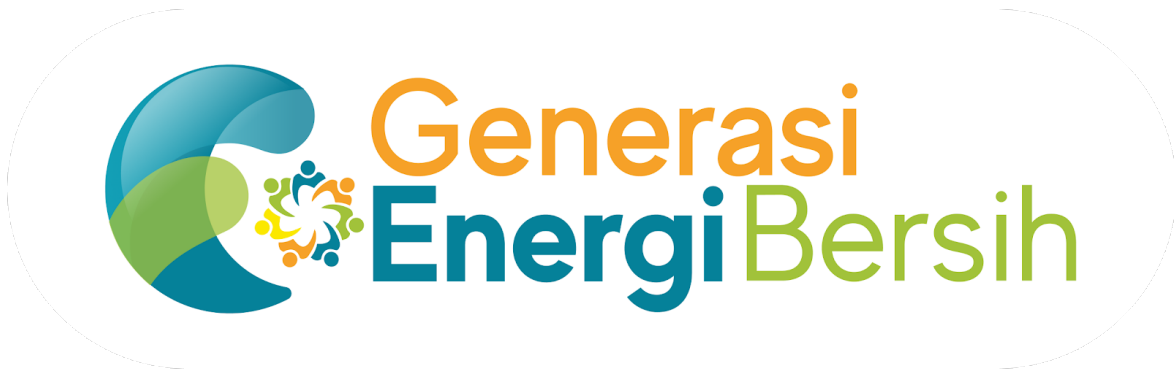


**PEMANFAATAN INTERNET OF THINGS (IOT) DALAM
MENINGKATKAN EFISIENSI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA
BIOMASSA (PLTBM) BERBASIS GASIFIKASI DI INDONESIA**



Diajukan untuk Lomba Esai Nasional

CLEANOVACTION

“Youth Action for a Sustainable Energy Future”

Nama Ketua : Fiorentino Montesque Skyrion Lantang
Nama Anggota : 1) Aranyacania Vincencia Theodora Soputan
2) Audrey Yopie Colbert Rampengan
Instansi Asal : Universitas Gadjah Mada
Email & Nomor WA : fiorentinomslantang@mail.ugm.ac.id
Subtema Esai : Teknologi Energi Terbarukan dan Inovasi Digital

Tahun 2025

Jl. Tebet Timur Raya No.48b, RT.9/RW.5
Kecamatan Tebet, Kota Jakarta Selatan
Daerah Khusus Ibukota Jakarta 12820

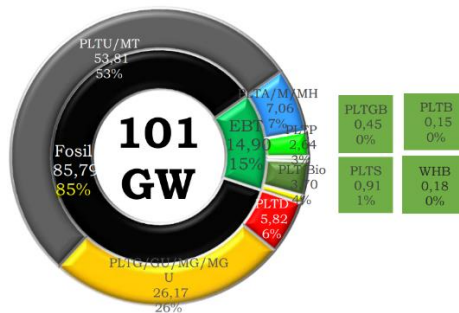
@genergibersih
genb.bergerak@gmail.com

PEMANFAATAN INTERNET OF THINGS (IOT) DALAM MENINGKATKAN EFISIENSI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BIOMASSA (PLTBM) BERBASIS GASIFIKASI DI INDONESIA

BAB 1 PENDAHULUAN

Sejak dimulainya era industrialisasi pada abad ke-18, energi menjadi pilar utama pembangunan peradaban manusia. Hingga kini, permintaan energi yang terus meningkat umumnya masih dipenuhi oleh sumber energi tak terbarukan seperti bahan bakar fosil dan batu bara. Ketergantungan ini memicu tantangan global seperti fluktuasi harga, konflik geopolitik, dan lonjakan emisi karbon yang mempercepat perubahan iklim.

