

Systematic literature review: Pemanfaatan Internet of Things pada Teknik Perancangan Biogas

Puput Eka Suryani

Puput_eka@usp.ac.id

Universitas Safin Pati, Jalan Raya Pati-Tayu Km 13 Desa Mojoagung, Kecamatan Trangkil, Pati, Jateng

Intisari

Salah satu energi alternatif yang masif untuk dikembangkan adalah produksi biogas dari bahan baku biomassa. Belum maksimalnya pemanfaatan biogas dikarenakan sistem ini masih memerlukan banyak pengembangan, baik dari aspek pembiayaan, operasional, dan *maintenance*. Pemanfaatan IOT telah meluas pada banyak bidang, dengan mentransformasi bentuk manual menjadi perintah otomatis melalui internet. Transisi ini tentu saja dapat memberikan banyak keuntungan mulai dari penghematan energi, efisiensi, akurasi dan fleksibilitas yang tinggi. Integrasi IOT dalam teknik perancangan biogas mampu meningkatkan peluang dalam memaksimalkan energi terbarukan. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui peran pemanfaatan IOT pada sistem produksi biogas. Berdasarkan sumber rujukan berupa publikasi artikel yang telah terindeks google scholar dapat disimpulkan bahwa penerapan IOT dalam produksi biogas memainkan peran penting dalam meningkatkan efisiensi, pemantauan *real-time*, dan otomatisasi proses. Penerapan teknologi IOT terbukti mampu meningkatkan efektivitas pengelolaan proses fermentasi anaerob pada skala laboratorium maupun skala industri. Peran IOT pada proses biogas sebagian besar berfokus pada bagian pemantauan, walaupun secara menyeluruh penggunaan IOT meliputi unit sensing, unit kontrol, unit komunikasi. Jenis instrumen yang sering dipakai meliputi MQ-7 untuk sensor temperatur, kelembaban, dan CO₂. Deteksi gas oksigen menggunakan sensor ME2-02. Pemantauan konsentrasi metana menggunakan detektor MQ-4. Nilai pH diukur menggunakan sensor PH4502C. Pembacaan tekanan menggunakan sensor BMP 180.

Kata kunci:
IOT, sistem monitoring,
Biogas

Tentang naskah:
-diterima, 24 Des 2024
-diterbitkan, 3 Jan 2025

Abstract

One of the alternative energy that is massively developed is biogas production from biomass raw materials. The utilization of biogas has not been maximized considering that this system still requires a lot of development, both in terms of financing, operations, and maintenance. The utilization of IOT has expanded in many fields, by transforming manual forms into automatic commands via the internet. This transition can certainly provide many benefits ranging from energy savings, efficiency, accuracy and high summary. The integration of IOT in biogas design techniques can increase opportunities to maximize renewable energy. The purpose of this study was to determine the role of IOT utilization in biogas production systems. Based on reference sources in the form of article publications that have been indexed by Google Scholar, it can be concluded that the application of IOT in biogas production plays an important role in increasing efficiency, real-time monitoring, and automation processes. The application of IOT technology has been proven to be able to increase the effectiveness of anaerobic fermentation management on a laboratory scale and an industrial scale. The role of IOT in the biogas process Most of the focus is on the monitoring section, although overall the use of IOT includes sensing units, control units, communication units. Types of instruments that are often used include MQ-7 for temperature, humidity, and CO₂ sensors. Oxygen gas detection uses the ME2-02 sensor. Methane concentration monitoring using MQ-4 detector. pH value using PH4502C measured sensor. Pressure reading using BMP 180 sensor.

Keyword:
IOT, monitoring system,
Biogas

1. Pendahuluan

Masalah energi masih menjadi isu fundamental yang menarik perhatian banyak pihak (Jameel et al., 2024). Kebutuhan energi yang semakin meningkat tidak hanya dikarenakan oleh pertumbuhan populasi secara global, namun juga disebabkan oleh perilaku konsumtif secara berlebihan. Penggunaan energi alternatif menjadi salah satu solusi untuk memenuhi pasokan energi baik pada tingkat lokal maupun global. Pemanfaatan energi konvensional masih menjadi pemasok dominan pada negara maju dan berkembang, walaupun memiliki dampak buruk terhadap pemanasan global dan ketidakmampuannya untuk diperbaharui dalam jangka waktu yang relatif cepat (Maradin, 2021). Beberapa faktor yang menjadi pendorong dalam pengupayaan energi alternatif adalah keamanan energi, krisis lingkungan dan pertumbuhan ekonomi (Kabeyi & Olanrewaju, 2022). Belum maksimalnya pemanfaatan energi dikarenakan produksi energi terbarukan masih memerlukan banyak penyempurnaan, baik dari aspek pembiayaan, operasional, hingga sumber bahan baku. Negara industri ataupun semi industri telah berlomba-lomba menemukan solusi untuk menemukan produksi biogas yang mampu menahan kepunahan energi fosil. Hal ini dikarenakan energi menempati faktor pertama dalam pergerakan roda ekonomi setelah terjadinya revolusi industri (Jameel et al., 2024). Kampanye mengenai substitusi energi konvensional dengan energi alternatif telah menjadi fokus internasional, diantaranya yaitu adanya perjanjian internasional di Kyoto pada agenda21 yang membahas tentang peralihan menuju penggunaan energi *low carbon* (Moreau & Vuille, 2018).

Salah satu energi alternatif yang masih untuk dikembangkan adalah produksi biogas dari bahan baku biomassa. Sumber input dari biogas sangat beragam, mulai dari limbah peternakan, limbah pertanian, sampai kepada limbah domestik (Ahmad Rafiee et al., 2021). Instalasi biogas menjadi yang paling

mudah dibandingkan dengan jenis lainnya, dapat diterapkan dimana saja dan kapan saja karena berasal dari limbah organik yang berlimpah, tidak seperti sumber energi angin dan solar yang mungkin terbatas pada daerah tertentu (Lisowyj & Wright, 2020). Pemanfaatan biogas adalah dapat menjadi alternatif untuk mendapat energi yang berkelanjutan serta mampu menjaga kelestarian lingkungan (Mabrouki et al., 2021). Produksi biogas telah mengalami kenaikan seiring dengan pemanfaatan secara komersial sebagai bahan bakar yang dapat dikonversi menjadi sumber listrik, ditunjang dengan kelebihan dari biogas sebagai bahan bakar rendah GRK (Gas Rumah Kaca) (Banerjee et al., 2021).

