

ANALISIS KINERJA PROTOTYPE SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK SKALA KECIL BERBASIS ENERGI PANAS BRIKET

Selamat^{1*}, Muhammad Saleh Al Amin², Nita Nurdiana³

^{1,2,3} Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas PGRI Palembang, Jl. Jen A. Yani Lr. Gotong Royong 9/10 Ulu, Palembang Telp. 0711-510043

Keywords:

briket batok kelapa;
energi biomassa;
mini boiler;
turbin uap;
generator DC.

Correspondent Email:

salehamin@univpgri-
palembang.ac.id

Abstrak. Penelitian ini menganalisis kinerja prototipe pembangkit listrik skala kecil berbasis energi panas briket batok kelapa. Sistem terdiri dari tungku pembakaran, mini boiler, turbin uap, dan generator DC 12 V. Metode penelitian menggunakan eksperimen kuantitatif dengan variasi massa briket 2 kg dan 3 kg serta kapasitas air 2000 ml. Parameter yang diamati meliputi suhu, tekanan uap, putaran generator, tegangan, arus, daya, energi listrik, dan efisiensi sistem. Hasil pengujian menunjukkan bahwa briket 3 kg memberi kinerja termal lebih baik dengan suhu maksimum 255 °C dan tekanan 2,1 bar, sedangkan briket 2 kg menghasilkan suhu maksimum 180 °C dan tekanan 1,4 bar. Tegangan tertinggi generator mencapai 12,34 V pada kondisi tanpa beban dengan daya 3,6156 W. Pada beban LED 3 W dan 5 W, tegangan dan daya menurun karena kebutuhan beban meningkat. Prototipe ini membuktikan bahwa panas briket batok kelapa dapat dikonversi menjadi listrik skala kecil, meskipun efisiensi sistem masih rendah akibat rugi-rugi pembakaran, boiler, turbin, dan generator.



Copyright © 2026 The Author(s),
Published by Jurnal Informatika
dan Teknik Elektro Terapan. This
is an open-access article
distributed under the terms of the
Creative Commons Attribution-
NonCommercial 4.0 International
License (CC BY-NC 4.0).

Abstract. This study analyzes the performance of a small-scale power generation prototype based on coconut shell briquette heat energy. The system consists of a combustion furnace, mini boiler, steam turbine, and 12 V DC generator. The study used a quantitative experimental method with briquette mass variations of 2 kg and 3 kg and a fixed water capacity of 2000 ml. The measured parameters included temperature, steam pressure, generator rotation, voltage, current, power, electrical energy, and system efficiency. The results show that 3 kg briquettes produced better thermal performance, with a maximum temperature of 255 °C and a pressure of 2.1 bar, while 2 kg briquettes produced a maximum temperature of 180 °C and a pressure of 1.4 bar. The highest generator voltage reached 12.34 V under no-load conditions with a power output of 3.6156 W. Under 3 W and 5 W LED loads, voltage and power decreased as the connected load increased. The prototype demonstrates that coconut shell briquette heat can be converted into small-scale electricity, although the system efficiency remains low due to losses in combustion, boiler heat transfer, turbine rotation, and generator conversion.

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik terus meningkat seiring pertumbuhan aktivitas rumah tangga, pendidikan, industri kecil, dan layanan publik. Pada saat yang sama, penggunaan energi fosil masih menimbulkan persoalan ketersediaan,

biaya, dan emisi. Kondisi ini mendorong pengembangan energi terbarukan yang dapat memanfaatkan potensi lokal dan mudah diterapkan pada skala kecil [1], [2].

Biomassa menjadi salah satu sumber energi terbarukan yang relevan untuk Indonesia karena bahan bakunya banyak berasal dari limbah pertanian dan perkebunan. Biomassa dapat dikonversi menjadi energi panas melalui pembakaran langsung, gasifikasi, pirolisis, atau proses termokimia lain. Pada sistem sederhana, energi panas biomassa dapat digunakan untuk menghasilkan uap pada boiler, memutar turbin, lalu menggerakkan generator [2], [3].

Batok kelapa memiliki nilai guna tinggi sebagai bahan bakar biomassa karena mengandung karbon tetap dan lignin yang mendukung proses pembakaran. Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa tempurung kelapa memiliki densitas energi yang baik dan dapat digunakan sebagai bahan bakar boiler biomassa [4], [5]. Jika diolah menjadi briket, bahan ini lebih mudah disimpan, lebih stabil saat dibakar, dan berpotensi menghasilkan panas yang cukup untuk sistem pembangkit skala kecil [6]-[8].

Kajian tentang batok kelapa dan briket sebagian besar masih berfokus pada karakteristik bahan bakar, performa pembakaran, atau aplikasi termal sederhana. Penelitian tentang integrasi briket batok kelapa, mini boiler, turbin uap, dan generator DC dalam satu prototipe pembangkit listrik skala kecil masih perlu diperkuat. Integrasi tersebut penting karena keluaran listrik tidak hanya ditentukan oleh nilai kalor briket, tetapi juga oleh proses perpindahan panas, pembentukan uap, putaran turbin, karakteristik generator, dan beban yang terhubung [9]-[13].