Di Indonesia, dampak dari permasalahan ini sangat terasa. Ketergantungan pada impor BBM, kenaikan biaya produksi energi, serta ketimpangan akses listrik menjadi tantangan utama. Meskipun tantangan global ini ada, Indonesia memiliki potensi besar dalam energi terbarukan, khususnya biomassa, yang dapat menjadi solusi lokal. Sayangnya, sistem energi nasional masih terpusat dan dominan berbasis fosil. Per tahun 2024, sekitar 85% pasokan listrik Indonesia bergantung pada bahan bakar fosil (Kementerian ESDM RI, 2025, hlm. 114), meskipun konsumsi listrik per kapita terus meningkat dari 1.173 kWh pada 2022 menjadi 1.337 kWh pada 2023 (Kementerian ESDM RI, 2024).



Gambar 1.1 Kapasitas Terpasang Pembangkit Tenaga Listrik Nasional Tahun 2024 per Jenis
(Sumber : Kementerian ESDM RI, 2025, hlm. 114)

Sehingga, bertransisi ke energi baru dan terbarukan (EBT) menjadi suatu keharusan. Salah satu solusi potensial di negara agraris seperti Indonesia adalah pembangkit listrik tenaga biomassa (PLTBm), yang mengubah limbah organik menjadi energi listrik. Implementasi ini menunjukkan upaya nasional untuk mencapai target bauran EBT 23% pada 2025 dan 29% pada 2030. Per tahun 2024, EBT berkontribusi sekitar 15% (*Gambar 1.1*) dari total kapasitas terpasang pembangkit tenaga listrik nasional, menegaskan kembali komitmen *Sustainable Development Goals* (SDGs), khususnya pada penyediaan energi bersih dan terjangkau.

Meski begitu, dalam penerapannya teknologi ini masih memiliki hambatan. Tantangan teknis seperti pembentukan tar, partikel debu, serta kebutuhan pendinginan gas perlu untuk diperhitungkan dalam proses konversi energi. Namun, keunggulan teknologi ini pada potensi pemanfaatan limbah pertanian dan efisiensi bahan bakar membuat teknologi ini menjadi opsi yang tepat dalam bertransisi menuju energi baru dan terbarukan.

Seiring berkembangnya industri 4.0, teknologi seperti internet of things (IoT) memainkan peranan penting dalam mendukung transisi energi. Integrasi IoT dalam PLTBm memungkinkan pemantauan dan pengendalian sistem secara real-time, sehingga efisiensi sistem meningkat dan meminimalkan kendala sistem. Menyadari

potensi itu, kami menganggap inovasi PLTBm berbasis IoT sebagai kontribusi nyata terhadap energi bersih nasional.

Dengan pemanfaatan biomassa dan dukungan teknologi IoT, PLTBm menjadi solusi potensial dalam mewujudkan sistem energi yang mandiri, berkelanjutan, dan ramah lingkungan. Hal ini mendukung terwujudnya *net zero emission* 2060. Era industri 4.0 membuka peluang besar bagi generasi muda untuk turut berpartisipasi SDM unggul, teknologi tepat guna, edukasi publik, dan partisipasi aktif pemuda akan menjadi kunci untuk mewujudkan sistem energi yang berkelanjutan dan ramah lingkungan.

BAB 2

PEMBAHASAN

2.1. Potensi dan Jenis Biomassa yang Digunakan di Indonesia

Biomassa merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang berasal dari bahan-bahan organik seperti sisa tanaman, limbah pertanian, perkebunan, dan kehutanan. Energi dari biomassa didapatkan melalui konversi zat organik menjadi energi panas atau listrik melalui proses termokimia seperti pembakaran langsung, pirolisis, dan gasifikasi. Potensi biomassa sangat besar terutama di negara agraris tropis seperti Indonesia, di mana limbah tanaman dan residu pertanian melimpah setiap tahunnya.

