

OPTIMASI JUMLAH LUBANG UDARA PADA REAKTOR KOMPOR BIOMASSA UNTUK PENINGKATAN DAYA TERMOELEKTRIK GENERATOR

Rita Maria Veranika²⁶, M. Ali²⁷, Madagaskar²⁸, M. Fadli²⁹

Email Korespondensi: rita_maria_veranika@univ-tridianti.ac.id

Abstrak: Energi merupakan kebutuhan utama manusia, dan seiring pertumbuhan populasi serta industri, permintaan energi terus meningkat. Sumber energi fosil semakin menipis dan berkontribusi pada perubahan iklim, sehingga pencarian sumber energi alternatif yang ramah lingkungan menjadi penting. Biomassa, yang masih digunakan di banyak desa di Indonesia sebagai bahan bakar memasak, menawarkan solusi terbarukan. Penelitian ini mengembangkan kompor biomassa efisien, khususnya kompor gasifikasi dengan sistem blower, untuk memaksimalkan pembakaran. Selain itu, penelitian ini memanfaatkan panas dari kompor untuk menghasilkan energi listrik menggunakan Termoelektrik Generator (TEG), yang dapat menyalakan lampu dan alat listrik berdaya rendah, sehingga mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui daya yang dapat dihasilkan oleh pembangkit listrik berbasis termoelektrik dengan memanfaatkan panas dinding kompor biomassa. Proses dimulai dengan pembuatan reaktor dengan variasi jumlah lubang (20, 27, dan 34) dengan diameter lubang 0,008 m, serta 34 lubang asli berdiameter 0,006 m. Pengujian daya termoelektrik dilakukan secara seri, diikuti analisis data. Hasil menunjukkan bahwa lima modul TEG SP1848-27145 yang dipasang pada dinding kompor menghasilkan daya maksimum 1,242 Watt dengan 34 lubang modifikasi. Reaktor dengan 34 lubang asli menghasilkan 0,874 Watt, 27 lubang 0,518 Watt, dan 20 lubang 0,306 Watt. Meskipun demikian daya yang dihasilkan masih tergolong kecil, karena kebutuhan listrik input lebih besar daripada output yang dihasilkan.

Kata kunci: biomassa, kompor, bahan bakar, termoelektrik generator, efisiensi energi

***Abstract:** Energy is a basic human need, and as population and industry grow, the demand for energy continues to increase. Fossil fuels are depleting and contributing to climate change, so the search for alternative, environmentally friendly energy sources is important. Biomass, which is still used in many villages in Indonesia as a cooking fuel, offers a renewable solution. This study develops an efficient biomass stove, specifically a gasification stove with a blower system, to maximize combustion. In addition, this study utilizes the heat from the stove to generate electricity using a Thermoelectric Generator (TEG), which can power low-power lamps and electrical devices, thereby reducing dependence on fossil fuels. This activity aims to determine the power that can be generated by a thermoelectric-based power plant by utilizing the heat from the biomass stove wall. The process begins with the creation of a reactor with varying numbers of holes (20, 27, and 34) with a hole diameter of 0.008 m, as well as the original 34 holes with a diameter of 0.006 m. Thermoelectric power testing is carried out in series, followed by data analysis. The results show that five TEG SP1848-27145 modules installed on the stove wall produce a maximum power of 1,242 Watts with 34 modified holes. The reactor with 34 original holes produces 0.874 Watts, 27 holes 0.518 Watts, and 20 holes 0.306 Watts. However, the power produced is still relatively small, because the input electricity requirement is greater than the output produced.*

***Keywords:** biomass, stove, fuel, thermoelectric generator, energy efficiency*

^{26,27,28} Dosen Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Tridianti.

²⁹ Mahasiswa Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Tridianti.

PENDAHULUAN

Seiring dengan meningkatnya kebutuhan bahan bakar untuk memasak, masalah kebutuhan energi dalam keluarga pun meningkat. Di Indonesia, 17.547 desa masih mengandalkan kayu bakar sebagai bahan bakar memasak, dan 63.447 desa masih menggunakan gas LPG, menurut data dari Badan Pusat Statistik (BPS) pada tahun 2021. Meskipun LPG praktis, bersih,

dan efisien, masih ada masalah dengan distribusinya yang tidak merata dan kendala keuangan masyarakat dalam hal pembeliannya, terutama di daerah pedesaan. Untuk mengurangi ketergantungan masyarakat terhadap bahan bakar fosil seperti minyak dan gas alam, pengembangan energi terbarukan yang berkelanjutan menjadi sangat penting, salah satunya memanfaatkan biomassa sebagai bahan bakar.

Kompor biomassa dibuat untuk memaksimalkan efisiensi pembakaran biomassa sehingga menghasilkan energi yang efisien dan ramah lingkungan. Salah satu faktor penting dalam desain kompor adalah jumlah lubang udara pada ruang bakar. Lubang udara berfungsi untuk menyediakan oksigen yang diperlukan untuk proses pembakaran dan distribusi lubang udara yang tepat dapat membantu kompor biomassa menjadi lebih efisien dalam pembakaran. Kompor biomassa yang diteliti adalah kompor gasifikasi sistem blower, di mana oksigen yang masuk ke ruang bakar mengalir secara terus menerus sesuai dengan jumlah pembakaran yang diperlukan.