Komposisi utama penyusun biogas diantaranya adalah metana, karbondioksida, dengan sebagian kecil mengandung hidrogen sulfida, nitrogen, oksigen, senyawa organik volatil, karbon monoksida, dan amonia (Banerjee et al., 2021). Secara persentase komposisi biogas untuk metana adalah sebesar 55-75%, sedangkan untuk CO₂ adalah sebesar 25-45%, dan beberapa komponen kecil seperti Nitrogen adalah sebesar 0-5%, hidrogen 0-1%, hidrogen sulfida 0-1%, dan oksigen 0-2% (Banerjee et al., 2021).

Beberapa limbah/*sewage* yang siap digunakan sebagai bahan baku biogas memiliki komposisi utama yaitu protein, gula, phenols, dan lipid (Sivamani S et al., 2018). Selain menggunakan limbah domestik, alternatif menjanjikan lainnya yang bisa digunakan adalah limbah peternakan. Hampir semua jenis kotoran hewan dapat diolah menjadi biogas, namun yang memiliki kualifikasi lebih unggul adalah kotoran sapi. Dalam kotoran sapi terdapat selulosa yang relatif tinggi dan secara alami mengandung bakteri penghasil gas metana (Shitophyta LM et al., 2022). Bahan baku lain yang pernah dikembangkan adalah limbah dari pabrik kelapa sawit, yaitu dengan memanfaatkan POME menjadi bahan bakar mesin gas pembangkit listrik, atau

Pembangkit Listrik Tenaga Biogas (PLTBg) (Pangarso SS & Kusdiyantini E, 2022). Dari limbah pertanian juga dapat menjadi sumber bahan baku yang melimpah dalam pembuatan biogas diantaranya adalah pemanfaatan jerami padi. Melimpahnya hasil padi berpeluang besar terhadap ketersediaan jerami secara kontinyu, hal ini tentu saja berpotensi sebagai suplai pemenuhan energi (Li Chong et al., 2019). Dalam komposisinya jerami padi merupakan limbah lignoselulosa sehingga sangat tepat jika digunakan sebagai bahan baku produksi biogas (Anwar et al., 2021). Limbah yang dihasilkan dari industri kecil seperti pabrik tahu juga merupakan kandidat baik sebagai bahan baku biogas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa substrat limbah tahu mampu menghasilkan nyala api biru sebagai indikator terbentuknya metana selama proses fermentasi (Yoseph et al., 2022).

IOT pada produksi biogas juga telah dikembangkan oleh banyak peneliti, hal ini menunjukkan bahwa penggunaan IOT dapat meningkatkan efektivitas produksi. Tujuan dalam penelitian ini adalah untuk mendapatkan informasi mengenai tren perkembangan penelitian berbasis IOT pada Teknik perancangan biogas selama rentang tahun 2019-2023, serta untuk mengetahui peran IOT dalam proses produksi biogas dan jenis instrumen apa yang paling banyak digunakan.

2. Kerangka Teori

2.1 Jenis Reaktor

2.1.1 IC Reaktor

Jenis reaktor ini digunakan untuk limbah dengan konsentrasi dan kandungan organik yang tinggi, ditandai dengan nilai COD substrat yang tinggi. Disebut sebagai reaktor IC (*Internal Circulation*) karena pada bagian dalam reaktor terjadi sirkulasi air dari bawah ke atas, dan sebaliknya. Cara kerja dari jenis reaktor ini dimulai dengan masuknya limbah dari bagian bawah reaktor, kemudian terjadi proses pencampuran

antara limbah organik dengan lumpur aktif yang kaya akan bakteri anaerobik. Pada bagian bawah dan tengah reaktor merupakan daerah optimal dalam proses degradasi limbah organik menjadi metana dan biomassa. Limbah dengan kandungan senyawa organik lebih rendah akan terangkat ke atas bersama dengan air dan metana. Uap air dan produk metana akan dipisahkan melalui sebuah modul di bagian atas reaktor. Air yang terkumpul dari hasil kondensasi di bagian atas akan dialirkan kembali secara otomatis ke bagian bawah reaktor dan sebagai campuran limbah baru (Ulzanah Nurislamiyati & Milana, 2022).

2.1.2 Tipe Floating Drum

Berbeda dengan jenis reaktor IC, tipe *floating drum* digunakan untuk limbah kotoran manusia atau hewan. Tipe ini sangat ideal untuk pengaplikasian skala kecil sampai menengah. Karakteristik utama dari reaktor ini adalah terdapat drum atau logam berbentuk tabung yang terletak di bagian atas, terpasang menjadi satu dengan tabung fermentasi. Drum tersebut dapat bergerak naik apabila biogas telah terbentuk. Hal tersebut yang menjadikan tipe ini memiliki tekanan yang lebih stabil (Attamimy H et al., 2024)

2.1.3 Tipe reaktor dua tahap

Jenis reaktor ini tidak jauh berbeda dengan reaktor *batch*, perbedaannya adalah terdapat 2 tahap pada proses fermentasi, tipe reaktor ini cocok digunakan untuk limbah kotoran manusia, hewan, dan juga limbah organik seperti sayur dan buah. Terdapat 2 tahap utama dalam proses fermentasi yaitu tahap asidogenesis dan tahap metanogenesis. Reaktor asidogenesis adalah reaktor dengan suasana asam, sehingga memiliki pH pada rentang 4-5. Proses yang terjadi pada reaktor ini adalah degradasi polutan menjadi asam – asam volatil. Sedangkan tahap kedua yaitu adalah proses metanogenesis yang berlangsung di dalam reaktor ke dua. Pada reaktor ke dua nilai pH dijaga pada kondisi tidak terlalu asam yaitu 6,6-7,8.

Nilai pH dijaga kestabilannya dengan menambahkan Natrium karbonat (NaCO_3). Bakteri metanogenesis merupakan bakteri yang sensitif terhadap suasana asam, sehingga agar dapat bekerja dengan optimal kestabilan pH sangat berpengaruh. Pada penelitian yang dilakukan oleh Ramadhani, dkk (Isna Ramadhani et al., 2024) menunjukkan bahwa reaktor dua tahap mampu menurunkan angka COD lebih besar daripada pada reaktor satu tahap.