Menurut Klass (1998), biomassa memiliki nilai energi berkisar antara 2.500–4.500 kcal/kg, tergantung pada jenis dan kadar airnya. Beberapa jenis biomassa utama yang digunakan di Indonesia antara lain:

Jenis Biomassa	Nilai Kalor (kcal/kg)
Sekam Padi	3.000 – 3.200
Tongkol Jagung	3.500 – 4.000
Ampas Tebu (kering)	3.800 – 4.200
Serbuk Gergaji	4.000 – 4.400
Tandan Kosong Kelapa Sawit	3.500 – 4.000

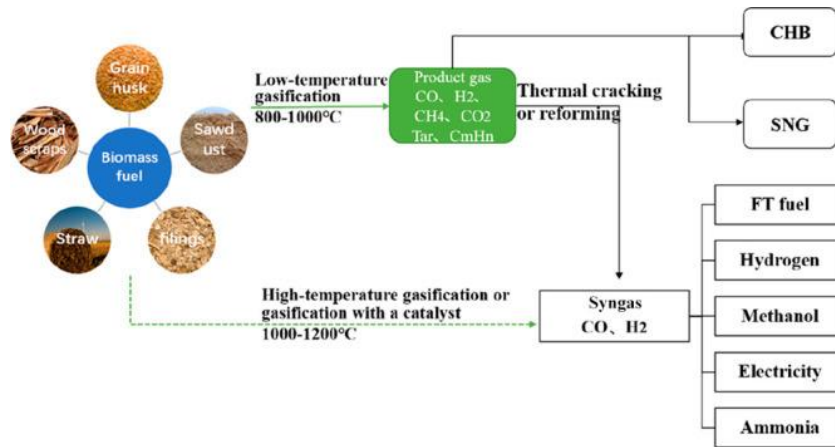
Tabel 2.1. Nilai Kalor Biomassa Umum.

(Sumber: Klass, 1998; ESDM, 2023)

Menurut laporan dari Kementerian ESDM (2023) dan BPPT (Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, 2020), potensi biomassa di Indonesia diperkirakan mencapai lebih dari 146,7 juta ton/tahun atau setara dengan kapasitas energi listrik sebesar 32,6 GW. Namun, kapasitas terpasang PLTBm masih di bawah 2%, menunjukkan pemanfaatan yang sangat rendah dibandingkan potensi sebenarnya.

2.2. Reaksi dan Fenomena Fisis dalam Proses Gasifikasi Biomassa

Gasifikasi adalah proses konversi termokimia biomassa menjadi gas sintetik (syngas) dengan komposisi utama hidrogen (H_2), karbon monoksida (CO), metana (CH_4), dan sejumlah kecil karbon dioksida (CO_2), nitrogen (N_2), dan uap air (H_2O). Proses ini berlangsung dalam kondisi terbatas oksigen (partial oxidation) dan suhu tinggi, umumnya antara 700–1.200°C.



Gambar 2.1. Skematik zona gasifikasi—Drying, Pyrolysis, Oxidation, Reduction.

(Sumber : Huang et al., 2023)

Proses gasifikasi berlangsung melalui empat tahap utama yang saling berkaitan, dimulai dari pengeringan, pirolisis, oksidasi, hingga reduksi. Gasifikasi adalah proses endotermis pada tahap reduksi dan pirolisis (memerlukan panas) dan eksotermis pada tahap oksidasi (menghasilkan panas).

Efisiensi gasifikasi bergantung pada:

- Rasio equivalen (ER = jumlah udara ϕ_{actual} / udara stoikiometrik)
- Nilai kalor biomassa (HHV)
- Suhu zona reaksi
- Kandungan abu dan tar

Energi Efisiensi Syngas :

$$\eta = \frac{\text{Energi Syngas}}{\text{Energi Biomassa Masuk}} \times 100\%$$

HHV Syngas (kJ/Nm³) dapat dihitung dengan :

$$HHV_{\text{syngas}} = 30,2[CO] + 25,7[H_2] + 85,4[CH_4]$$

Sumber: Erlich & Fransson, 201

Komposisi Gas Hasil Gasifikasi :

Komponen	Persentase (%)
CO	15–30%
H ₂	10–25%
CH ₄	2–5%
CO ₂	10–20%
N ₂	30–50%
Tar	<5% (ideal)

