

RANCANG BANGUN DAN UJI TEKNIK KOMPOR BERBAHAN BAKAR LIMBAH BIOMASA PERTANIAN

Rahmad Hari Purnomo, Endo Argo Kuncoro, Dian Wahyuni

Program Studi Teknik Pertanian, Jurusan Teknologi Pertanian
Fakultas Pertanian, Universitas Sriwijaya, Indralaya 30662
Telp (0711) 580664 Fax. (0711)580279

Abstract

The research objective was to design and test of stove using agricultural waste biomass fuel. Engineering design was used in this research. The collected data was presented and tabular and graphical forms. This research was consisted of design, fabrication, technical test and performance analysis of stove which used agricultural waste biomass fuel. The observed parameters were combustion operational time, fuel consumption rate, specific gasification rate, combustion efficiency, heat energy input and ash percentage. Results showed that the highest combustion operational time was found on rice husk with magnitude of 0.43 hour and the lowest was found on wood chips with magnitude of 0.22 hour. The highest fuel consumption and gasification rates were found on wood chips with magnitude of 3.92 kg/h and 74.81 kg/m².h, whereas the lowest was found on rice husk with magnitude of 2.33 kg/h and 44.01 kg/m².h. The highest heat energy input value was found on wood chips with magnitude of 5,033.34 kcal, whereas the lowest was found on rice husks with magnitude of 3,411.29 kcal. The highest combustion efficiency was found on rice husk with magnitude of 4.67 % and the lowest was found on acacia leaves of 3.04 %. The highest ash percentage was found at rice husk with magnitude of 30 % and the lowest of 15 % was found on wood chips.

Keywords : Biomass, stove, calorific value, technical test, combustion efficiency

Pendahuluan

Bahan bakar konvensional seperti minyak tanah dan gas yang terus meningkat harganya akan menyebabkan banyak penduduk yang mengalami kesulitan untuk memenuhi kebutuhan energi keluarga mereka sehari-hari karena keterbatasan kemampuan ekonomi. Beberapa penduduk bahkan telah banyak yang beralih ke kayu bakar untuk keperluan energi sehingga hal ini akan membahayakan usaha pemerintah untuk memelihara kelestarian hutan dan program penghijauan (Febrianto, 1999). Pada sisi yang lain banyak dijumpai limbah biomassa pertanian yang belum dimanfaatkan atau bahkan hanya dibuang atau dibakar begitu saja sehingga dapat menyebabkan masalah pencemaran lingkungan (Hambali, 2007).

Pemanfaatan limbah biomassa sebagai sumber bahan bakar disebabkan

karena limbah tersebut mempunyai kandungan energi yang cukup signifikan. Sebagai contoh sekam padi dapat dimanfaatkan untuk sumber energi panas karena kadar selulosanya cukup tinggi sehingga dapat memberikan pembakaran yang merata dan stabil. Sekam padi memiliki kerapatan jenis (*bulk density*) 125 kg/m³ dengan nilai kalori 3.300 kkal/kg sekam. Pada sisi lain, tatal kayu sebagai limbah industri perkayuan diketahui mempunyai nilai kalor sebesar 6.341 kkal/kg dan kadar karbon terikat 74,35 % (Pari, 2002). Daun akasia biasanya hanya dimanfaatkan sebagai mulsa atau kompos untuk tanaman kelapa sawit mempunyai nilai kalor sebesar 4.800–4.900 kkal/kg (Goenadi *et al.*, 2007). Berdasarkan potensi sekam padi, tatal kayu, dan daun akasia yang begitu besar sebagai sumber energi maka sangat memungkinkan penggunaan limbah

tersebut sebagai bahan bakar alternatif pada rumah tangga sebagai pengganti energi kayu atau bahan bakar minyak (Pari, 2002).