2.1.4 Reaktor Batch

Pengoperasian reaktor *batch* melibatkan peralatan yang cukup sederhana, jenis ini dapat digunakan dengan baik pada skala kecil hingga menengah. Reaktor jenis ini sama seperti reaktor *floating drum*, perbedaannya adalah pada penutup bagian atas. Instalasi tutup pada bagian atas reaktor dipasang secara permanen dan tidak mengapung seperti jenis *floating*. Sirkulasi pengisian dapat dilakukan setiap hari karena saluran *outlet* akan otomatis terbuka apabila *slurry* di bagian dalam telah melebihi kapasitas. Biogas yang dihasilkan dapat langsung disalurkan ke dalam penampung melalui pipa di bagian atas (Trisakti B et al., 2021).

Pemanfaatan IOT telah meluas pada banyak bidang, dengan mentransformasi bentuk manual menjadi perintah secara otomatis menggunakan internet. Transisi ini tentu saja dapat memberikan banyak keuntungan mulai dari penghematan energi, efisiensi, akurasi dan fleksibilitas yang tinggi. Pada dasarnya IOT merupakan teknologi yang mampu menyambungkan antara objek satu dengan yang lainnya melalui perangkat Internet. Komunikasi antar objek dapat tercipta karena perangkat IOT yang dapat mentransfer data melalui jaringan (Widodo et al., 2020). Pemanfaatan IOT telah berhasil dikembangkan dalam perancangan rumah pintar (Widodo et al., 2020), pada sektor pertanian (Junaidi & Ramadhani, 2024), sebagai penunjuk

arah (Khosyati et al., 2024), pemanfaatan di bidang peternakan (Sukarno et al., 2022), dan implementasi pada layanan Kesehatan (Reni et al., 2022).

3. Metodologi

Objek penelitian yang dipilih yaitu sampel berupa artikel yang telah dipublikasi dengan topik pemanfaatan IOT pada teknik perancangan biogas. Pemilihan topik biogas sebagai objek penelitian dikarenakan biogas merupakan energi alternatif yang paling mudah dalam proses produksi, dapat diterapkan dimana saja, dan mampu diaplikasikan dalam skala kecil hingga besar. Melimpahnya bahan baku biogas menjadi daya tarik tersendiri dalam rangka pengembangan energi alternatif.

3.1 Metode Penelitian

3.1.1 Pertanyaan Penelitian

- Berapakah jumlah artikel dengan tema pemanfaatan IOT pada biogas yang terindeks google scholar yang dipublikasikan pada rentang tahun 2019-2023?
- Berapa total sitasi pada artikel terindeks Google scholar dengan tema penelitian pemanfaatan IOT pada aplikasi biogas?
- Apa saja sumber jurnal dari publikasi yang digunakan sebagai rujukan?
- Apa saja peran IOT dalam proses pembentukan biogas dari tahap awal hingga tahap akhir?
- Apa saja jenis instrumen yang digunakan dalam pemanfaatan IOT pada proses produksi biogas?

3.1.2 Pencarian Literatur

Pencarian literatur dilakukan dengan bantuan *software* yaitu Publish or Peris 8 dengan menuliskan beberapa pembatasan perintah. Dimulai dari tahun yaitu 2019-2023, kata pencarian diganti dengan IOT BIOGAS.

3.1.3 Kriteria Inklusi dan Eksklusi

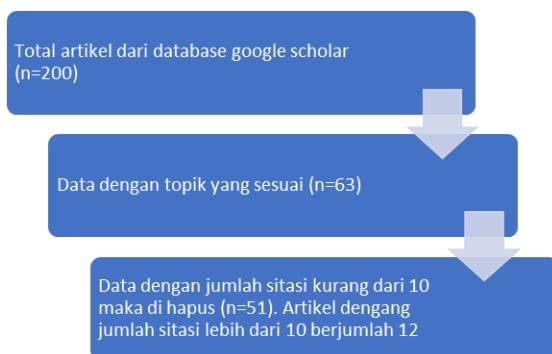
Kriteria inklusi merupakan pemilihan kriteria studi yang memiliki keterkaitan berdasarkan tahun, bahasa, metode penelitian, dan subjek yang sesuai dengan topik. Sedangkan kriteria eksklusi merupakan studi yang tidak relevan berdasarkan topik, tahun, dan konteks penelitian. Sehingga kriteria inklusi yang digunakan untuk pencarian data pada penelitian ini meliputi :

- Data berasal dari artikel yang dipublikasi pada rentang 2019-2023
- Data merupakan artikel yang diambil dari google Scholar melalui aplikasi Publish or Perish
- Data yang digunakan hanya artikel dengan topik penelitian pemanfaatan IOT pada teknik perancangan dan analisis biogas.

3.1.4 Proses seleksi data

Salah satu cara untuk menyeleksi data yang terkumpul adalah dengan menentukan kualitas dari masing-masing artikel. Data yang akan digunakan sebagai sampel penelitian harus memenuhi :

- Data yang digunakan dibatasi hanya berupa tipe artikel
- Artikel dengan tipe buku tidak disertakan
- Data dipilih dengan jumlah minimal sitasi sebanyak 10



Gambar 1 Flowchart pemilihan artikel

3.1.5 Proses pengumpulan data

1. Membuka aplikasi Publish or Perish
2. Pada menu *search* item dipilih Google scholar

3. Pada kolom *keyword* ditulis “IOT Biogas”
4. Pada kolom tahun ditentukan rentang nya dari tahun 2019-2023
5. Klik tombol cari
6. Maka akan muncul 200 artikel yang sesuai dengan spesifikasi pencarian