Dalam penelitian ini memanfaatkan panas pada dinding kompor biomassa yang akan digunakan sebagai sumber energi listrik dengan menggunakan Termoelektrik generator (TEG)

TINJAUAN PUSTAKA

A. Pengertian Biomassa

Kata "biomassa" berasal dari "bio" dan "massa," awalnya digunakan dalam ekologi untuk menggambarkan total tumbuhan dan hewan. Setelah krisis minyak, definisi ini diperluas untuk mencakup "sumber daya hayati. Biomassa didefinisikan sebagai "sumber daya hewan, tumbuhan, dan limbah yang terakumulasi (tidak termasuk fosil)" dari sudut pandang energi. Biomassa mencakup berbagai sumber, seperti kayu, tanaman laut, dan hasil pertanian. Selain itu, biomassa juga meliputi lumpur pulp, cairan hitam dari pabrik pulp dan kertas, sisa fermentasi alkohol, limbah organik, serta sampah kota dan limbah kertas. (Yakoyama & Yukihiko, 2008)

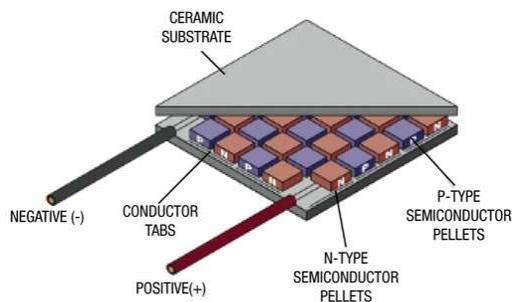
Energi dalam jumlah besar dapat diperoleh dari biomassa, yaitu zat yang dapat secara langsung maupun tidak langsung dibuat dari tanaman. Produk berbahan biomassa yang diperoleh secara tidak langsung berasal dari sektor pangan dan peternakan. Biomassa disebut sebagai "fitomassa" karena sumbernya berasal dari makhluk hidup. Menurut Yakoyama dan Yukihiko (2008), sumber daya ini terdiri dari ratusan hingga ribuan spesies tanaman dari berbagai bidang pertanian dan kehutanan serta sisa sampah dari kegiatan industri, termasuk limbah dan kotoran hewan.

B. Kompor Biomassa

Kompor biomassa adalah sistem yang membakar bahan biomassa untuk memproduksi kalor melalui proses pembakaran. Kompor secara umum memiliki beberapa bagian utama dengan fungsi masing-masing yang antara lain meliputi tempat bahan bakar (minyak atau limbah biomassa), tungku pembakaran dan aliran udara alami. Kompor berbahan bakar biomassa mempunyai tambahan bagian penting lainnya untuk proses pembakaran, yaitu tempat penampung abu dan aliran udara paksa (blower). Dalam rancang bangun kompor digunakan plat yang cukup kuat agar dapat bertahan dalam waktu yang lama dan tidak mudah rusak. Uji teknik dilakukan pada kompor untuk mengetahui proses pembakaran yang terjadi dan efisiensi panas yang dihasilkan dalam proses perhitungan.

C. Termoelektrik Generator (TEG)

Dengan teknologi termoelektrik, energi panas diubah langsung menjadi listrik (generator termoelektrik) atau sebaliknya, listrik diubah menjadi dingin (pendingin termoelektrik). Dengan menghubungkan sumber panas dan dingin dalam suatu rangkaian, bahan termoelektrik menghasilkan daya. Bergantung pada jenis bahan yang digunakan, rangkaian akan menghasilkan daya dalam jumlah tertentu.



Gambar 1. Termoelektrik Generator

D. Prinsip Kerja Termoelektrik

Mekanisme Kerja Termoelektrik Efek Seebeck merupakan dasar pengoperasian termoelektrik; jika dua logam berbeda disambungkan pada satu ujung dan kemudian terkena suhu yang berbeda-beda, akan terjadi perbedaan tegangan antara kedua ujung tersebut (Muhaimin, 1993). Energi panas secara langsung diubah menjadi listrik oleh generator

termoelektrik, atau sebaliknya, dengan pendingin termoelektrik yang menghasilkan energi dingin dari listrik. Material termoelektrik menghasilkan daya hanya dengan menghubungkan sumber panas dan dingin dalam suatu rangkaian. Bergantung pada jenis material yang digunakan, sejumlah daya tertentu akan dihasilkan dari rangkaian tersebut. Pendingin termoelektrik beroperasi dengan cara yang sama. Panas di sekitarnya akan diserap jika material termoelektrik diberi energi. Hasilnya, tidak seperti mesin pendingin tradisional, tidak diperlukan kompresor pendingin untuk mendinginkan udara.

Rumus yang digunakan dalam penelitian :

1. Perpindahan Panas

A. Perpindahan Panas Konduksi

$$Q_{kond} = -k \cdot A \frac{\Delta T}{L}$$

Dimana :

Q = Laju Kalor (Watt)

k = Konduktivitas termal (W/m°C)

A = Luas Penampang (m²)

ΔT = Perbedaan Temperatur (°C)

L = Tebal penampang permukaan (m)

B. Perpindahan Panas Konveksi

$$Q_{Konv} = h \cdot A \cdot (T_1 - T_2)$$

Dimana:

Q_{Konv} = Energi Panas Konveksi (W)

h = koefisien perpindahan panas konveksi (W/m².K)

A = Luas penampang (m²)

T₁ = Temperatur permukaan (°C)

T₂ = Temperatur fluida (°C)