Prinsip dasar kompor adalah sebagai sarana proses pembakaran bahan bakar. Proses pembakaran adalah reaksi kimia antara bahan bakar dan oksigen. Pada proses ini perlu diperhatikan rasio antara jumlah bahan bakar dan oksigen (yang diwakili oleh laju aliran udara) yang tepat sehingga proses pembakaran mendekati sempurna. Hal lain yang perlu diperhatikan adalah efisiensi panas yang dihasilkan pada kompor. Selanjutnya juga perlu dipertimbangkan masalah biaya, kemudahan operasi dan pemeliharaan kompor (Armando *et al.*, 2005).

Kompor secara umum memiliki beberapa bagian utama dengan fungsi masing – masing yang antara lain meliputi tempat bahan bakar (minyak atau limbah biomasa), tungku pembakaran dan aliran udara alami (Kurniawan *et al.*, 2008). Kompor berbahan bakar biomasa 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 (Basyuni, 1993). Uji teknik dilakukan pada kompor untuk mengetahui proses pembakaran yang terjadi dan efisiensi panas yang dihasilkan dalam proses perhitungan (Belonio, 2005).

Bahan dan Metode

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sekam padi, tatal kayu, daun akasia, plat besi, semen, abu sekam padi, engsel kuningan, cat besi, ampelas, kuas cat, kabel listrik, dan air bersih. Metode yang digunakan adalah metode rancangan teknik pada objek penelitian. Data yang diperoleh akan dianalisis secara tabulasi dan grafik. Objek penelitian

berupa perancangan, pabrikasi, uji teknik dan analisis kinerja kompor berbahan bakar limbah biomasa pertanian.

Hasil dan Pembahasan

Rancangan Fungsional

Kompor berbahan bakar biomasa ini terdiri atas 6 bagian utama yaitu tabung reaktor, wadah abu di bagian bawah tabung (menyatu dengan tabung reaktor), blower, tempat pembakaran (kompor), meja kompor, dan pipa penyalur gas biomasa dari tabung reaktor ke kompor. Tabung reaktor merupakan tempat biomasa dan tempat pembakaran biomasa sehingga merubah biomasa menjadi gas yang disalurkan melalui pipa utama dan pipa- pipa lateral sehingga dapat menyalakan kompor karena gas yang dihasilkan dari pembakaran biomasa. Pembakaran di dalam tabung reaktor dibantu oleh oksigen yang disalurkan melalui pipa penghubung dari blower dan tabung reaktor.

Wadah abu merupakan bagian kompor biomassa yang dibuat serangkai dengan tabung reaktor. Wadah abu dilengkapi pintu yang berfungsi untuk mengeluarkan abu sisa dari pembakaran yang terjadi pada tabung reaktor. Pintu pada saat operasi harus dalam keadaan tertutup agar tak terjadi pertukaran udara dari tabung reaktor dan lingkungan.

Kompor sebagai tempat pembakaran merupakan tempat pengeluaran gas yang dihasilkan dari pembakaran biomassa yang ada pada tabung reaktor. Kompor dirangkai dengan meja kompor tempat meletakkan alat masak.

Rancangan Struktural

Susunan bagian–bagian penting kompor biomasa secara struktural adalah tabung reaktor, tempat abu, pipa - pipa, rangka meja kompor, dan kompor pembakaran. Tabung reaktor terbuat dari bahan plat besi datar dengan tebal 0,2 mm yang

dilengkungkan sehingga membentuk tabung. Reaktor dibentuk seperti tabung untuk mempermudah proses pengaliran oksigen di dalam tabung sehingga lebih mudah terjadinya proses gasifikasi. Tabung reaktor terdiri dari 2 tabung yaitu tabung luar dan tabung dalam. Tabung luar berdiameter 29 cm dan tabung dalam berdiameter 26 cm sedangkan tinggi tabung adalah 36 cm. Diantara kedua tabung diisi campuran semen dan abu sebagai isolator panas dengan komposisi perbandingan 2:1. Tujuan menggunakan campuran abu dan semen karena abu dan semen merupakan isolator panas yang cukup baik. Tabung reaktor dilengkapi penutup tabung yang terbuat dari plat besi dengan tebal 2 mm. Tutup tabung memiliki lubang tangki berdiameter 7 cm yang berfungsi untuk memasukkan biomasa. Pada tengah tutup tabung diberi pipa berbentuk "T" untuk menyalurkan gas hasil gasifikasi dari tabung ke burner. Pipa terbuat dari plat besi yang berbentuk silinder dengan tebal 0,1 mm dan berdiameter 4 cm. Panjang pipa utama tegak yaitu 4 cm dan pipa mendatarnya 43,5 cm.

