



## KARAKTERISASI AWAL LIMBAH MAKANAN (*FOOD WASTE*) DAN KOTORAN SAPI PADA PROSES PRODUKSI BIOGAS, KOMPOS DAN PUPUK CAIR

Rani Anggraini<sup>1</sup>, Raisa Sevina<sup>2</sup>, Bella Dwi Pasca<sup>3</sup>, Satiti Kawuri Putri<sup>4</sup>, Putri Maharani<sup>5</sup>, Anna Anggraini<sup>6</sup>  
1,2,3,4,5,6 Universitas Jambi, Jambi, Indonesia

Email penulis korespondensi: [raisa.sevina@unja.ac.id](mailto:raisa.sevina@unja.ac.id)

### Abstract

*Food waste in Indonesia remains an unresolved environmental problem. Current waste management systems, which focus on landfill or incineration, increase greenhouse gas (GHG) emissions, water pollution, soil degradation, climate change, reduced biodiversity, and human health problems. Anaerobic digestion is a viable option for food waste management. This method has proven to be more efficient as a "green technology" alternative for processing industrial waste, crop residues, food scraps, and animal manure into alternative energy sources (biogas). The purpose of this study was to determine the initial characteristics of food waste and cow dung for the production of biogas, compost, and liquid fertilizer. The parameters analyzed included: organic carbon (Walkey & Black), available phosphorus (Olsen method), total potassium (25% HCl), nitrogen (Kjeldahl method), and moisture content. Test results showed that cow manure contained 40.16% organic carbon, 0.82% nitrogen, 420.87 ppm available phosphorus, 36.85 mg/100 g total potassium, and 97.54% water content. Meanwhile, food waste contained 25.10% organic carbon, 2.34% nitrogen, 42.40 mg/100 g total phosphorus, and 45.42 mg/100 g total potassium, as well as a very high water content of 87.19%. This difference in composition indicates that cow manure has the potential to be a good source of available carbon and phosphorus for compost, while food waste excels in nitrogen and potassium content. The combination of the two has the potential to produce liquid organic fertilizer and compost formulations with a balanced C/N ratio and increase the efficiency of biogas production. Thus, the integration of food waste and cow manure can be an effective and sustainable organic waste management strategy.*

**Keywords:** *Anaerobic digestion, Biogas, Cow manure, Food waste.*

### PENDAHULUAN

Limbah makanan atau *food waste* merupakan limbah yang dapat didegradasi secara biologis yang berasal dari berbagai sumber termasuk dari industri pengolahan makanan, rumah tangga, dan sektor perhotelan. Menurut FAO (2011) menyebutkan bahwa yang dimaksud dengan *food waste* adalah setiap makanan yang seharusnya dikonsumsi manusia akan tetapi tidak dikonsumsi dan dibuang karena beberapa alasan. Bond *et al.* (2013) menyebutkan bahwa yang dimaksud dengan *food waste* adalah setiap produk makanan yang dapat dimakan dan ditujukan untuk konsumsi manusia tetapi dibuang, hilang, rusak atau dikonsumsi oleh hewan, dan tidak termasuk bagian yang termakan atau merupakan bagian yang tidak diinginkan dari bahan makanan. Sedangkan menurut Linpinski *et al.* (2013) *Food waste* adalah setiap makanan dengan kualitas baik yang dapat dikonsumsi manusia tetapi karena alasan tertentu tidak dikonsumsi dan tidak dimanfaatkan

Pada tahun 2012, FAO menyatakan hampir 1,3 miliar ton makanan termasuk sayuran segar, buah-buahan, daging, roti, dan produk susu hilang di sepanjang rantai pasokan makanan. Jumlah *food waste* telah diproyeksikan akan meningkat pada 25 tahun kedepan karena pertumbuhan ekonomi dan populasi, terutama di Indonesia dan negara-negara Asia. Telah dilaporkan bahwa jumlah tahunan *food waste* perkotaan di negara-negara Asia dapat meningkat dari 278 menjadi 416 juta ton dari 2005 hingga 2025 (Melikoglu *et al.*, 2013). Sekitar 1,4 miliar hektar lahan subur (28% dari area pertanian dunia) digunakan setiap tahun untuk menghasilkan makanan yang hilang atau terbuang. Terlepas dari pemborosan makanan dan sumber daya lahan, jejak karbon limbah makanan yang tidak dikelola dengan baik diperkirakan berkontribusi pada emisi gas rumah kaca (GRK) dengan mengakumulasi sekitar 3,3 miliar ton CO<sub>2</sub> ke

atmosfer per tahunnya. Hal ini tentunya menjadi tantangan di setiap negara untuk mengatasi masalah yang ditimbulkan oleh timbunan limbah makanan yang dihasilkan.

