

UJI PERFORMANSI GASIFIKASI BIOMASSA PADA PROSES STERILISASI BERBAHAN BAKAR LIMBAH MEDIA TANAM JAMUR MERANG

Ahmad Maulana K¹⁾, I Nyoman Suprpta Winaya²⁾, I Wayan Bandem Adnyana³⁾

¹⁾²⁾³⁾Jurusan Magister Teknik Mesin, Universitas Udayana

Jl. PB Sudirman – Denpasar Bali

e-mail : ahmedmaulana21@yahoo.co.id

Abstrak : Pada setiap budidaya jamur merang memerlukan proses sterilisasi dengan menggunakan uap panas yang dihasilkan dari boiler sederhana dengan tungku tradisional berbahan bakar kayu bakar. Penggunaan tungku tradisional pada aplikasi proses sterilisasi tersebut dinilai kurang efisien karena efisiensi pembakaran yang masih sangat rendah dan emisi gas buang yang mengganggu. Dengan demikian, penelitian ini dilakukan untuk mencoba menggunakan boiler dengan tungku gasifikasi. Pengujian proses sterilisasi dengan tungku gasifikasi ini dilakukan dengan membuat prototipe sterilisasi dan menggunakan kompor gasifikasi berbahan bakar limbah jerami, kapas, dan kardus. Pengujian dilakukan dengan dua variasi aliran udara pada reaktor gasifikasinya yaitu aliran alamiah dan aliran konveksi paksa. Dari hasil uji yang didapat, limbah jerami memiliki performansi yang paling buruk. Adapun limbah kardus memiliki performansi yang relatif sama dengan limbah kapas. Nilai laju kalor pembakaran tertinggi didapatkan pada limbah kapas dengan nilai sebesar 7,20 kW dengan nilai FCR sekitar 28,13 gr/min dan efisiensi pembakaran sebesar 21,7% pada aliran udara konveksi paksa.

Kata kunci: kompor gasifikasi, FCR, laju kalor pembakaran, efisiensi

TEST PERFORMANCE OF BIOMASS GASIFICATION FOR STERILIZATION PROCESS WHICH FUELED FROM WASTE GROWING MEDIA OF MUSHROOM

Abstract : Every mushroom cultivation requires steam sterilization process using heat that is generated from the boiler with simple traditional stove fueled by firewood. Using of traditional stoves on the application of the sterilization process is considered less efficient because the combustion efficiency is still very low and the exhaust emissions are disturbing. For that, this study was conducted to use boilers with gasification furnace for the application of the sterilization process. Study experimental of the sterilization process with gasification furnace was done by creating a prototype sterilization and using gasification stove with fueled from biomass waste like straw, cotton, and cardboard (corrugated paper). This experimental was done with two variations of air flow in the reactor that is natural convection flow and forced convection flow. From the test results obtained, waste straw has the worst performance. The cardboard waste has the same performance relative to cotton waste. The highest rate of combustion calorific value obtained is on cotton waste with a value of 7.20 kW with FCR is about 28.13 gr/min and a combustion efficiency of 21.7% for the forced convection air flow.

Keywords: gasification stove, FCR, the rate of heat combustion, efficiency

1. PENDAHULUAN

Biomassa telah menjadi sumber energi utama, sebelum penemuan bahan bakar fosil seperti batu bara dan minyak bumi. Meskipun perannya saat ini berkurang di negara maju, namun biomassa masih banyak digunakan masyarakat pedesaan dari negara-negara berkembang untuk kebutuhan energi mereka dalam hal memasak dan keperluan industri terbatas [1]. Umumnya biomassa yang digunakan sebagai bahan bakar tersebut langsung dibakar dalam bentuk padat pada sebuah tungku tradisional untuk menghasilkan panas. Salah satu penggunaan tungku tradisional untuk skala industri kecil yang sampai sekarang masih digunakan adalah penggunaan tungku tradisional sebagai penghasil uap panas (boiler) pada proses pemanasan kumbung jamur merang pada temperatur 70 – 80 °C.