Wadah abu dibuat dengan plat besi dengan tebal 0,2 mm. Wadah abu berukuran dengan pxlxt yaitu (44,5 x 38,5 x 12,5) cm. Di dalam wadah abu terdapat kotak abu yang terbuat dari aluminium dengan tebal 0,5 mm. Kotak abu sebagai tempat abu hasil dari pembakaran di tabung memiliki ukuran sisi – sisi 24,5 cm dan tinggi 5 cm.

Proses pembakaran (burner) terdiri dari 2 kepala kompor dan kerangka meja kompor. Kerangka meja kompor terbuat dari plat besi siku dengan tebal 1 mm dan diberi penyangga kompor agar lebih kokoh yang menggunakan behel dengan ukuran 8 mm. Ukuran kerangka meja kompor 96 cm x 49 cm x 74 cm. Kepala kompor terbuat dari seng dengan tebal 0,5 mm. Ukuran kompor terdiri dari lingkaran luar berdiameter 18 cm dan tinggi 15 cm. Lingkaran luar diberi

lubang sekunder tempat mengalirkan udara dengan diameter lubang sebesar 0,7 cm dan jarak antar lubang 4,5 cm. Lingkaran dalam kompor dibuat dengan diameter 10,5 cm dan tinggi 12 cm. Lingkaran dalam juga diberi lubang di atas lingkaran untuk mengalirkan gas dari hasil pembakaran. Lubang pada kompor dalam memiliki diameter 0,4 cm dengan jarak antar lubang 0,7 cm.

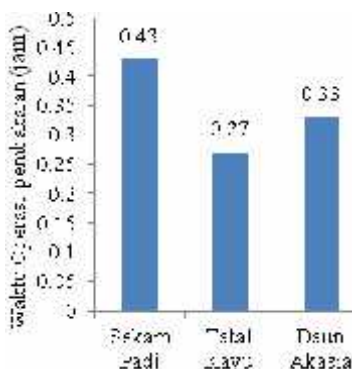
Waktu Operasi Pembakaran

Rata-rata waktu operasi pembakaran ditunjukkan pada Gambar 1. Rata-rata waktu operasi pembakaran biomassa paling lama terjadi pada biomassa sekam padi yaitu 0,43 jam dan rata-rata waktu operasi pembakaran paling singkat terjadi pada tatal kayu yaitu 0,27 jam. Daun akasia memiliki rata-rata waktu operasi yaitu 0,33 jam. Perbedaan waktu operasi pembakaran karena perbedaan nilai kerapatan pada biomassa. Sekam padi memiliki kerapatan yang tinggi yaitu sebesar 109,51 kg/m³ dengan ukuran yang lebih halus dan bentuk yang seragam menyebabkan proses pembakaran lebih lambat berlangsung karena kecilnya pori udara antar partikel sekam padi sehingga oksigen sebagai komponen pembakaran tidak mencukupi untuk pembakaran dan waktu operasi pembakaran sekam padi akan lama (Pratoto, 2010).

Pada tatal kayu dengan kerapatan terendah sebesar 35,39 kg/m³ dengan ukuran partikel yang lebih kasar dari sekam padi (pipih) dan tidak seragam memiliki waktu operasi pembakaran yang lebih cepat karena pada saat pembakaran oksigen dapat bergerak bebas melalui ruang pori antar partikel tatal kayu dan mempercepat proses pembakaran. Daun akasia dengan kerapatan 44,62 kg/m³ dan ukuran yang besar namun lebih seragam dari tatal kayu memiliki waktu operasi pembakaran yang sedang diantara tatal kayu dan sekam padi karena oksigen dapat

bergerak bebas diantara ruang pori antar partikel namun ruang antar partikel lebih

kecil dibandingkan tatal kayu sehingga waktu operasi pembakaran sedang.