Rank	Authors	Title	Cites	Per year
1	Pandian, S Begum, ...	An integrated IoT and fuzzy logic controller system for biogas digester to predict methane generation	7	2.33
2	P Onu, C Mohiwa, ...	Artificial intelligence-based IoT-enabled biogas production	32	32.00
3	A Mukasine, I Sibo, ...	Correlation Analysis Model of Environment Parameters Using IoT Framework in a Biogas Energy Generation Context	1	1.00
4	J Mabrouki, M Azro, ...	Intelligent monitoring system for biogas detection based on the Internet of Things: Mohammedia, Morocco city landfill case	98	32.67
5	MA Aguida, S Ouc, ...	An IoT-based framework for an optimal monitoring and control of cyber-physical systems: application on biogas production	4	1.33
6	V Lysenko, S Shvor, ...	Methodological solutions for the IoT concept for biogas production using the local resource	6	1.20
7	P Huo, F Yang, H L, ...	Distributed monitoring system for precision management of household biogas appliances	13	2.60
8	OO Olakanni, KP, ...	Enhanced Secure Process Control and Data Routing for Multi-plant Biogas Production System in IoT Environment: A Practical	9	3.00
9	A Gupta	Making biogas smart using internet of things (IoT)	8	2.00
10	HE Prasetya, ID Sari, ...	Smart Biogas Plant Monitoring System Using Internet of Things (IoT) Technology	2	2.00
11	V Lysenko, T Lendle, ...	Mobile system for monitoring plant environment parameters for biogas production.	3	3.00
12	M Logan, M Anli, P, ...	Investigating the performance of internet of things based anaerobic digestion of food waste	92	18.40
13	HD Chinh, H Anh, ...	An IoT based condition monitoring system of biogas electrical generator for performance evaluation	1	0.33
14	S Swami, S Suthar, ...	Integration of anaerobic digestion with artificial intelligence to optimise biogas plant operation	4	4.00
15	SS Manglorkar, AO, ...	Optimization of organic waste collection for generation of bio gas using IoT techniques	6	1.20
16	AK Bhargava, J Seng, ...	Efficient techniques of Transformation from Biogas to Bio-methane for IoT Based Photovoltaic Biogas Hybrid System	1	0.25
17	MR Kaniyaya, MO, ...	Implementation of data storage for the monitoring system for biogas production optimization	3	1.50
18	MA Iswanto, B Keb, ...	Design of gas concentration measurement and monitoring system for biogas power plant	6	2.00
19	S Cinar, SO Cinar, ...	Integration of artificial intelligence into biogas plant operation	43	14.33

Gambar 2 Hasil pencarian artikel di Publish or Perish

3.2 Analisis Data

Proses analisis data dilakukan dengan cara menggali artikel mulai dari abstrak dan metode penelitian. Hasil analisis diarahkan pada pertanyaan penelitian yang telah dipilih. Eksplorasi data dilakukan dengan melakukan pengamatan secara visual untuk memahami pola, dan karakteristik dari masing-masing sampel.

4. Hasil dan Pembahasan

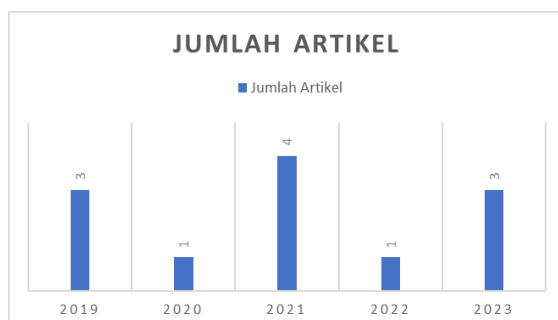
4.1 Jumlah publikasi pemanfaatan IOT pada biogas

Berdasarkan hasil pencarian yang telah dilakukan, terdapat 12 artikel yang benar-benar sesuai dengan kriteria inklusi dan eksklusi dari tahun 2019 hingga tahun 2023. Berikut merupakan daftar dari artikel yang sesuai dengan kriteria inklusi dan eksklusi.

Tabel 1 Artikel sesuai dengan kriteria inklusi dan eksklusi

Sitas i	Penulis	Judul	Tahun
32	Onu P; Mbohwa C; Pradan A	Artificial intelligence-based IOT-enabled biogas production	2023
93	Mabrouki J; Azrour M; Fattah G; Dhiba D; Hajjaji SE	Intelligent Monitoring System for Biogas Detection Based on the Internet of Things: Mohammedia, Morocco City Landfill Case	2021
13	Huo P, Yang F, Luo H, Zhou M, Zhang Y	Distributed monitoring system for precision management of household biogas appliances	2019
25	Yildirim O, Ozkaya B	Prediction of biogas production of industrial scale anaerobic digestion plant by machine learning algorithms	2023
32	Chiu M C, Wen C Y, Hsu W, Wang C W	Key wastes selection and prediction improvement for biogas production through hybrid machine learning methods	2022
60	Gopikumar, Raj	A method of landfill	2021
18	G. Venkatesan, R. Mithuna, S. Gandhi mathi	IOT-based monitoring of lab scale constitutive landfill model of food waste	2020
106	Clercq D, Devansh Jalota D, Shangkang R, Ni K, Zhang Z, Khan A, Wen Z, Caicedo L, Yuan Y	Machine learning powered software for accurate prediction of biogas production: A case study on industrial-scale Chinese production data	2019
27	Peter Onu; Charles Mbohwa; Anup Pradhan	An analysis of the application of machine learning techniques in anaerobic digestion	2023
43	Cinar S, Cinar S O, Wiczkorek N, Soho I, Kuchta K	Integration of Artificial Intelligence into Biogas Plant Operation	2021
92	Logan M, Safi M, Lens P, Visvanathan C	Investigating the performance of internet of things based anaerobic digestion of food waste	2019
54	Cruz L A, Andrade L R S, Bhargava R N, Nadda A	An overview of process monitoring for anaerobic digestion	2021
	a, Robin son YR, Shanmuganathan V, Chag H, Rhoss	leachate management using internet of things for sustainable smart city development	

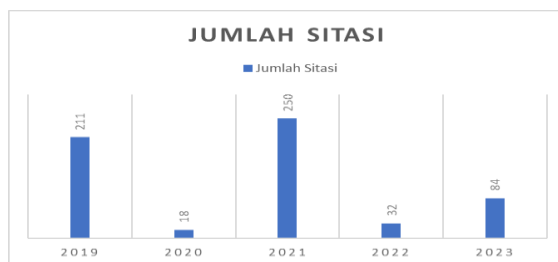
Pengelompokkan artikel ditentukan berdasarkan tahun terbit sesuai dengan jumlah sitasi setiap artikel. Pada tahun 2019 terdapat artikel dengan topik pemanfaatan biogas dan manajemen lingkungan sejumlah 3 artikel. Sedangkan pada tahun 2020 terdapat artikel sejumlah 1 artikel. Pada tahun 2021 artikel dengan tema penggunaan Km IOT di bidang tersebut adalah sebanyak 4 artikel. Pada tahun 2022 terdapat artikel dengan jumlah 1 artikel. Sedangkan pada tahun 2023 terdapat artikel dengan topik serupa sebanyak 3 artikel. Pada grafik di bawah ini ditampilkan sebaran artikel sesuai dengan tahun terbit dan jumlah artikelnya.



