

Pengembangan Kompor Biomassa Berbahan Dasar Semen Dengan Campuran Tanah Liat dan Perlit

1st Moh. Faiz M. Ilyas

Fakultas Teknik Elektro

Universitas Telkom

Bandung, Indonesia

mohfaiz@student.telkomuniversity.ac.id

2nd M. Ramdhan K

Fakultas Teknik Elektro

Universitas Telkom

Bandung, Indonesia

mramdhan@telkomuniversity.ac.id

3rd Tri Ayodha A

Fakultas Teknik Elektro

Universitas Telkom

Bandung, Indonesia

triayodha@telkomuniversity.ac.id

Abstrak — Penggunaan gas LPG di kalangan Masyarakat semakin meningkat. Hal tersebut menyebabkan ketersediaan energi fosil semakin menipis. Salah satu Upaya untuk masalah penggunaan bahan bakar fosil khususnya LPG adalah dengan menggunakan energi biomassa. Indonesia yang merupakan negara tropis dan memiliki perkembangan industri agrikultur yang berkembang pesat menjadikan Indonesia sebagai salah satu negara yang memiliki ketersediaan sumber daya biomassa dan bio-energi yang cukup banyak. Kompor biomassa berbahan semen dapat menjadi salah satu teknologi untuk memanfaatkan ketersediaan biomassa yang melimpah di Indonesia dan menekan penggunaan gas LPG di kalangan Masyarakat. Pada penelitian ini dilakukan dua pengujian, pengujian pertama adalah menguji performas kompor biomassa berbahan semen dengan kompor biomassa konvensional, serta mengkaji pengaruh laju aliran udara pada kompor biomassa berbahan semen. Kedua pengujian tersebut dilakukan menggunakan metode WBT. Hasil menunjukkan bahwa kompor biomassa berbahan semen mampu mendidihkan air lebih cepat daripada kompor konvensional, meskipun efisiensi termalnya lebih rendah, yaitu 22,98% dibandingkan dengan 24,61% pada kompor konvensional. Penggunaan laju aliran udara primer yang lebih tinggi mempercepat waktu mendidih, tetapi meningkatkan konsumsi bahan bakar. Efisiensi termal tertinggi dicapai pada laju aliran udara 2,5 m/s dengan efisiensi rata-rata 21,63%.

Kata kunci— Biomassa, Efisiensi Termal, LPG, WBT

I. PENDAHULUAN

Indonesia, sebagai negara agraris, memiliki potensi besar dalam memanfaatkan limbah pertanian sebagai bahan bakar alternatif. Namun, realitanya, banyak masyarakat Indonesia masih mengandalkan bahan bakar fosil sebagai sumber energi utama. Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik (BPS) tahun 2021, 82,78% rumah tangga di Indonesia menggunakan gas LPG untuk memasak. Di wilayah perkotaan, sebanyak 88,93% rumah tangga menggunakan LPG, sedangkan di pedesaan, angkanya mencapai 74,68%. Biomassa dalam bentuk padat bisa menjadi alternatif bahan bakar fosil untuk kompor, melalui proses pirolisis dan gasifikasi yang mengubah biomassa menjadi gas.

Pemanfaatan biomassa sebagai bahan bakar dapat mengurangi ketergantungan pada LPG, terutama di pedesaan, di mana limbah pertanian, perkebunan, dan sisa tanaman mudah didapatkan. Dengan ketersediaan biomassa yang melimpah, masyarakat pedesaan dapat lebih mudah memanfaatkan energi terbarukan ini untuk menggantikan LPG, yang jumlahnya terbatas. Selain sebagai bahan bakar, biomassa juga menawarkan keuntungan karena merupakan sumber energi terbarukan yang dapat terus tersedia dan mudah diakses.