C. Perpindahan Panas Radiasi

$$Q = e \cdot \sigma \cdot A \cdot T^4$$

Dimana :

Q = Laju Perpindahan Panas Radiasi (W)

σ = Konstanta stefan-Boltzman (W/m²K⁴)

e = Emisivitas (0 < e < 1)

A = Luas Penampang (m²)

T = Temperatur (K)

2. Daya Termoelektrik Generator

$$P = V \times I$$

Dimana:

P = Daya (Watt)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

3. Laju Massa Aliran Udara

$$\dot{m} = \rho \times v \times A$$

Dengan:

\dot{m} = Laju aliran massa udara (kg/s)

ρ = massa jenis udara (kg/m³)

v = Laju aliran udara terukur (m/s)

A = Luas penampang udara masuk (m²)

4. Daya Keluar (Power Output)

$$P = \frac{M_f \times LHV}{t}$$

Dimana :

P = Daya (kj/s)

M_f = Massa penggunaan bahan bakar (kg)

LHV = Low heating value (kj/kg)

t = Waktu mendidih (s)

5. Laju Konsumsi Bahan Bakar Spesifik

$$SFC = \frac{M_f}{p \times t}$$

Dimana :

SFC = Laju konsumsi bahan bakar (kg/jam)

M_f = Massa penggunaan bahan bakar (kg)

P = Power Output (kj/s)

t = waktu pendidihan (jam)

6. Tingkat Pembakaran

$$BR = \frac{M_f}{t}$$

Dimana :

BR = Waktu Pembakaran (kg/s)

M_f = Massa penggunaan bahan bakar (kg)

t = Waktu pendidihan (s)

7. Konsumsi Bahan Bakar Perjam

$$\dot{m}_b = \frac{M_f}{t}$$

Dimana :

\dot{m}_b = Waktu Pembakaran (kg/jam)

M_f = Massa penggunaan bahan bakar (kg)

t = Waktu pendidihan (h)

8. Efisiensi Termal

$$\eta = \frac{M_a \cdot C_p(air) (T_2 - T_1) + \Delta m_a L}{M_f \cdot LHV} \times 100\%$$

Dimana :

η = Efisiensi termal(%)

M_a = Massa awal air (kg)

C_p = Kalor Jenis air (kj/kg °C)

T_2 = Temperatur titik didih air (°C)

T_1 = Temperatur awal air (°C)

Δm_a = Massa air yang menguap

L = Kalor Laten Penguapan Air (kj/kg)

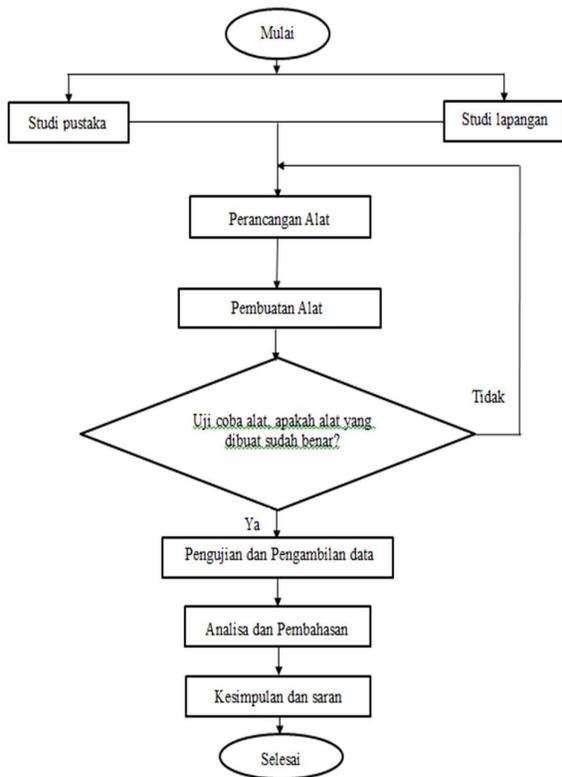
t = waktu (detik)

M_f = Massa konsumsi bahan bakar (kg)

LHV = Low heating value (kj/kg)

