

Karakteristik Pembakaran Briket Tandan Kosong Kelapa Sawit dan Emisi Gas Karbon Monoksida (CO) dari Pembakaran dengan Kompor Biomassa Variasi Buka-an Lubang Udara

Hafidawati^a, Elvi Yenie^a, Alen Agustariza^a

^aProgram Studi S1 Teknik Lingkungan, Universitas Riau, Pekanbaru 28293, Indonesia

ARTICLE HISTORY

Received : 02-03-2024

Accepted : 24-03-2024

Published : 29-03-2024

KEYWORDS

Carbon monoxide

Combustion

Emission

Smoking Fish Center

*correspondence author:

Email: hafidawati@lecturer.unri.ac.id



ABSTRACT

Waste oil empty palm fruit bunches (EFB) one of the renewable energy sources with great potential and is produced approximately 21% of the entire palm oil processing process. Burning EFB briquettes using biomass stoves has a low combustion efficiency, so it has the potential to emit CO. The aim of this research is to determine CO gas emissions resulting from burning empty palm fruit bunch briquettes with variations in the number of holes in the biomass stove and compare them with the quality standards of Minister of Energy and Mineral Resources Regulation No. 047 of 2006. and see how the effect of air hole openings on biomass stoves with empty palm fruit bunch briquettes. In this study, co emission test was conducted using environmental combustion analyzer type 450 and biomass stove performance using water boiling test method. Testing was conducted with variations of air hole openings L1 (3.51 cm²), L2 (7.03 cm²), and L3 (10.55 cm²). The results of CO gas testing obtained by L1, L2 and L3 are 523.54 mg/ Nm³, 425.59 mg/ Nm³, and 351.13 mg/ Nm³ and still meet the quality standards of ESDM no. 047 of 2006. Thermal efficiency of briquette stoves obtained in L1, L2 and L3 are 26.51%, 24.28% and 22.28% and for specific consumption rates obtained in L1, L2 and L3 are 3.47 grams/minute, 5.54 grams/minute and 7.17 grams/minute, this result didn't meet the quality standard of SNI 7926-2013. Based on the results of the study, it was concluded that the smaller the opening of the briquette stove air hole, the more CO emissions produced, the higher the thermal efficiency and the smaller the consumption rate.

1. PENDAHULUAN

Salah satu potensi besar biomassa yang ada untuk energi saat ini adalah limbah hasil produksi pabrik kelapa sawit yaitu Tandan Kosong Sawit (TKS). Tandan Kosong Sawit (TKS) merupakan limbah padat terbesar yang dihasilkan oleh pabrik pengolahan minyak kelapa sawit. Secara kuantitas komposisi Tandan Buah Segar (TBS) terdiri dari TKS (21%), buah (65,5%), dan kondesat (13,5%), cangkang (6,4%), dan fiber (14,4%) (Hambali, 2010). Ketersediaan tandan kosong sawit sebagai limbah padat hanya dimanfaatkan sebagai mulsa pohon kelapa sawit, namun hal ini menimbulkan keluhan petani sawit karena dapat menurunkan kemampuan tanah dalam menyerap air. Disamping itu, tandan kosong sawit yang membusuk akan menarik kumbang *Oryctes* yang berpotensi merusak kelapa sawit dan menyebarkan bibit penyakit (Ramadiah, 2016).

Biomassa merupakan campuran senyawa organik yang kompleks. Biomassa terdiri atas beberapa komponen yaitu kadar air (moisture content), zat terbang (volatile matter), karbon terikat (fixed carbon), dan abu (ash). Di Provinsi Riau sebagian besar biomassa berasal dari limbah kelapa sawit yang dihasilkan dari perkebunan maupun industri kelapa sawit. Salah satu biomassa kelapa sawit yang berpotensi sebagai sumber energi alternatif di masa depan adalah limbah tandan kosong dari proses produksi pabrik kelapa sawit. Menurut Handra (2020) salah

satu pemanfaatan dan pengolahan untuk limbah tandan kosong sawit yaitu sebagai bahan baku pembuatan briket. Menurut Kristianti (2009) pembriketan adalah salah satu cara yang digunakan untuk mengkonversi sumber energi biomassa kebentuk biomassa lain dengan cara dimampatkan sehingga menjadi lebih teratur. Dimana pemanfaatan ini akan dapat mengurangi limbah dan jika dikembangkan sebagai energi alternatif akan memberikan keuntungan secara finansial yang dapat membantu didalam pelestarian lingkungan.