Penggunaan tungku tradisional pada aplikasi proses sterilisasi kumbung jamur tersebut dinilai

kurang efisien karena efisiensi pembakaran yang masih sangat rendah dan emisi gas buang yang mengganggu lingkungan sekitar. Berdasarkan hasil pengamatan petani jamur di lapangan, dalam setiap kali proses sterilisasi untuk kumbung jamur berukuran 7x5x4 m tersebut, biasanya petani jamur menghabiskan ± 3 m³ kayu bakar dan minyak tanah sebagai bahan bakar tambahan sebanyak ± 30 liter, serta 300 liter air sebagai penghasil uap panasnya. Biaya yang dikeluarkan untuk sekali proses sterilisasi tersebut adalah sekitar 500 – 600 ribu rupiah.

Selain itu dalam setiap proses budidaya jamur merang, akan selalu menghasilkan limbah biomassa dalam jumlah yang melimpah. Dalam sekali panen (± 40 hari) kumbung jamur merang dengan ukuran 7x5x4 m tersebut, akan menghasilkan limbah biomassa sebanyak 1.200 kg (1,2 ton) limbah yang dibuang begitu saja tanpa dimanfaatkan terlebih

dahulu. Jenis limbah biomassa ini tergantung dari media tanam jamur merang yang digunakan oleh petani jamur. Umumnya petani jamur menggunakan media tanamnya berupa kapas, jerami, dan atau kardus. Ketiga limbah biomassa tersebut sebenarnya masih dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar.

Berdasarkan masalah tersebut diatas, maka penelitian ini dilakukan untuk menguji sistem kompor gasifikasi biomassa yang digunakan sebagai pengganti tungku tradisional dalam boiler pada proses sterilisasi kumbung jamur merang. Kompor gasifikasi yang dipakai, menggunakan 3 jenis bahan bakar limbah media tanam jamur merang (kapas, jerami, dan kardus) yang berjumlah melimpah tersebut. Uji performansi kompor gasifikasi dengan bahan bakar yang berbeda dilakukan dengan menggunakan ketiga jenis limbah biomassa tersebut sebagai bahan bakarnya. Dengan memanfaatkan limbah media tanam jamur tersebut berarti dapat menghemat biaya yang dikeluarkan untuk pembelian kayu bakar sebagai bahan bakar tungku tradisionalnya sehingga dapat lebih menguntungkan bagi para petani jamur merang.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dimulai dengan terlebih dahulu menentukan jenis reaktor gasifikasi dan kemudian membuat prototipe kumbung jamur merang berukuran kecil yaitu : 1,2 x 1 x 0,75 m. Berbagai macam jenis kompor gasifikasi skala rumah tangga telah tersedia di pasaran, diantaranya adalah kompor biomass UB 03 buatan M. Nurhuda dari Unibraw Malang, tungku sekam buatan F. Nawafi dari IPB, kompor gasifikasi JF buatan China dan lain sebagainya. Kompor sekam dari IPB, hanya dapat menggunakan satu jenis biomassa (sekam padi) sebagai bahan bakarnya [2]. Sedangkan kompor gasifikasi JF buatan China dilihat dari desainnya, memiliki bentuk yang kompleks dan kurang praktis dalam penggunaannya [3]. Adapun jenis reaktor gasifikasi yang digunakan pada pengujian ini adalah jenis kompor gasifikasi biomass UB-03 buatan M. Nurhuda dari Universitas Brawijaya Malang. Reaktor gasifikasi tersebut dipilih karena jenis kompor gasifikasi ini selain memiliki bentuk yang sederhana juga dapat menggunakan berbagai macam jenis biomassa sebagai bahan bakarnya dalam bentuk briket [4]. Jika persiapan dan semua bahan telah disediakan maka pengujian proses sterilisasi prototipe kumbung dapat dilakukan.