Teknologi pembangkit listrik berbasis panas bekerja melalui beberapa tahapan konversi energi. Energi kimia bahan bakar berubah menjadi energi panas, energi panas mengubah air menjadi uap, uap menggerakkan turbin, dan putaran turbin menggerakkan generator. Setiap tahapan memiliki rugi-rugi, sehingga analisis kinerja tidak cukup hanya melihat keberhasilan lampu menyala. Analisis juga perlu menghitung suhu, tekanan, rpm, tegangan, arus, daya, energi, dan efisiensi.

Batok kelapa tersedia melimpah di banyak wilayah tropis dan sering belum dimanfaatkan secara optimal. Pada tingkat rumah tangga dan industri kecil, limbah batok kelapa kerap hanya dibuang atau dibakar terbuka. Pengolahan batok

kelapa menjadi briket memberi nilai tambah karena bentuknya lebih seragam, mudah ditimbang, mudah disimpan, dan dapat memberi suplai panas yang lebih terkendali.

Dalam konteks teknik elektro, pemanfaatan panas briket untuk pembangkit mini memberi ruang pembelajaran yang penting. Mahasiswa dapat melihat hubungan antara proses termal dan keluaran listrik secara langsung. Kinerja generator DC dapat diamati melalui perubahan tegangan dan arus saat beban berbeda dihubungkan. Karena itu, prototipe semacam ini relevan untuk riset energi terbarukan skala laboratorium dan pembelajaran konversi energi.

Sistem skala kecil juga memiliki tantangan teknis. Tekanan uap mudah turun jika proses pembakaran tidak stabil. Panas dapat hilang melalui dinding tungku dan boiler. Putaran turbin dapat melemah jika debit uap kecil atau saluran uap bocor. Beban listrik yang lebih besar dapat menurunkan tegangan keluaran generator. Tantangan ini membuat penelitian eksperimen diperlukan untuk mengetahui kemampuan nyata prototipe.

Penelitian ini bertujuan merancang dan menganalisis kinerja prototipe sistem pembangkit listrik skala kecil berbasis energi panas briket batok kelapa. Parameter utama yang dianalisis meliputi suhu, tekanan uap, putaran generator, tegangan, arus, daya, energi listrik, dan efisiensi sistem. Kebaruan praktis penelitian terletak pada pengujian terintegrasi sistem pembakaran briket, mini boiler, turbin uap, dan generator DC 12 V pada skala laboratorium dengan variasi massa bahan bakar 2 kg dan 3 kg.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Energi merupakan kemampuan suatu sistem untuk melakukan kerja atau menghasilkan perubahan. Dalam sistem pembangkit, energi dapat hadir sebagai energi kimia, panas, mekanik, dan listrik. Prinsip dasar yang digunakan adalah hukum kekekalan energi, yaitu energi tidak hilang, tetapi berubah bentuk. Namun, pada sistem nyata, sebagian energi berubah menjadi panas buang, gesekan, suara, dan rugi-rugi lain yang tidak dapat dimanfaatkan sebagai keluaran listrik [10], [11].

Konversi panas menjadi listrik dapat dilakukan secara langsung atau tidak langsung. Pada pendekatan tidak langsung, panas terlebih dahulu menghasilkan uap atau gerak mekanik. Gerak mekanik tersebut kemudian dikonversi menjadi energi listrik oleh generator. Sistem berbasis uap termasuk pendekatan tidak langsung karena melibatkan boiler, turbin, dan generator sebagai rantai konversi energi.

Pada sistem skala kecil, efisiensi biasanya lebih rendah dibandingkan sistem pembangkit besar. Penyebabnya ialah luas permukaan perpindahan panas yang terbatas, kontrol pembakaran yang belum presisi, kerugian pada saluran uap, dan ketidaksempurnaan kopling mekanik antara turbin dan generator. Karena itu, penelitian prototipe perlu membaca hasil bukan hanya dari daya keluaran, tetapi juga dari karakteristik proses termal yang mendahuluinya.

2.2 Biomassa dan Briket Batok Kelapa

Energi biomassa berasal dari bahan organik yang menyimpan energi kimia hasil proses biologis. Saat biomassa dibakar, energi kimia berubah menjadi energi panas. Panas tersebut dapat dipakai langsung atau dikonversi menjadi energi mekanik dan listrik. Pada sistem berbasis uap, proses konversi berlangsung melalui pemanasan air, pembentukan uap, ekspansi uap pada turbin, lalu induksi elektromagnetik pada generator [2], [3].

Batok kelapa memiliki struktur keras dan kandungan karbon yang mendukung proses pembakaran. Penelitian mengenai bahan bakar boiler menunjukkan bahwa tempurung kelapa memiliki karakteristik yang kompetitif dibandingkan beberapa biomassa lain, terutama dari sisi densitas energi dan potensi pemanfaatannya sebagai bahan bakar padat [4], [5].