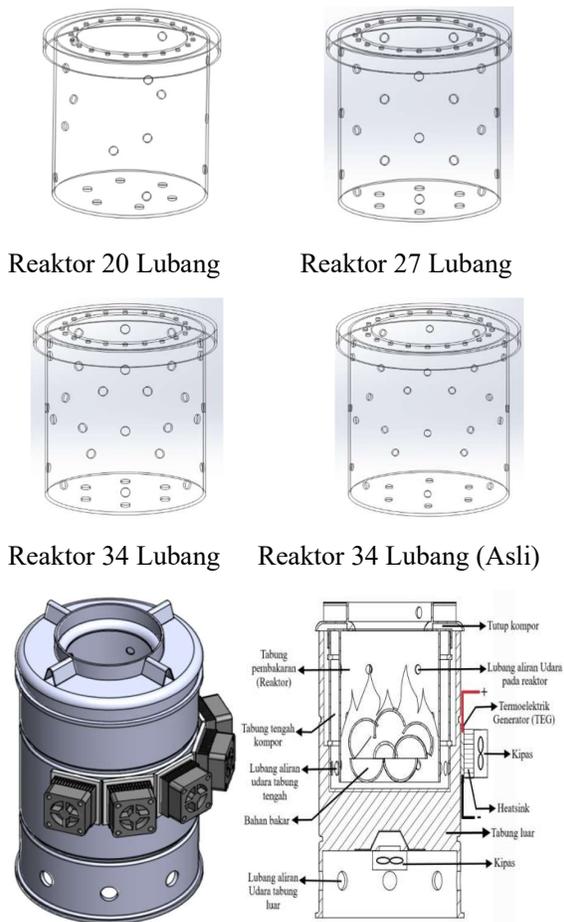
METODE PENELITIAN

A. Diagram Alir Perencanaan



Gambar 2. Diagram Alir

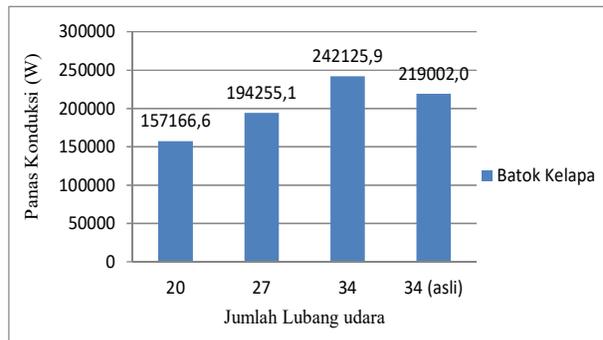
B. Desain Alat



Gambar 3. Desain alat kompor beserta perangkat TEG

PEMBAHASAN

A. Panas Konduksi



Gambar 4. Grafik panas konduksi

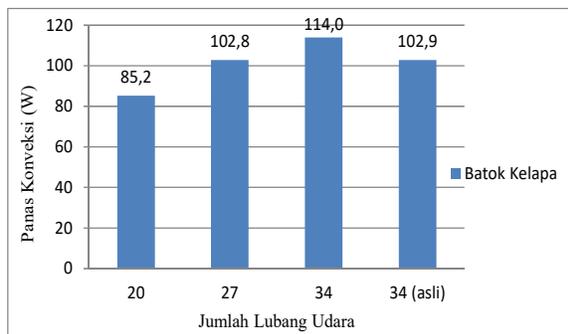
Grafik pada Gambar 4. menunjukkan pengaruh jumlah lubang udara pada reaktor kompor biomassa berbahan bakar tempurung kelapa terhadap konduksi panas. Reaktor dengan 34 lubang udara modifikasi mencapai konduksi

panas tertinggi, yaitu 242125,9W, sedangkan reaktor dengan 20 lubang udara memiliki konduksi terendah, yaitu 157166,6W.

Peningkatan jumlah lubang udara meningkatkan aliran udara ke ruang bakar, sehingga suhu nyala api meningkat dan efisiensi pembakaran juga meningkat. Namun, reaktor dengan 34 lubang asli, yang memiliki diameter berbeda, hanya menghasilkan 219002,0 W, lebih rendah dibandingkan reaktor modifikasi.

Ini menunjukkan bahwa modifikasi diameter lubang juga penting untuk efisiensi pembakaran. Diameter yang lebih besar meningkatkan aliran udara, memperbaiki pembakaran, dan menghasilkan lebih banyak panas. Untuk memaksimalkan efisiensi panas konduksi, desain lubang udara perlu dioptimalkan dari segi jumlah dan diameter.

B. Panas Konveksi



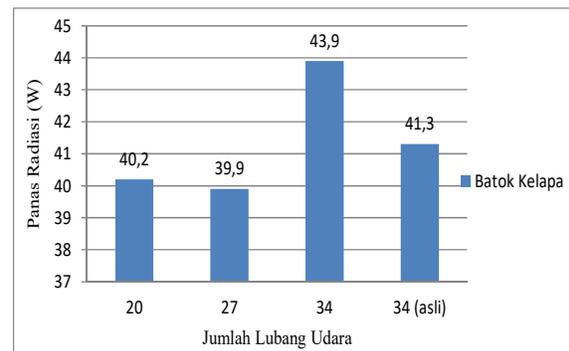
Gambar 5. Grafik panas konveksi

Penelitian ini menganalisis pengaruh jumlah lubang udara pada reaktor pembangkit listrik termoelektrik yang memanfaatkan panas dinding kompor biomassa. Data menunjukkan bahwa dengan 20 lubang, perpindahan panas konveksi tercatat 85,2 W, dan meningkat menjadi 102,8 W dengan 27 lubang. Pada 34 lubang, nilai perpindahan panas mencapai 114,0 W, menunjukkan hubungan positif antara jumlah lubang dan efisiensi.

Namun, pada 34 lubang dengan diameter 0,006 m, perpindahan panas hanya 102,9 W, karena diameter kecil membatasi aliran udara. Modifikasi diameter menjadi 0,008 m meningkatkan efisiensi. Semua pengujian mempertahankan kecepatan aliran udara yang sama, sehingga perbedaan hasil terkait langsung dengan jumlah dan ukuran lubang.

Perbedaan diameter mempengaruhi distribusi udara, meningkatkan transfer panas. Penelitian ini menekankan pentingnya jumlah dan ukuran lubang udara dalam efisiensi perpindahan panas, serta membuka peluang untuk eksplorasi faktor lain yang mempengaruhi kinerja sistem.

