

PENGARUH TINGGI DAN JUMLAH LUBANG UDARA PADA TUNGKU PEMBAKARAN SERTA VARIASI KECEPATAN ALIRAN UDARA TERHADAP KINERJA KOMPOR GASIFIKASI BIOMASSA

THE INFLUENCE OF HEIGHT AND TOTAL OF AIR HOLES AT GASIFIER WITH AIR FLOW VELOCITY VARIATIONS AGAINST BIOMASS GASIFICATION STOVE PERFORMANCE

Erida Asih Selilana¹, Suwandi.², Tri Ayodha A.³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

caswey@gmail.com¹, suwandi.sains@gmail.com², tri.ayodha@gmail.com³

Abstrak

Ketergantungan masyarakat terhadap bahan bakar berbasis fosil seperti minyak tanah dan gas bumi (LPG) masih tinggi. Oleh karena itu dilakukan pemanfaatan biomassa sekam padi sebagai energi alternatif dapat diaplikasikan pada kompor dengan teknik gasifikasi biomassa. Sekam padi dipilih karena ketersediaan yang melimpah dan memiliki kadar air yang rendah dibandingkan biomassa lainnya. Kompor biomassa yang digunakan ada penelitian ini menggunakan konsep *Top Lit Up Draft (T-LUD) Gasifier*. Kompor biomassa diuji dengan membandingkan dua *gasifier* yang memiliki ukuran tinggi 20 cm dan 30 cm. Tiap *gasifier* diberikan tiga variasi jumlah lubang udara dan delapan variasi kecepatan aliran udara primer (0,5 m/s; 1 m/s; 1,5 m/s; 2 m/s; 2,5 m/s; 3 m/s; 3,5 m/s; 4 m/s). Pengujian kompor biomassa dilakukan sesuai prosedur *Water Boiling Test (WBT)* dan SNI Tungku Biomassa 7926:2013. Dari pengujian kompor biomassa yang telah dilakukan, waktu operasi paling lama didapatkan 11,52 menit terjadi pada *gasifier* 20 cm di kecepatan 1,5 m/s dengan perlakuan lubang udara bagian samping tertutup sebagian. Nilai efisiensi termal tertinggi 93,59 % untuk *gasifier* 20 cm dan 91,68 % untuk *gasifier* 30 cm.

Kata kunci: sekam padi, kompor biomassa, T-LUD, WBT, SNI Tungku Biomassa.

Abstract

People's dependence on fossil-based fuels such as kerosene and natural gas (LPG) is still high. Therefore, the utilization of rice husk biomass as an alternative energy can be applied to the stove with biomass gasification techniques. Rice husks are chosen because of the abundant availability and low water content compared to other biomass. The biomass stove used is this research using the concept of Top Lit Up Draft (T-LUD) Gasifier. Biomass stoves were tested by comparing two gasifiers having a height of 20 cm and 30 cm. Each gasifier is given three variations of the number of air holes and eight variations of the primary air velocity (0.5 m/s; 1 m/s; 1.5 m/s; 2 m/s; 2.5 m/s; 3 m/s; 3.5 m/s; 4 m/s). Biomass stove testing is done according to Water Boiling Test (WBT) and SNI Biomass Furnace 7926: 2013. From the test of biomass stove that has been done, the longest operation time is 11.52 minutes happened at gasifier 20 cm at speed 1.5 m/s with side airside treatment closed partially. The highest thermal efficiency value is 93.59 % for gasifier 20 cm and 91.68 % for 30 cm gasifier.

Keywords: ricehusk, biomass stove, T-LUD, WBT, SNI Gasifier.