Briket batok kelapa merupakan bahan bakar padat yang dibuat dari arang tempurung kelapa melalui proses penghalusan, pencampuran perekat, pencetakan, dan pengeringan. Kualitas briket dipengaruhi oleh kadar air, kadar abu, karbon tetap, nilai kalor, kepadatan, dan kestabilan pembakaran. Nilai kalor yang tinggi membuat briket batok kelapa layak digunakan sebagai sumber panas pada sistem boiler kecil [7], [8].

Keunggulan briket dibandingkan biomassa mentah terletak pada bentuk dan massa yang lebih seragam. Briket juga lebih mudah ditakar dalam eksperimen, sehingga peneliti dapat membandingkan pengaruh variasi massa bahan bakar terhadap kinerja sistem. Pada penelitian ini, variasi yang digunakan adalah 2 kg dan 3 kg untuk melihat perbedaan suhu, tekanan, dan keluaran listrik.

2.3 Mini Boiler, Turbin Uap, dan Generator DC

Mini boiler berfungsi mengubah air menjadi uap bertekanan dengan memanfaatkan panas pembakaran. Kinerja boiler dipengaruhi oleh suhu pembakaran, luas bidang kontak panas, volume air, volume ruang uap, tekanan kerja, serta kehilangan panas ke lingkungan. Pada prototipe terbuka, kehilangan panas dapat terjadi pada dinding tungku, permukaan boiler, dan sambungan pipa uap [9].

Turbin uap mengubah energi tekanan dan aliran uap menjadi energi mekanik. Uap yang keluar dari boiler diarahkan menuju sudu turbin. Gaya dorong uap membuat sudu berputar. Putaran ini kemudian diteruskan ke poros generator. Kinerja turbin dipengaruhi oleh tekanan uap, debit uap, bentuk sudu, gesekan poros, dan kestabilan aliran uap.

Generator DC mengubah energi mekanik menjadi energi listrik melalui prinsip induksi elektromagnetik. Secara umum, kenaikan putaran rotor dapat meningkatkan tegangan induksi. Namun, saat beban dihubungkan, tegangan dapat turun karena generator harus menyuplai arus dan karena putaran mekanik dapat berkurang. Penelitian prototipe pembangkit listrik skala kecil di JITET juga menunjukkan bahwa tegangan dan arus berubah saat beban dinaikkan [14], [15].

2.4 Parameter Kinerja Sistem

Parameter termal yang diamati pada penelitian ini meliputi suhu dan tekanan uap. Suhu menunjukkan tingkat panas di sekitar boiler, sedangkan tekanan menunjukkan kemampuan uap memberi gaya dorong pada turbin. Kedua parameter ini menjadi indikator awal apakah proses pembentukan uap cukup untuk menggerakkan turbin.

Parameter listrik yang diamati meliputi putaran generator, tegangan, arus, dan daya.

Tegangan menunjukkan beda potensial keluaran generator. Arus menunjukkan aliran muatan menuju beban. Daya listrik merupakan hasil kali tegangan dan arus. Daya menjadi indikator kemampuan generator menyuplai beban pada kondisi pengujian tertentu.

Efisiensi sistem dihitung dari perbandingan energi listrik yang dihasilkan terhadap energi panas yang masuk dari briket. Nilai efisiensi pada prototipe skala laboratorium biasanya kecil karena belum semua panas dapat dikonversi menjadi energi listrik. Walau demikian, nilai ini tetap penting untuk membaca besarnya rugi-rugi dan arah perbaikan desain.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian menggunakan metode eksperimen kuantitatif. Kegiatan dilakukan melalui perancangan, perakitan, pengujian, pengukuran, dan analisis data prototipe pembangkit listrik skala kecil. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas PGRI Palembang pada April sampai Mei 2026.

Komponen utama sistem meliputi tungku pembakaran, mini boiler dari tabung freon, kran uap, manometer 4 bar, safety valve, selang uap, turbin uap skala mini, generator DC 12 V, sakelar, kabel, dan beban lampu LED 3 W serta 5 W. Bahan utama yang digunakan adalah briket batok kelapa dengan massa 2 kg dan 3 kg serta air 2000 ml sebagai fluida kerja.