Proses selanjutnya adalah melakukan pemrosesan ketiga jenis limbah ini mengingat kondisi limbah media tanam jamur yang berupa jerami, kardus, dan kapas masih dalam keadaan basah dan tidak siap untuk langsung dijadikan sebagai bahan bakar. Proses/perlakuan yang dilakukan pada limbah tersebut meliputi: penggilingan, pencetakan dalam bentuk briket, dan pengeringan. Briket yang dibuat mempunyai ukuran panjang 10 cm, lebar 7cm, dan tebal 2 cm. Bahan baku briket yang telah digiling

tersebut dicampur dengan tepung tapioka sebagai perekat sebanyak 5 – 10 % dari massa biomasnya. Bahan tambahan yang diperlukan dalam pembuatan briket tersebut kemudian diaduk menjadi satu dan dicetak dalam bentuk padatan briket dengan menggunakan cetakan plastik dan diproses secara sederhana kemudian dikeringkan di bawah sinar matahari selama 3 hari. Gambar berikut ini merupakan contoh briket biomassa yang telah dibuat tersebut.



Gambar 2.1 Contoh briket limbah jerami, limbah kapas dan limbah kardus yang telah dibuat

Setelah briket dari ketiga jenis limbah siap digunakan, selanjutnya dapat melakukan pengujian kompor gasifikasi biomassa ini. Masing-masing bahan bakar tersebut digunakan pada proses sterilisasi prototipe kumbung dengan waktu sampai temperatur kumbung tercapai pada 70°C. Pada bagian dalam kumbung terdapat jerami sebagai media tanam jamur merang sebanyak 35 kg sekaligus sebagai beban pemanasan pada kumbung.

Pengambilan data dilakukan dengan cara mengukur ketiga jenis temperatur yang terdiri dari : temperatur reaktor gasifikasi sebanyak 4 titik, temperatur air dan uap masing-masing 1 titik, dan temperatur kumbung sebanyak 4 titik. Pengukuran temperatur gasifikasi yang sebanyak 4 titik tersebut diharapkan dapat mengetahui karakteristik dari 4 tahap proses gasifikasi tersebut dan diindikasikan dengan kode T1, T2, T3, dan T4. Temperatur air dan uap diindikasikan dengan kode T5, dan T6, sedangkan temperatur kumbung sebanyak 4 titik diindikasikan dengan T7, T8, T9, dan T10. Kesepuluh titik temperatur tersebut diukur dengan menggunakan termokopel yang terhubung dengan data akuisisi tipe KTE DA100 dan langsung menampilkan datanya pada perangkat komputer/laptop. Data temperatur yang terbaca pada komputer tersebut kemudian akan tercatat pada Tabel *excel* setiap 1 menit sekali secara otomatis. Proses pengambilan data dilakukan 2 kali untuk tiap bahan bakar biomassa dengan kondisi aliran udara yang berbeda, yaitu aliran udara alamiah dan aliran udara konveksi paksa dengan menggunakan blower mini memiliki arus 0,3A dan tegangan 12VDC, sehingga dayanya ±3 watt.

Sebuah timbangan mini digunakan untuk

menimbang jumlah massa bahan bakar biomassa yang disuplai pada ruang pembakaran sehingga dapat diketahui laju konsumsi bahan bakarnya (FCR). Data tentang massa bahan bakar biomassa tersebut tercatat

tersendiri secara manual pada Tabel yang lain. Gambar berikut merupakan skema pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini.