1. Pendahuluan

Kompor menjadi salah satu teknologi yang berperan penting dalam pemanfaatan energi pada skala rumah tangga. Data statistik Badan Pusat Statistik (BPS) tahun 2015, di Indonesia, sebanyak 41,747 desa masih menggunakan *Liquidified Petroleum Gas (LPG)* dan 4,278 desa masih menggunakan minyak tanah sebagai bahan bakar untuk memasak. Masyarakat memang dapat menikmati bahan bakar yang praktis, bersih, dan efisien dengan menggunakan LPG, namun fakta di lapangan masih ditemui kendala distribusi LPG yang kurang merata dan keterbatasan kemampuan ekonomi masyarakat untuk membeli LPG, terutama di wilayah pedesaan. Maka dirasa perlu pengembangan energi bersih yang berkelanjutan untuk mengurangi ketergantungan masyarakat terhadap bahan bakar berbasis fosil seperti minyak dan gas bumi tersebut. Salah satu alternatif teknologi untuk skala rumah tangga, khususnya di wilayah pedesaan dengan kondisi diatas adalah kompor gasifikasi biomassa, dengan pemanfaatan biomassa sebagai bahan bakar kompor. Indonesia sebagai negara agraris memiliki limbah pertanian melimpah dan dapat diperoleh dalam jumlah yang besar dari daerah-daerah penghasil beras. Dikutip dari BPS, produksi padi tahun 2015 diperkirakan sebesar 38,379,893 ton. Pada proses penggilingan padi, akan dihasilkan

sekam yang mengurangi bobot gabah sebesar 20% [1]. Salah satu metode yang tepat untuk mengkonversi biomassa sekam padi menjadi energi adalah dengan teknik pembakaran menggunakan udara yang terbatas atau gasifikasi. Proses gasifikasi tersebut dapat diaplikasikan pada kompor yang dirancang khusus dengan pemanfaatan biomassa sebagai bahan bakarnya. Potensi pengembangan kompor biomassa dengan spesifikasi tungku pembakaran (*gasifier*) dan suplai udara yang sesuai agar menghasilkan performansi kompor yang optimal dirasa perlu. Pun dalam hal ini, belum banyak yang meneliti bagaimana pengaruh spesifikasi *gasifier* pada kompor, dalam hal ini tinggi *gasifier* dan jumlah lubang udara, disertai dengan variasi kecepatan aliran udaranya.

1.1.

2. Dasar Teori

2.1. Biomassa

Biomassa sebagai sumber daya terbarukan dapat dikonversi menjadi suatu energi terbarukan dengan beberapa teknik konversi energi. Konversi biomassa sebagai salah satu cara pemanfaatan sumber energi dapat mereduksi limbah hasil pertanian, perkebunan, hutan, dan sebagainya. Ketersediannya yang terus-menerus juga [2] menjadi keunggulan bagi biomassa untuk dapat dimanfaatkan, khususnya sebagai bahan bakar yang akan dibutuhkan secara berkelanjutan. Biomassa sekam padi sebagai bahan gasifikasi pada kompor memiliki *moisture content* 7,78 %, *ash content* 21,84 %, *volatile matter* 57,05 % dan *fixed carbon* 13,33 %. Kadar air yang kecil disbanding biomassa lain membuat sekam padi mudah digunakan dalam proses pembakaran. Sekam memiliki kerapatan jenis (*bulk density*) 1125 kg/m³, dengan nilai kalori 1 kg sekam sebesar 3300 kkal [3] dengan konduktivitas panas 0,271 BTU.