Di Indonesia masalah yang belum diselesaikan hingga saat ini dari timbunan limbah makanan yang dihasilkan oleh masyarakat yaitu instalasi pengelolaan limbah makanan yang belum ada. Pengelolaan limbah makanan di Indonesia sendiri masih dimasukkan kedalam pengelolaan sampah kota dimana pengelolaan yang dilakukan masih berujung pada metode *landfilling* atau dikenal sebagai sistem kumpul-angkut-buang di dalam *landfill*. Sampah makanan yang mudah terurai yang seharusnya dapat dikelola secara terpisah juga ikut ditimbun di dalam *landfill*, dimana hal ini akan memperpendek jangka waktu pemakaian *landfill* itu sendiri. Faktanya metode *landfill* ini, memerlukan volume dan area yang sangat luas, sedangkan untuk daerah perkotaan lahan sangat terbatas keberadaannya. Hal ini menjadi masalah yang sangat serius yang harus diselesaikan. Masalah lain yang cukup mengkhawatirkan dalam penerapan sistem *landfill* sendiri adalah ketika pada kondisi hujan, air hujan akan terserap ke permukaan *landfill*, dan ketika air hujan mengalir keluar dari *landfill* akan membawa berbagai mineral dan zat organik dalam bentuk suspensi yang tidak dapat dipisahkan, sehingga akan berpotensi mencemari air tanah dan sumber air disekitar daerah *landfill* dan hal ini akan menimbulkan masalah baru.

Selain metode *landfill*, secara konvensional limbah makan yang termasuk kedalam sampah kota juga ikut dibakar. Insenerasi limbah makanan mengandung kelembaban tinggi dimana pada kondisi tersebut dapat memicu terjadinya pelepasan dioksin yang sangat berbahaya bagi kesehatan. Metode pembakaran juga mengurangi nilai ekonomi dari material yang seharusnya dapat dimanfaatkan kembali untuk menghasilkan produk yang lebih berharga atau dapat dikembalikan lagi ke lingkungan untuk keseimbangan alam. Oleh karena itu diperlukan metode yang tepat untuk mengelola limbah makanan.

*Anaerobic digestion* merupakan pilihan yang baik dalam pengelolaan limbah makanan. Metode ini telah terbukti lebih efisien sebagai alternatif “*green technology*” dalam mengelola limbah industri, sisa tanaman, sisa makanan dan kotoran hewan (Wan *et al.*, 2011). Keuntungan dari metode ini adalah produksi energi terbarukan dalam bentuk biogas dengan mendaur ulang nutrisi yang terkonsentrasi dalam residu pencernaan secara anaerobik (Zhang *et al.*, 2012; Angelidaki *et al.*, 2003). Limbah makanan sangat berpotensi untuk dijadikan sebagai bahan baku untuk pencernaan anaerobik karena potensi metana yang tinggi (Zhang *et al.*, 2011). Li *et al.* (2010) melaporkan bahwa kandungan lemak yang terdapat pada sisa makanan sekitar 23%. limbah kaya lemak seperti lemak dan minyak secara signifikan akan berkontribusi pada produksi metana (Wan *et al.*, 2011).

Namun, diketahui efisiensi dan stabilitas fermentasi yang hanya menggunakan substrat tunggal *food waste* cukup rendah. Hal ini dikarenakan kandungan rasio C / N yang terdapat pada *food waste* cukup rendah dan fraksi organik dalam *food waste* yang menyebabkan pengasaman akan menghambat proses fermentasi (Kawai *et al.*, 2014). Sebagian peneliti menyatakan bahwa selama pencernaan anaerobik dari sisa makanan, diperoleh gas metana sebanyak 400 - 500 mL/g VS (Izumi *et al.*, 2010; Heo *et al.*, 2004; Cho *et al.*, 1995). Namun, beberapa peneliti melaporkan hasil metana yang diperoleh relatif rendah berkisar antara 100 hingga 250 ml/g-VS. Hasil yang rendah ini dikaitkan dengan pengasaman selama pencernaan limbah makanan (Liu *et al.*, 2009; Dearman dan Bentham, 2007; Kim *et al.*, 2006). Efisiensi produksi gas metana sangat bergantung pada jenis dan komposisi substrat, serta kondisi operasi fermentasi seperti suhu, pH, dan waktu tinggal yang menentukan optimalnya hasil metana (Bhatia *et al.*, 2023; Pour & Makkawi, 2021; Bong *et al.*, 2018; Panigrahi & Dubey, 2019).