Gambar 2.2 Skema pengujian kompor gasifikasi pada sterilisasi prototipe kumbung

III. RUMUS PERHITUNGAN

Prinsip sederhana dari proses sterilisasi kumbung dengan menggunakan tungku tradisional tersebut sebenarnya merupakan serangkaian proses perubahan/perpindahan kalor dari energi bahan bakar kayu menjadi energi uap panas dan kemudian dipindahkan ke media tanam jerami dan ruangan kumbung. Proses ini dapat dianggap sebagai proses yang terjadi pada kesetimbangan energi pada boiler. Energi yang terkandung pada bahan bakar biomassa dikonversi menjadi energi kalor (panas) melalui proses pembakaran pada tungku/kompor. Energi kalor hasil pembakaran biomassa tersebut ($Q_{fuel} = Q_f$) kemudian digunakan untuk memanaskan air sehingga temperatur air mengalami kenaikan dan kemudian mengubah fasa air tersebut menjadi uap. Potensi energi kalor yang terkandung pada bahan bakar biomassa (Q_f) tersebut dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut ini, yaitu [5] :

$$Q'_f = FCR \times HHV \dots\dots\dots (1)$$

Dimana :

- Q'_f = laju kalor hasil pembakaran bahan bakar biomassa, (kW)
- FCR = laju massa bahan bakar biomassa yang terbakar selama pembakaran, (kg/s)
- HHV = nilai kalor pembakaran bahan bakar biomassa tiap satuan massa, (kJ/kg)

Karena proses yang terjadi pada boiler adalah pemanasan sensibel dan penguapan laten, maka untuk mengetahui berapa laju kalor yang diterima oleh air dapat dihitung dengan dengan dua cara, yaitu menghitung laju kalor sensibel dan atau laju kalor latennya. Untuk menghitung laju kalor sensibel pada air dapat menggunakan persamaan Asas Black, yaitu :

$$Q_{H2O} = \frac{m_{H2O} cp (T_2 - T_1)}{t} \dots\dots\dots (2)$$

Dimana :

- Q_{H2O} = laju kalor sensibel yang terpakai untuk memanaskan air (kW)
- m_{H2O} = massa air yang dipanaskan, (kg)

- cp = kalor jenis air, (= 4,19 kJ/kg°C)
- T_1 = temperatur air pada kondisi awal (kondisi lingkungan), (°C) dan
- T_2 = temperatur air pada kondisi akhir (kondisi air jenuh), (°C)
- t = waktu, (s)

Energi pada bahan bakar biomassa yang terpakai pada proses pembakaran tersebut tidak seluruhnya digunakan untuk memanaskan dan menguapkan air dalam bejana melainkan ada yang terbuang kelingkuhan dalam bentuk panas, maka besarnya efisiensi pembakaran pada tungku tersebut (efisiensi boiler = η_b) dapat dihitung dengan membandingkan transfer energi yang ada pada uap panas tersebut (Q_{H2O}) dengan energi yang dikeluarkan oleh bahan bakar biomassa yang terbakar (Q'_f) tersebut, yaitu sebagai berikut [5] :

$$\eta_b = \frac{Q_{H2O}}{Q'_f} \dots\dots\dots (3)$$

Dimana :

- η_b = efisiensi pembakaran boiler pada kompor biomassa
- Q_{H2O} = jumlah transfer kalor yang terdapat pada uap panas (kW)
- Q'_f = energi kalor hasil pembakaran bahan bakar biomassa, (kW).

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data asli yang didapat dari alat data akuisisi pada tabel excel dan grafiknya tidak dapat ditampilkan pada penulisan ini, sedangkan hasil resume dari data hasil pengujian disajikan pada Tabel 4.1 di bawah ini. Selanjutnya Tabel 4.2 merupakan tabel resume perhitungan laju kalor pembakaran, (Q_f), laju pemanasan air (Q_{H2O}) dan efisiensi pembakaran untuk tiap data pengujian yang telah dilakukan.

Terlihat pada Tabel 4.1 tersebut, karakteristik

temperatur gasifikasi untuk ketiga jenis limbah biomassa (L1, L2, dan L3) adalah berbeda-beda. Pada pengujian tersebut, limbah jerami (L1) memiliki

temperatur gasifikasi yang paling rendah bila dibandingkan dengan kedua jenis limbah yang lainnya (kapas dan kardus).