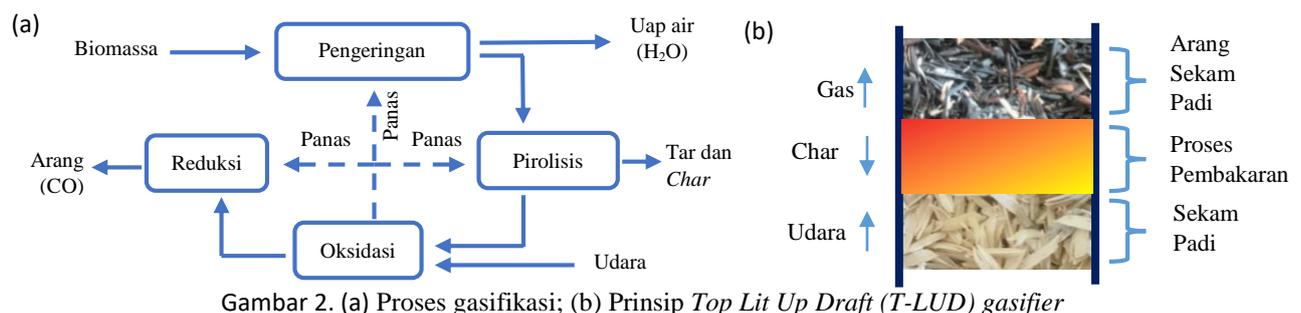


Gambar 1. Sekam padi

Biomassa sekam padi yang akan digunakan dalam pengujian kompor biomassa perlu ditimbang terlebih dahulu massa-nya sesuai dengan kapasitas *gasifier* yang digunakan. Massa sekam padi yang digunakan adalah 100 g untuk *gasifier* 20 cm dan 150 g untuk *gasifier* 30 cm. Penentuan jumlah massa sekam padi yang digunakan berdasarkan kapasitas *gasifier* dari dasar hingga minimal 1 cm dibawah lubang udara sekunder. Hal tersebut dilakukan agar udara hasil pembakaran gas pirolisis dapat terdistribusi tanpa ada penghalang dari bahan bakar.

2.2. Gasifikasi

Gasifikasi merupakan salah satu teknik pembakaran atau konversi material cair maupun padat menjadi bahan bakar gas dengan udara yang terbatas. Gas yang dihasilkan dari teknik pembakaran ini memiliki nilai bakar, sehingga dapat menghasilkan energi. Proses gasifikasi pada biomassa akan menghasilkan gas yang utama, yaitu H₂, CO, dan CH₄, emisi CO₂ dan NO₃, bahan padat (*char* dan abu), dan bahan cair (*steam char*) [4].



Gambar 2. (a) Proses gasifikasi; (b) Prinsip *Top Lit Up Draft (T-LUD) gasifier*

Terdapat beberapa tahapan dalam gasifikasi yang terjadi di dalam ruang pembakaran atau *gasifier*. Pada umumnya tahapan tersebut terdiri dari empat proses yakni, pengeringan, dekomposisi termal (pirolisis), pembakaran parsial (oksidasi), dan reduksi. Tahapan atau proses tersebut diasumsikan sebagai zona-zona dalam *gasifier*. Proses gasifikasi dapat dilihat pada gambar 1 (a),

Sistem pembakaran pada *gasifier* berdasarkan kontak antara gas dan bahan bakar umumnya terbagi menjadi dua, yaitu sistem unggun terfluidakan (*fluidized bed system*) dan unggun tetap (*fixed bed system*). *Fixed bed system* berdasarkan arah aliran udaranya, dibagi kembali menjadi tiga. Yaitu arah aliran udara ke atas, arah aliran udara ke bawah dan arah aliran udara mendatar pada *gasifier*. Pada penelitian ini akan digunakan tipe *Top-lit updraft gasifier* (T-LUD). T-LUD adalah bentuk baru dari pembakaran yang di konsep tahun 1985 oleh Thomas B. Reed. Pemberian dan penyalaan bahan bakar dilakukan pada bagian atas *gasifier*. Panas yang dihasilkan dari penyalaan bahan bakar membuat sekam padi terdekomposisi. Hasil dekomposisi sekam padi bergerak ke bawah (pergerakannya bergantung dengan kecepatan suplai udara), sedangkan gas hasil pirolisisnya bergerak ke atas. Hal tersebut membuat sekam padi yang berada di bagian atas berubah menjadi arang (*char*) atau karbon. Karbon kemudian bereaksi dengan udara yang disuplai, sehingga gas yang dikonversi menjadi gas yang mudah terbakar. Skema T-LUD *gasifier* yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1 (b).

2.3. Water Boiling Test (WBT) dan SNI Tungku Biomassa

Metode WBT merupakan simulasi dari proses memasak. WBT dapat menghitung efisiensi pada kompor dengan cara memasak (mendidihkan) air serta mengetahui kuantitas emisi yang dihasilkan selama memasak. Secara garis besar, metode WBT menghasilkan perbandingan kalor yang dihasilkan oleh bahan bakar terhadap kalor yang diterima oleh air untuk menaikkan suhunya dan menguapkannya [5]. WBT dilakukan dalam tiga tahapan. Tahapan pertama adalah uji *cold start-high power*, *hot start-high power*, dan *simmering-low power*. Hal tersebut dilakukan agar penguji dapat mengevaluasi performansi kompor.