Tabel 1. Alat penelitian

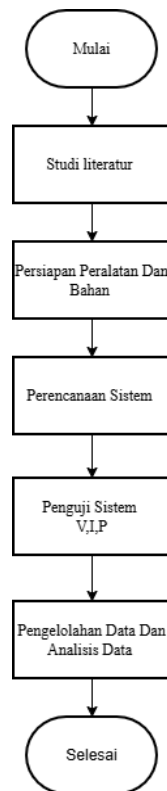
No	Alat	Fungsi	Jumlah
1	Tabung freon	Wadah air yang dipanaskan menjadi uap	1 buah
2	Kran valve 1/2 inch	Mengatur aliran air dan uap	1 buah
3	Manometer 4 bar	Mengukur tekanan uap	1 buah
4	Selang uap	Menyalurkan uap dari boiler ke turbin	1 m
5	Safety valve	Pengaman tekanan berlebih	1 buah
6	Tungku boiler	Tempat pembakaran briket	1 buah
7	Generator DC 12 V	Mengubah putaran menjadi listrik DC	1 unit

8	Turbin uap mini	Mengubah uap menjadi putaran	1 unit
9	Multimeter	Mengukur tegangan dan arus	1 unit
10	Tachometer	Mengukur putaran generator	1 unit
11	Lampu LED	Beban pengujian 3 W dan 5 W	2 buah

Tabel 2. Bahan penelitian

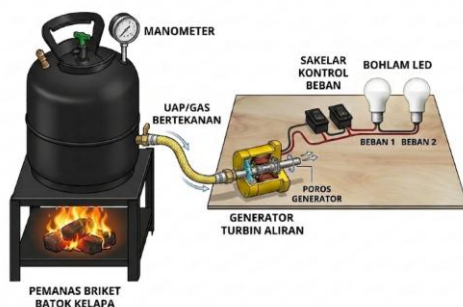
No	Bahan	Fungsi	Jumlah
1	Briket batok kelapa	Bahan bakar biomassa	5 kg
2	Air	Fluida kerja pembentuk uap	4 liter
3	Pertalite	Pemantik awal pembakaran	500 ml
4	Korek api	Menyalakan pemantik	1 buah
5	Seal tape	Penyekat sambungan pipa	1 buah
6	Triplek	Dudukan komponen prototipe	1 buah

Prosedur pengujian dilakukan dengan tahapan yang sama pada setiap variasi massa briket. Pertama, air sebanyak 2000 ml dimasukkan ke boiler. Kedua, briket ditimbang sesuai variasi massa 2 kg atau 3 kg. Ketiga, pembakaran awal dilakukan pada tungku sampai panas stabil. Keempat, suhu dan tekanan boiler diamati sampai uap terbentuk. Kelima, uap dialirkan ke turbin untuk memutar generator. Keenam, tegangan, arus, rpm, dan kondisi beban dicatat pada setiap skenario pengujian.



Gambar 1. Flowchart alur penelitian

Alur penelitian dimulai dari studi literatur, perumusan masalah, perancangan sistem, persiapan alat dan bahan, perakitan, uji coba awal, pengujian kinerja, pengolahan data, analisis, lalu penarikan kesimpulan. Flowchart tersebut dimasukkan agar alur penelitian dapat dibaca secara runtut sejak tahap awal sampai tahap akhir.



Gambar 2. Prinsip kerja sistem pembangkit listrik berbasis briket

Prinsip kerja sistem dimulai dari pembakaran briket batok kelapa pada tungku. Panas hasil pembakaran memanaskan air di dalam mini boiler sampai menghasilkan uap bertekanan. Uap dialirkan menuju turbin sehingga sudu turbin berputar. Putaran turbin diteruskan ke generator DC 12 V, kemudian

energi listrik yang dihasilkan digunakan untuk menyalakan beban LED.

Parameter penelitian meliputi suhu boiler, tekanan uap, putaran generator, tegangan, arus, daya listrik, energi listrik, dan efisiensi sistem. Pengambilan data dilakukan pada kondisi tanpa beban, beban LED 3 W, beban LED 5 W, dan gabungan beban LED 3 W + 5 W.

$$V_{ru} = V_b - V_a$$

dengan V_{ru} sebagai volume ruang uap, V_b sebagai volume badan boiler, dan V_a sebagai volume air. Ruang uap menunjukkan kapasitas bagian boiler yang dipakai untuk pembentukan dan penyimpanan uap sebelum dialirkan ke turbin.

$$Q_{in} = m \times H_v$$

Q_{in} adalah energi panas masuk, m adalah massa briket, dan H_v adalah nilai kalor briket. Nilai kalor yang dipakai dalam perhitungan penelitian ini sebesar 19.000.000 J/kg.

$$P = V \times I$$

$$E = P \times t$$

$$\eta = (E / Q_{in}) \times 100\%$$

P menyatakan daya listrik, V tegangan, I arus, E energi listrik, t waktu pengujian, dan η efisiensi sistem. Waktu operasi yang digunakan pada perhitungan energi listrik adalah 10 detik.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

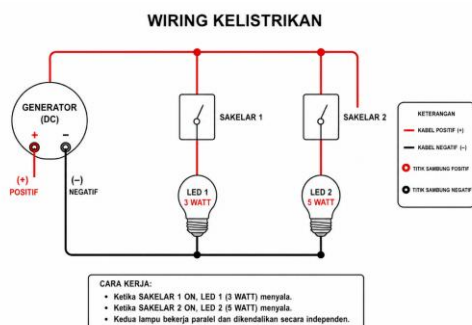
4.1 Hasil Perancangan Prototipe

Prototipe berhasil dirancang sebagai sistem pembangkit listrik skala kecil yang mengubah panas briket batok kelapa menjadi energi listrik. Sistem terdiri dari tungku pembakaran, boiler, saluran uap, turbin uap, generator DC, rangkaian sakelar, dan beban LED. Rangkaian mekanik dan kelistrikan dibuat sederhana agar proses konversi energi dapat diamati secara langsung.