Kegiatan memasak di Indonesia, khususnya di pedesaan masih banyak menggunakan kompor tradisional. Desain kompor yang digunakan masih sangat sederhana sehingga efisiensi pembakaran yang dihasilkan masih sangat rendah (Budianto dkk, 2014). Desain kelengkapan kompor briket yang baik adalah kompor memiliki ruang bakar untuk briket, adanya aliran udara (oksigen) dari lubang bawah menuju lubang atas dengan melewati ruang bakar briket serta ruang penampung abu briket yang terletak di bawah ruang bakar briket. Lubang udara yang terdapat pada ruang pembakaran dari kompor biomassa digunakan sebagai tempat masuknya udara yang dibutuhkan untuk proses pembakaran kombinasi antara udara dan bahan bakar.

Lubang udara yang terdapat pada ruang pembakaran dari kompor biomassa digunakan sebagai tempat masuknya udara yang dibutuhkan untuk proses pembakaran kombinasi antara udara dan bahan bakar. Menurut Owsianowski (2007), kompor tradisional biasanya membutuhkan biomassa yang besar dikarenakan perpindahan panas yang tidak baik dan mengakibatkan rendahnya efisiensi termal yang dihasilkan. Haryanto dan Triyono (2010) menyatakan bahwa kompor-kompor berbahan bakar biomassa hanya memiliki efisiensi antara 11-17%. Efisiensi termal merupakan rasio antara kerja yang diberikan melalui pemanasan dan penguapan air terhadap energi yang dikonsumsi melalui pembakaran bahan bakar, nilainya merupakan perkiraan dari total energi yang dihasilkan oleh api yang digunakan untuk memanaskan air pada panci (Febbiana, 2019). Dengan kata lain, efisiensi menunjukkan seberapa baik konversi atau proses transfer energi dicapai. Sedangkan laju konsumsi bahan bakar adalah jumlah bahan bakar yang terbakar selama durasi waktu pendidihan air saat pengujian termal (Qistina dkk, 2016), semakin cepat laju alirnya maka akan semakin baik konsumsi bahan bakarnya dan semakin tinggi pula nilai output energi yang dikeluarkan (Febbiana, 2019).

Secara teoritis pembakaran bahan bakar menghasilkan H_2O dan CO_2 (Zellia dkk, 2018) namun menurut Sulistyanto (2006), pembakaran pada bahan bakar banyak yang tidak sempurna akan menimbulkan zat-zat polutan yang berbahaya terhadap kesehatan manusia yaitu Karbon Monoksida (CO). Paparan gas ini dalam konsentrasi rendah dapat menimbulkan keracunan dengan gejala berupa pusing, mual, dan sakit kepala begitupun dalam konsentrasi yang tinggi akan mengakibatkan gangguan pada sistem syaraf, jantung, bahkan bisa menimbulkan kematian (Yulianti dkk, 2013).

Berdasarkan permasalahan di atas, perlu dilakukan penelitian ini yang bertujuan untuk menentukan emisi gas CO yang dihasilkan dari pembakaran briket tandan kosong sawit dengan variasi jumlah lubang pada kompor biomassa dan membandingkannya dengan baku mutu Permen ESDM No. 047 tahun 2006 serta melihat bagaimana pengaruh bukaan lubang udara terhadap kinerja kompor biomassa dengan briket tandan kosong sawit. Penelitian ini belum ada yang melakukannya untuk aktifitas pengujian emisi dari pembakaran briket dari tandan kosong kelapa sawit dengan implementasi nya dengan menggunakan kompor biomassa.