SNI tungku biomassa menetapkan persyaratan minimal kerja, meliputi efisiensi pembakaran, efisiensi termal, derajat emisi karbon monoksida dan partikulat, dan aspek keselamatan dari tungku, serta tata-cara pengujiannya [5]

3. Metodologi

Kompor biomassa pada penelitian ini berbentuk silinder, terdiri dari badan kompor yang memiliki tinggi 40 cm dengan diameter luar 30 cm dan diameter dalam 10 cm (sebagai tempat ruang pembakaran). Kemudian dua ruang pembakaran atau *gasifier* memiliki tinggi 20 cm dan 30 cm dengan jumlah lubang udara yang berbeda yakni 82 lubang udara dan 102 lubang udara. Serta pada bagian bawah kompor terdapat lubang berbentuk balok dengan dimensi (7 x 10 x 7) cm sebagai jalur masuk aliran udara primer hasil aliran udara paksa dari kipas. Rancangan kompor dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Rancangan Kompor Biomassa

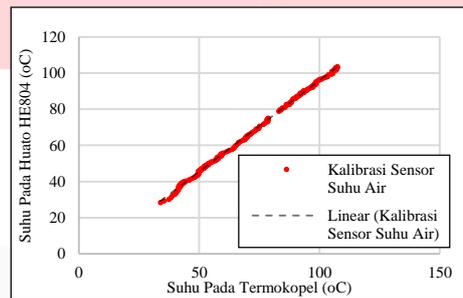
Adapun variabel yang akan diuji adalah variasi jumlah lubang udara gasifier dan variasi kecepatan aliran udara yang masuk ke dalam kompor biomassa tiap gasifier. Untuk pengujian variasi jumlah lubang udara *gasifier*

dilakukan tiga perlakuan. Perlakuan pertama dengan kondisi awal *gasifier* yakni lubang udara terbuka semua, perlakuan kedua dengan kondisi lubang udara bagian bawah tertutup semua, dan perlakuan ketiga dengan kondisi lubang udara bagian samping tertutup sebagian. Dan untuk pengujian variasi kecepatan aliran udara dilakukan dengan cara mengatur kecepatan putar kipas dengan teknik *Pulse Width Modulation* (PWM) agar menghasilkan kecepatan aliran udara (m/s) yang berbeda dengan kecepatan 0,5 m/s, 1 m/s, 1,5 m/s, 2 m/s, 2,5 m/s, 3 m/s, 3,5 m/s dan 4 m/s. Pengukuran temperatur air yang dididihkan menggunakan sensor termokopel tipe K disambungkan pada modul MAX6675 sebelum dihubungkan dengan Arduino agar dapat diakuisisi data dari sensor tersebut dan data yang terekam oleh serial monitor dapat disimpan serta diolah. Sedangkan untuk kipas akan diberi daya 12 V agar dapat beroperasi, kemudian dihubungkan dengan *driver motor* sebagai *switch* atau pengatur keluaran tegangan motor DC pada kipas. *Driver motor* menerima sinyal dari Arduino agar dapat melakukan hal tersebut. Parameter yang diukur dalam pengujian kompor pada penelitian ini adalah laju kalor, *fuel consumption rate* (FCR), efisiensi termal, dan persentase *char* yang dihasilkan.

4. Pembahasan

4.1. Hasil Kalibrasi Sensor Termokopel

Kalibrasi sensor termokopel yang digunakan pada pengujian dilakukan agar pengukuran yang dilakukan oleh termokopel dan modul MAX6675 sesuai dengan suhu lingkungan sebenarnya pada *digital thermometer* Huato HE804. Pengujian dilakukan dengan *range* suhu 30 °C-100 °C, dengan peningkatan suhu tiap 10 °C.

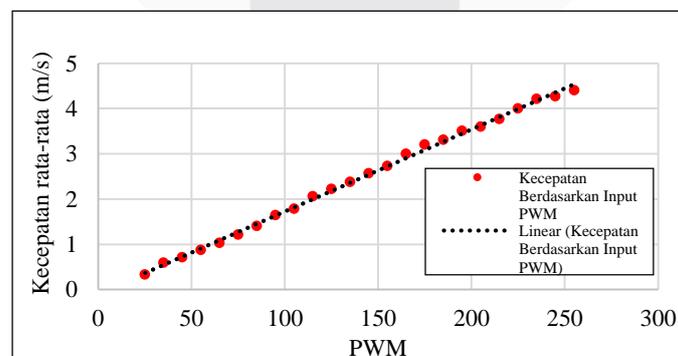


Gambar 5. Kurva kalibrasi sensor suhu yang digunakan terhadap instrumen standar (kalibrator).