Gambar 3 Jumlah publikasi artikel yang terbit dari tahun 2019 hingga 2023

4.2 Total Sitasi pada publikasi

Profil publikasi dari tahun 2019 hingga tahun 2023 sesuai dengan jumlah sitasi dari judul yang telah diverifikasi sesuai dengan kriteria inklusi dan eksklusi.



Gambar 4 jumlah sitasi dalam periode 2019-2023

Berdasarkan gambar 4 maka dapat diketahui bahwa jumlah sitasi terbanyak adalah pada tahun 2021 yaitu sejumlah 250 sitasi. Sedangkan pada tahun 2019 terdapat 211 sitasi, yang merupakan jumlah terbanyak ke dua setelah tahun 2021. Jumlah sitasi paling sedikit adalah pada tahun 2020 yaitu sebanyak 18 sitasi. Pada tahun 2022 dan tahun 2023 terdapat jumlah sitasi berturut-turut adalah sebanyak 32 dan 84.

4.3 Sumber Artikel

Dalam periodik tahun 2019 hingga 2023 beberapa publikasi telah membahas tentang penerapan IOT pada produksi biogas. Masing-masing artikel dapat dikelompokkan berdasarkan tempat artikel tersebut dipublikasikan. Pada tabel berikut ini, artikel dikelompokkan berdasarkan nama penerbitnya

Tabel 2 Pengelompokan artikel berdasarkan nama penerbit

Sumber Jurnal	Tahun					Jumlah
	2019	2020	2021	2022	2023	
Cleaner Production	1					1
Computers and Electronics in Agriculture	1					1
Process Safety and Environmental Protection	1					1
Biosystem Engineering			1			1
Sustainable Cities and Society			1			1
Sustainable Energy Technology				1		1

Materials Today: Proceedings	1		1
IEEE	1	2	3
Processes	1		1
Chemosphere		1	1

Pada artikel yang telah diunduh dari tahun 2019 hingga 2023 sebagian besar masih membahas mengenai optimasi biogas secara umum, seperti penyelidikan mengenai jenis bahan baku, rasio bahan saat memasuki reaktor dan reaktor yang paling ideal untuk memproduksi biogas. Berdasarkan 200 artikel yang diperoleh dari publikasi yang terindeks Google scholar, hanya terdapat 12 jurnal yang lolos terhadap kriteria inklusi dan eksklusi antara lain adalah topik dan jumlah sitasi. Beberapa publikasi menunjukkan kemiripan terhadap topik yang sedang diteliti namun tidak memenuhi syarat dalam jumlah sitasi yaitu minimal 10.

3.4. Peran IOT dalam produksi biogas

Pada penelitian (Huo et al., 2019) bertujuan untuk mengembangkan sistem keamanan dalam perangkat elektronik berbasis biogas seperti *rice cooker*, dan *heater*. Faktor keamanan dan kenyamanan dalam kegiatan distribusi biogas dari unit *plant* hingga menuju perangkat elektronik menjadi alasan utama dalam penelitian tersebut. Sistem yang dirancang berfungsi untuk menyediakan informasi secara *realtime* terhadap kondisi biogas yang terbentuk di bagian reaktor. Informasi inilah yang akan menjadi input bagi terminal dan selanjutnya akan diteruskan kepada masing masing perangkat. Peralatan yang digunakan untuk mendeteksi konsentrasi gas metana adalah MQ-4, sedangkan untuk mendeteksi parameter yang diperlukan dari suhu pembakar

digunakan termokopel tipe K. Terdapat bagian utama dalam perancangan sistem ini yang meliputi, area titik akhir, area terminal, dan area monitoring kontrol. Jumlah biogas yang masuk ke dalam perangkat diukur menggunakan *flowmeter* dengan tipe ultrasonik BF-2000. Jumlah tersebut berguna untuk menjadi pengontrol pada katup pemasok daya. Pada area terminal pemantauan lokal, terdapat monitor yang dapat digunakan untuk menampilkan kondisi peralatan biogas. Pengukur tekanan juga terpasang di dalam pipa biogas dengan *output* berupa sinyal arus 4-20 mA. Secara garis besar pemantauan data yang diterapkan dalam sistem keamanan perangkat ini adalah informasi suhu, konsentrasi gas metana, dan jumlah penggunaan gas pada data pengguna. Informasi tersebut berlangsung dalam protokol komunikasi ZigBee. Bentuk perintah dan informasi ditransmisikan antara titik akhir ZigBee dan terminal pemantauan lokal. Sedangkan protokol komunikasi LoRa meliputi pemantauan tekanan biogas antara terminal pemantauan lokal dan titik akhir ZigBee. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa sistem dapat bekerja dengan baik untuk mendeteksi kebocoran gas. Apabila terjadi kecelakaan maka sistem akan memberikan peringatan melalui bel atau *alarm* dan katup akan menutup secara otomatis. Sistem mampu meningkatkan keamanan melalui pemantauan distribusi yang optimal meliputi informasi suhu, konsentrasi metana dan aliran.

Pemantauan yang telah dilakukan oleh (Logan et al., 2019), dimana percobaan tersebut bertujuan untuk mengetahui kinerja proses degradasi secara anaerob dari limbah sisa makanan melalui sistem pemantauan jarak jauh. Kesimpulan dari penelitian adalah pengendalian jarak jauh secara terpusat dapat membantu tugas operator untuk mempertahankan kondisi optimum pada reaktor. Pemantauan yang dilakukan meliputi pH, temperatur, dan potensial oksidasi reduksi menggunakan elektroda kode: EC100GTSO05B, ECHTPTTSO05B

yang disematkan di dalam biodigester dan dikontrol secara *online* menggunakan *Programmable Logic Controller* (PLC) (EUTECH Thermo Scientific Alpha 190 Series). Konsentrasi gas berupa CH₄, CO₂, O₂, dan dll dipantau menggunakan unit analisis gas *online in-situ* yaitu AmbiSense Autonomous Gas Monitoring v4.05. Aliran gas diukur dengan menerapkan Landys-GYR model 750.