II. KAJIAN TEORI

A. BIOMASSA

Biomassa merupakan sumber bahan bakar yang berasal dari berbagai jenis limbah, seperti limbah pertanian dan perkebunan, serta kini tengah berkembang sebagai salah satu alternatif energi yang ramah lingkungan. Beberapa jenis biomassa yang sering dimanfaatkan mencakup beragam bahan alami, mulai dari tanaman, pepohonan, rumput-rumputan, hingga umbi-umbian. Selain itu, limbah dari sektor pertanian, hutan, dan bahkan kotoran ternak juga termasuk dalam kategori biomassa yang dapat diolah menjadi sumber energi. Keunggulan biomassa tidak hanya terletak pada kemampuannya untuk menjadi bahan bakar alternatif, tetapi juga dalam penggunaannya sebagai bahan pangan bagi manusia serta pakan untuk hewan ternak, sehingga memberikan manfaat ganda. Sebagai sumber energi terbarukan, biomassa menawarkan potensi untuk menyediakan pasokan energi yang berkelanjutan, karena ketersediaannya yang melimpah dan mudah diakses, terutama di wilayah-wilayah yang menghasilkan banyak limbah pertanian dan kehutanan. Keberlanjutan ini menjadikan biomassa sebagai pilihan yang lebih hemat biaya dan ramah lingkungan dibandingkan dengan bahan bakar fosil, yang persediaannya semakin menipis.

B. SEMEN PORTLAND

Dalam industri konstruksi, semen portland merupakan jenis semen yang paling umum digunakan karena sifat-sifatnya yang unggul dalam berbagai aplikasi bangunan. Salah satu fungsi utama dari semen ini adalah sebagai bahan pengikat yang mengikat butir-butir agregat, seperti pasir dan kerikil, sehingga menghasilkan struktur yang lebih padat. Semen portland bekerja dengan mengisi celah-celah udara yang ada di antara butiran agregat, yang pada gilirannya mengurangi porositas campuran beton atau mortar yang dihasilkan. Dengan porositas yang lebih rendah, struktur menjadi lebih kuat dan tahan lama, karena air dan bahan kimia berbahaya lainnya sulit menembusnya. Selain itu, semen portland memiliki kemampuan menghasilkan kekuatan tekan yang cukup tinggi bahkan pada tahap awal pengerasan. Kekuatan awal ini memberikan keuntungan signifikan dalam proyek konstruksi, karena memungkinkan para pekerja untuk melakukan kontrol kualitas dengan lebih baik, memastikan bahwa beton atau mortar yang digunakan memiliki kekuatan yang memadai. Proses pengerasan yang lebih cepat juga menjadi salah satu keunggulan semen portland, karena mempercepat penyelesaian pekerjaan konstruksi, sehingga menghemat waktu dan biaya.

C. FLY ASH

Fly ash merupakan residu hasil pembakaran batu bara yang terlepas dari tungku pembakaran. Karena *fly ash* termasuk limbah dan akan meningkat terus setiap tahunnya maka dari itu perlu penanggulangannya. Dengan menggunakan *fly ash* untuk campuran semen. Karena mempunyai sifat *pozzolanic* yang artinya dapat meningkatkan kekuatan dan durabilitas. Campuran *fly ash* akan meningkatkan kuat tekanan jangka panjang.

D. Perlit

Perlit adalah material yang memiliki tingkat porositas tinggi, artinya terdapat banyak pori-pori kecil dalam strukturnya yang menciptakan ruang kosong di dalam material tersebut. Keberadaan pori-pori ini menyebabkan densitas perlit menjadi rendah, menjadikannya sangat ringan dan mudah diproses. Struktur porous dari perlit juga memberikan kemampuan isolasi termal yang sangat baik. Udara yang terperangkap di dalam pori-pori berfungsi sebagai isolator alami, efektif dalam mencegah perpindahan panas dan membantu menjaga suhu tetap stabil, sehingga cocok untuk digunakan dalam aplikasi yang memerlukan kontrol suhu yang baik.

E. TANAH LIAT

Tanah liat memiliki sifat plastis yang sangat baik ketika dalam keadaan basah, sehingga memudahkan pembentukan material sesuai dengan bentuk yang diinginkan. Setelah tanah liat mengalami proses pengeringan atau pembakaran, material ini akan mengembangkan kekuatan struktural yang tinggi, menjadikannya sangat stabil dan tidak rentan terhadap pemuaian. Selain itu, tanah liat memiliki daya tahan yang luar biasa terhadap suhu tinggi, sehingga tidak mudah rusak meskipun terpapar panas ekstrem. Oleh karena itu, tanah liat sering digunakan untuk membuat dinding kompor agar tahan terhadap keretakan selama proses pembakaran atau penggunaan di lingkungan yang panas.