Oleh sebab itu pencampuran *food waste* dengan limbah organik lainnya, seperti kotoran hewan ternak dan sisa jerami tanaman dianggap lebih baik (Shen *et al.*, 2013; Zhang *et al.*, 2013b). Pencampuran *food waste* dengan limbah lain dalam satu digester menjadi semakin baik, dengan keuntungan menyesuaikan rasio C/N, meningkatkan hasil produksi metana, dan meningkatkan efisiensi pemanfaatan. Zhang *et al.* (2013a) melakukan penelitian dengan mencampurkan limbah makanan dan kotoran hewan, hasil dari uji batch dan semi-kontinu menunjukkan bahwa total produksi metana meningkat, dengan rasio limbah makanan yang optimal terhadap kotoran hewan sebesar 2. Pada rasio ini, total produksi metana dalam uji batch juga meningkat sebesar 41,1%, dan menghasilkan gas metana sebesar 388 mL / g-VS. Dalam semi-kontinu, total produksi metana dalam *co-digestion*, pada laju pembebanan organik (OLR) sebesar 10 g-VSFW / L /hari, meningkat sebesar 55,2%, dengan menghasilkan gas metana sebesar 317 mL / g-VS. Lisboa dan Lansing (2013) melakukan penelitian dengan menggunakan empat substrat limbah makanan (bakso, ayam, cranberry, dan limbah pemrosesan es krim) selama 69 hari dengan penambahan kotoran sapi perah terjadi peningkatan produksi metana.

Sejalan dengan hal tersebut, beberapa studi juga menyoroti pentingnya penentuan rasio pencampuran yang tepat antara limbah makanan dan kotoran sapi untuk peningkatan produksi gas metana

dan pemulihan nutrisi. Pengaturan komposisi substrat yang optimal dalam sistem *anaerobic co-digestion* terbukti mampu meningkatkan efisiensi biogas sekaligus mendukung konsep ekonomi sirkular melalui pemanfaatan digestat sebagai sumber hara (Samoraj et al., 2022; Orner et al., 2021).

Komposisi dan struktural sisa makanan seperti tingkat polimerisasi, kristalinitas, kandungan lignin dan pektin, serta luas permukaan dan sebagainya, juga dapat menghambat tahap hidrolisis dalam proses fermentasi. Sehingga, karakterisasi awal terhadap limbah makanan dan kotoran sapi menjadi langkah penting untuk menentukan rasio pencampuran optimum dan kebutuhan *pretreatment* yang tepat. Sifat fisikokimia dan biologis bahan baku, seperti kadar air, total padatan (TS), padatan mudah menguap (VS), pH, rasio karbon terhadap nitrogen (C/N), serta kandungan lignoselulosa, sangat memengaruhi efisiensi degradasi dan kestabilan fermentasi anaerobik. Rasio C/N yang seimbang berperan penting dalam menghindari akumulasi asam lemak volatil dan amonia yang dapat menghambat aktivitas mikroorganisme metanogenik. Rasio C/N yang terlalu tinggi juga dapat menghambat proses biodegradasi karena ketersediaan nitrogen menjadi faktor pembatas bagi pertumbuhan mikroorganisme (Riadi et al., 2020, *as cited in* Widyarsana & Sevina, 2024). Limbah makanan cenderung memiliki kandungan karbon tinggi dan rasio C/N rendah, sedangkan kotoran sapi berfungsi sebagai sumber nitrogen dan inokulum alami yang dapat menyeimbangkan nutrisi serta meningkatkan produksi biogas (Karki et al., 2022; Zhang et al., 2023).

Penelitian terbaru menunjukkan bahwa ko-digesti limbah makanan dan kotoran sapi dapat meningkatkan produksi metana hingga dua kali lipat dibandingkan dengan digesti tunggal, sekaligus menghasilkan residu padat dan cair yang kaya nutrisi dan dapat dimanfaatkan sebagai kompos serta pupuk cair (Phuttaro et al., 2024; Chen et al., 2021). Dengan demikian, karakterisasi awal bahan baku menjadi dasar penting untuk menentukan rasio pencampuran optimum, kebutuhan *pretreatment*, serta estimasi kualitas produk akhir yang dihasilkan dari proses biokonversi limbah organik. Berdasarkan uraian tersebut maka peneliti mencoba untuk melakukan tahap karakterisasi awal pada pengelolaan *food waste* dan kotoran sapi. Kotoran sapi digunakan sebagai substrat dan inokulum (aktifator) untuk proses fermentasi anaerobik. Kotoran sapi yang digunakan yaitu kotoran sapi yang telah diencerkan. Tujuan penelitian ini yaitu untuk mengetahui karakterisasi limbah makanan dan kotoran sapi sebelum dilakukan pengolahan dengan metode *anaerobic digestion* sehingga didapatkan formulasi konsentrasi penambahan kotoran sapi yang tepat dalam menghasilkan biogas yang optimal, dan produk ikutannya (kompos dan pupuk cair) pada jumlah yang optimal dan kualitas yang baik.