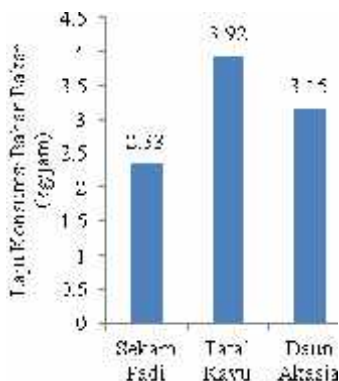


Gambar 1. Rata-rata waktu operasi pembakaran biomassa

Laju Konsumsi Bahan Bakar

Rata-rata laju konsumsi bahan bakar dapat dilihat pada Gambar 2. Rata-rata laju konsumsi bahan bakar tertinggi terdapat pada biomassa tatal kayu

sebesar 3,92 kg/jam dan laju konsumsi bahan bakar terendah dimiliki sekam padi sebesar 2,33 kg/jam. Daun akasia memiliki laju konsumsi bahan bakar sebesar 3,15 kg/jam.



Gambar 2. Laju konsumsi bahan bakar

Perbedaan laju konsumsi bahan bakar diduga karena perbedaan waktu operasi pembakaran yang berhubungan dengan ukuran partikel pada biomassa. Pada sekam padi dengan waktu operasi pembakaran yang lama menghasilkan laju konsumsi bahan bakar yang rendah karena pada saat proses pembakaran oksigen yang dihembus blower tidak dapat masuk dengan mudah karena kecilnya ukuran partikel menyebabkan kerapatan tinggi dan oksigen untuk pembakaran terhambat sehingga sekam

padi lambat terbakar. Sedangkan tatal kayu dengan waktu operasi yang rendah namun memiliki laju konsumsi bahan bakar yang tinggi. Hal tersebut karena ukuran tatal kayu yang besar dan bentuk permukaan yang tidak seragam menyebabkan banyaknya pori antar partikel sehingga oksigen yang dibutuhkan untuk pembakaran dapat terpenuhi dan udara dapat merambat dengan cepat yang menyebabkan tatal kayu cepat habis terbakar. Proses pembakaran yang cepat juga menyebabkan bahan bakar yang

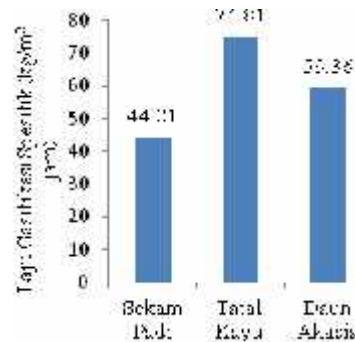
cepat habis sehingga konsumsi bahan bakar juga tinggi.

Laju Gasifikasi Spesifik

Rata-rata laju gasifikasi spesifik ditunjukkan pada Gambar 3. Rata-rata laju gasifikasi spesifik tertinggi dimiliki oleh tatal kayu sebesar 74,81 kg/m².jam. Rata-rata laju gasifikasi spesifik terendah dimiliki oleh sekam padi sebesar 44,01 kg/m².jam dan daun akasia memiliki rata-rata laju gasifikasi spesifik yaitu 59,36 kg/m².jam.

Laju gasifikasi spesifik dipengaruhi oleh jumlah bahan bakar yang digunakan dan waktu operasi pembakaran. Perbedaan laju gasifikasi spesifik tersebut diduga karena perbedaan waktu operasi pembakaran yaitu periode biomassa menghasilkan gas sampai tidak

dihasilkan gas yang mudah terbakar. Apabila waktu operasi pembakaran besar maka laju gasifikasi spesifik akan semakin lambat dan apabila waktu operasi pembakaran kecil maka laju gasifikasi spesifik cepat. Pada penelitian ini menggunakan biomassa yang berbeda dengan berat bahan bakar yang digunakan sama sehingga yang mempengaruhi hanya waktu operasi pembakaran. Sekam padi memiliki waktu operasi pembakaran yang tinggi dan laju gasifikasi yang rendah. Tatal kayu memiliki waktu operasi pembakaran yang rendah sehingga laju gasifikasi cepat berlangsung. Sekam padi dengan partikel yang kecil memiliki densitas permukaan yang besar dan hal ini akan meningkatkan laju gasifikasi.