Studi selanjutnya yaitu pada *review* yang disusun oleh Cruz dkk (Cruz et al., 2021), dapat digunakan sebagai bahan peninjauan tentang informasi IOT pada produksi biogas. Beberapa tantangan dalam penerapan sistem pemantauan secara Online adalah terkait aspek pembiayaan. Pemantauan komposisi gas secara manual biasanya dilakukan dengan metode gas chromatography, metode ini membutuhkan peralatan yang kompleks, biaya yang cukup tinggi, dan dibutuhkan tenaga profesional untuk operasionalnya. Beberapa peneliti telah menggunakan metode *online* dibanding menggunakan *gas chromatography*. Pada penelitian yang dilakukan oleh Suplek dkk (Slupek E et al., 2019), pemantauan gas metana dan hidrogen dilakukan dengan metode *Constructed sensor matrices* (SM) dengan sensor komersial jenis TGS2600, TGS2611.

Proses fermentasi anaerobik merupakan proses yang sangat tergantung terhadap mikroba di dalam digester. Perancangan digester harus disesuaikan dengan lingkungan yang cocok dengan bakteri anaerob. Beberapa variabel yang memengaruhi kinerja bakteri adalah temperatur, kelembaban, jumlah senyawa organik, dan keberadaan oksigen di dalam digester. Penggunaan IOT dalam pemantauan jarak jauh dapat diintegrasikan dengan sensor yang ditanam dalam digester. Hal ini bertujuan untuk mengontrol kondisi digester agar tetap stabil dan berada dalam kondisi yang ideal. Karakteristik umpan juga sangat berpengaruh terhadap proses pencernaan anaerob. Beberapa karakteristik yang harus dijaga

konsistensinya adalah pH, dan rasio substrat. Walaupun bakteri fermentatif mampu beradaptasi pada rentang pH 4,0-8,5, namun bakteri metanogenesis terbatas pada rentang pH 6,5 sampai 7,2 (Zhang C, 2014). Ketika pH turun menjadi lebih rendah dari 6,5 maka dilakukan penanganan untuk menaikkannya dengan menambah waktu retensi substrat di dalam reaktor dan mengurangi umpan, pada beberapa kondisi penambahan buffer alkalinitas seperti Sodium Bicarbonate ditambahkan untuk mengembalikan nilai pH. Sensor keberadaan beberapa gas seperti H₂S juga perlu dilakukan diterapkan untuk mendeteksi jumlah H₂S berlebih yang dapat mengganggu proses biologis. Jumlah H₂S 1700-1800 mg/L dapat menyebabkan kegagalan dalam proses pencernaan (Khalid A et al., 2011). Pemanfaatan IOT dalam pemantauan proses pencernaan anaerobik sangat berguna untuk menyediakan informasi secara *realtime*. Temperatur reaktor juga menjadi variabel yang penting terhadap pencernaan anaerob, khususnya untuk pertumbuhan mikroba. Analisis kandungan gas secara *online* pada reaktor dapat diketahui secara akurat. Seperti halnya pada saat pembentukan metana kurang optimal maka dapat diprediksi terjadi kebocoran, karena keberadaan oksigen dalam reaktor dapat menghambat proses metanogenesis. Sensor untuk mendeteksi gas oksigen juga diperlukan sehingga dapat dilakukan penanganan apabila terjadi kebocoran, dan tindakan penyemprotan nitrogen dilakukan apabila diperlukan. IOT sangat berguna dalam pemantauan dan pengendalian selama proses pencernaan di dalam reaktor.

4.5. Jenis Instrumen berbasis IOT pada Produksi Biogas

Secara umum instrumen dalam penggunaan IOT pada produksi biogas disajikan dalam tabel di bawah ini

Tabel 3 sistem pemantauan otomatis dalam aplikasi monitoring *online* pada Anaerobik Disgestion

Referensi	Metode	Digestor	Bahan baku	Instrumen terkait						akan unit analisis gas online in-situ yaitu AmbiSense Autonomus Gas Monitoring v4.05. Aliran gas diukur dengan menerapkan Landys-GYR model 750.
(De Clercq et al., 2019)	logistic regression, support vector machine, random forest, extreme gradient boosting, dan k-nearest neighbors regression.	Skala industri	Residu tinja kota, kotoran ayam, limbah makanan dapur, perkolat	-						
(Huo et al., 2019)	Sistem pemantauan lokal menggunakan teknologi nirkabel ZigBee. Pemantauan jarak jauh menggunakan teknologi nirkabel LoRa	Skala industri	Limbah kota	Metana : MQ-4; Suhu : Termokopel tipe k; Aliran biogas : <i>flowmeter</i> dengan tipe ultrasonik BF-2000	(Onu et al., 2023)	Alur pemantauan jarak jauh meliputi : Informasi yang dikumpulkan oleh system IOT, dan dianalisis menggunakan model AI dengan Genetic Algorithm (GA), dan ditransmisikan ke system feedback untuk akses remot atau alarm	Skala Laboratorium	Limbah Ternak	Pengukuran meliputi Temperatur dan Kelembaban : sensor DHT 21 Digital Flow System : DFC 26 Tekanan dan Temperatur : Sensor BMP 180 pH : sensor PH4502C Gas Metana : MQ-4	
(Logan et al., 2019)	Sistem pemantauan jarak jauh menggunakan Program Logic Controller (PLC)	Skala Industri	Limbah sisa makanan	pH, temperatur, dan potensial oksidasi reduksi diukur menggunakan elektroda jenis EC100GT SO05B, ECHTPTT SO05B Konsentrasi gas berupa. CH ₄ , CO ₂ , O ₂ , dan dll dipantau menggunakan	(Mabrouti et al., 2021b)	Sistem pemantauan jarak jauh meliputi : Sistem Deteksi, Sistem Proses, S		Sampah Kota	Pengukuran meliputi : Temperatur, kelembaban, dan CO ₂ : MQ-7, Konsentra	

istem Network, dan sistem monitor	si oksigen : Sensor ME2-02, Konsentra si NO2 dan CO : Sensor MICS- 6814, Konsentra si metana : MQ-4, Detektor gas H2S
---	--

Berdasarkan informasi dari tabel 3, instrumen yang banyak digunakan dalam proses optimalisasi produksi biogas dapat dikelompokkan menjadi beberapa unit yakni unit pengendali, unit sensing, dan unit penghubung. Proses produksi yang optimal dapat dibentuk dengan cara mengatur berbagai variabel yang memengaruhi hasil biogas, seperti pH, temperatur, kelembaban, potensial oksidasi reduksi. Instrumen pada unit sensing terdiri atas sensor temperatur, pH, kelembaban, konsentrasi gas, aliran gas, dan tekanan. Sedangkan instrumen untuk unit kontrol terdiri atas aktuator yang berfungsi sebagai penggerak katup secara otomatis, sedangkan yang bertugas mengontrol proses memberikan perintah dapat menggunakan PLC. Instrumen yang digunakan pada unit komunikasi terdiri atas modul LoRa, GSM, ZigBee, dan Wi-Fi.