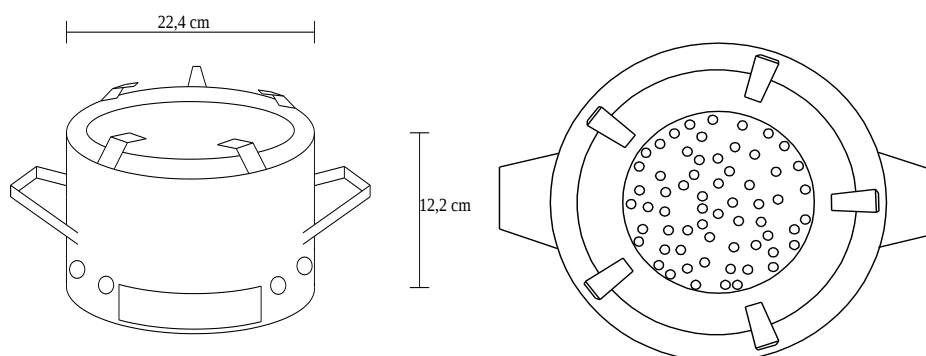
2. METODE

2.1 Bahan Pembuatan Briket

Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah tandan kosong sawit yang didapatkan dari PT. Perkebunan Nusantara V (PTPN V) Sei Pagar yang berlokasi di Desa Hangtuah Kec. Perhentian Raja, Kabupaten Kampar, Provinsi Riau. Bahan lain yang dibutuhkan yaitu perekat tapioka sebagai perekat briket TKS dikeringkan dan dicacah terlebih dahulu sebelum diolah menjadi briket.

2.2. Alat Penelitian

Peralatan yang digunakan untuk pembuatan briket terdiri dari neraca analitik, cawan krusibel, beaker glass, ayakan, furnace serta alat pengepresan briket. Peralatan yang digunakan untuk pembakaran briket terdiri dari kompor briket dengan variasi bukaan lubang udara pada kompor 7, 14, dan 21 lubang. Unit pengujian emisi gas yang dihasilkan dari pembakaran briket tandan kosong sawit terdiri dari *Environmental Combustion Analyzer Type 450* dan stopwatch sebagai alat untuk mengukur lama pembakaran. Alat-alat yang digunakan untuk pengujian *Water Boiling Test (WBT)* adalah tempat perebus air, stopwatch, termometer, kompor briket dan timbangan analitik. Sketsa kompor briket dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Sketsa Kompor Briket