## METODE

### *Desain Penelitian*

Metode pengujian karakterisasi limbah makanan dan kotoran sapi dilakukan menggunakan beberapa prosedur standar analisis kimia tanah dan pupuk organik. Parameter yang diuji meliputi kadar karbon organik (C-organik), nitrogen total (N-total), fosfor tersedia (P-tersedia), kalium total (K-total), serta kadar air. Analisis C-organik dilakukan menggunakan metode Walkley & Black, yang didasarkan pada oksidasi bahan organik dengan larutan kalium dikromat ( $K_2Cr_2O_7$ ) dalam suasana asam dan titrasi sisa dikromat untuk menentukan kadar karbon. Kandungan nitrogen total dianalisis dengan metode Kjeldahl, yang melibatkan proses destruksi, destilasi, dan titrasi untuk mengukur total nitrogen organik dan anorganik dalam sampel. Pengujian fosfor tersedia menggunakan metode Olsen, sedangkan K-total dianalisis menggunakan pelarutan dengan HCl 25%, kemudian diukur menggunakan spektrofotometer serapan atom (Atomic Absorption Spectrometer, AAS). Sementara itu, kadar air ditentukan sesuai dengan SNI 01-2891-1992 butir 5.1, yaitu dengan metode pengeringan menggunakan oven hingga berat konstan. Peralatan utama yang digunakan antara lain analytical balance, alat gelas laboratorium, AAS, dan UV-Vis spectrophotometer. Hasil pengujian ini memberikan gambaran komposisi unsur hara dan sifat kimia dasar dari limbah makanan serta kotoran sapi sebagai dasar perancangan proses ko-digesti anaerob untuk produksi biogas, kompos, dan pupuk cair.

### *Target/Subjek Penelitian*

Parameter yang diuji meliputi kadar karbon organik (C-organik), nitrogen total (N-total), fosfor tersedia (P-tersedia), kalium total (K-total), serta kadar air.

### Prosedur Penelitian

Analisis C-organik dilakukan menggunakan metode Walkley & Black, yang didasarkan pada oksidasi bahan organik dengan larutan kalium dikromat ( $K_2Cr_2O_7$ ) dalam suasana asam dan titrasi sisa dikromat untuk menentukan kadar karbon. Kandungan nitrogen total dianalisis dengan metode Kjeldahl, yang melibatkan proses destruksi, destilasi, dan titrasi untuk mengukur total nitrogen organik dan anorganik dalam sampel. Pengujian fosfor tersedia menggunakan metode Olsen, sedangkan K-total dianalisis menggunakan pelarutan dengan HCl 25%, kemudian diukur menggunakan spektrofotometer serapan atom (*Atomic Absorption Spectrometer*, AAS). Sementara itu, kadar air ditentukan sesuai dengan SNI 01-2891-1992 butir 5.1, yaitu dengan metode pengeringan menggunakan oven hingga berat konsta

### Instrumen dan Teknik Pengumpulan Data

Peralatan utama yang digunakan antara lain *analytical balance*, alat gelas laboratorium, AAS, dan UV-Vis spectrophotometer.