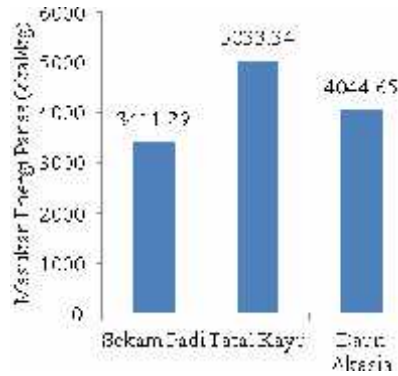
Gambar 3. Rata-rata laju gasifikasi spesifik

Masukan Energi Panas

Rata-rata masukan energi panas yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 4. Rata-rata masukan energi panas tertinggi terjadi pada biomassa tatal kayu sebesar 5.033,34 kkal. Sekam padi memiliki nilai masukan energi panas yang terendah yaitu sebesar 3.411,29 kkal. Masukan energi panas daun akasia terletak antara sekam padi dan tatal kayu yaitu sebesar 4.044,65 kkal.

Perbedaan masukan energi panas pada biomassa diduga karena perbedaan nilai kalor dari masing-masing biomassa. Sekam padi memiliki nilai kalor terendah

yaitu 3.411,29 kkal/kg dan tatal kayu memiliki nilai kalor tertinggi sebesar 5.033,34 kkal/kg, sedangkan daun akasia memiliki nilai kalor yaitu 4.044,65 kkal/kg. Nilai kalor biomassa sebanding dengan masukan energi panas karena jumlah bahan bakar yang digunakan sama yaitu sebanyak 1 kg. Nilai kalor pada biomassa dipengaruhi oleh komposisi kimia. Kandungan energi yang tinggi pada biomassa maka syntetic gas yang dihasilkan dari biomassa juga tinggi karena energi yang dapat dikonversi juga tinggi sehingga masukan energi panas tinggi.



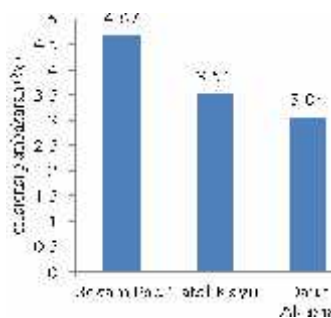
Gambar 4. Rata-rata masukan energi panas

Nilai kalor pada tatal kayu memiliki angka terbesar dibandingkan dengan sekam padi dan daun akasia karena dari kandungan analisis *ultimate* didapatkan kandungan C dan H menunjukkan nilai yang dominan sebesar 51,4 % (C) dan 6,2 % (H). Kedua unsur ini yang akan menghasilkan *synthetic gas*. Sedangkan *proximate* didapatkan kandungan *moisture* tatal kayu yang rendah sehingga tidak diperlukan pemanasan yang lama dan akan mengurangi energi yang terbuang untuk pemanasan sehingga masukan energi lebih besar. Sedangkan sekam padi dengan kandungan C 42,6 % dan H 5,0 % dan daun akasia dengan kandungan C 56,4 % dan H 4,2 % memerlukan pemanasan

yang lama dan energi banyak digunakan untuk pemanasan bahan bakar (Pranulu, 2010).