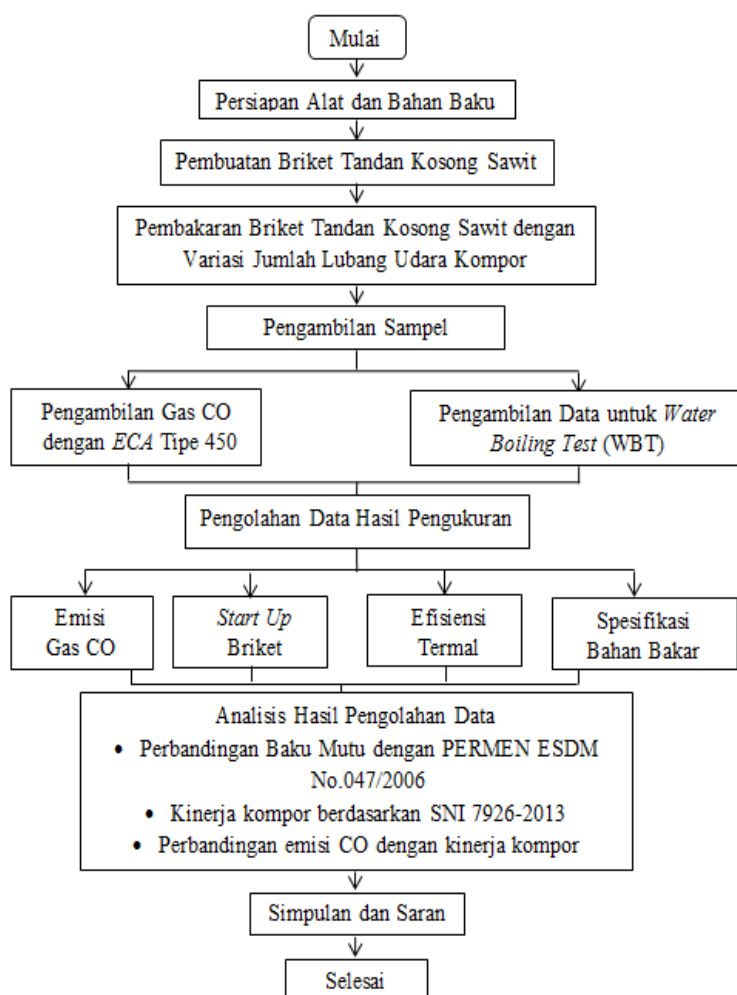
2.3. Variabel Penelitian

1. Variabel bebas dalam penelitian ini variasi bukaan udara yang terdiri dari:
 - a. $L_1 = 3,52 \text{ cm}^2$ sebanyak 7 lubang
 - b. $L_2 = 7,03 \text{ cm}^2$ sebanyak 14 lubang
 - c. $L_3 = 0,55 \text{ cm}^2$ sebanyak 21 lubang
2. Variabel bebas dalam penelitian ini terdiri dari:
 - a. Emisi Gas CO
 - b. Efisiensi Termal
 - c. Laju Konsumsi Bahan Bakar
3. Variabel tetap pada penelitian ini terdiri dari:
 - a. Tinggi Ruang Bakar Kompor Sebesar 6,7 cm
 - b. Diameter Ruang Bakar Kompor Sebesar 15,8 cm
 - c. Diameter Lubang Udara Sebesar 0,8 cm
 - d. Jarak Antara Lubang Sebesar 2,5 cm
 - e. Diameter dan Tinggi Briket Sebesar 2,5 cm dan 4 cm

- f. Massa Briket Tandan Kosong Sawit yang digunakan yaitu 147 gram.
- g. Konsentrasi Perekat 4% dari Berat Total Bahan Baku

2.4 Prosedur Penelitian

Prosedur pengujian emisi gas karbon monoksida (CO) dan kinerja kompor dari hasil pembakaran briket TKS secara singkat dapat dilihat pada diagram alir berikut (Gambar 2):



Gambar 2. Diagram Alir Proses Penelitian

Pengujian Efisiensi Termal

Uji efisiensi dan emisi dapat dilakukan secara serempak, sungkup yang menaungi sumber api ditempatkan 0,5 meter di atas sumber api, agar nyala api tidak terpengaruh oleh keberadaan sungkup tersebut. Diameter sungkup 0,7 meter, sedemikian sehingga gas hasil bakar dapat ditangkap seluruhnya oleh peralatan uji. Sungkup juga dilengkapi kipas DC 12 V dengan ukuran 8×8 cm.

Analisis dan Perhitungan Emisi CO

$$\text{Konsentrasi (mg/m}^3\text{)} = 0,0409 \times \text{konsentrasi (ppm)} \times \text{berat molekul} \dots\dots\dots (1)$$

Berat molekul karbon monoksida (CO) = 28,01 g/mol

$$\eta_T = \frac{m_a C_{p,air} \Delta T + \Delta m_a L}{\Delta m_k LHV} \times 100 \quad \dots \dots \dots (2)$$

$$\eta_T = \text{Efisiensi termal pembakaran pada kompor briket (\%)}$$
$$m_a = \text{Massa air (kg)}$$
$$C_{p_{\text{air}}} = \text{kalor spesifik air } 4,180 \text{ (kJ/kg}^{\circ}\text{C)}$$
$$\Delta T = \text{Selisih suhu akhir air terhadap suhu awal air (}^{\circ}\text{C)}$$
$$\Delta m_a = \text{Massa air yang menguap (kg)}$$

L = Kalor penguapan air (2260 kJ/kg)

$$\Delta m_k = \text{Massa bahan bakar yang telah digunakan/dibakar (kg)}$$

LHV = Nilai kalor bahan bakar (kJ/kg)

Konsumsi Bahan Bakar :

$$\text{Laju Pembakaran} : \frac{\text{massa briket terbakar}}{\text{waktu pembakaran}} \left(\frac{\text{gr}}{\text{menit}} \right) \dots \dots \dots (3)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pengaruh Bukaannya Lubang Udara Kompor Terhadap Kinerja Kompor Briket

Pengujian kinerja kompor briket dilakukan menggunakan metode *water boiling test* (wbt), yang merupakan simulasi dari proses memasak. Hal ini dimaksudkan untuk menghitung jumlah energi panas yang dapat dihasilkan dari proses pembakaran briket Tandan Kosong Sawit. Kinerja kompor yang diamati adalah waktu *start up*, efisiensi termal dan laju konsumsi bahan bakar.

1) Pengaruh Bukaannya Lubang Udara Terhadap Proses *Start Up* Briket Tandan Kosong Sawit

Data hasil pengukuran waktu *start up* kompor briket dengan variasi bukaan udara dapat dilihat pada Tabel 1.