F. PLAT GALVANIS

Plat galvanis memiliki ketahanan yang baik terhadap korosi, yang memungkinkan kompor memiliki masa pakai lebih lama. Dengan konduktivitas panas sekitar $300 \text{ W/m}^2\text{C}$, plat galvanis mampu menghantarkan panas ke dinding kompor secara efisien dan merata. Bobotnya yang ringan juga memudahkan dalam proses pengangkutan dan pemasangan. Di sisi lain, stainless steel menawarkan keunggulan berupa resistensi yang sangat tinggi terhadap korosi akibat kelembapan dan berbagai bahan kimia, sehingga memastikan daya tahan serta keandalannya dalam kondisi lingkungan yang keras. Menggabungkan kedua jenis plat ini akan menjadikan kompor lebih optimal, baik dari segi performa maupun ketahanannya, terutama untuk kompor biomassa.

III. METODE

A. Water Boiling Test

Metode Water Boiling Test (WBT) adalah sebuah teknik yang digunakan untuk mengevaluasi seberapa efektif energi panas berpindah pada alat masak saat menggunakan kompor. Tujuan dari penggunaan metode WBT adalah untuk menilai efisiensi kinerja tungku serta jumlah energi yang disalurkan dari bahan bakar ke dalam panci. Metode ini memiliki keunggulan dalam mengukur berbagai parameter performa kompor, termasuk konsumsi bahan bakar spesifik, laju pembakaran, dan efisiensi bahan bakar. Metode WBT terdiri dari tiga tahap utama, yaitu:

1. Cold Start

Tahap pertama pada metode WBT adalah *Cold Start*, tahap ini adalah pengujian mendidihkan air pada panci dengan menggunakan bahan bakar yang sudah ditimbang sebelumnya yang dilakukan pada saat kompor masih dalam keadaan suhu ruangan.

2. Hot Start

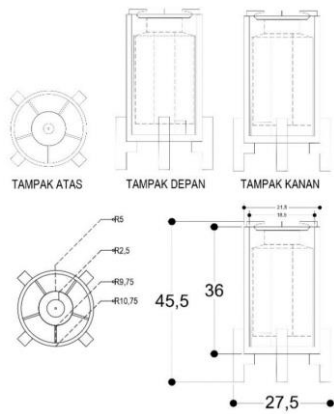
Tahap kedua dalam metode WBT adalah kelanjutan dari tahap Cold Start, di mana kompor masih dalam kondisi panas. Pada tahap ini, bahan bakar yang telah ditimbang digunakan untuk memanaskan air dalam panci baru yang berisi air bersuhu normal, menggantikan air yang sebelumnya. Pengujian ini bertujuan untuk membandingkan performa kompor saat berada pada suhu ruangan dengan performa kompor ketika sudah mencapai suhu tinggi atau dalam keadaan panas.

3. Simmering

Tahap terakhir dalam metode Water Boiling Test (WBT) adalah pengujian kompor dengan cara merebus air menggunakan panci yang sama seperti yang digunakan pada tahap Hot Start, di mana panci tersebut telah mencapai titik didih dan dipertahankan selama 45 menit. Pada tahap ini, bahan bakar yang digunakan adalah bahan bakar sisa dari tahap Hot Start, yang telah diukur beratnya sebelumnya. Tujuan dari tahap simmering ini adalah untuk menguji kemampuan kompor dalam memasak dengan memanfaatkan bahan bakar yang jumlahnya minimal. Dengan kata lain, tahap simmering dirancang untuk mengevaluasi efisiensi kompor ketika hanya tersedia bahan bakar yang tersisa setelah tahap perebusan awal. Ini memberikan gambaran tentang seberapa baik kompor dapat berfungsi dengan bahan bakar yang terbatas dan memastikan bahwa kompor dapat tetap efektif dalam kondisi tersebut.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Desain Kompor biomassa



GAMBAR 1
(Desain Kompor 2D)

Desain kompor ini merupakan hasil modifikasi dari model kompor biomassa UB-03. Modifikasi utama dilakukan dengan memperbesar ukuran ruang pembakaran untuk meningkatkan kapasitas bahan bakar yang bisa digunakan. Perbedaan lainnya terletak pada dimensi dan ketebalan dinding kompor. Pada desain baru, dinding kompor dibuat dengan campuran semen yang memiliki ketebalan 1,5 cm, berbeda dari kompor UB-03 yang menggunakan plat stainless steel dengan ketebalan 0,8 mm untuk dindingnya. Perubahan ini memberikan karakteristik berbeda pada kompor. Desain kompor biomassa yang terbuat dari campuran semen dapat dilihat pada gambar 3D berikut.