Gambar 3. Prototipe sistem pembangkit listrik skala kecil

Gambar 3 menunjukkan susunan komponen utama prototipe. Boiler ditempatkan di atas tungku pembakaran, uap dialirkan melalui selang menuju turbin, lalu putaran turbin menggerakkan generator. Lampu LED digunakan sebagai beban uji sekaligus indikator bahwa listrik berhasil dihasilkan.



Gambar 4. Wiring kelistrikan beban LED 3 W dan 5 W

Rangkaian kelistrikan menggunakan generator DC sebagai sumber listrik. Terminal positif generator dihubungkan ke dua sakelar yang mengendalikan LED 3 W dan LED 5 W. Terminal negatif kedua lampu digabungkan dan dihubungkan kembali ke terminal negatif generator. Rangkaian ini membuat setiap beban dapat diuji secara mandiri atau bersamaan.

4.2 Data Pengujian Boiler

Pengujian boiler dilakukan untuk melihat pengaruh massa briket terhadap suhu, tekanan, dan waktu pemanasan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penggunaan briket 3 kg menghasilkan suhu dan tekanan lebih tinggi dibandingkan briket 2 kg.

Tabel 3. Hasil pengujian boiler

Briket	Air	Waktu (menit)	Suhu (°C)	Tekanan (bar)
2 kg	2000 ml	30	180	1,0
2 kg	2000 ml	40	170	1,4
3 kg	2000 ml	20	215	1,0
3 kg	2000 ml	30	255	2,1

4.3 Data Keluaran Generator

Pengujian generator dilakukan pada kondisi tanpa beban dan kondisi berbeban. Daya dihitung dari hasil kali tegangan dan arus. Tabel 3 merangkum data utama yang digunakan dalam analisis kinerja listrik sistem.

Tabel 4. Hasil pengujian keluaran generator

Briket	Kondisi	rpm	V	I	P (W)
2 kg	Tanpa beban	2997	12,34	0,293	3,6156
2 kg	LED 3 W	2566	10,02	0,235	2,3547
2 kg	LED 5 W	2155	9,48	0,215	2,0382
2 kg	LED 3+5 W	1475	8,55	0,197	1,6843
3 kg	Tanpa beban	2072	12,18	0,299	3,6418
3 kg	LED 3 W	2246	10,15	0,234	2,3751
3 kg	LED 5 W	1709	8,68	0,191	1,6579
3 kg	LED 3+5 W	1554	8,83	0,211	1,8631

4.4 Perhitungan Daya dan Energi Briket 2 kg

Pada variasi briket 2 kg, daya listrik dihitung menggunakan persamaan $P = V \times I$. Kondisi tanpa beban menghasilkan $V = 12,34$ V dan $I = 0,293$ A, sehingga $P = 3,6156$ W. Pada beban LED 3 W, nilai $V = 10,02$ V dan $I = 0,235$ A, sehingga $P = 2,3547$ W. Pada beban LED 5 W, nilai $V = 9,48$ V dan $I = 0,215$ A, sehingga $P = 2,0382$ W. Pada beban gabungan LED 3 W + 5 W, nilai $V = 8,55$ V dan $I = 0,197$ A, sehingga $P = 1,6843$ W.

Energi listrik dihitung dengan $E = P \times t$ selama 10 detik. Energi yang dihasilkan pada variasi 2 kg berturut-turut adalah 36,156 J, 23,547 J, 20,382 J, dan 16,843 J. Energi panas masuk dari briket 2 kg dihitung dengan $Q_{in} = 2 \times 19.000.000$ J/kg = 38.000.000 J. Efisiensi tertinggi pada variasi ini terjadi pada kondisi tanpa beban, yaitu 0,0000951%.

4.5 Perhitungan Daya dan Energi Briket 3 kg

Pada variasi briket 3 kg, kondisi tanpa beban menghasilkan $V = 12,18$ V dan $I = 0,299$ A, sehingga $P = 3,6418$ W. Pada beban LED 3 W,

nilai $V = 10,15$ V dan $I = 0,234$ A, sehingga $P = 2,3751$ W. Pada beban LED 5 W, nilai $V = 8,68$ V dan $I = 0,191$ A, sehingga $P = 1,6579$ W. Pada beban gabungan LED 3 W + 5 W, nilai $V = 8,83$ V dan $I = 0,211$ A, sehingga $P = 1,8631$ W.

Energi listrik pada variasi 3 kg berturut-turut adalah 36,418 J, 23,751 J, 16,579 J, dan 18,631 J. Energi panas masuk dihitung dengan $Q_{in} = 3 \times 19.000.000$ J/kg = 57.000.000 J. Perhitungan ini menyesuaikan massa aktual briket 3 kg, sehingga nilai efisiensi menjadi lebih tepat dibandingkan jika menggunakan energi masuk 2 kg.