Variasi Bukaannya Lubang Udara	Waktu <i>Start Up</i> (detik)
L ₁	417
L ₂	396
L ₃	349

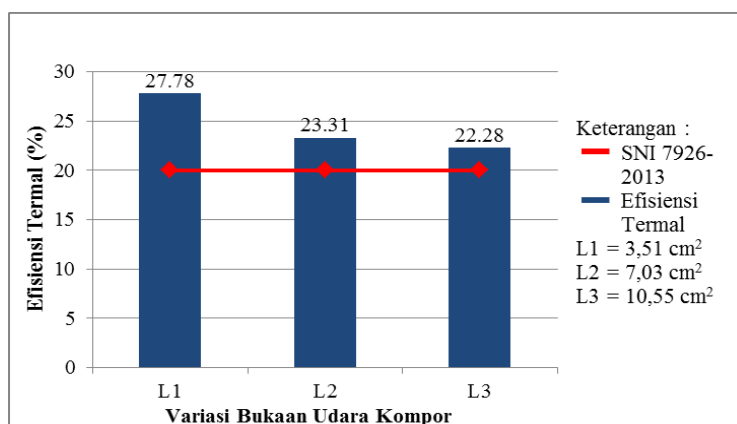
Dari Tabel 1 didapatkan waktu *start up* paling cepat adalah pada kompor briket variasi L₃ dengan waktu 5,49 menit, kemudian variasi L₂ dengan waktu 6,36 menit, dan waktu yang dibutuhkan paling lama adalah variasi L₁ yaitu 6,57 menit. Hal ini membuktikan bahwa bukaan udara pada kompor briket mempengaruhi waktu *start up* pembakaran, semakin kecil luas bukaan udara kompor briket maka proses penyalaan akan semakin lambat dan menimbulkan asap. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Pambudi (2019) yaitu menggunakan bahan bakar briket kayu pulai dengan kompor biomassa 6 lubang, 12 lubang dan 18 lubang yang menunjukkan semakin besar bukaan udara maka semakin mempercepat waktu penyalaan bahan bakar.

2) Pengaruh Bukaannya Lubang Udara Terhadap Efisiensi Termal

Pada saat pengujian, dilakukan pengamatan terhadap kenaikan temperatur dari 0°C - 99°C untuk ketiga variasi kompor briket. Suhu 99°C dipilih sebagai titik didih pada penelitian ini dikarenakan elevasi dari tempat pengujian berada pada dataran tinggi. Perhitungan titik didih air mengikuti persamaan pada SNI 7626-2013 tentang kinerja tungku biomassa. Pengambilan data kenaikan temperatur pada saat pengujian diperlukan untuk menghitung efisiensi termal dari setiap variasi bukaan kompor briket.

Berdasarkan pengujian tersebut diperoleh data bahwa pada variasi L₁ dibutuhkan waktu 12 menit untuk air mencapai titik didih, pada variasi L₂ selama 14 menit dan variasi L₃ adalah 16 menit. Dari ketiga variasi tersebut hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin besar bukaan udara kompor briket semakin lama waktu yang diperlukan untuk mendidihkan air. Hal ini dikarenakan pada saat pembakaran adanya kemungkinan api yang terbentuk menyebabkan kerugian konveksi melalui aliran udara pembakaran menuju lingkungan (Febbiana, 2019). Sebagai akibatnya waktu yang diperlukan untuk mendidihkan air menjadi lebih lama.

Perbandingan hasil perhitungan efisiensi termal setiap variasi bukaan udara kompor dalam bentuk grafik dapat dilihat pada Gambar 4.



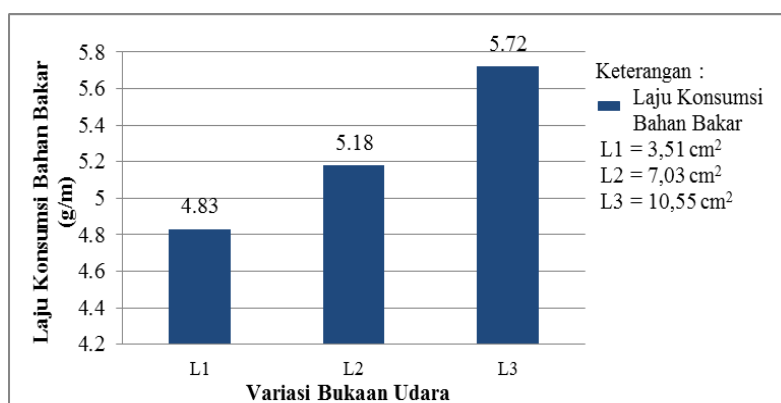
Gambar 4. Efisiensi Termal Variasi Bukaan Kompor