C. Panas Radiasi



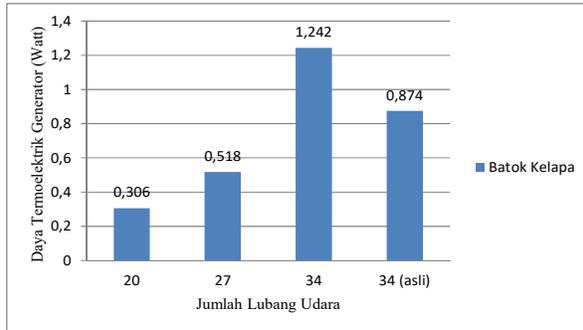
Gambar 6. Grafik panas radiasi

Penelitian ini menganalisis pengaruh jumlah lubang udara pada reaktor terhadap perpindahan panas radiasi. Dengan 20 lubang, nilai perpindahan tercatat 40,2 W, tetapi efisiensinya lebih rendah dibandingkan dengan jumlah lubang yang lebih banyak. Pada 27 lubang, nilai ini sedikit menurun menjadi 39,9 W, mungkin karena perubahan pola aliran udara.

Ketika jumlah lubang ditingkatkan menjadi 34, nilai perpindahan panas radiasi meningkat menjadi 43,9 W. Namun, pada 34 lubang dengan diameter 0,006 m, nilai tercatat 41,3 W, menunjukkan bahwa ukuran dan distribusi lubang juga mempengaruhi hasil. Semua pengujian menjaga kecepatan aliran udara tetap sama, sehingga perbedaan hasil terkait dengan jumlah dan ukuran lubang.

Secara keseluruhan, hasil menunjukkan bahwa jumlah lubang berpengaruh terhadap perpindahan panas radiasi, tetapi ukuran dan desain lubang juga penting. Penelitian ini menekankan perlunya mempertimbangkan berbagai faktor dalam desain reaktor untuk meningkatkan efisiensi perpindahan panas dalam sistem pembangkit listrik termoelektrik berbahan bakar biomassa.

D. Daya Termoelektrik Generator



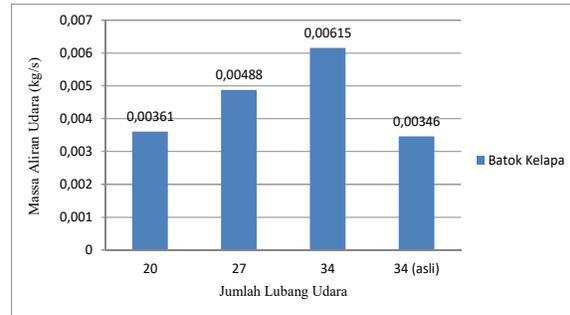
Gambar 7. Grafik daya TEG

Hasil pengujian menunjukkan bahwa jumlah lubang udara berpengaruh signifikan terhadap output daya reaktor. Pada reaktor dengan 20 lubang, daya terukur adalah 0,306 W, yang tergolong rendah dibandingkan input lebih dari 5 W. Dengan peningkatan jumlah lubang menjadi 27, daya meningkat menjadi 0,518 W, menunjukkan bahwa penambahan lubang dapat meningkatkan sirkulasi udara dan proses pembakaran, meskipun output masih jauh dari optimal.

Peningkatan paling signifikan terjadi pada reaktor dengan 34 lubang udara yang dimodifikasi, di mana daya melonjak menjadi 1,242 W. Sebaliknya, reaktor dengan 34 lubang bawaan menghasilkan hanya 0,874 W. Ini menunjukkan bahwa ukuran dan konfigurasi diameter lubang juga penting dalam mengoptimalkan sirkulasi udara. Diameter yang lebih besar memungkinkan aliran udara lebih lancar, meningkatkan efisiensi pembakaran dan temperatur api, sehingga lebih banyak panas disalurkan ke dinding kompor.

Meskipun output maksimum tercatat 1,242 W, nilai ini masih jauh dari memadai dibandingkan input energi lebih dari 5 W. Ini menunjukkan tantangan dalam mencapai output yang sebanding dengan input. Konfigurasi dan jumlah lubang udara memengaruhi daya yang dihasilkan; semakin banyak lubang dengan ukuran optimal, semakin tinggi temperatur api dan panas dinding kompor. Sebaliknya, jumlah lubang yang sedikit atau konfigurasi yang tidak optimal dapat mengurangi temperatur dan daya. Perbedaan suhu antara dinding kompor dan sisi dingin pada termoelektrik generator juga berpengaruh; semakin besar perbedaan, semakin besar daya yang dihasilkan.

E. Laju Massa Aliran Udara

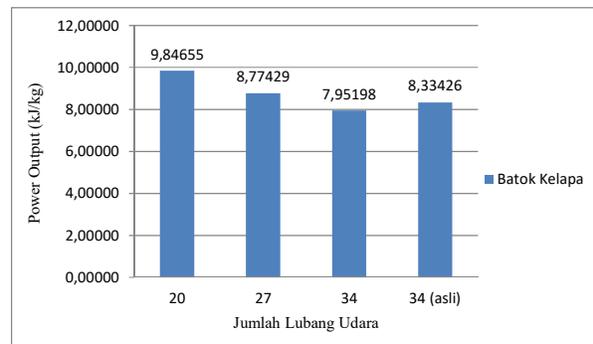


Gambar 8. Grafik laju massa aliran udara

Hasil penelitian menunjukkan bahwa massa aliran udara pada reaktor kompor biomassa dipengaruhi oleh jumlah dan diameter lubang udara. Grafik pada Gambar 9. menunjukkan bahwa massa aliran terendah tercatat pada reaktor dengan 20 lubang, yaitu 0,00361 kg/s. Sebaliknya, reaktor dengan 34 lubang modifikasi mencatat massa aliran tertinggi sebesar 0,00615 kg/s, sementara reaktor dengan 34 lubang asli (diameter lebih kecil) hanya 0,00346 kg/s.