Tabel 4.1 Resume data hasil pengujian

No	Nama pengujian dan jenis briket	Waktu pemanasan (min)			Qty biomassa (gr)	Temp. Kumbung (°C)		Temp. gasifikasi tertinggi
		Sensibel	Latent	Total		Tercapai	Rata2	
Konveksi alamiah								
1	limbahjerami (L1)	58	0	58	1260	46	37	604
2	limbahkapas(L2)	43	31	74	1590	70	51	643
3	limbahkardus(L3)	45	30	75	1717	70	51	695
Konveksi paksa								
1	limbahjerami (L1)	37	34	71	2120	70	49	747
2	limbahkapas(L2)	34	30	64	2085	70	53	765
3	limbahkardus(L3)	30	36	66	2110	71	54	771

Tabel 4.2 Perhitungan laju kalor pembakaran

No	Parameter perhitungan	Konveksi alamiah			Konveksi paksa		
		L1 (jerami)	L2 (kapas)	L3 (kardus)	L1 (jerami)	L2 (kapas)	L3 (kardus)
1	Kondisi bahan bakar biomassa :						
	total (gr)	1260	1590	1715	2120	2085	2210
	sisanya (gr)	225	240	265	265	285	275
	terpakai (gr)	1035	1350	1450	1885	1800	1935
	waktu op, t (min)	58	74	75	71	64	66
	FCR (gr/min)	18.02	18.24	19.33	26.13	28.13	29.32
	HHV bb, (kJ/kg)	11881	15355	14388	11881	15355	14388
2	Laju kalor pembakaran bb, Q_f (kW)	3.57	4.67	4.62	5.17	7.20	7.01
3	Temp. gasifikasi tertinggi (□C)	604	643	695	747	765	771
4	Temp. kumbung tertinggi(□C)	41	70	70	70	70	71

Temperatur gasifikasi tertinggi yang dapat dicapai pada limbah jerami adalah sekitar 604°C untuk aliran alamiah dan 747 °C untuk aliran konveksi paksa, sedangkan untuk limbah kapas dan kardus dapat mencapai temperatur 643 °C dan 695 °C untuk aliran alamiah serta 765 °C dan 771 °C untuk aliran udara konveksi paksa. Perbedaan temperatur jerami yang rendah tersebut dikarenakan nilai kalor dari limbah jerami yang rendah pula. Tabel 4.3 berikut ini perbedaan nilai kalor antara ketiga jenis limbah biomassa hasil uji laboratorium, sedangkan Tabel 4.4 merupakan nilai laju kalor pembakaran hasil pengolahan data untuk tiap bahan bakar dengan variasi aliran udara alamiah dan konveksi paksa.

Dilihat dari nilai laju pembakarannya juga, limbah jerami memiliki nilai yang paling rendah bila dibandingkan dengan limbah kapas dan kardus. Nilai laju pembakaran pada limbah jerami tersebut sekitar 3,57 kW untuk aliran alamiah dan 5,17 kW untuk aliran konveksi paksa, sedangkan nilai laju kalor pembakaran pada limbah kapas dan kardus adalah sekitar 4,67 kW dan 4,62 kW untuk aliran udara alamiah serta 7,20 kW dan 7,01 kW untuk aliran konveksi paksa. Perbedaan nilai laju kalor

pembakaran antara limbah jerami dengan limbah kapas dan atau limbah kardus tersebut rata-rata sekitar 30 %. Perbedaan 30% tersebut kurang lebih sama dengan perbedaan dari nilai kalor pembakaran (HHV) limbah jerami terhadap nilai kalor limbah kapas atau kardus (lihat Tabel 4.3). Jadi, nilai kalor suatu bahan bakar akan mempengaruhi laju kalor pembakarannya.