Berdasarkan grafik pada Gambar 4 dapat diketahui bahwa pada variasi L₁ nilai efisiensi termal adalah sebesar 27,78%, pada variasi L₂ nilai efisiensi termal 23,31% dan pada variasi L₃ nilai efisiensi termal adalah sebesar 22,28%. Hal ini berarti efisiensi termal kompor briket memenuhi baku mutu yang ditetapkan SNI 7926-2013 tentang kinerja kompor biomassa yaitu minimum 20%. Nilai efisiensi tertinggi terdapat pada kompor briket variasi L₁ sebesar 27,78%, ini dikarenakan pada kompor variasi L₁ terjadinya *heat loss* yang kecil pada saat pembakaran berlangsung sehingga semakin besar kalor yang dapat terserap untuk proses pendidihan air.

Sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Febbiana (2019) pada lubang dengan diameter 0,6 cm, 1 cm dan 1,4 cm. Berdasarkan hasil penelitian, efisiensi termal yang tertinggi diperoleh pada lubang 0,6 cm sebesar 34,32%, hal ini dikarenakan pada lubang 0,6 cm terjadinya *heat loss* yang kecil saat pembakaran sehingga udara yang masuk ke ruang pembakaran semakin merata yang membuat pembakaran semakin baik. Dari hasil pengujian efisiensi termal menunjukkan bahwa ketiga variasi bukaan udara kompor layak digunakan untuk aktivitas memasak sehari-hari menggunakan briket tandan kosong sawit.

3) Pengaruh Bukaan Lubang Udara Terhadap Laju Konsumsi Bahan Bakar

Perbandingan hasil perhitungan laju konsumsi spesifik bahan bakar dari ketiga variasi kompor dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Laju Konsumsi Bahan Bakar

Berdasarkan Gambar 5, dapat dilihat pada variasi bukaan udara L_1 diperoleh laju konsumsi spesifik bahan bakar sebesar 4,83 gram/menit, kemudian L_2 sebesar 5,18 gram/menit dan L_3 sebesar 5,72 gram/menit. Laju konsumsi bahan bakar dari setiap variasi berada di bawah baku mutu yang ditetapkan SNI 7926-2013 tentang kinerja tungku biomassa yaitu 1 kg/jam. Kenaikan laju konsumsi bahan bakar pada setiap variasi disebabkan perbedaan besar bukaan lubang udara pada kompor yang membuat sirkulasi udara yang masuk ke dalam ruang pembakaran lebih optimum, sehingga bahan bakar briket tandan kosong sawit cepat terbakar dan laju konsumsi bahan bakar briket tandan kosong sawit lebih besar.

Menurut Febbiana (2019) semakin besar laju konsumsi spesifik pada kompor briket, maka semakin baik konsumsi bahan bakarnya dan semakin tinggi pula keluaran energi yang dihasilkan. Namun laju konsumsi bahan bakar yang terlalu tinggi akan menghasilkan panas yang terlalu besar sehingga banyak *heat loss* yang dihasilkan, sehingga dapat dinyatakan bahwa laju konsumsi spesifik berbanding terbalik dengan efisiensi termal.

3.2. Analisis Emisi Gas CO dari Pembakaran Briket TKS

Hasil uji emisi gas CO dari pembakaran briket TKS dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Uji Emisi gas CO dari Pembakaran Briket TKS

Variasi Bukaan Lubang Udara	Emisi gas CO (mg/Nm ³)	Baku Mutu* (mg/Nm ³)	Ket
L_1	523,54	726	Tidak Melebihi
L_2	425,59	726	Tidak Melebihi
L_3	351,13	726	Tidak Melebihi

Sumber: * Permen ESDM No 47 Tahun 2006

Keterangan :