5. Kesimpulan

Berdasarkan uraian yang telah disampaikan, dapat disimpulkan bahwa penerapan IOT dalam produksi biogas memainkan peran penting dalam meningkatkan efisiensi, pemantauan *real-time*, dan otomatisasi proses. Penerapan teknologi IOT dalam produksi biogas terbukti mampu meningkatkan efektivitas pengelolaan proses fermentasi anaerob pada skala laboratorium maupun skala industri. Dengan integrasi IOT, produksi biogas menjadi lebih efisien, berkelanjutan, dan mudah diawasi, sehingga mendukung pengelolaan energi terbarukan yang lebih modern. Penerapan

IOT dalam produksi biogas tidak hanya meningkatkan produktivitas, tetapi juga mendukung upaya pelestarian lingkungan dengan meminimalkan limbah dan emisi gas rumah kaca. Tren publikasi jurnal mengenai pembahasan produksi biogas telah berkembang meliputi modifikasi terhadap perancangan yang lebih efisien dan implementatif. Terdapat 12 artikel mengenai "IOT Biogas" terindeks google scholar yang dipublikasikan selama tahun 2019-2023 sesuai dengan kriteria inklusi dan eksklusi. Jumlah sitasi pada publikasi mengenai "IOT Biogas" berjumlah 595, dengan jumlah sitasi terbanyak adalah pada tahun 2020 yang bertotal 250 sitasi. Sumber jurnal paling banyak menerbitkan artikel terkait IOT Biogas adalah dari *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)*, dengan total 3 artikel. Peran IOT pada proses biogas Sebagian besar berfokus pada bagian pemantauan, walaupun secara menyeluruh penggunaan IOT meliputi unit sensing, unit control, unit komunikasi. Jenis instrumen yang sering dipakai meliputi MQ-7 untuk sensor temperatur, kelembaban, dan CO₂. Deteksi gas oksigen menggunakan sensor ME2-02. Pemantauan konsentrasi metana menggunakan detektor MQ-4. Nilai pH diukur menggunakan sensor PH4502C. Pembacaan tekanan menggunakan sensor BMP 180.

Daftar Pustaka

- Ahmad Rafiee, Kaveh R. Khalilpour, James Prest, and Igor Skryabin. 2021. "Biogas as an Energy Vector." *Biomass and Bioenergy* 144.
- Anwar, Hasrul, Tri Widjaja, and Danawati Hari Prajitno. 2021. "Produksi Biogas Dari Jerami Padi Menggunakan Cairan Rumen Dan Kotoran Sapi." *CHEESA: Chemical Engineering Research Articles* 4(1):1. doi: 10.25273/cheesa.v4i1.7406.1-10.
- Attamimy H, Dwi Putra GM, and Sukmawaty. 2024. "Perbandingan Jerami Dan Kotoran Sapi Terhadap Biogas Dari Biodigester Tipe Floating." *Jurnal Agrotek UMMAT* 11(2):104-18.
- Banerjee, Saikat, Naveen Prasad, and Sivamani Selvaraju. 2021. "Reactor Design for Biogas Production-A Short Review." *Journal of Energy and Power Technology* 4(1):1-1. doi: 10.21926/jept.2201004.