### Teknik analisis data

Teknik analisis data diawali dengan *reduksi data*, dimana data hasil pengukuran laboratorium dikonversi menjadi nilai kimia yang dapat diinterpretasikan. Data titrasi dari metode Walkley & Black dikonversi menjadi persentase C-organik menggunakan faktor kalkulasi tertentu, sementara data titrasi dari metode Kjeldahl dihitung untuk mendapatkan persentase N-total. Pembacaan instrumental dari *Atomic Absorption Spectrometer* (AAS) untuk kalium dan dari UV-Vis Spectrophotometer untuk fosfor masing-masing dikonversi menjadi satuan bagian per juta (ppm) atau persen. Selanjutnya, dilakukan analisis deskriptif kuantitatif dengan menyajikan seluruh hasil dalam bentuk tabel komposisi kimia yang memuat rata-rata, standar deviasi (bila ada replikasi), dan satuan untuk setiap parameter. Pada tahap ini, rasio C/N untuk masing-masing bahan (limbah makanan dan kotoran sapi) juga dihitung, serta dilakukan perbandingan komposisi kimia antara keduanya. Tahap interpretasi data kemudian dilakukan untuk menganalisis kecukupan unsur hara, mengevaluasi keseimbangan nutrisi berdasarkan rasio C/N, mengidentifikasi potensi komplementaritas antara kedua substrat, dan merumuskan rekomendasi formulasi campuran yang optimal berdasarkan karakteristik kimia yang terukur. Tahap akhir adalah validasi data, yang meliputi pengecekan konsistensi hasil analisis dengan merujuk pada komposisi bahan sejenis dari literatur, verifikasi melalui perhitungan neraca massa sederhana, serta konfirmasi reliabilitas data dengan memastikan bahwa seluruh metode standar yang digunakan telah diikuti dengan benar.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian tahun pertama dimulai dengan tahap karakterisasi awal bahan baku utama dan proses fermentasi dengan anaerobic digester. Karakterisasi awal dilakukan pada limbah makanan (food waste) dan kotoran sapi, sebagai dasar formulasi proses fermentasi untuk produksi biogas, kompos, dan pupuk cair. Analisis dilakukan di UPT Laboratorium Dasar dan Terpadu Universitas Jambi dengan parameter uji C-organik, N-total, P-tersedia/P-total, K-total, dan kadar air menggunakan metode standar (Walkley & Black, Kjeldahl, Olsen, HCl 25%, dan SNI 01-2891-1992) dan Advanced Innovation and Research Laboratory Kampus Pondok Meja. Hasil Pengujian karakterisasi pada limbah makanan dan kotoran sapi sebagai bahan baku proses produksi biogas, kompos dan pupuk cair dapat dilihat pada Tabel 1.

Nilai C-organik menunjukkan kandungan bahan organik total yang dapat didegradasi menjadi sumber energi bagi mikroba. Hasil uji menunjukkan C-organik kotoran sapi sebesar 40,16%, sementara limbah makanan 25,10%. Nilai ini sejalan dengan rentang 35–45% yang dilaporkan pada kotoran sapi segar oleh Putri *et al.* (2020) dan Wahyuni *et al.* (2023), serta 20–30% untuk limbah makanan sebagaimana dilaporkan oleh Zhang *et al.* (2018) dan Awasthi *et al.* (2019). C-organik tinggi menandakan ketersediaan karbon struktural (selulosa dan lignin), sedangkan kadar lebih rendah pada limbah makanan mengindikasikan fraksi organik mudah terurai seperti pati dan lemak. Dengan demikian, kotoran sapi berfungsi sebagai sumber karbon dan pengatur struktur padatan, sementara limbah makanan menyediakan senyawa mudah terdegradasi yang mempercepat tahap hidrolisis fermentasi.

Hasil uji N-total menunjukkan bahwa limbah makanan memiliki kadar nitrogen sebesar 2,34%, lebih tinggi dibandingkan 0,82% pada kotoran sapi. Data ini sesuai dengan temuan Kaza *et al.* (2023) dan Lestari *et al.* (2022), di mana limbah makanan rumah tangga memiliki kandungan nitrogen 2–3%, sedangkan pupuk kandang sapi segar berkisar 0,7–1,2%. Nitrogen merupakan unsur penting bagi

pertumbuhan mikroorganisme dan sintesis enzim metanogenik, namun kadar N yang berlebih dapat menimbulkan akumulasi amonia ( $\text{NH}_3$ ) yang menurunkan pH fermentasi (Kawai *et al.*, 2021). Oleh karena itu, rasio C/N yang seimbang menjadi faktor kunci keberhasilan fermentasi anaerob.

Tabel 1. Hasil karakterisasi awal bahan baku

No	Jenis Sampel	Parameter	Hasil	Metode
1	Kotoran sapi	C-organik	40,16 %	Walkley & Black
2	Kotoran sapi	N-total	0,82 %	Kjeldahl
3	Kotoran sapi	P-tersedia	420,87 ppm	Olsen
4	Kotoran sapi	K-total	36,85 mg/100 g	HCl 25%
5	Kotoran Sapi	Kadar air	97,54%	SNI 01-2891-1992
5	Limbah makanan	C-organik	25,10 %	Walkley & Black
6	Limbah makanan	N-total	2,34 %	Kjeldahl
7	Limbah makanan	P-total	42,40 mg/100 g	HCl 25%
8	Limbah makanan	K-total	45,42 mg/100 g	HCl 25%
9	Limbah makanan	Kadar air	87,19 %	SNI 01-2891-1992