Dari Gambar 5, diperoleh hasil data kalibrasi yang linier antara nilai baca sensor suhu menggunakan Termokopel dengan nilai baca kalibrator Huato HE804.

4.2. Hasil Karakterisasi Kecepatan Aliran Udara Kipas

Karakterisasi diperlukan agar *output* kecepatan aliran udara kipas sesuai dengan *input* yang diinginkan. Dalam penelitian ini, input diberikan berdasarkan nilai PWM dalam rentang 25-255 dengan kenaikan nilai 10. Input nilai PWM kemudian dibaca oleh kalibrator anemometer *hot wire* YK-2005AH dan menghasilkan nilai kecepatan dengan satuan m/s. Nilai-nilai *duty cycle* PWM yang memenuhi adalah 35; 0,5 m/s, 65; 1m/s, 85;1,5 m/s, 115; 2 m/s, 145; 2,5 m/s, 165; 3 m/s, 195; 3,5m/s dan 225; 4 m/s. Rata-rata perbedaan kecepatan aktual dengan kecepatan kalibrator sebesar 2,72%.



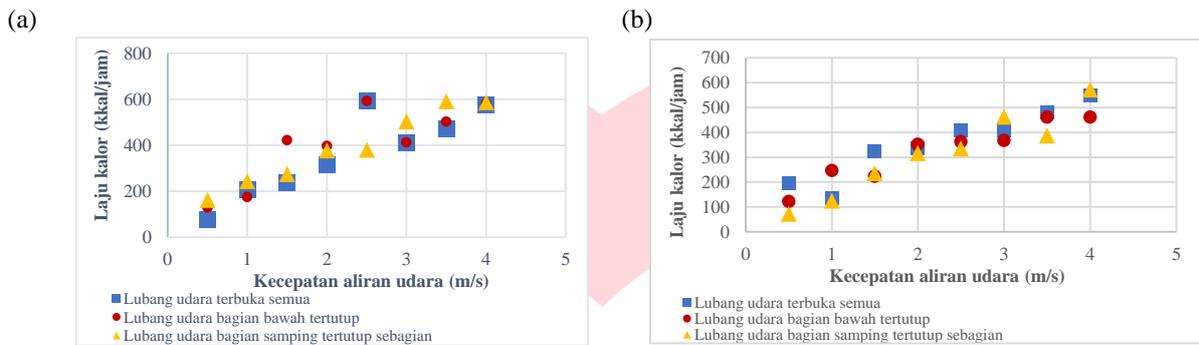
Gambar 6. Kurva karakterisasi kecepatan aliran udara kipas terhadap nilai PWM yang diberikan.

4.3. Hasil Uji Kompom Biomassa

Analisa pengaruh variasi yang dilakukan pada kompor biomassa yang menggunakan *gasifier* 20 cm dan *gasifier* 30 cm dilihat dari laju kalor, laju konsumsi bahan bakar, efisiensi termal dan persentase *char* yang dihasilkan. Adapun perhitungan parameter evaluasi kompor biomassa secara lengkap terdapat pada lampiran.

4.3.1. Laju Kalor

Jika dibandingkan antara kedua beda tinggi *gasifier*, laju kalor rata-rata pada perlakuan lubang udara terbuka semua adalah 361,59 kkal/jam dengan waktu operasi 8 menit untuk *gasifier* 20 cm dan 354,48 kkal/jam dengan waktu operasi 7,3 menit untuk *gasifier* 30 cm. Sedangkan perlakuan lubang udara bagian bawah tertutup rata-rata laju kalor 402,1 kkal/jam dengan waktu operasi 5,7 menit untuk *gasifier* 20 cm dan 324,57 kkal/jam dengan waktu operasi 9 menit untuk *gasifier* 30 cm. Dan perlakuan lubang udara bagian samping tertutup sebagian rata-rata laju kalor 390,9 kkal/jam dengan waktu operasi 7,9 menit untuk *gasifier* 20 cm dan 313,17 kkal/jam dengan waktu operasi 8,4 menit untuk *gasifier* 30 cm.