- De Clercq, Djavan, Devansh Jalota, Ruoxi Shang, Kunyi Ni, Zhuxin Zhang, Areeb Khan, Zongguo Wen, Luis Caicedo, and Kai Yuan. 2019. "Machine Learning Powered Software for Accurate Prediction of Biogas Production: A Case Study on Industrial-Scale Chinese Production Data." *Journal of Cleaner Production* 218:390–99. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.01.031.
- Cruz, Ianny A., Larissa R. S. Andrade, Ram N. Bharagava, Ashok K. Nadda, Muhammad Bilal, Renan T. Figueiredo, and Luiz F. R. Ferreira. 2021. "An Overview of Process Monitoring for Anaerobic Digestion." *Biosystems Engineering* 207:106–19.
- Huo, Peijie, Fang Yang, Hongbo Luo, Mingkuan Zhou, and Yanlin Zhang. 2019. "Distributed Monitoring System for Precision Management of Household Biogas Appliances." *Computers and Electronics in Agriculture* 157:359–70. doi: 10.1016/j.compag.2019.01.003.
- Isna Ramadhani, Laily, Alifa Dewi Kirana, Ghinaa Annisa Khairani, Herawati Budastuti, and Dhyna Analyses Trirahayu. 2024. "Pengaruh Penggunaan Bioreaktor Dua Tahap Terhadap Pengolahan Anaerobik Lindi Sampah Kota." *Jurnal Serambi Engineering* IX(4).
- Jameel, Mohammed Khaleel, Mohammed Ahmed Mustafa, Hassan Safi Ahmed, Amira jassim Mohammed, Hameed Ghazy, Maha Noori Shakir, Amran Mezher Lawas, Saad khudhur Mohammed, Ameer Hassan Idan, Zaid H. Mahmoud, Hamidreza Sayadi, and Ehsan Kianfar. 2024. "Biogas: Production, Properties, Applications, Economic and Challenges: A Review." *Results in Chemistry* 7.
- Junaidi, and k Ramadhani. 2024. "EFEKTIVITAS INTERNET OF THINGS (IOT) PADA SEKTOR PERTANIAN." *Jurnal Teknologi Komputer Dan Sistem Informasi* 4(1):12–15.
- Kabeyi, Moses Jeremiah Barasa, and Oludolapo Akanni Olanrewaju. 2022. "Biogas Production and Applications in the Sustainable Energy Transition." *Journal of Energy* 2022:1–43. doi: 10.1155/2022/8750221.
- Khalid A, Arshad M, Anjum M, and Mahmood T. 2011. "The Anaerobic Digestion of Solid Organic Waste." *Waste Management* 31(8):1737–44.
- Khan EU, and Martin AR. 2015. "Optimization of Hybrid Renewable Energy Polygeneration System with Membrane Distillation for Rural Households in Bangladesh." *Energy* (1):1116–27.
- Khosyati, Nur Evirda, Siti Nursipa Wulida, Arya Yusuf, Muhamad Biworo, and Sultan Hulio Andrian. 2024. "INOVASI JAM PINTAR TERINTEGRASI IOT SEBAGAI TEKNOLOGI NAVIGASI SEARCH AND RESCUE DI GUNUNG RINJANI." *Multidisciplinary Indonesian Center Journal (MICJO)* 1(3):1544–51. doi: 10.62567/micjo.v1i3.198.
- Li Chong, Chen C, Wu X, Tsang CW, Mou J, Yan J, Liu Y, and Lin CSK. 2019. "Recent Advancement in Lignin Biorefinery: With Special Focus on Enzymatic Degradation and Valorization." *Bioresource Technology* 291:121898.
- Lisowyj, Michal, and Mark Mba Wright. 2020. "A Review of Biogas and an Assessment of Its Economic Impact and Future Role as a Renewable Energy Source." *Reviews in Chemical Engineering* 36(3):401–21. doi: 10.1515/revce-2017-0103.
- Logan, Mohanakrishnan, Masihullah Safi, Piet Lens, and Chettiyappan Visvanathan. 2019. "Investigating the Performance of Internet of Things Based Anaerobic Digestion of Food Waste." *Process Safety and Environmental Protection* 127:277–87. doi: 10.1016/j.psep.2019.05.025.
- Mabrouki, Jamal, Mourade Azrour, Ghizlane Fattah, Driss Dhiba, and Souad El Hajjaji. 2021a. "Intelligent Monitoring System for Biogas Detection Based on the Internet of Things: Mohammedia, Morocco City Landfill Case." *Big Data Mining and Analytics* 4(1):10–17. doi: 10.26599/BDMA.2020.9020017.
- Mabrouki, Jamal, Mourade Azrour, Ghizlane Fattah, Driss Dhiba, and Souad El Hajjaji. 2021b. "Intelligent Monitoring System for Biogas Detection Based on the Internet of Things: Mohammedia, Morocco City Landfill Case." *Big Data Mining and Analytics* 4(1):10–17. doi: 10.26599/BDMA.2020.9020017.
- Maradin, Dario. 2021. "Advantages and Disadvantages of Renewable Energy Sources Utilization." *International Journal of Energy Economics and Policy* 11(3):176–83. doi: 10.32479/ijeep.11027.
- Moreau, Vincent, and François Vuille. 2018. "Decoupling Energy Use and Economic Growth: Counter Evidence from Structural Effects and Embodied Energy in Trade." *Applied Energy* 215:54–62. doi: 10.1016/j.apenergy.2018.01.044.
- Onu, Peter, Charles Mbohwa, and Anup Pradhan. 2023. "Artificial Intelligence-Based IOT-Enabled Biogas Production." in *2023 International Conference on Control, Automation and Diagnosis, ICCAD 2023*. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.
- Pangarso SS, and Kusdiyantini E. 2022. "Review Potensi Pemanfaatan Biogas Dari Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit PTPN 5." *JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING, MANUFACTURES, MATERIALS AND ENERGY* 6:18–31.
- Piechota, Grzegorz. 2021. "Biogas/Biomethane Quality and Requirements for Combined Heat and Power (CHP) Units/Gas Grids with a Special Focus on Siloxanes-a Short Review." *Sustainable Chemical Engineering* 1–10. doi: 10.37256/sce.3120221015.
- Reni, Oleh, Dwi Rusnawati, Rr Tutik, and Sri Hariyati. 2022. "IMPLEMENTASI INTERNET OF THINGS PADA

LAYANAN KESEHATAN (LITERATURE REVIEW).”
Journal of Innovation Research and Knowledge 1(8).

Shitophyta LM, Darmawan MH, and Rusfidiantoni Y. 2022. “Produksi Biogas Dari Kotoran Sapi Dengan Biodigester Kontinyu Dan Batch: Review.” *Journal of Chemical Process Engineering* 7(2).

Sivamani S, Chandrasekaran AP, Balajii M, Shanmugaparakash M, Bandegharai AH, and Baskar R. 2018. “Evaluation of the Potential of Cassava-Based Residues for Biofuels Production.” *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology* 17:553–70.

Slupek E, Makos P, Kucharska K, and Gebicki J. 2019. “Mesophilic and Thermophilic Dark Fermentation Course Analysis Using Sensor Matrices and Chromatographic Techniques.” *Chemical Papers* 74:1573–82.

Sukarno, Parman, Rahmat Yasirandi, Muhammad Al Makky, Jati Hiliamsyah Husen, Rosa Reska Riskiana, Novian Denny Nugraha, Nisa Eka Nastiti, Rahmiati Aulia, Novian Anggis Suwastika, and Dita Oktaria. 2022. “Pemanfaatan Dan Uji Kelayakan Teknologi Internet of Things (IOT) Untuk Budidaya Ternak Lele Dan Tanaman Kangkung Untuk Mendukung Ketahanan Pangan Masyarakat Kelurahan Margasari Kota Bandung Di Era Pandemi COVID19.” *JAPATUM* 1(1):19–32.

Trisakti B, Irvan, and Sitompul DB. 2021. “Stabilitas Digester Anaerobik Satu Tahap Dalam Produksi Biogas Pada Variasi Temperatur Menggunakan Reaktor Batch.” *Jurnal Teknik Kimia USU* 10(1):25–30.

Ulzanah Nurislamiyati, Dinda, and Lia Milana. 2022. “TEKNOLOGI PENGOLAHAN LIMBAH CAIR INDUSTRI SECARA ANAEROBIK MENGGUNAKAN IC (INTERNAL CIRCULATION) REACTOR.” Seminar Teknologi.

Widodo, Yohanes Bowo, Ade Muhammad Ichsan, and Tata Sutabri. 2020. “Perancangan Sistem Smart Home Dengan Konsep Internet Of Things Hybrid Berbasis Protokol Message Queuing Telemetry Transport.” *Jurnal Teknologi Informatika Dan Komputer* 6(2):123–36. doi: 10.37012/jtik.v6i2.302.

Yoseph, Oktavius, Tuta Mago, Aljeфриdus Misa, and Yohanes Bare. 2022. “PENGARUH CAMPURAN LIMBAH TAHU DAN KOTORAN SAPI TERHADAP PRODUKSI BIOGAS.” *Biopendix* 9(1):10–18.

Zhang C, Haijia Su H, Baeyens J. ,. Tan Ta. 2014. “Reviewing the Anaerobic Digestion of Food Waste for Biogas Production.” *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 38:383–92.