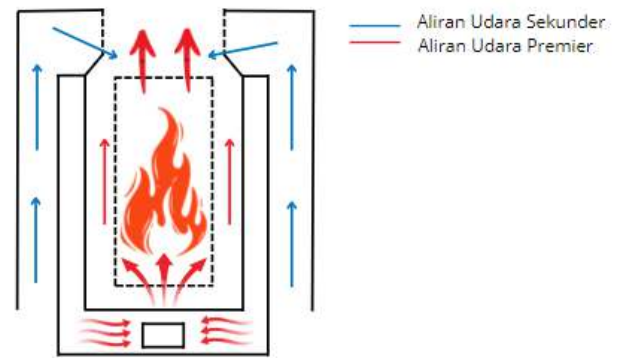


GAMBAR 2
(desain kompor 3D)

B. Gasifikasi Updraft

Pada kompor biomassa yang menggunakan bahan dasar campuran semen, tanah liat, dan perlit, diterapkan teknologi gasifikasi updraft. Dalam jenis tungku ini, aliran gas atau udara mengalir ke atas. Proses pembakaran berlangsung secara bertahap, di mana biomassa padat dibakar dengan jumlah oksigen yang terbatas, sehingga gas yang dihasilkan masih memiliki potensi untuk dibakar lebih lanjut. Tujuan dari gasifikasi adalah untuk memecah molekul kompleks menjadi gas-gas sederhana seperti H_2 dan CO , yang kemudian dapat digunakan untuk proses pembakaran. Pada kompor biomassa, pengaturan aliran udara sangat penting untuk proses pembakaran. Udara primer masuk ke dalam ruang bakar untuk membantu memanaskan bahan bakar sebelum memasuki reaktor. Sementara itu, udara sekunder, yang masuk dari samping atau sekitar tabung,

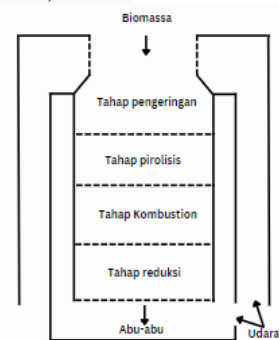
berfungsi untuk meningkatkan kecepatan pembakaran dan memastikan bahwa semua bahan bakar terbakar secara optimal. Skema aliran udara dalam sistem kompor biomassa dapat dilihat pada gambar berikut.



GAMBAR 3
(Skema aliran udara kompor biomassa)

C. Skema Cara Kerja Kompor Biomassa

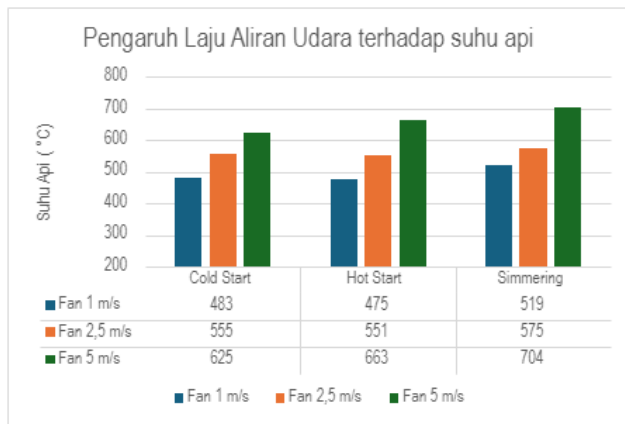
Sistem pembakaran yang dirancang untuk menghasilkan gas buang kaya karbon monoksida (CO) dan hidrogen (H_2) melalui reaksi termokimia dengan bahan bakar padat seperti biomassa merupakan metode yang dijelaskan oleh Muchlisin Riadi (2023). Pada kompor biomassa yang berbahan dasar semen ini, diterapkan sistem tungku gasifikasi updraft, di mana udara dari kipas masuk melalui bagian bawah reaktor dan melewati grate, sedangkan bahan bakar dimasukkan dari bagian atas reaktor. Dengan demikian, aliran udara dan bahan bakar bergerak dalam arah yang berlawanan (counter current). Secara sederhana, gasifikasi adalah proses pembakaran bertahap di mana biomassa padat dibakar dengan jumlah oksigen yang terbatas, sehingga gas yang dihasilkan masih memiliki potensi untuk terbakar lebih lanjut. Tujuan utama dari gasifikasi adalah untuk memecah molekul kompleks menjadi gas-gas sederhana seperti H_2 dan CO yang dapat digunakan untuk pembakaran. Proses gasifikasi terdiri dari beberapa tahapan, yaitu: pengeringan, pirolisis, pembakaran, dan reduksi.