Tabel 2.2. Komposisi Gas Hasil Gasifikasi.
(Sumber: Basu, 2010; Bridgwater, 2003)

2.3. Mekanisme PLTBm Beserta Alatnya

Proses kerja Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa (PLTBm) berbasis gasifikasi dimulai dari tahap persiapan biomassa. Pada tahap ini, biomassa dikeringkan dan diproses menjadi ukuran yang lebih seragam, seperti dicacah atau dipadatkan menjadi pelet atau briket. Tujuannya adalah untuk mengurangi kadar air dan meningkatkan efisiensi dalam proses pembakaran atau gasifikasi. Setelah itu, biomassa dimasukkan ke dalam reaktor gasifikasi, tempat berlangsungnya reaksi termokimia berurutan mulai dari pengeringan, pirolisis, oksidasi, hingga reduksi yang menghasilkan gas sintesis atau *syngas*. Namun, *syngas* yang dihasilkan masih mengandung zat pengotor seperti tar, abu, dan partikel halus, sehingga perlu melalui tahap pembersihan dan pendinginan menggunakan alat seperti *cyclone separator*, *scrubber*, atau filter.

Gas yang telah bersih kemudian dibakar, baik di ruang bakar (*burner*) maupun dimanfaatkan langsung dalam mesin pembakaran dalam (Internal Combustion Engine) atau turbin gas. Energi panas yang dihasilkan dari pembakaran *syngas* kemudian dikonversi menjadi energi mekanik. Tahap akhir dari proses ini adalah

konversi energi mekanik menjadi energi listrik dengan bantuan generator, menghasilkan arus listrik bolak-balik (AC) yang siap digunakan atau disimpan untuk kebutuhan energi selanjutnya.

No	Komponen	Fungsi
1	Reaktor gasifikasi	Mengubah biomassa menjadi syngas melalui proses termokimia
2	Cyclone separator	Memisahkan debu dan abu dari syngas
3	Scrubber atau wet filter	Membersihkan tar dan partikel halus dari syngas
4	Heat exchanger (opsional)	Mengurangi suhu syngas sebelum ke mesin
5	Engine/genset	Mengubah energi kimia syngas menjadi energi mekanik dan listrik
6	Generator listrik	Mengubah energi mekanik menjadi listrik AC atau DC
7	Panel kontrol dan inverter	Mengatur tegangan, arus, dan distribusi daya

Tabel 3.1. Fungsi Komponen Utama PLTBm.

Efisiensi Sistem dan Rumus Terkait

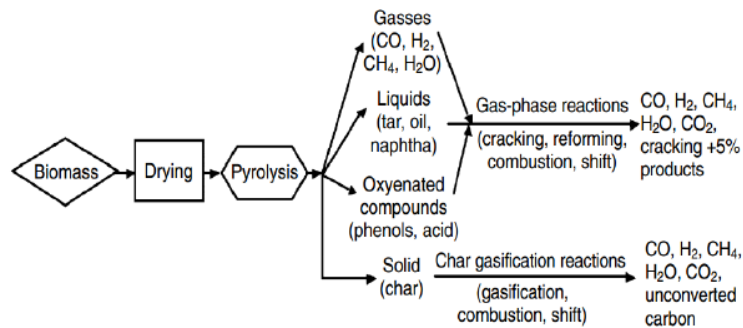
Efisiensi konversi termal:

