T., & Trautmann, N. (1996). *C/N ratio*. Cornell Waste Management Institute. <http://cwmi.css.cornell.edu/>
- Rodriguez, C., Alaswad, A., Benyounis, K. Y., & Olabi, A. G. (2017). Pretreatment techniques used in biogas production from grass. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68, 1193-1204. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.02.022>

- Sáez-Plaza, P., Michałowski, T., Navas, M. J., Asuero, A. G., & Wybraniec, S. (2013). An overview of the Kjeldahl method of nitrogen determination. Part I. Early history, chemistry of the procedure, and titrimetric finish. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 43(4), 178-223.
- Steel, R. G. D., dan Torrie, J.H. (1993). *Prinsip dan Prosedur Statistika*. PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Sumardiono, S., Adisukmo, G., Hanif, M., Budiyono, B., & Cahyono, H. (2021). Effects of pretreatment and ratio of solid sago waste to rumen on biogas production through solid-state anaerobic digestion. *Sustainability*, 13(13), 7491. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/su13137491>
- Tasnim, A., Al Mamun, M. R., Hossen, M. A., Rahman, M. T., & Soeb, M. J. A. (2022). Comparison Effect on Biogas Production from Vegetable and Fruit Waste with Rumen Digesta Through Co-Digestion Process. *European Journal of Energy Research*, 2(1), 1-7. <https://doi.org/https://doi.org/10.24018/ejenergy.2022.2.1.38>
- Widjaja, T., Nurkhamidah, Altway, A., Iswanto, T., & Grady, E. N. (2021). Performance of Biogas Production from Coffee Pulp Waste with Cow Dung and Cattle Rumen Fluid as Inoculum in a Batch Reactor. *Proceedings of the International Conference on Sustainable Biomass (ICSB 2019)*. <https://doi.org/https://doi.org/10.2991/aer.k.210603.045>