4.6 Perhitungan Energi dan Efisiensi

Energi listrik dihitung dengan mengalikan daya dan waktu pengujian. Pada briket 2 kg, energi panas masuk sebesar 38.000.000 J. Pada briket 3 kg, energi panas masuk sebesar 57.000.000 J. Perhitungan efisiensi menunjukkan nilai yang sangat kecil karena sistem masih berupa prototipe terbuka dengan banyak rugi-rugi energi.

Tabel 5. Energi listrik dan efisiensi sistem

Briket	Kondisi	E (J)	Efisiensi (%)
2 kg	Tanpa beban	36,156	0,0000951
2 kg	LED 3 W	23,547	0,0000620
2 kg	LED 5 W	20,382	0,0000536
2 kg	LED 3+5 W	16,843	0,0000443
3 kg	Tanpa beban	36,418	0,0000639
3 kg	LED 3 W	23,751	0,0000417
3 kg	LED 5 W	16,579	0,0000291
3 kg	LED 3+5 W	18,631	0,0000327

Tabel 6. Perbandingan tegangan keluaran generator

Kondisi	2 kg (V)	3 kg (V)
Tanpa beban	12,34	12,18
LED 3 W	10,02	10,15
LED 5 W	9,48	8,68
LED 3+5 W	8,55	8,83

Tabel 7. Perbandingan arus keluaran generator

Kondisi	2 kg (A)	3 kg (A)
Tanpa beban	0,293	0,299
LED 3 W	0,235	0,234
LED 5 W	0,215	0,191
LED 3+5 W	0,197	0,211

Tabel 8. Perbandingan daya keluaran generator

Kondisi	2 kg (W)	3 kg (W)
Tanpa beban	3,6156	3,6418
LED 3 W	2,3547	2,3751
LED 5 W	2,0382	1,6579
LED 3+5 W	1,6843	1,8631

4.7 Pembahasan

Massa briket memberi pengaruh langsung terhadap kinerja termal boiler. Briket 3 kg mampu menghasilkan suhu maksimum 255 °C dan tekanan 2,1 bar, sedangkan briket 2 kg menghasilkan suhu maksimum 180 °C dan tekanan 1,4 bar. Peningkatan massa briket menambah energi panas yang tersedia untuk memanaskan air, sehingga pembentukan uap berlangsung lebih kuat dan tekanan kerja meningkat.

Perbedaan waktu pemanasan juga menunjukkan pengaruh massa bahan bakar terhadap proses termal. Briket 3 kg mencapai suhu 215 °C pada menit ke-20, sedangkan briket 2 kg baru mencapai 180 °C pada menit ke-30. Data ini menunjukkan bahwa briket 3 kg menyediakan panas yang lebih besar sejak awal proses pembakaran. Akan tetapi, suhu pada pengujian 2 kg turun dari 180 °C menjadi 170 °C saat tekanan meningkat dari 1,0 bar menjadi 1,4 bar. Kondisi ini dapat terjadi karena distribusi panas tidak selalu stabil pada tungku terbuka dan karena uap mulai mengambil sebagian energi panas dari air di dalam boiler.

Kapasitas air yang digunakan sama, yaitu 2000 ml, sehingga perbedaan hasil lebih banyak dipengaruhi oleh massa briket dan kestabilan pembakaran. Jika air terlalu banyak, waktu pembentukan uap akan semakin lama. Jika air terlalu sedikit, volume uap terbatas dan risiko keamanan meningkat. Oleh karena itu, pemilihan volume air pada prototipe perlu mempertimbangkan kapasitas boiler, ruang uap, dan tekanan kerja yang aman.

Suhu dan tekanan uap saling berkaitan. Ketika panas pembakaran meningkat, air di dalam boiler lebih cepat mengalami perubahan fase menjadi uap. Uap yang terbentuk meningkatkan tekanan di dalam boiler. Tekanan ini menjadi gaya dorong bagi turbin. Karena itu, kestabilan pembakaran dan kerapatan jalur uap sangat menentukan kemampuan sistem untuk mempertahankan putaran turbin.

Pada kondisi tanpa beban, tegangan generator berada pada nilai tertinggi, yaitu 12,34 V untuk briket 2 kg dan 12,18 V untuk briket 3 kg. Setelah beban LED dihubungkan, tegangan menurun. Kondisi ini terjadi karena generator harus menyuplai arus ke beban, sementara putaran turbin dan tekanan uap

belum sepenuhnya stabil. Pola ini sejalan dengan kajian prototipe pembangkit skala kecil yang menunjukkan perubahan tegangan dan arus saat beban dinaikkan [14].