$$\eta_{thermal} = \frac{Q_{keluar}}{Q_{masuk}} \times 100\%$$

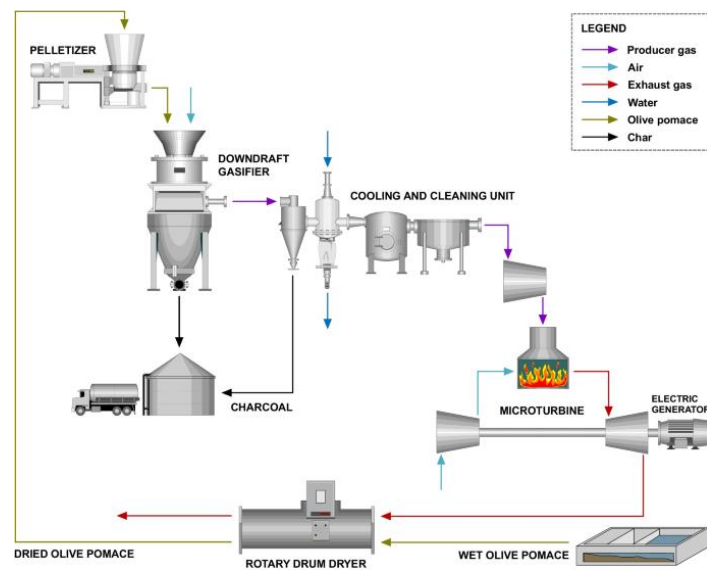
Efisiensi total sistem (termasuk generator):

$$\eta_{total} = \eta_{gasifikasi} \times \eta_{engine} \times \eta_{generator}$$

Diagram Alir Sistem PLTm



Gambar 3.1. Schematic diagram sistem gasifikasi PLTBm
(Sumber : A Downdraft Fixed-Bed, Energies, 2019)



Gambar 3.2. Flow diagram PLTBm dengan Cyclone & Venturi Scrubber
(Sumber : Biomass Conversion and Biorefinery, 2021)

2.4. Penerapan IoT dalam Sistem PLTBm

Peran IoT dalam PLTBm

Internet of Things (IoT) adalah konsep integrasi antara perangkat fisik dengan sistem digital melalui jaringan internet, sehingga memungkinkan pemantauan, pengumpulan data, pengendalian, dan analisis secara real-time.

Arsitektur Sistem IoT dalam PLTBm

Secara umum, arsitektur IoT dalam PLTBm terdiri dari tiga lapisan :

Lapisan	Fungsi
Perception	Sensor dan aktuator untuk mengukur suhu, tekanan, debit gas, dll.
Network	Modul komunikasi (WiFi, LoRa, ZigBee, GSM) untuk transmisi data.
Application	Dashboard visualisasi, kontrol otomatis, analisis berbasis cloud/edge.

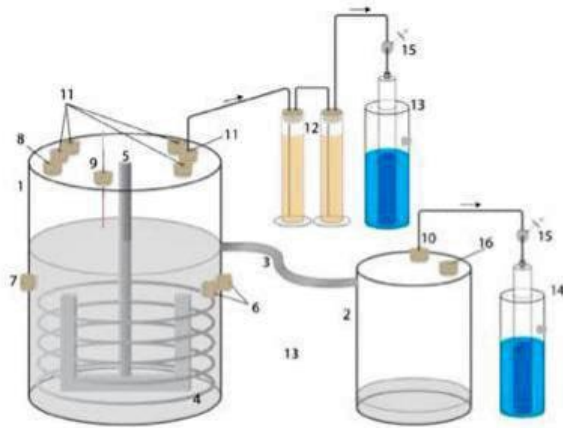
Komponen IoT dan Fungsinya di PLTBm

Komponen IoT	Fungsi dalam PLTBm
Sensor suhu (DS18B20, RTD)	Mendeteksi suhu reaktor gasifikasi dan mesin pembakaran
Sensor tekanan (MPX5100, BMP180)	Mengukur tekanan syngas dalam reaktor dan jalur gas
Flowmeter gas (MQ-series, Ultrasonic)	Mengukur laju aliran syngas menuju engine
Gas analyzer (NDIR, TCD)	Mendeteksi kandungan CO, CH ₄ , H ₂ dalam syngas
Microcontroller (Arduino, ESP32, STM32)	Memproses data sensor dan menjalankan automasi sistem
IoT Gateway (Raspberry Pi, PLC IoT-ready)	Menyambungkan sistem lokal ke cloud/server pusat
Dashboard (Node-RED, ThingsBoard, Grafana)	Menampilkan data secara real-time dan historis