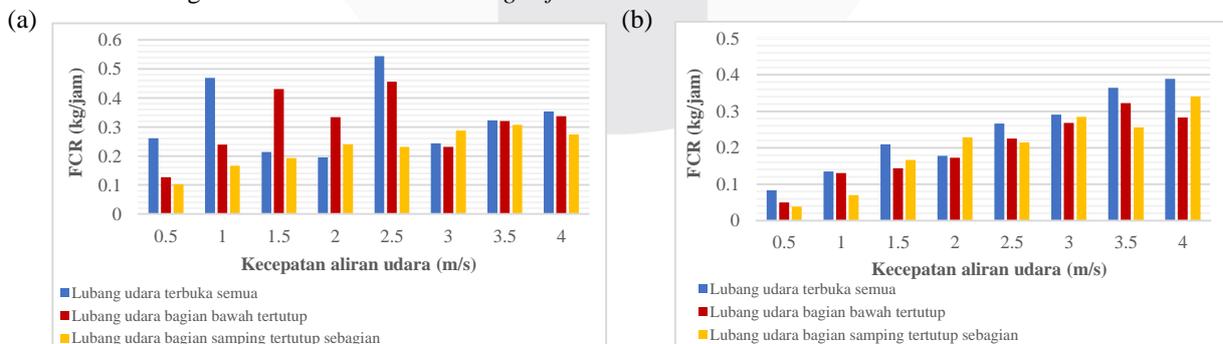


Gambar 7. (a) Grafik waktu operasi kompor biomassa *gasifier* 20 cm ditiap variasi lubang udara; (b) Grafik waktu operasi kompor biomassa *gasifier* 30 cm ditiap variasi lubang udara

Gambar 7 menunjukkan bahwa kecepatan aliran udara mempengaruhi laju kalor yang dihasilkan ditiap perlakuan lubang udara *gasifier*. Maka semakin tinggi kecepatan aliran udara yang diberikan akan semakin besar pula perpindahan energi melalui kalor pada proses pengoperasian kompor biomassa.

4.3.2. Fuel Consumption Rate (FCR)

Laju konsumsi bahan bakar/laju pembakaran ditiap *gasifier*, ditiap variasi lubang udara dan ditiap kecepatan memenuhi standar SNI Tungku Biomassa yaitu dibawah 1 kg/jam. Laju konsumsi bahan bakar cenderung membuat waktu pendidihan air lebih cepat. Laju pembakaran terbesar 0,54 kg/jam dengan kecepatan 2,5 m/s pada variasi lubang udara terbuka semua untuk *gasifier* 20 cm dan 0,38 kg/jam dengan kecepatan 4 m/s pada variasi lubang udara terbuka semua untuk *gasifier* 30 cm.



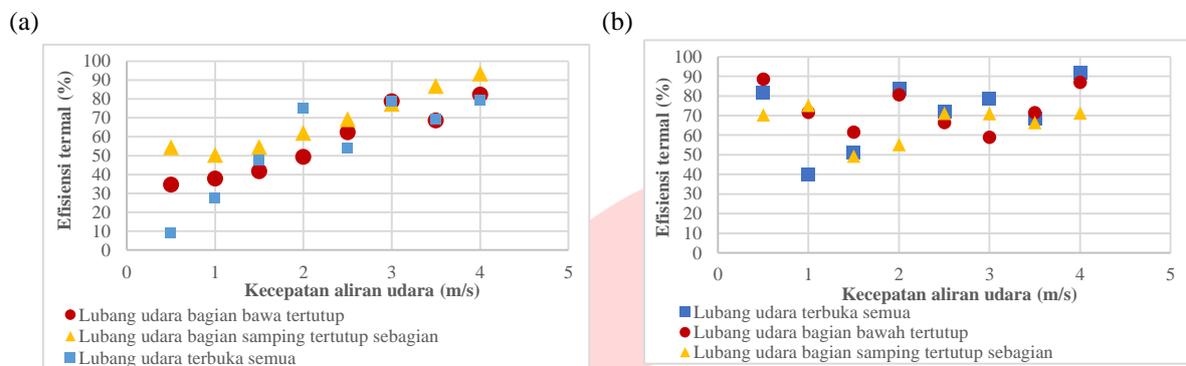
Gambar 8. (a) Grafik FCR biomassa *gasifier* 20 cm ditiap variasi lubang udara; (b) Grafik FCR kompor biomassa *gasifier* 30 cm ditiap variasi lubang udara

Nilai FCR yang lebih kecil pada *gasifier* 30 cm dibandingkan dengan *gasifier* 20 cm dinilai wajar, karena semakin tinggi dan banyaknya biomassa maka akan perlu waktu lebih untuk membakar bahan bakar tersebut.