Hal ini mengindikasikan bahwa semakin banyak jumlah lubang dan semakin besar diameternya, semakin banyak massa aliran udara yang masuk ke ruang bakar. Sebaliknya, jumlah lubang yang sedikit atau diameter yang kecil akan mengurangi massa aliran. Massa aliran udara yang lebih besar berkontribusi pada efisiensi pembakaran yang lebih baik dan meningkatkan output energi sistem.

F. Power Output



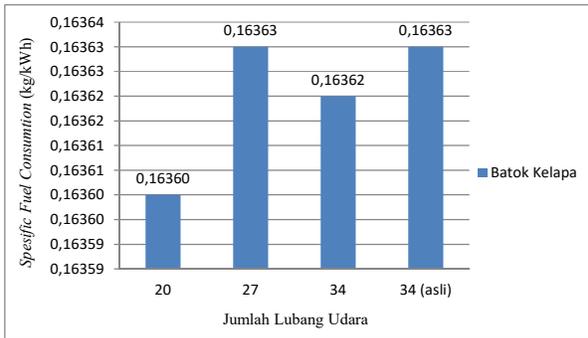
Gambar 9. Grafik power output

Pengujian kompor biomassa berbahan bakar tempurung kelapa menunjukkan bahwa nilai power output bervariasi tergantung pada

jumlah lubang udara. Reaktor dengan 20 lubang menghasilkan daya keluaran tertinggi, yaitu 9,84655 kJ/s, sementara reaktor dengan 34 lubang modifikasi memiliki daya terendah, 7,95198 kJ/s. Reaktor dengan 34 lubang asli mencatat 8,33426 kJ/s, lebih tinggi dibandingkan versi modifikasi.

Hal ini menunjukkan bahwa jumlah dan konfigurasi diameter lubang berpengaruh pada aliran udara dan efisiensi pembakaran. Grafik daya keluaran pada Gambar 4.6 menggambarkan bahwa semakin banyak lubang udara, semakin tinggi daya keluarannya. Selain itu, daya keluaran juga dipengaruhi oleh massa bahan bakar dan waktu pendidihan air; semakin lama air mendidih, semakin rendah daya keluaran, dan sebaliknya.

G. Laju Konsumsi Bahan Bakar Spesifik



Gambar 10. Laju konsumsi bahan bakar spesifik

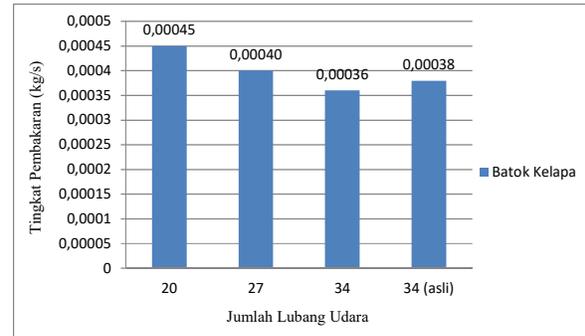
Pengujian laju konsumsi bahan bakar spesifik pada reaktor kompor biomassa dengan bahan bakar tempurung kelapa menunjukkan hasil yang bervariasi. Reaktor dengan 20 lubang udara memiliki nilai terendah (0,163360 kg/kWh), sedangkan reaktor dengan 27 dan 34 lubang modifikasi memiliki nilai tertinggi (0,16363 kg/kWh).

Reaktor 34 lubang modifikasi lebih efisien dibandingkan reaktor 34 lubang asli yang memiliki diameter berbeda, yang menunjukkan konsumsi bahan bakar spesifik lebih tinggi. Ini menunjukkan bahwa konfigurasi diameter lubang berpengaruh pada efisiensi konsumsi bahan bakar.

Faktor yang memengaruhi konsumsi bahan bakar spesifik meliputi jumlah lubang udara, waktu pendidihan air, dan konsumsi bahan bakar selama proses pendidihan sebesar 3 kg. Waktu pendidihan yang lebih cepat meningkatkan efisiensi, sehingga nilai bahan bakar spesifik

lebih rendah. Sebaliknya, waktu pendidihan yang lebih lama meningkatkan konsumsi bahan bakar. Reaktor modifikasi dengan desain optimal mampu memanfaatkan bahan bakar lebih efisien, memberikan performa yang lebih baik.

H. Tingkat Pembakaran (Burning Rate)



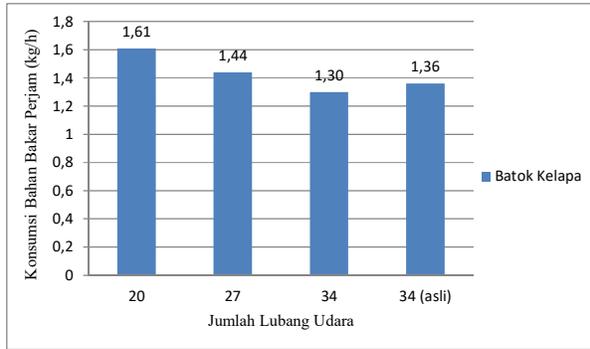
Gambar 11. Grafik tingkat pembakaran

Gambar 12. menunjukkan laju pembakaran bahan bakar per detik pada reaktor kompor biomassa dengan bahan bakar tempurung kelapa. Reaktor dengan 20 lubang udara memiliki laju pembakaran maksimum ($4,5 \times 10^{-4}$ kg/s), sedangkan reaktor dengan 34 lubang modifikasi memiliki laju terendah ($3,6 \times 10^{-4}$ kg/s). Reaktor 34 lubang asli sedikit lebih tinggi ($3,8 \times 10^{-4}$ kg/s) dibandingkan modifikasi.