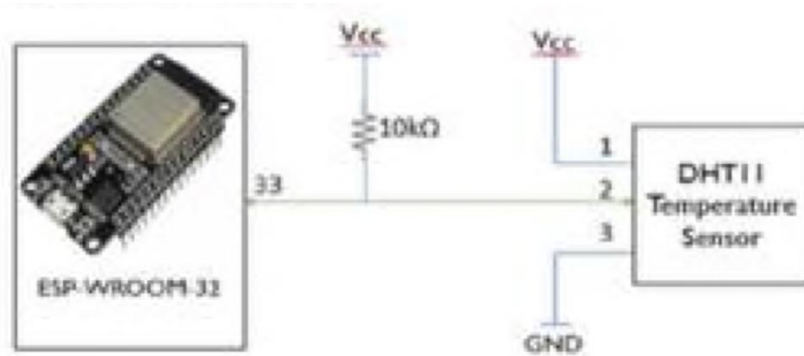
Manfaat Spesifik IoT untuk PLTBm

Penerapan Internet of Things (IoT) pada Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa (PLTBm) berbasis gasifikasi memberikan sejumlah manfaat penting yang meningkatkan efisiensi dan keandalan system. IoT memungkinkan deteksi dini terhadap gangguan sistem, seperti lonjakan suhu atau tekanan, yang langsung dikirimkan sebagai notifikasi kepada operator untuk mencegah kerusakan lebih lanjut.

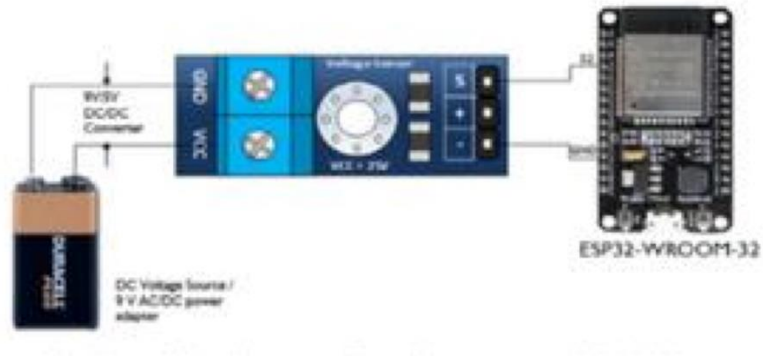
Visualisasi Arsitektur IoT dengan PLTBm



Gambar 4.1. Diagram Arsitektur IoT dalam PLTBm
(Sumber : A Low-Cost IoT System Based on the ESP32 Microcontroller for Efficient Monitoring of a Pilot Anaerobic Biogas Reactor, 2024)



Gambar 4.2. Koneksi antara ESP32 dan DHT11.
(Sumber : Low-Cost Open Source IoT-Based SCADA System for a BTS Site Using ESP32 and Arduino IoT Cloud, 2021)



Gambar 4.3. Diagram sensor voltase dengan ESP32.
(Sumber : Low-Cost Open Source IoT-Based SCADA System for a BTS Site Using ESP32 and Arduino IoT Cloud, 2021)



Gambar 4.4. Koneksi ACS712 ke mikrokontroler ESP32.
(Sumber : Low-Cost Open Source IoT-Based SCADA System for a BTS Site Using ESP32 and Arduino IoT Cloud, 2021)

BAB 3

PENUTUP

3.1. Kesimpulan

Krisis energi dan tantangan lingkungan yang kita hadapi saat ini menegaskan pentingnya transisi ke energi terbarukan, dan di Indonesia, Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa (PLTBm) dengan memanfaatkan sekam padi muncul sebagai solusi yang menjanjikan. Teknologi gasifikasi pada PLTBm terbukti efektif mengubah limbah pertanian menjadi energi listrik yang bersih, meskipun memang ada beberapa tantangan teknis yang perlu diatasi. Namun, yang paling krusial adalah integrasi Internet of Things (IoT) yang benar-benar mengubah cara kerja PLTBm dengan memantau dan mengontrol sistem secara real-time, sehingga efisiensi operasional meningkat drastis dan pemanfaatan biomassa menjadi jauh lebih optimal. Singkatnya, PLTBm yang didukung IoT ini bukan hanya sekadar alternatif energi, tetapi juga merupakan langkah strategis dan cerdas bagi Indonesia untuk mencapai kemandirian energi dan target net zero emission pada tahun 2060.