Kadar fosfor (P) dan kalium (K) juga menunjukkan nilai yang mendukung proses fermentasi dan kualitas produk akhir. P-tersedia pada kotoran sapi tercatat sebesar 420,87 ppm, sedangkan limbah makanan memiliki P-total sebesar 42,40 mg/100 g ( $\approx 424$  ppm). Nilai ini sejalan dengan hasil penelitian Kumar *et al.* (2020), di mana kadar P pada manure berkisar antara 300–500 ppm, serta pada limbah organik domestik antara 250–450 ppm. Fosfor berperan penting dalam metabolisme energi mikroba dan mempengaruhi kualitas digestat padat (Awasthi *et al.*, 2019). Kandungan K-total pada limbah makanan (45,42 mg/100 g) sedikit lebih tinggi dibandingkan kotoran sapi (36,85 mg/100 g), sesuai dengan laporan Rahman *et al.* (2021) yang menemukan kadar K pada sisa sayuran dan buah antara 40–60 mg/100 g. Kalium juga memperkuat fungsi osmotik dan enzimatik selama fermentasi serta meningkatkan mutu pupuk cair organik (Mahmood *et al.*, 2020).

Kadar air limbah makanan mencapai 87,19%, sedangkan kotoran sapi berkisar antara 70–80%. Nilai tersebut masih berada dalam kisaran ideal untuk substrat fermentasi, yakni 85–90% untuk *food waste* dan 75–78% untuk *cattle manure* sebagaimana dijelaskan oleh Zhang *et al.* (2018) dan Ma *et al.* (2017). Kadar air yang tinggi menunjukkan bahwa limbah makanan sesuai untuk fermentasi semi-basah atau basah ( $\text{TS} < 15\%$ ), meskipun kelebihan air dapat menurunkan efisiensi biogas karena menurunkan konsentrasi padatan terdegradasi (Naran *et al.*, 2016). Kombinasi kedua bahan diharapkan menghasilkan total padatan optimum sekitar 12–18% (Zhang *et al.*, 2018).

Dari hasil pengujian diperoleh rasio C/N kotoran sapi sebesar  $40,16/0,82 \approx 49$  dan limbah makanan sebesar  $25,10/2,34 \approx 11$ . Rasio ideal untuk fermentasi anaerob berada pada kisaran 20–30 (Ariunbaatar *et al.*, 2019). Penelitian Li *et al.* (2020) menunjukkan bahwa pencampuran substrat dengan rasio C/N seimbang dapat meningkatkan produksi metana hingga 52% dibandingkan substrat tunggal serta menurunkan akumulasi asam lemak volatil dan amonia.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil karakterisasi awal bahan baku, diketahui bahwa limbah makanan dan kotoran sapi memiliki potensi besar sebagai substrat dalam proses produksi biogas, kompos, dan pupuk cair melalui fermentasi anaerobik. Kandungan C-organik pada kotoran sapi (40,16%) menunjukkan tingginya bahan organik kompleks yang berfungsi sebagai sumber karbon struktural, sedangkan limbah makanan memiliki C-organik lebih rendah (25,10%) namun kaya senyawa mudah terdegradasi. Kandungan N-total yang lebih tinggi pada limbah makanan (2,34%) dibanding kotoran sapi (0,82%) menunjukkan potensi peranannya sebagai penyumbang nitrogen untuk pertumbuhan mikroba. Nilai P dan K pada kedua bahan tergolong tinggi, mendukung kualitas hasil fermentasi baik sebagai biogas maupun residu pupuk organik. Rasio C/N masing-masing bahan, yaitu sekitar 49 untuk kotoran sapi dan 11 untuk limbah makanan, menunjukkan bahwa pencampuran keduanya diperlukan untuk mencapai rasio ideal 20–30 yang mendukung fermentasi optimal. Selain itu, kadar air yang tinggi pada limbah makanan (87,19%) sesuai untuk fermentasi basah, sedangkan kotoran sapi berperan dalam menyeimbangkan total padatan (TS). Dengan demikian, karakterisasi ini menjadi dasar penting dalam menentukan formulasi campuran yang

seimbang, meningkatkan efisiensi produksi biogas, serta menghasilkan kompos dan pupuk cair dengan kualitas yang baik dan berpotensi mengurangi emisi gas rumah kaca.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Jambi atas dukungan pendanaan yang diberikan melalui program penelitian tahun 2025. Dukungan ini sangat berperan dalam terlaksananya kegiatan penelitian hingga tahap akhir penyusunan laporan.