GAMBAR 4
(Skema Cara Kerja Kompor)

D. Pengaruh Laju Aliran Udara Primer Terhadap Performa Kompor

1. Perbandingan Suhu Api

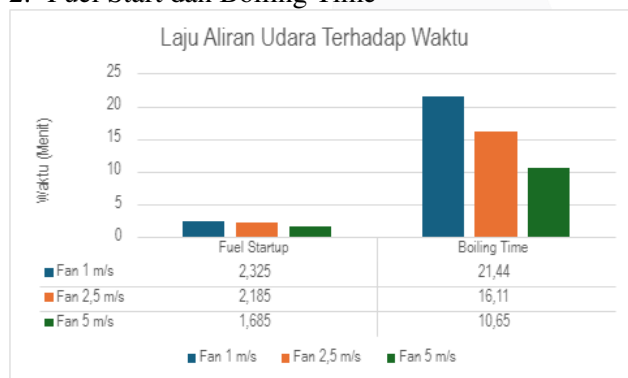


GAMBAR 5

(Grafik Pengaruh Laju Aliran Udara Terhadap Suhu Api)

Gambar 5 menunjukkan grafik yang menggambarkan pengaruh laju aliran udara terhadap suhu api. Grafik tersebut mengindikasikan bahwa pada kecepatan kipas 5 m/s, suhu api di setiap tahapan Water Boiling Test (WBT) lebih tinggi dibandingkan dengan kecepatan kipas 1 m/s dan 2,5 m/s. Suhu api tercatat sebesar 625 °C pada tahapan Cold Start, 663 °C pada tahap Hot Start, dan 704 °C pada tahap Simmering. Ini menunjukkan bahwa semakin tinggi laju aliran udara primer, semakin tinggi pula suhu api yang dihasilkan. Hal ini disebabkan oleh meningkatnya suplai oksigen (O₂) yang disediakan oleh kipas seiring dengan bertambahnya kecepatan aliran udara.

2. Fuel Start dan Boiling Time

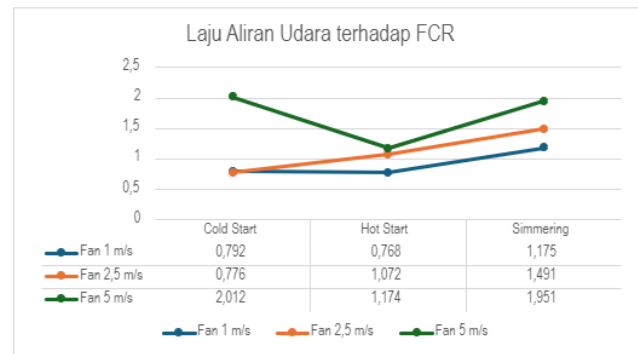


GAMBAR 7

(Grafik Pengaruh Laju Aliran Udara Terhadap Waktu)

Grafik tersebut memperlihatkan pengaruh laju aliran udara terhadap waktu Fuel Start Up dan Boiling Time. Fuel Start Up adalah periode ketika kompor baru dinyalakan hingga mencapai nyala api yang optimal, sementara Boiling Time adalah durasi yang diperlukan untuk memanaskan air hingga mencapai titik didih. Grafik menunjukkan bahwa semakin tinggi laju aliran udara primer, semakin cepat waktu yang dibutuhkan untuk Fuel Start Up dan Boiling Time. Hal ini disebabkan oleh peningkatan suhu api yang dihasilkan seiring dengan meningkatnya kecepatan aliran udara primer.