Efisiensi Pembakaran

Efisiensi pembakaran didapat dengan mengambil rata-rata pembakaran pada tabung gasifier dengan biomassa sekam padi, tatal gergajian kayu dan daun akasia sehingga dapat dilihat efisiensi panas yang dihasilkan dari masing-masing biomassa tersebut. Panas tidak seluruhnya dapat dimanfaatkan karena sebagian energi terbuang ke lingkungan sehingga efisiensi panas yang dihasilkan tidak optimal. Efisiensi panas dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Rata-rata efisiensi pembakaran

Efisiensi pembakaran tertinggi terjadi pada sekam padi yaitu sebesar 4,67%. Nilai efisiensi pembakaran terendah dimiliki oleh daun akasia sebesar 3,04 % . Tatal kayu memiliki efisiensi pembakaran sebesar 3,51 %.

Efisiensi pembakaran memiliki nilai yang kecil karena kehilangan panas dan perpindahan panas ke lingkungan dari reaktor. *Heat loss* yang diperhitungkan dalam analisa berupa perpindahan panas secara konveksi. Reaktor

gasifikasi dan pipa burner dengan diameter tertentu mengalami perpindahan panas secara konveksi ke udara sekeliling yang memiliki kecepatan tertentu sehingga perpindahan panas terjadi terhadap dinding reaktor. Proses kehilangan panas tersebut menyebabkan efisiensi pembakaran yang dihasilkan untuk pembakaran kecil.

Daun akasia memiliki efisiensi pembakaran yang rendah karena pada saat proses gasifikasi terjadi kehilangan panas yang besar pada tabung reaktor. Hal lain yang menyebabkan efisiensi pembakaran yang rendah pada daun akasia yaitu suplai oksigen yang tinggi mempengaruhi reaksi kimia pembentukan kandungan gas yang dapat terbakar karena oksigen akan menyebabkan berkurangnya gas terbakar yang terbentuk. Oksigen yang berlebih menyebabkan gas yang terbentuk pada saat pirolisis tidak seluruhnya ke burner namun menguap menjadi air sehingga tar lebih banyak terbentuk dan menyumbat burner. Oksigen bereaksi dengan gas hidrogen sehingga membentuk uap air.

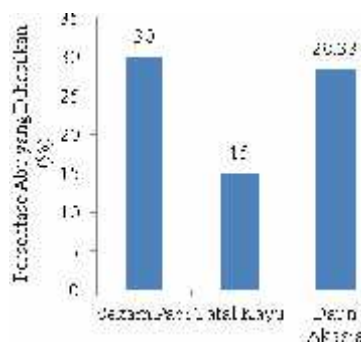
Sekam padi memiliki efisiensi pembakaran yang tinggi dengan nilai kalor terendah karena diduga pada saat operasi gasifikasi pada tabung reaktor *heat loss* kecil dan suplai oksigen yang cukup untuk gasifikasi menyebabkan gas yang terbentuk dapat mengalir ke burner tanpa hambatan karena jumlah tar yang terbentuk juga kecil sehingga pembakaran tidak tersumbat. Tatal kayu dengan

nilai kalor yang tertinggi namun memiliki efisiensi pembakaran yang lebih kecil dari sekam padi karena banyaknya *heat loss* pada saat proses gasifikasi sehingga *combustible gas* yang terbentuk pada saat pirolisis tidak berlangsung sempurna. Daun akasia memiliki nilai kalor lebih besar dibandingkan sekam padi namun memiliki nilai efisiensi terendah karena *heat loss* yang terjadi lebih besar sehingga *combustible gas* yang dihasilkan tidak terbentuk sempurna,

Efisiensi pembakaran juga dipengaruhi bentuk dan ukuran bahan bakar biomassa yang berbeda dapat menyebabkan kemacetan aliran bahan akan semakin besar yang selanjutnya akan berpengaruh pada tekanan dalam reaktor serta aliran gas keluar. Bentuk dan ukuran bahan bakar yang relatif seragam menyebabkan kemacetan dapat dihindari (Higman, 2003). Oleh sebab itu efisiensi sekam padi dengan bentuk yang seragam adalah lebih besar dibandingkan tatal kayu dan daun akasia.