### REFERENSI

- Angelidaki, I., Ellegaard, L., & Ahring, B. K. (2003). *Applications of the anaerobic digestion process*. *Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology*, 82, 1–33. [https://doi.org/10.1007/3-540-45839-5\\_1](https://doi.org/10.1007/3-540-45839-5_1)
- Ariunbaatar, J., Panico, A., Esposito, G., Pirozzi, F., & Lens, P. N. L. (2019). *Pretreatment and codigestion strategies for enhanced biogas production: Current advances and challenges*. *Applied Energy*, 253, 113581. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113581>
- Awasthi, M. K., Li, J., Kumar, S., Awasthi, S. K., Wang, Q., & Chen, H. (2019). *Nutrient dynamics and microbial structure during co-composting of manure with food waste*. *Bioresource Technology*, 272, 522–533. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.10.063>
- Bhatia, L., Jha, H., Sarkar, T., dan Sarangi, PK (2023). *Pemanfaatan limbah makanan untuk mengurangi jejak karbon menuju lingkungan yang berkelanjutan dan lebih bersih: sebuah tinjauan*. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 20 (3), 2318. doi:10.3390/ijerph20032318
- Bond, M., Meacham, T., Bhunnoo, R., & Benton, T. G. (2013). *Food waste within global food systems*. Global Food Security Programme Report, UK.
- Bong, CPC, Lim, LY, Lee, CT, Klemeš, JJ, Ho, CS, dan Ho, WS (2018). Karakterisasi dan pengolahan limbah makanan untuk peningkatan produksi biogas selama pencernaan anaerobik—Sebuah tinjauan. *J. Clean. Prod.* 172, 1545–1558. doi:10.1016/j.jclepro.2017.10.199
- Chen, Y., Li, L., & Liu, G. (2021). Synergistic effects of co-digestion of food waste and cattle manure on biogas production and digestate quality. *Bioresource Technology*, 337, 125478. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125478>
- Cho, J. K., Park, S. C., & Chang, H. N. (1995). Biochemical methane potential and solid-state anaerobic digestion of Korean food wastes. *Bioresource Technology*, 52(3), 245–253. [https://doi.org/10.1016/0960-8524\(95\)00025-3](https://doi.org/10.1016/0960-8524(95)00025-3)
- Dearman, B., & Bentham, R. (2007). Anaerobic digestion of food waste: comparing leachate and digester performance. *Bioresource Technology*, 98(10), 1915–1921.
- FAO. (2011). *Global food losses and food waste – Extent, causes and prevention*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Heo, N. H., Park, S. C., & Kang, H. (2004). Effects of mixture ratio and hydraulic retention time on single-stage anaerobic co-digestion of food waste and waste activated sludge. *Journal of Environmental Engineering*, 130(7), 847–854.
- Izumi, K., Okishio, Y., Nagao, N., Niwa, C., Yamamoto, S., & Toda, T. (2010). Effects of particle size on anaerobic digestion of food waste. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 64(7), 601–608. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2010.06.013>
- Karki, R., Yadav, S., & Shrestha, P. (2022). Evaluation of biogas production potential from co-digestion of kitchen waste and cow manure: Effect of substrate ratio and pretreatment. *Renewable Energy*, 191, 945–954. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.04.087>
- Kawai, M., Nagao, N., Niwa, C., & Okishio, Y. (2021). Stability and performance of anaerobic digestion under high nitrogen loading. *Bioresource Technology*, 337, 125459. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125459>
- Kaza, S., Yao, L., & Bhada-Tata, P. (2023). *What a Waste 2.0: Food waste composition and characteristics in Asia*. Washington, DC: World Bank Publications.
- Kim, J. K., Oh, B. R., Chun, Y. N., & Kim, S. W. (2006). Effects of temperature and hydraulic retention time on anaerobic digestion of food waste. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 102(4), 328–332.