3. Fuel Consumption Rate (FCR)

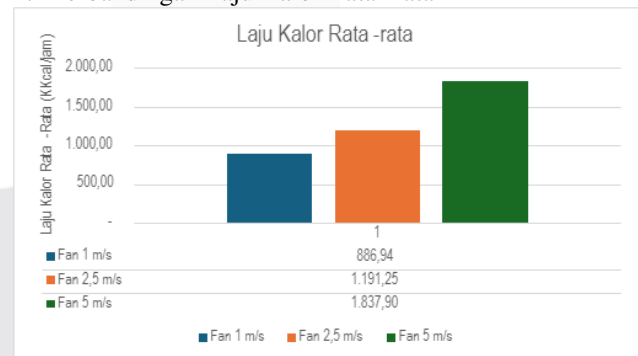


GAMBAR 8

(Grafik Pengaruh Laju Aliran Udara Terhadap FCR)

Grafik memperlihatkan perbandingan laju aliran udara terhadap laju konsumsi bahan bakar spesifik atau Fuel Consumption Rate (FCR) pada setiap tahapan Water Boiling Test (WBT), yaitu Cold Start, Hot Start, dan Simmering. Pada setiap kondisi, FCR lebih tinggi pada kecepatan aliran udara 5 m/s dibandingkan dengan kecepatan 1 m/s dan 2,5 m/s. Misalnya, pada kondisi Cold Start, FCR untuk kecepatan aliran udara 5 m/s mencapai 2,012, sedangkan pada kecepatan 1 m/s hanya 0,792. Pada kondisi Hot Start, FCR untuk kecepatan 5 m/s adalah 1,174, lebih tinggi dibandingkan dengan 0,768 pada kecepatan 1 m/s. Demikian pula, pada kondisi Simmering, FCR pada kecepatan 5 m/s mencapai 1,951, sedangkan pada kecepatan 1 m/s adalah 1,175. Hal ini menunjukkan bahwa semakin cepat laju aliran udara, semakin banyak bahan bakar yang digunakan dalam proses pembakaran, sehingga FCR meningkat. Walaupun kecepatan aliran udara yang lebih tinggi dapat meningkatkan suhu api dan mempercepat waktu mendidihkan air, hal ini juga menyebabkan bahan bakar habis lebih cepat selama pembakaran.

4. Perbandingan Laju Kalor Rata-Rata



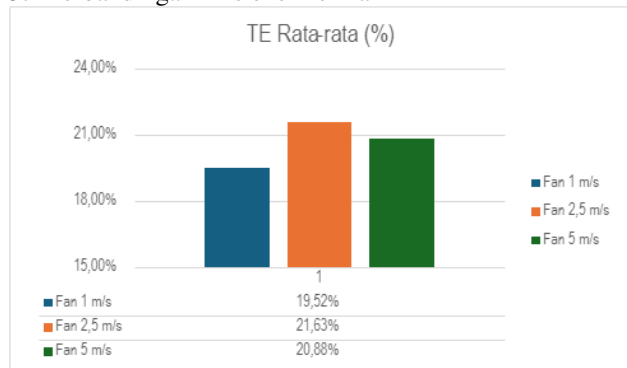
GAMBAR 9

(Grafik Pengaruh Laju Aliran Udara Terhadap Laju Kalor)

Laju kalor mengacu pada kemampuan kompor untuk mendidihkan dan menguapkan air selama proses operasionalnya. Grafik yang ditampilkan menunjukkan bagaimana kecepatan aliran udara primer yang dihasilkan oleh kipas mempengaruhi laju kalor rata-rata dalam satuan Kkal/jam. Laju kalor yang tertera pada grafik merupakan rata-rata laju kalor pada setiap tahapan Water Boiling Test (WBT). Grafik tersebut mengindikasikan bahwa peningkatan kecepatan kipas dari 1 m/s ke 2,5 m/s, dan kemudian ke 5 m/s, sebanding dengan peningkatan laju kalor rata-rata. Pada kecepatan kipas 1 m/s, laju kalor yang dihasilkan mencapai 886,94 Kkal/jam. Pada kecepatan 2,5 m/s, laju kalor meningkat menjadi 1.191,25 Kkal/jam. Sedangkan pada

kecepatan kipas tertinggi, yaitu 5 m/s, laju kalor mencapai nilai maksimum sebesar 1.837,90 Kkal/jam. Grafik ini menunjukkan bahwa semakin tinggi kecepatan aliran udara, semakin besar pula transfer energi panas selama operasi kompor biomassa.