L_1 = Luas Lubang Udara Kompor 3,51 cm²

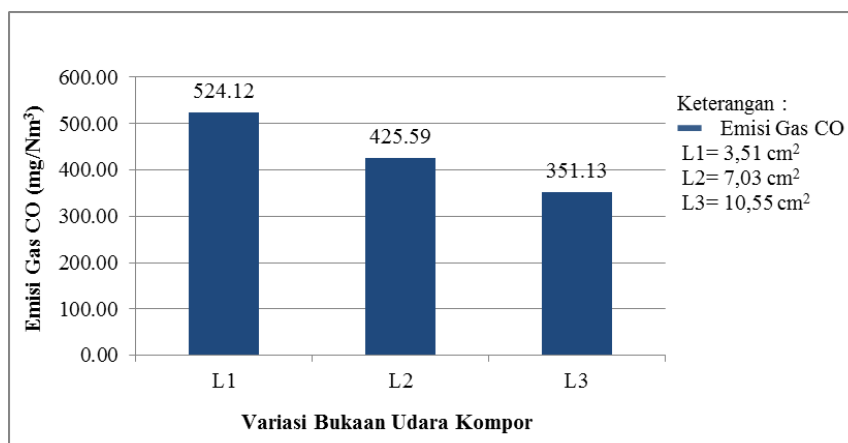
L_2 = Luas Lubang Udara Kompor 7,03 cm²

L_3 = Luas Lubang Udara Kompor 10,55 cm²

Berdasarkan Tabel 2 dapat diketahui bahwa pada variasi L_1 memiliki emisi gas CO sebesar 523,54 mg/Nm³, variasi L_2 memiliki emisi gas CO sebesar 425,59 mg/Nm³ dan variasi L_3 memiliki emisi gas CO sebesar 351,13 mg/Nm³. Emisi gas CO tertinggi dihasilkan pada variasi bukaan udara paling kecil yaitu sebesar 3,51 cm². Tingginya emisi gas CO pada variasi ini dipengaruhi oleh sedikitnya oksigen yang masuk pada saat pembakaran. Menurut Rini (2020) gas CO terbentuk dari bahan bakar yang tidak terbakar seluruhnya dan akan menghasilkan emisi gas CO. Sebaliknya emisi gas CO terendah dihasilkan pada variasi bukaan udara paling besar yaitu 10,55 cm². Hal ini dikarenakan udara yang masuk pada pembakaran lebih banyak sehingga terjadi pembakaran sempurna yang seluruh unsur karbon yang bereaksi dengan oksigen hanya menghasilkan CO₂.

Rendahnya emisi gas CO yang dihasilkan disebabkan karena pada proses pembuatan briket, biomassa mengalami karbonisasi atau pengarangan terlebih dahulu yang menyebabkan lebih banyak kadar karbon terikat pada briket. Semakin besar kandungan karbon terikat akan menyebabkan tingginya nilai kalor, dan memungkinkan reaksi pembakaran berjalan dengan lebih baik (Santosa, 2020).

3.3. Pengaruh Bukaannya Lubang Udara Kompor Terhadap Emisi Gas CO



Gambar 6. Emisi Gas CO pada Variasi Bukaannya Kompor (L1, L2, L3)

Berdasarkan Gambar 6, dapat dilihat bahwa nilai emisi gas CO tertinggi terdapat pada variasi bukaan udara sebesar 3,51 cm² yaitu 524,12 mg/Nm³ dan emisi gas CO terendah dihasilkan pada variasi bukaan udara sebesar 10,55 cm² yaitu 351,13 mg/Nm³. Dari grafik diketahui bahwa terjadi penurunan emisi gas CO terhadap peningkatan jumlah bukaan lubang udara kompor. Hal ini menunjukkan adanya pengaruh dari perbedaan luas bukaan udara tersebut terhadap proses pembakaran yang mengakibatkan jumlah oksigen yang masuk pada proses pembakaran juga akan berbeda.