Kecepatan pembakaran dipengaruhi oleh jumlah lubang udara; semakin banyak lubang, semakin besar aliran udara dan laju pembakaran. Sebaliknya, penurunan jumlah lubang mengurangi kecepatan pembakaran. Selain itu, konsumsi bahan bakar dan waktu mendidihkan 3 kg air juga berpengaruh; waktu pendidihan yang lebih cepat meningkatkan kecepatan pembakaran, sementara waktu yang lebih lama menguranginya.

Reaktor 34 lubang asli menunjukkan kecepatan pembakaran sedikit lebih tinggi dibandingkan modifikasi, yang menunjukkan bahwa desain diameter lubang pada modifikasi dapat meningkatkan efisiensi pembakaran meskipun sedikit mengurangi laju pembakaran per detik.

I. Konsumsi Bahan Bakar Perjam



Gambar 12. Grafik konsumsi bahan bakar perjam

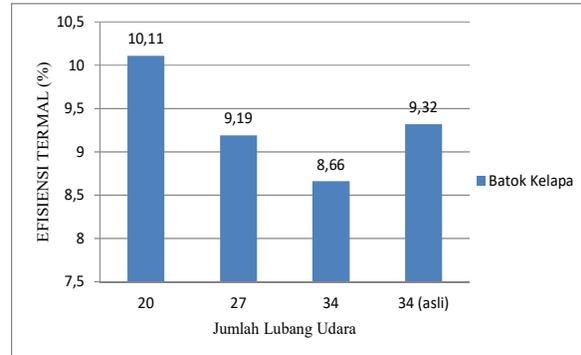
Gambar 13. menunjukkan konsumsi bahan bakar per jam pada reaktor kompor biomassa dengan bahan bakar tempurung kelapa. Reaktor dengan 20 lubang udara memiliki konsumsi tertinggi (1,62 kg/jam), sedangkan reaktor 34 lubang modifikasi memiliki konsumsi terendah (1,36 kg/jam).

Jumlah lubang udara memengaruhi konsumsi bahan bakar; semakin banyak lubang, semakin efisien pembakaran dan semakin sedikit bahan bakar yang digunakan. Sebaliknya, jumlah lubang yang terbatas mengurangi efisiensi dan meningkatkan konsumsi bahan bakar.

Perbandingan antara reaktor 34 lubang modifikasi dan asli menunjukkan bahwa reaktor asli dengan diameter lubang lebih kecil memiliki konsumsi lebih tinggi. Diameter lubang yang lebih besar pada reaktor modifikasi memungkinkan aliran udara yang lebih baik, mendukung efisiensi pembakaran, sementara diameter lebih kecil pada reaktor asli membatasi aliran udara dan meningkatkan konsumsi bahan bakar.

Meskipun lebih banyak lubang udara meningkatkan efisiensi pembakaran dan mengurangi penggunaan bahan bakar, waktu yang diperlukan untuk mendidihkan air justru menjadi lebih lama. Hal ini disebabkan oleh penyebaran panas yang lebih cepat ke lingkungan, yang mengurangi jumlah panas yang tersedia untuk mendidihkan air. Oleh karena itu, penting untuk melakukan penelitian lebih lanjut untuk menemukan jumlah lubang udara yang optimal, sehingga dapat mencapai keseimbangan antara efisiensi bahan bakar dan waktu mendidih yang lebih cepat.

J. Efisiensi Termal



Gambar 13. Grafik efisiensi termal

Hasil perhitungan efisiensi termal pada reaktor tungku biomassa berbahan bakar tempurung kelapa menunjukkan bahwa reaktor dengan 20 lubang udara memiliki efisiensi tertinggi (10,14%), sedangkan reaktor dengan 34 lubang memiliki efisiensi terendah (8,66%). Reaktor 34 lubang modifikasi, dengan diameter lubang lebih besar, memiliki efisiensi 9,32%, lebih rendah dari 34 lubang asli.

Efisiensi termal berbanding terbalik dengan massa konsumsi bahan bakar; semakin rendah konsumsi, semakin tinggi efisiensi. Selain itu, jumlah air yang menguap juga mempengaruhi efisiensi, di mana semakin sedikit air yang menguap, semakin tinggi efisiensinya. Pengujian dilakukan dengan kecepatan aliran udara 3,0 m/s, yang penting untuk efektivitas konversi energi termal selama pembakaran.