5. Perbandingan Efisiensi Termal



GAMBAR 10

(Grafik Pengaruh Laju Aliran Udara Terhadap Efisiensi Termal)

Efisiensi Termal adalah rasio antara energi total yang diterima oleh air dan nilai kalor yang terkandung dalam bahan bakar. Grafik menunjukkan bahwa efisiensi termal pada kecepatan aliran udara 2,5 m/s adalah yang tertinggi, yaitu 21,63%. Meskipun laju kalor pada kecepatan aliran udara 5 m/s lebih tinggi dibandingkan dengan 2,5 m/s, efisiensi termal pada kecepatan 5 m/s justru lebih rendah, yaitu 20,68%. Hal ini disebabkan oleh penggunaan bahan bakar yang jauh lebih banyak pada kecepatan aliran udara 5 m/s dibandingkan dengan kecepatan 2,5 m/s, sehingga efisiensi termalnya lebih rendah dibandingkan dengan kecepatan aliran udara 2,5 m/s.

IV. KESIMPULAN

Laju aliran udara primer memiliki dampak signifikan terhadap berbagai parameter kinerja kompor, termasuk nilai Fuel Consumption Rate (FCR), laju kalor, suhu api, jumlah air yang menguap, dan waktu mendidih (boiling time). Semakin tinggi kecepatan aliran udara primer, semakin tinggi nilai FCR yang tercatat, menunjukkan bahwa konsumsi bahan bakar meningkat seiring dengan peningkatan laju aliran udara. Selain itu, laju kalor, yang merupakan ukuran seberapa efektif kompor dalam mengubah energi menjadi

panas, juga meningkat dengan cepatnya laju aliran udara. Dengan laju aliran udara yang lebih tinggi, jumlah air yang menguap juga bertambah, menandakan peningkatan efisiensi dalam proses pemanasan dan penguapan. Namun, efisiensi termal, yaitu rasio antara energi yang diterima oleh air dan nilai kalor bahan bakar, bervariasi tergantung pada kecepatan aliran udara. Dari data yang ada, efisiensi termal tertinggi tercatat pada kecepatan aliran udara primer 2,5 m/s, dengan nilai efisiensi mencapai 21,63%. Ini menunjukkan bahwa meskipun kecepatan aliran udara yang lebih tinggi dapat meningkatkan beberapa parameter kinerja, efisiensi termal terbaik dicapai pada kecepatan yang lebih moderat.

REFERENSI

- [1] E. Karmiza, S. Helianty, dan Zulfansyah, "Evaluasi Kinerja Kompor UB-03-1 Berbahan Bakar Limbah Industri Kayu Olahan, Tempurung Kelapa, Pelepah Sawit, dan Ranting Kayu Akasia", Jom FTEKNIK, vol. 1, no. 2, 2014.
- [2] Potensi Pengembangan Bioenergi di Indonesia, Layanan Informasi dan Investigasi Energi Baru, Terbarukan dan Konservasi Energi (LINTAS EBTKE). [Online]. Tersedia : <https://ebtke.esdm.go.id/lintas/id/investasiebtke/sektorbioenergi/potensi> . [Accessed Desember 2023].
- [3] V. A. Dhini, "Mayoritas Rumah Tangga Indonesia Gas Elpiji Untuk Memasak," databoks, 2021. [Online]. Tersedia : <https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2021/11/22/mayoritas-rumah-tangga-indonesia-menggunakan-gaselpijiumemasak> . [Accessed Desember 2023].
- [4] M. Nurhuda, " Kompor Biomassa UB: Menuju Kemandirian Energi bagi Rakyat Miskin", Prakarsa, vol.9, no. 4, 2011.
- [5] S. F. Baldwin, "Biomass Stoves," Volunteers in Technical Assistance, 1987.
- [6] R. F. Rizqiardihatno, "Perancangan Kompor Berbahan Bakar Pelet Biomassa Dengan Efisiensi Tinggi dan Ramah Lingkungan Menggunakan Prinsip Heat Recovery," Skripsi, Universitas Indonesia, Depok, 2009.
- [7] M. Riadi, "Biomassa - Pengertian, Jenis Kompor dan Gasifikasi", KAJIANPUSTAKA.COM, 2023. [Online]. Tersedia : <https://www.kajianpustaka.com/2023/03/biomassa.html> . [Accessed September 2024].
- [8] D. A. Sasmita, F. Andriawan, dan N. A. Solekakh, "KINERJA KOMPOR BIOMASSA SNI 7926:2023", BSN, 2023.