Daya tertinggi pada briket 2 kg sebesar 3,6156 W pada kondisi tanpa beban. Pada briket 3 kg, daya tertinggi sebesar 3,6418 W. Saat beban gabungan LED 3 W + 5 W, briket 3 kg menghasilkan daya 1,8631 W, lebih tinggi dibandingkan briket 2 kg sebesar 1,6843 W. Hasil ini menunjukkan bahwa pasokan panas yang lebih besar membantu sistem mempertahankan daya pada beban gabungan, meskipun keluaran listrik masih kecil.

Efisiensi sistem masih rendah karena sebagian besar energi panas briket tidak berubah menjadi energi listrik. Rugi-rugi terjadi pada pembakaran terbuka, perpindahan panas dari tungku ke boiler, kebocoran atau kehilangan panas pada saluran uap, gesekan pada turbin, dan konversi mekanik ke listrik pada generator. Sistem belum menggunakan kondensor, isolasi termal, kontrol udara pembakaran, dan sistem pengukuran aliran uap. Karena itu, penelitian ini lebih tepat diposisikan sebagai pembuktian kerja prototipe dan dasar pengembangan pembangkit biomassa skala kecil.

Beban LED 3 W cenderung lebih stabil dibandingkan LED 5 W. Pada briket 2 kg, daya turun dari 2,3547 W pada LED 3 W menjadi 2,0382 W pada LED 5 W. Pada briket 3 kg, daya turun dari 2,3751 W pada LED 3 W menjadi 1,6579 W pada LED 5 W. Penurunan ini menunjukkan bahwa generator belum mampu mempertahankan tegangan saat kebutuhan beban meningkat. Kondisi tersebut dapat diperbaiki dengan meningkatkan kestabilan putaran turbin, memperbaiki nozzle uap, dan menggunakan generator yang sesuai dengan karakteristik putaran rendah.

Pada beban gabungan, hasil briket 3 kg lebih baik dibandingkan briket 2 kg. Daya gabungan briket 3 kg sebesar 1,8631 W, sedangkan briket 2 kg sebesar 1,6843 W. Selisih ini menunjukkan bahwa cadangan panas yang lebih besar membantu sistem mempertahankan keluaran saat dua beban dihubungkan sekaligus. Meski demikian, penurunan daya dibandingkan kondisi tanpa beban tetap besar, sehingga

desain turbin dan generator masih perlu optimasi.

Hasil pengujian juga menunjukkan bahwa rpm tertinggi tidak selalu menghasilkan daya tertinggi pada semua kondisi. Pada briket 2 kg tanpa beban, rpm mencapai 2997 dan daya 3,6156 W. Pada briket 3 kg tanpa beban, rpm lebih rendah, yaitu 2072, tetapi daya sedikit lebih tinggi, yaitu 3,6418 W. Hal ini menunjukkan bahwa selain rpm, kestabilan tegangan, arus, kondisi beban, dan karakteristik generator juga ikut menentukan daya keluaran.

Dari sisi desain, bagian yang paling memerlukan perbaikan adalah pemanfaatan panas dan aliran uap. Isolasi pada tungku dan boiler dapat mengurangi panas yang hilang ke lingkungan. Nozzle uap dapat diarahkan lebih presisi ke sudu turbin agar energi uap tidak banyak terbuang. Penambahan kondensor dan sirkulasi air dapat membuat sistem lebih mendekati siklus uap tertutup. Sensor digital dan data logger juga diperlukan agar data suhu, tekanan, rpm, tegangan, dan arus dapat dibaca secara kontinu.

Secara keseluruhan, prototipe mampu membuktikan alur konversi energi dari briket batok kelapa menjadi listrik. Energi kimia briket berubah menjadi panas, panas membentuk uap, uap memutar turbin, dan generator menghasilkan listrik DC. Temuan ini mendukung pemanfaatan limbah batok kelapa sebagai sumber energi alternatif, terutama untuk pembelajaran teknik elektro, eksperimen energi terbarukan, dan pengembangan sistem pembangkit sederhana berbasis potensi lokal.

5. KESIMPULAN

1. Prototipe pembangkit listrik skala kecil berbasis energi panas briket batok kelapa berhasil dirancang dan dioperasikan dengan komponen utama tungku pembakaran, mini boiler, turbin uap, dan generator DC 12 V.
2. Penggunaan briket 3 kg menghasilkan kinerja termal lebih baik daripada briket 2 kg. Suhu maksimum mencapai 255 °C dan tekanan maksimum 2,1 bar pada briket 3 kg, sedangkan briket 2 kg mencapai 180 °C dan 1,4 bar.
3. Generator menghasilkan tegangan tertinggi 12,34 V dan daya 3,6156 W pada kondisi tanpa beban. Saat beban LED 3 W, LED 5 W,

dan beban gabungan diberikan, tegangan serta daya cenderung menurun.

4. Efisiensi sistem masih sangat rendah karena rugi-rugi energi terjadi pada pembakaran, boiler, saluran uap, turbin, dan generator. Namun, prototipe telah membuktikan potensi briket batok kelapa sebagai sumber panas untuk pembangkit listrik skala kecil.