Selain itu, FCR juga mempengaruhi nilai laju spesifik gasifikasi (SGR), semakin besar nilai FCR akan semakin besar juga bahan bakar yang tergasifikasi.

4.3.3. Efisiensi Termal

Efisiensi termal rata-rata pada variasi lubang udara terbuka semua mencapai 55,14 % untuk *gasifier* 20 cm dan 70 % untuk *gasifier* 30 cm, pada variasi lubang udara bagian bawah ditutup mencapai 57,04 % untuk *gasifier* 20 cm dan 73,24 % untuk *gasifier* 30 cm, sedangkan pada variasi lubang udara bagian samping tertutup sebagian mencapai 68,63 % untuk *gasifier* 20 cm dan 66,21 % untuk *gasifier* 30 cm.



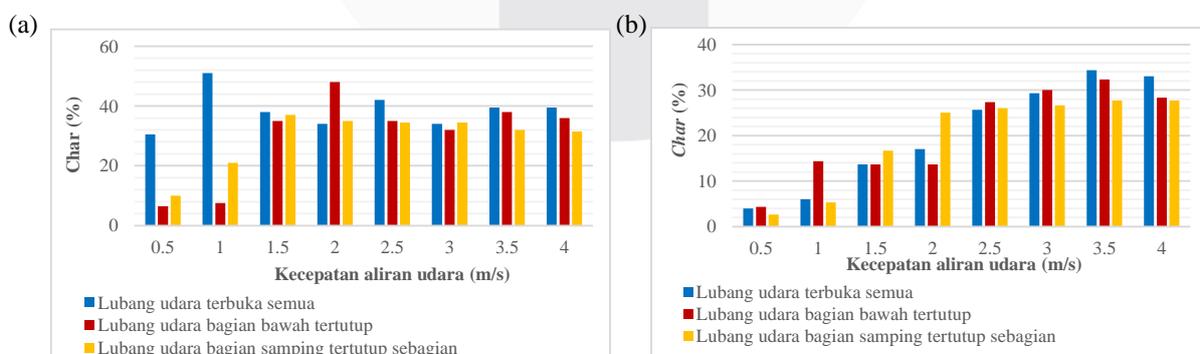
Gambar 9. (a) Grafik efisiensi termal biomassa *gasifier* 20 cm ditiap variasi lubang udara; (b) Grafik efisiensi termal kompor biomassa *gasifier* 30 cm ditiap variasi lubang udara

Efisiensi termal tertinggi 93,59 % diperoleh pada kecepatan 4 m/s dengan variasi lubang udara bagian samping tertutup sebagian untuk *gasifier* 20 cm dan 91,68% diperoleh pada kecepatan 4 m/s dengan variasi lubang udara terbuka semua untuk *gasifier* 30 cm.

Pada semua variasi lubang udara di *gasifier* 20 cm, kecepatan aliran udara mempengaruhi efisiensi termal. Semakin tinggi kecepatan aliran udara maka efisiensi termal juga akan bernilai tinggi. Berbeda dengan variasi lubang udara di *gasifier* 30 cm yang cenderung rata. Laju kalor juga mempengaruhi nilai efisiensi termal. Semakin tinggi nilai laju kalor maka akan semakin tinggi pula efisiensinya. Efisiensi terbesar memiliki laju kalor 571,54 kkal/jam untuk *gasifier* 20 cm dan 546,82 kkal/jam untuk *gasifier* 30 cm.

4.3.4. Persentase Char

Kompor biomassa yang menggunakan T-LUD akan menghasilkan jumlah char yang besar. Gambar 9 menunjukkan persentase *char* yang dihasilkan ditiap variasi lubang udara cukup tinggi. Adapun yang terlihat rendah diakibatkan waktu operasi dan FCR yang kecil sehingga biomassa belum terbakar sempurna.