- Kumar, A., Sharma, P., & Dutta, S. (2020). Nutrient content and compost maturity during co-composting of cattle manure and agricultural residues. *Environmental Technology & Innovation*, 18, 100742. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.100742>
- Li, Y., Jin, Y., Borrion, A., & Li, J. (2020). Influence of feedstock characteristics on anaerobic digestion of food waste: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 128, 109873. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109873>
- Linpinski, M., Kranert, M., & Schneider, F. (2013). Food waste management in Europe: Systems and strategies. *Waste Management*, 33(12), 2501–2504.
- Lisboa, M. S., & Lansing, S. (2013). Characterizing food waste substrates for co-digestion through biochemical methane potential and anaerobic toxicity assays. *Waste Management*, 33, 2664–2669.
- Lestari, W., Handayani, D., & Arifin, M. (2022). Kandungan hara makro limbah makanan domestik di Indonesia. *Indonesian Journal of Environmental Science and Technology*, 8(1), 33–40.
- Liu, X., Wang, W., Gao, X., Zhou, Y., Shen, R., & Ye, J. (2009). Mechanism and performance of anaerobic digestion of food waste under overload conditions. *Bioresource Technology*, 100(21), 4951–4957.
- Ma, J., Duong, T. H., Smits, M., Verstraete, W., & Carballa, M. (2017). Biochemical methane potential of kitchen waste after thermal pretreatment. *Waste Management*, 68, 573–584. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.06.024>
- Mahmood, Q., Zheng, P., Islam, E., & Sun, G. (2020). Potassium role in microbial metabolism and anaerobic digestion performance. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(6), 104535. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104535>
- Melikoglu, M., Lin, C. S. K., & Webb, C. (2013). Analysing global food waste problem: Pinch analysis and life cycle assessment. *Waste Management*, 33(1), 174–179.
- Naran, E., Toor, U. A., & Kim, D. J. (2016). Effect of anaerobic co-digestion of food waste and sludge on methane production and stabilization. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 115, 76–84. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2016.07.002>
- Orner, G., & Samoraj, M. (2021). Anaerobic co-digestion of combined food waste and cow manure for biogas optimization and nutrient recovery. *Renewable Energy and Environmental Sustainability*, 6(23), 1–12.
- Panigrahi, S., dan Dubey, BK (2019). Tinjauan kritis tentang parameter operasi dan strategi untuk meningkatkan hasil biogas dari pencernaan anaerobik fraksi organik sampah kota. *Renew. Energy* 143, 779–797. doi:10.1016/j.renene.2019.05.040
- Phuttaro, C., Rerngnarong, N., & Chairasert, P. (2024). Co-digestion of cow manure and food waste for biogas enhancement and nutrient recovery in a bio-circular economy. *Journal of Environmental Management*, 355, 120823. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120823>
- Pour, FH, dan Makkawi, YT (2021). Tinjauan pengelolaan limbah makanan pascakonsumsi dan potensinya untuk produksi biofuel. *Energy Rep.* 7, 7759–7784. doi:10.1016/j.egyr.2021.10.119
- Putri, A. D., Suryani, D., & Rudiansyah. (2020). Evaluasi karakteristik pupuk kandang sapi sebagai bahan dasar kompos dan bioenergi. *Jurnal Rekayasa Lingkungan*, 9(2), 55–63.
- Rahman, M. M., Hossain, M. A., & Miah, M. A. M. (2021). Assessment of nutrient composition of household food waste compost. *Journal of Environmental Management*, 290, 112592. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112592>
- Samoraj, M., Orner, G., Sarker, A., & Abbas, A. (2022). Sustainable food waste recycling for the circular economy in developing countries, with special reference to Bangladesh. *Sustainability*, 14(19), 12035.
- Shen, Y., Linville, J. L., Urgun-Demirtas, M., Mintz, M. M., & Snyder, S. W. (2013). An overview of biogas production and utilization at full-scale wastewater treatment plants (WWTPs) in the United States: Challenges and opportunities towards energy-neutral WWTPs. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 50, 346–362.
- Wan, C., Zhou, Q., & Fu, G. (2011). Anaerobic digestion of food waste for biogas production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(7), 3709–3719.
- Wahyuni, N., Hidayat, R., & Puspita, A. (2023). Analisis kandungan C, N, P, dan K pada pupuk organik padat kotoran sapi. *Jurnal Agroindustri dan Lingkungan*, 14(1), 45–53.
- Widyarsana, I. M. W., & Sevina, R. (2024). Study on the quality improvement of mixed municipal solid waste by greenhouse blackout tarp with biodrying system. *Journal of Ecological Engineering*, 25(11), 200–209.

- Zhang, C., Xiao, G., Peng, L., Su, H., & Tan, T. (2018). The anaerobic co-digestion of food waste and cattle manure: Performance and microbial community. *Bioresource Technology*, 249, 464–471. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.10.070>
- Zhang, H., Li, X., & Zhao, J. (2023). Influence of feedstock characteristics on anaerobic digestion performance and digestate utilization. *Waste Management*, 155, 164–175. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2023.02.031>
- Zhang, Y., Banks, C. J., & Heaven, S. (2011). Anaerobic digestion of two biodegradable municipal solid wastes. *Journal of Environmental Management*, 92(3), 902–908.
- Zhang, Y., Banks, C. J., & Heaven, S. (2018). Optimization of semi-continuous anaerobic digestion of food waste: Influence of total solids and temperature. *Waste Management*, 71, 470–480. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.10.028>
- Zhang, Y., & Li, L. (2013a). Co-digestion of food waste and cattle manure under mesophilic conditions: Batch and semi-continuous operation. *Bioresource Technology*, 146, 505–512.
- Zhang, Y., Li, L., & Chen, S. (2013b). Synergistic effect of co-digestion of food waste and straw on biogas production and digestate quality. *Bioresource Technology*, 146, 261–266.