Hal ini sejalan dengan penelitian Febbiana (2019) yang menyatakan jumlah udara yang masuk ke dalam ruang bakar kompor biomassa mempengaruhi karakteristik suatu pembakaran, apabila unsur oksigen yang masuk ke ruang bakar pada proses pembakaran tidak cukup maka akan mengakibatkan tidak terjadinya pembakaran sempurna sehingga karbon di dalam bahan bakar tidak terbakar seluruhnya dan akan menghasilkan emisi gas CO.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan maka dapat disimpulkan sebagai bahwa bukaan lubang udara berpengaruh terhadap kompor biomassa dengan briket tandan kosong sawit yaitu semakin kecil bukaan lubang udara kompor biomassa maka emisi gas CO yang dihasilkan semakin besar, efisiensi termal semakin tinggi dan laju konsumsi semakin kecil. Efisiensi termal kompor dan laju konsumsi bahan bakar dari setiap variasi memenuhi baku mutu yang ditetapkan SNI 7926-2013 tentang kinerja tungku biomassa. Hasil emisi gas CO yang dihasilkan dari pembakaran briket tandan kosong sawit untuk variasi L₁ sebesar 523,54 mg/Nm³ Variasi L₂ sebesar 425,59 mg/Nm³, dan variasi L₃ sebesar 351,13 mg/Nm³. Emisi gas CO berada di bawah baku mutu Permen ESDM No. 047 tahun 2006 sehingga briket aman digunakan untuk skala rumah tangga.

DAFTAR PUSTAKA

Budianto, A., Nurhuda, M., & Nadhir, A. (2014). Uji Efisiensi Tungku Tanah Liat Berdaya Sedang. *Doctoral dissertation*, Universitas Brawijaya. Malang.

- Febbiana, A. T. (2019). Pengaruh Diameter Dan Jumlah Lubang Udara Primer Terhadap Karakteristik Pembakaran Wood Pellet Stove. *Doctoral dissertation*, Universitas Brawijaya. Malang.
- Hafidawati, Esmiralda, Monalisa. (2012). Analisis Komposisi Emisi Gas CO, NO_x dan SO₂ Hasil Pembakaran Bioarang Kotoran Sapi. *Jurnal Ilmiah Sains Terapan*, 3(1),1-4.
- Hambali E. (2010). *Peran Teknologi Proses Dalam Pengembangan Agroindustri Industry Hilir Kelapa Sawit*. Orasi Ilmiah Guru Besar IPB (ID). Bogor.
- Kristianti, E. (2009). Pengaruh penambahan clay dan limestone dalam pemanfaatan tar sebagai bahan perekat terhadap kualitas biobriket limbah kulit buah jengkol. *Tesis S2*, Universitas Gajah Mada. Yogyakarta.
- Owsianowski, J. V. dan Barry, P. (2008). Improved cooking stoves for developing countries. *15th European Biomass Conference and Exhibition*, Italy. 7–11 May 2007.
- Pambudi, P., Widodo, S., & Suharno, K. (2019). Pengaruh variasi jumlah lubang udara terhadap efisiensi kompor biomassa. *Jurnal Teknik Mesin MERC (Mechanical Engineering Research Collection)*, 2(1), 1-7.
- Qistina, I., Sukandar, D., & Trilaksono, T. (2016). Kajian Kualitas Briket Biomassa dari Sekam Padi dan Tempurung Kelapa. *Jurnal Kimia Valensi*, 2(2), 136-142.
- Ramadiah. (2016). Uji Kualitas Briket dari Limbah Kelapa Sawit. *Skripsi*, Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Alauddin Makassar. Makassar.
- Rini, A. (2020). Analisis Nyala Api Efektif Terhadap Lama Pembakaran Limbah Tongkol Jagung Kompor Gasifikasi Biomassa. *Skripsi*, Teknologi Pertanian. Universitas Muhammadiyah. Mataram.
- Santos, A (2020). Rancang Bangun Alat Uji Biomassa Untuk Mengetahui Emisi Gas Buang Sebagai Sumber Energi Terbarukan. *Skripsi*, Teknik Mesin. Universitas Andalas. Padang.
- Sulistyanto, A. (2006). Karakteristik Pembakaran Biobriket Campuran Batubara dan Sabut Kelapa. *Media Mesin Majalah Teknik Mesin*, 7(2), 77-84.
- Yulianti, S., Fitrianiingsih, Y., & Jati, D. R. (2013). Analisis Konsentrasi Gas Karbon Monoksida (CO) pada Ruas Jalan Gajah Mada. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 2(1),1-10.
- Zellia, S., Indrawan, I., Setyowati, L., & Faisal, M. (2018). Analisis Sebaran Total Suspended Particulate (TSP) Dengan Model Gaussian Point Source Di Pembangkit Listrik Berbahan Bakar Biomassa. *Jurnal Dampak*, 15(2), 82-8.