Gambar 10. (a) Grafik persentase *char* biomassa *gasifier* 20 cm ditiap variasi lubang udara; (b) Grafik persentase *char* kompor biomassa *gasifier* 30 cm ditiap variasi lubang udara

5. Simpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan diperoleh beberapa simpulan sebagai berikut,

1. Secara umum, kompor biomassa menunjukkan performa kompor yang baik dengan berbagai macam perlakuan yang berbeda. Performa kompor biomassa yang diuji sesuai dengan SNI Tungku Biomassa dalam hal laju konsumsi bahan bakar dan efisiensi termal, kecuali pada variasi *gasifier* 20 cm dengan perlakuan lubang udara terbuka semua pada kecepatan 0,5 m/s karena efisiensinya tidak mencapai 20 %.
2. Waktu operasi kompor biomassa paling lama 11,52 menit terjadi pada *gasifier* 20 cm di kecepatan 1,5 m/s dengan perlakuan lubang udara bagian samping tertutup sebagian.
3. Laju kalor tertinggi diperoleh saat kecepatan 2,5 m/s dengan $\dot{Q} = 593,33$ kkal/jam pada variasi lubang udara terbuka semua untuk *gasifier* 20 cm dan *gasifier* 30 cm.
4. Tinggi *gasifier* yang berbeda, yakni 20 cm dan 30 cm memberikan pengaruh yang berbeda dari segi FCR, CZR dan SGR pada kompor.
 - Untuk FCR, pada *gasifier* 20 cm rata-rata FCR 0,286 kg/jam sedangkan pada *gasifier* 30 cm rata-ratanya 0,212 kg/jam.
 - Untuk CZR, pada *gasifier* 20 cm rata-rata CZR 2,49 m/jam sedangkan pada *gasifier* 30 cm rata-ratanya 2,35 m/jam.
 - Untuk SGR, pada *gasifier* 20 cm rata-rata SGR 4,23 kg/m²jam sedangkan pada *gasifier* 30 cm rata-ratanya 2,03 kg/m²jam.
5. Variasi kecepatan aliran udara yang diberikan memberikan performa pada nilai laju kalor, FCR dan efisiensi termal. Rata-rata ditiap variasi lubang udara, semakin tinggi kecepatan aliran udara yang diberikan maka akan semakin besar pula nilai laju kalor, FCR dan efisiensi termal pada variasi tinggi *gasifier*.
6. Nilai efisiensi termal tertinggi 93,59 % untuk *gasifier* 20 cm dan 91,68 % untuk *gasifier* 30 cm.
7. Persentase *char* yang dihasilkan dari pengujian kompor biomassa dalam penelitian ini membuktikan bahwa prinsip T-LUD yang diterapkan pada kompor menghasilkan *char* dalam jumlah yang banyak. Rata-rata persentase *char* yang dihasilkan adalah 26,38 %.

Daftar Pustaka

- [1] R. Ulfa, Rendemen Giling dan Mutu Beras pada Beberapa Unit Penggilingan Padi Kecil Keliling di Kabupaten Banyuwangi, Bogor: Sekolah Pasca Sarjana Institut Pertanian Bogor, 2014.
- [2] D. Sutaryo, Perhitungan Biomassa Sebuah Pengantar Untuk Studi Karbon dan Perdagangan Karbon, Bogor: Wetlands International Indonesia Programme, 2009.
- [3] R. Winata, Perancangan dan Optimasi Kompor Gas Biomassa yang Beremisi Gas CO Rendah Menggunakan Bahan Bakar Pelet Biomassa dari Limbah BAGAS, Depok: Program Studi Teknik Kimia, Universitas Indonesia, 2012.
- [4] Muharnif, "Pemanfaatan Bahan Bakar Nabati Sebagai Sumber Energi Alternatif Dalam Proses Gasifikasi," Jurnal Ilmiah Pendidikan Tinggi, vol. 3, hal. 3, 2010.
- [5] R. Rizqiardihatno, Perancangan Kompor Biomassa Ber efisiensi Tinggi dan Ramah Lingkungan dengan Prinsip Heat Recovery untuk Masyarakat Urban, Depok: Program Sarjana Fakultas Teknik UI, 2008.