3.2. Saran

Untuk mengoptimalkan pemanfaatan PLTBm berbasis IoT di Indonesia kedepannya, beberapa langkah penting perlu kita ambil. Pertama, riset lanjutan harus terus dilakukan untuk mencari dan mengoptimalkan berbagai jenis biomassa lokal lainnya sebagai bahan bakar, tidak hanya terpaku pada sekam padi, serta menemukan kombinasi yang paling efisien. Kedua, pengembangan sistem IoT perlu terus ditingkatkan agar semakin canggih, mungkin dengan integrasi kecerdasan buatan untuk otomatisasi dan prediksi kinerja yang lebih akurat. Ketiga, dukungan kebijakan dari pemerintah sangat penting, baik dalam bentuk standarisasi teknologi maupun insentif yang menarik agar investasi pada PLTBm skala besar menjadi lebih menarik. Terakhir, edukasi dan melibatkan masyarakat, terutama di daerah-daerah penghasil biomassa, menjadi kunci agar mereka memahami potensi ini dan

dapat berpartisipasi aktif, sekaligus membuka peluang bagi kita, generasi muda, untuk terus berinovasi dan berkontribusi pada energi bersih nasional.

DAFTAR PUSTAKA

Klass, D. L. (1998). Biomass for Renewable Energy, Fuels, and Chemicals. Academic Press.

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2023). Statistik Energi Baru Terbarukan. Jakarta: Direktorat Jenderal EBTKE.

Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT). (2020). Potensi dan Teknologi Energi Biomassa di Indonesia.

Basu, P. (2010). Biomass Gasification and Pyrolysis: Practical Design and Theory. Academic Press.

Bridgwater, A. V. (2003). "Renewable fuels and chemicals by thermal processing of biomass." Chemical Engineering Journal, 91(2), 87–102.

Erlich, C., & Fransson, T. H. (2011). "Downdraft gasification of pellets made of wood, palm-oil residues respectively bagasse: Experimental study." Applied Energy, 88(3), 899–908.

Alamia, A., Larsson, A., Breitholtz, C., & Thunman, H. (2016). "Performance of large-scale biomass gasifiers in a biorefinery, a state-of-the-art reference." Energy, 103, 372–383.

BPPT. (2020). Teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa. Jakarta: Balai Besar Teknologi Energi.

ESDM. (2023). Statistik EBTKE. <https://ebtke.esdm.go.id>

Balu, E., Ezhilarasi, K., & Krishnasamy, D. (2019). A Downdraft Fixed-Bed Biomass Gasification System for Power Generation: Design, Development and Experimental Investigations. *Energies*, 12(13), 2606. <https://doi.org/10.3390/en12132606>

Tosti, L., Raganati, F., & Miccio, F. (2021). An integrated gasification plant for electric power generation from wet biomass with CO₂ capture. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 11(5), 1601–1615. <https://doi.org/10.1007/s13399-020-00725-2>

Huang, Y., Liu, H., Zhao, X., Wang, Y., & Wang, R. (2023). Syngas Production from Biomass Gasification and Its Applications: A Review. *Energies*, 16(6), 2750. <https://doi.org/10.3390/en16062750>

Li, J., Erlich, C., & Fransson, T. H. (2023). Influence of Biomass Type on Syngas Composition and Tar Formation in Biomass Gasification: A Comparative Study. *ACS Omega*, 8(2), 1930–1941. <https://doi.org/10.1021/acsomega.2c06945>

Kalamaras, S. D., Tsitsimpikou, M.-A., Tzenos, C. A., Lithourgidis, A. A., Pitsikoglou, D. S., & Kotsopoulos, T. A. (2024). A Low-Cost IoT System Based on the ESP32 Microcontroller for Efficient Monitoring of a Pilot Anaerobic Biogas Reactor. *Applied Sciences*, 15(1), 34.