Persentase Abu yang Dihasilkan

Abu berperan menurunkan mutu bahan bakar padat karena dapat menurunkan nilai kalor (Jamilatun, 2011). Pada proses gasifikasi abu yang dihasilkan tidak seutuhnya terbakar beberapa bagian berbentuk seperti arang karena proses gasifikasi dilakukan pembakaran dari bawah. Rata-rata persentase abu yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Rata-rata persentase abu yang dihasilkan biomassa

Rata-rata persentase abu yang dimiliki sekam padi lebih besar dibandingkan dengan tatal gergaji kayu dan akasia yaitu 30%. Tatal gergaji menghasilkan abu sebanyak 15 % dan daun akasia lebih dari sekam padi 28,33%. Perbedaan abu yang dihasilkan dari tungku pembakaran karena adanya perbedaan kandungan karbon. Sekam padi dengan nilai kadar abu tertinggi memiliki kadar karbon 42,6 % dan tatal kayu dengan kadar abu terendah memiliki kadar karbon yaitu 51,4 %, sedangkan daun akasia dengan kandungan karbon 56,4 %.

Kesimpulan

1. Rata-rata waktu operasi pembakaran, efisiensi pembakaran dan persentase abu yang dihasilkan tertinggi dimiliki oleh sekam padi yaitu 0,43 jam ; 4,67 % dan 30 %.
2. Rata-rata laju konsumsi bahan bakar, laju gasifikasi dan masukan energi panas tertinggi dimiliki oleh tatal kayu yaitu 3,92 kg/jam; 74,81 kg/m².jam dan 5.033,34 kkal
3. Sekam padi merupakan bahan bakar yang efisien untuk kompor biomassa dengan nilai efisiensi pembakaran tertinggi.

Daftar Pustaka

Armando, Rochim dan Suryo W.P. 2005. *Membuat Kompor Tanpa BBM*. Penebar Swadaya. Jakarta.

Basyuni, S., S. Sumaryono dan Suganda. 1993. *Pembuatan Briket Batu Bara Tidak Berasap Untuk Rumah Tangga*. Berita PPTM. Bandung.

Belonio, A.T. 2005. *Rice Husk Gas Stove Handbook*. Appropriate Technology Center, Department of Agricultural Engineering and Environmental Management, College of Agriculture, Central Philippine University, Iloilo City. Philippines.

Febrianto. 1999. *Pirolisis Serbuk Gergaji Secara Batch*. Laporan Penelitian Proses Kimia, Jurusan Teknik Kimia, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

Goenadi, D.H, Wayan R. Susila, dan Isroi. 2007. *Pemanfaatan Produk Samping Kelapa Sawit Sebagai Sumber Energi Alternatif Terbarukan*.

Hambali, E., Siti, M., Armansyah, H.H., Abdul, W.P. dan Roy, H. 2007. *Teknologi Bioenergi*. Agro Media . Jakarta.

Higman, C, and van der Berg, M 2003. *Gasification*, Elsevier Science, USA.

Jamilatun, S. 2011. *Kualitas Sifat-sifat Penyalaan dari Pembakaran Briket Tempurung Kelapa, Briket Serbuk Gergaji Kayu Jati, Briket Sekam Padi dan Briket Batubara*. Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia “Kejuangan” Pengembangan Teknologi Kimia untuk Pengolahan Sumber Daya Alam Indonesia. Yogyakarta, 22 Februari 2011.

Kurniawan, Oswan dan Marsono. 2008. *Superkarbon Bahan Bakar Alternatif Pengganti Minyak Tanah dan Gas*. Penebar Swadaya. Jakarta.

Pari, G. 2002. *Teknologi Alternatif Pemanfaatan Limbah Industri Pengolahan Kayu*. Makalah M.K. Falsafah Sains. Program Pasca Sarjana IPB. Bogor.

Pranulu, S.N.2010. *Potensi dan Karakteristik Biomassa*. Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret. Surakarta.

Pratoto, A. 2010. *Rancang Bangun Tungku Gasifier Pemanfaatan Kelapa Sawit sebagai Sumber Energi*. Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Padang. Padang.