5. Pengembangan berikutnya perlu menambahkan isolasi termal, kondensor, flow meter uap, data logger, dan optimasi blower agar proses pembakaran serta konversi energi lebih stabil dan efisien.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas PGRI Palembang, serta dosen pembimbing yang telah memberikan dukungan dalam pelaksanaan penelitian dan penyusunan naskah artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. Ang, M. Salem, M. K. M. Kamarol, H. Shekhar, M. Alhuyi, and N. Prabakaran, "A comprehensive study of renewable energy sources: Classifications, challenges and suggestions," *Energy Strategy Reviews*, vol. 43, 2022, doi: 10.1016/j.esr.2022.100939.
- [2] D. S. Primadita, I. N. S. Kumara, and W. G. Ariastina, "A review on biomass for electricity generation in Indonesia," *Jurnal SPEKTRUM*, vol. 4, no. 1, 2020.
- [3] A. K. Gupta, A. De, S. K. Aggarwal, A. Kushari, and A. K. Runchal, Eds., *Green Energy and Technology: Advances in Energy and Combustion Safety and Sustainability*. Cham: Springer, 2022.
- [4] S. Kaniapan, H. Suhaimi, Y. Hamdan, and J. Pasupuleti, "Experimental analysis on the characteristic of empty fruit bunch, palm kernel shell, coconut shell, and rice husk for biomass boiler fuel," *Journal of Mechanical Engineering and Sciences*, vol. 15, no. 3, pp. 8300-8309, 2021, doi: 10.15282/jmes.15.3.2021.08.0652.
- [5] M. Yulianto, C. Gupta, E. Hartulistiyoso, L. O. Nelwan, and S. E. Agustina, "Thermal characteristics of coconut shells as boiler fuel," *International Journal of Renewable Energy Development*, vol. 12, no. 2, pp. 227-234, 2023, doi: 10.14710/ijred.2023.48349.
- [6] P. R. Sonarkar and A. S. Chaurasia, "Thermal performance of three improved biomass-fired cookstoves using fuel wood, wood pellets and coconut shell," *Environment, Development and Sustainability*, vol. 21, no. 3, pp. 1429-1449, 2019, doi: 10.1007/s10668-018-0096-0.
- [7] S. Mustafa and S. Ibrahim, "Thermal and physical properties of briquette fuels from coconut shells and cocoa shells," *Bioresources and Environment*, vol. 1, no. 3, pp. 45-53, 2023.
- [8] D. F. Hidayat, Y. Maryani, and E. Sari, "Evaluasi komprehensif kualitas briket dari arang tempurung kelapa dan campuran serbuk gergaji sengon terkarbonisasi/tidak terkarbonisasi," vol. 4, pp. 500-513, 2025.
- [9] U. Hanifah, N. D. Susanti, and M. Andrianto, "Kinerja mini boiler tipe pipa api 3 pass berbahan bakar biomassa pelet kayu dan tempurung kelapa," vol. 39, no. 3, pp. 200-206, 2019.
- [10] R. Aridi, J. Faraj, S. Ali, T. Lemenand, and M. Khaled, "Thermoelectric power generators: State-of-the-art, heat recovery method, and challenges," pp. 359-386, 2021.
- [11] M. Blaise and M. Feidt, "Waste heat recovery and conversion into electricity: Current solutions and assessment," *International Journal of Thermodynamics*, vol. 22, no. 1, pp. 1-7, 2019, doi: 10.5541/ijot.487951.
- [12] P. L. I. N. N. Igeria, A. Asere, and E. O. Atofarati, "The evaluation of the power output of a locally developed micro thermal power," vol. 28, no. 1, pp. 18-27, 2021.
- [13] A. B. Orkha and I. Bayusari, "Analisis efisiensi generator DC pada prototipe PLTB skala mikro untuk pengisian baterai ponsel," vol. 6, no. 1, pp. 56-65, 2024.
- [14] S. A. Ulfiah, A. Rahman, S. D. Nugroho, R. B. Negara, and F. A. Arsal, "Analisa prototipe pembuatan PLTB skala kecil pada Laboratorium Teknik Listrik di Politeknik Negeri Padang," *JITET (Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan)*, vol. 13, no. 2, pp. 1031-1037, 2025, doi: 10.23960/jitet.v13i2.6395.
- [15] D. Dewantara, D. E. Yuliana, and Y. Shalahuddin, "Sistem deteksi dini gangguan PLTMH berbasis IoT dengan metode Threshold dan Fuzzy Logic," *JITET (Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan)*, vol. 13, no. 3S1, pp. 749-761, 2025, doi: 10.23960/jitet.v13i3S1.7807.
- [16] D. Bintara, "Generator DC 12 volt dengan kapasitas 270 watt untuk PLTMH di Jalan Bintara Sungai Duren Kecamatan Jambi Luar Kota Kabupaten Muara Jambi," vol. 2, no. 1, pp. 16-20, 2019, doi: 10.33087/jepca.v2i1.25.