Oton, C. N., & Iqbal, M. T. (2021). Low-Cost Open Source IoT-Based SCADA System for a BTS Site Using ESP32 and Arduino IoT Cloud. In *IEEE*

12th Annual Ubiquitous Computing, Electronics & Mobile Communication Conference (UEMCON).

Aweenagua, F., Takyi, J., Williams, M. N. V., Gatsi, F. A., & Beem, H. R. (2024). Design and Implementation of an IoT-based Smart Household Biogas Digester. IST-Africa Conference Proceedings.

Zanella, A., Bui, N., Castellani, A., Vangelista, L., & Zorzi, M. (2014). "Internet of Things for Smart Cities." IEEE Internet of Things Journal, 1(1), 22–32.

Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2013). "Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions." Future Generation Computer Systems, 29(7), 1645–1660.

BPPT. (2021). Laporan Pilot Project Integrasi PLTBm dan IoT di Wilayah 3T. Jakarta.

Kumar, P., & Mallick, P. K. (2018). "The Internet of Things: Insights into the building blocks, component interactions, and architecture layers." Procedia Computer Science, 132, 109–117.

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. (2025). Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional 2025 (Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 85.K/TL.01/MEM.L/2025). Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. (2024, 18 Januari). Konferensi pers capaian 2023: Konsumsi listrik per kapita lebih target. ESDM.go.id. <https://esdm.go.id/id/berita-unit/direktorat-jenderal-ketenagalistrikan/konferensi-pers-capaian-2023-konsumsi-listrik-per-kapita-lebih-target>

BIODATA

1. KETUA

NAMA : FIORENTINO MONTESQUE SKYRION
LANTANG
TANGGAL LAHIR : 28-10-2006
ASAL : TOMOHON, SULAWESI UTARA
INSTITUSI : UNIVERSITAS GADJAH MADA

2. ANGGOTA 1

NAMA : ARANYACANIA VINCENCIA THEODORA
SOPUTAN
TANGGAL LAHIR : 07-07-2006
ASAL : MANADO, SULAWESI UTARA
INSTITUSI : UNIVERSITAS GADJAH MADA

3. ANGGOTA 2

NAMA : AUDREY YOPIE COLBERT RAMPENGAN
TANGGAL LAHIR : 10-4-2007
ASAL : BITUNG, SULAWESI UTARA
INSTITUSI : UNIVERSITAS GADJAH MADA

ORIGINALITY REPORT

10%

SIMILARITY INDEX

10%

INTERNET SOURCES

3%

PUBLICATIONS

4%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	research.library.mun.ca Internet Source	2%
2	discovery.researcher.life Internet Source	1%
3	gatrik.esdm.go.id Internet Source	1%
4	iesr.or.id Internet Source	1%
5	ar.scribd.com Internet Source	<1%
6	www.coursehero.com Internet Source	<1%
7	idoc.pub Internet Source	<1%
8	etd.repository.ugm.ac.id Internet Source	<1%
9	makalah-elektrical-engineering.blogspot.com Internet Source	<1%
10	journal.universitaspahlawan.ac.id Internet Source	<1%
11	repository.nobel.ac.id Internet Source	<1%
12	roboguru.ruangguru.com Internet Source	<1%

13	aprobi.or.id Internet Source	<1 %
14	farmasi.ugm.ac.id Internet Source	<1 %
15	id.scribd.com Internet Source	<1 %
16	issuu.com Internet Source	<1 %
17	jurnal.iainponorogo.ac.id Internet Source	<1 %
18	jurnal.tekmira.esdm.go.id Internet Source	<1 %
19	repository.undha.ac.id Internet Source	<1 %
20	www.idxchannel.com Internet Source	<1 %
21	www.launchora.com Internet Source	<1 %

Exclude quotes On

Exclude matches Off

Exclude bibliography On