SIMPULAN

Berdasarkan pengujian pengaruh jumlah lubang udara pada reaktor kompor biomassa terhadap pembangkit listrik berbasis termoelektrik generator, dapat disimpulkan: Meskipun peningkatan jumlah lubang udara pada reaktor dapat meningkatkan temperatur pembakaran yang dapat memanfaatkan panas dinding kompor secara maksimal, tetapi hal ini tidak efektif dalam mempercepat waktu memasak atau mendidihkan air. Proses konveksi paksa yang lebih dominan akibat banyaknya lubang udara menyebabkan kehilangan panas yang lebih besar ke lingkungan, sehingga waktu mendidih menjadi lebih lama. Setelah pengujian, pemanfaatan panas dinding kompor biomassa dengan menambahkan 5 termoelektrik generator

menghasilkan daya tertinggi 1,242 W pada 34 lubang udara yang dimodifikasi. Sementara itu, jumlah lubang udara 34 yang asli menghasilkan 0,874 W, 27 lubang udara menghasilkan 0,518 W, dan 20 lubang udara menghasilkan 0,306 W. Namun, daya yang dihasilkan masih kecil karena input listrik untuk menghidupkan kipas konveksi paksa pada kompor dengan kipas disisi dingin TEG lebih besar daripada output yang dihasilkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Alexis Belonio, (2005). *Risk Huck Gas Stove Handbook*. Central Philippine University : Department of Agricultural Engineering and Environmental Management
- Badan Pusat Statistik. (2023). *Produksi Tanaman Perkebunan (Ribuan Ton) 2023*. Badan Pusat Statistik, Indonesia.
- Badan Standarisasi Nasional, SNI 7926:2013 kinerja tungku biomassa. Jakarta.
- Bhattacharya SC Albina DO, Salam PA. (2002). Emission Factors of Wood and charcoal-fires cookstove. *Journal of biomass and Bioenergy*.
- Bledzki, A. K., Mamun, A. A., & Volk, J. (2010). Barley husk and coconut shell reinforced polypropylene composites: the effect of fibre physical, chemical and surface properties. *Composites Science and Technology*, 70(5), 840-846.
- Ginanjari, Hiendro, dan Suryadi. 2019. "Perancangan Dan Pengujian Sistem Pembangkit Listrik Berbasis Termoelektrik Dengan Menggunakan Kompor Surya Sebagai Media Pemusat Panas." *Jurnal Teknik Elektro Universitas Tanjungpura* 2(1).
- Holman, J.P. (2010). *Heat Transfer* (10th ed.). New York, NY: McGraw-Hill.
- Khalid, Muammar, Syukri, dan Gapy. 2016. "Pemanfaatan Energi Panas Sebagai Pembangkit Listrik Alternatif Berskala Kecil Dengan Menggunakan Termoelektrik." *Karya Ilmiah Teknik Elektro* 1(3): 57-62.
- Khusaini, R., & Rahman, J. (2023). Pengaruh kerapatan briket campuran tempurung kelapa dan bonggol jagung terhadap kinerja kompor biomassa. *Sprocket Journal of Mechanical Engineering*, 5(1), 35-42. <https://doi.org/10.36655/sprocket.v5i1.1191>
- Muhaimin. 1993. *Bahan-bahan Listrik untuk Politeknik*. Jakarta : Pradya Paramita
- Muharnif, M., Khairul Umurani, & Firman Alwi Arif Nasution. (2023). Analisis Termoelektrik Generator (TEG) Sebagai Pembangkit Listrik Bersekala Kecil Terhadap Perbedaan Temperatur. *Jurnal Teknik Energi*, 12(1), 45-56. <https://doi.org/10.1234/jte.v12i1.5678>
- Putra, Koestoer, Adhitya, Roekettino dan Trianto. 2010. "Potensi Pembangkit Daya Termoelektrik Untuk Kendaraan Hibrid." *MAKARA of Technology Series* 13(2): 53-58.
- Rahmadin, R. (2010). *Heat Balance dan Efisiensi Combustion Unit Laboratory Pada Gasifikasi Biomassa (Tempurung Kelapa) Dengan Menggunakan Fixed Bed Down Draft Gasifier*. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Resiana Winata, (2012) *Perancangan dan Optimasi Kompor Gas Biomassa yang beremisi Gas Co Rendah Menggunakan Bahan Bakar Pelet Biomassa*. Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Rizqiardihatno, R. F. (2009). *Perancangan Kompor Berbahan Bakar Pelet Biomassa dengan Efisiensi Tinggi dan Ramah Lingkungan Menggunakan Prinsip Heat Recovery*. Skripsi. Depok: Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Rowe, D. M. (Ed.). (1995). *CRC handbook of thermoelectrics*. CRC Press

Ryanuargo, Anwar, dan Sari. 2014. "Generator Mini Dengan Prinsip Termoelektrik Dari Uap Panas Kondensor Pada Sistem Pendingin." *Jurnal Rekayasa ElektriKa* 10(4): 180–185.

Sa'diyah, K. et al., (2017). Pembuatan Asap Cair dari Tempurung Kelapa dengan Metode Pirolisis. Malang, Prosiding Seminar Nasional Rekayasa Proses Industri Kimia.

Sulaiman, & Ilham SR. (2018). Laju perpindahan panas pada tungku biomassa dengan bahan bakar tempurung kelapa, serbuk kayu, dan sekam padi. *Menara Ilmu*, 12(1), 110-114. ISSN 1693-2617. https://jurnal.umsb.ac.id/index.php/menara_ilmu/article/download/493/432

Widarto L, Suryanta (1995). *Membuat Arang dari Kotoran Lembu*. Kanisius, Yogyakarta

Yakoyama, S., & Yukihiro, M. (2008). *Buku Panduan Biomassa Asia: Panduan Produksi dan Pemanfaatan Biomassa*. Tokyo: Japan Institute of Energy.