Tabel 4.3 Perbedaan komponen penyusun ketiga limbah biomassa jamur merang hasil uji laboratorium

No	Kriteria	Jerami	Kapas	Kardus
Proximate Analisis :				
1	Fix Carbon (% massa)	10,15	13,16	9,21
2	Ash (% massa)	26,83	6,35	10,19
3	Volatile matter (% massa)	50,04	67,43	71,06
4	Moisture (% massa)	13,01	13,04	9,54
Ultimate Analisis :				
1	C (% massa)	32,71	43,75	40,49
2	H (% massa)	3,83	5,20	5,15
3	N (% massa)	1,56	1,32	0,18
Nilai kalor :				
1	HHV (kJ/kg)	11881	15355	14388

(sumber : Lab. Teknik Mesin, Universitas Udayana)

Pada pengujian ini juga divariasasi suplai udara yang masuk ke reaktor gasifikasinya dengan 2 perbedaan aliran udara masuk, yaitu aliran udara alamiah tanpa *blower* dan aliran udara konveksi paksa dengan *blower*. Dengan perbedaan variasi udara masuk tersebut didapatkan performansi gasifikasi yang berbeda pula. Untuk jenis limbah biomassa yang sama, dengan adanya tambahan aliran udara paksa dari *blower* akan menyebabkan

meningkatnya nilai FCR, nilai laju lakor pembakaran, dan menyebabkan tingginya temperatur gasifikasi yang dicapai. Tabel 4.5 berikut ini merupakan tabel perbedaan laju kalor pembakaran antara konveksi paksa dengan konveksi alamiah.

Tabel 4.4 Perhitungan laju kalor pemanasan air dan efisiensi pembakaran

No	Jenisbriket	m.air(kg)	Cp air (kJ/kg.°C)	Temp. air (°C)			Waktu, t (min)	Q _{H2O} (kW)	Q _f (kW)	Eff(%)
				awal	akhir	ΔT				
<i>Konveksi alamiah :</i>										
1	Limbah jerami	10	4,19	29	99	70	50	0,97	3,57	27,2
2	Limbah kapas	10	4,19	29	100	71	41	1,21	4,67	25,9
3	Limbah kardus	10	4,19	30	100	70	40	1,22	4,62	26,4
<i>Konveksi paksa :</i>										
1	Limbah jerami	10	4,19	29	100	71	41	1,21	5,17	23,4
2	Limbah kapas	10	4,19	29	100	71	31	1,59	7,20	21,7
3	Limbah kardus	10	4,19	31	100	69	30	1,60	7,01	22,9

Tabel 4.5 Selisih perbandingan nilai laju kalor pembakaran, Q_f dengan perlakuan laju aliran udara yang berbeda

No	Jenisbriket	Q _f (kW)		Selisih	
		konv. paksa	konv. alami	aktual (kW)	persentase
1	Limbah jerami	5.17	3.57	1.60	44.8%
2	Limbah kapas	7.20	4.67	2.53	54.2%
3	Limbah kardus	7.01	4.62	2.39	51.7%

Terlihat pada Tabel diatas, untuk jenis bahan bakar yang berbeda penambahan debit aliran udara yang sama ternyata akan menaikkan nilai laju kalor pembakaran, Q_f yang berbeda pula. Untuk limbah jerami, kenaikan nilai Q_f ini sekitar 1600 watt (44,8%) padahal penambahan aliran udara hanya dengan menggunakan blower yang memiliki daya ±3 watt. Kenaikan nilai Q_f paling besar terjadi pada bahan bakar jenis limbah kapas, dengan daya blower ±3 watt dapat menaikkan nilai Q_f sampai pada kenaikan 2530 watt (54,2%).

Berbeda dengan efisiensi pembakaran yang cenderung turun dengan adanya aliran udara masuk yang lebih besar/ditambah dengan blower (lihat Tabel 4.5). Hal ini menunjukkan bahwa penambahan aliran udara pada bagian masuk reaktor akan memperkecil nilai efisiensi pembakarannya. Efisiensi tertinggi didapat pada limbah jerami baik pada aliran alamiah maupun aliran konveksi paksa. Hal ini dikarenakan nyala api limbah jerami yang relatif lebih kecil bila dibandingkan dengan nyala api kedua bahan bakar yang lainnya.

5. SIMPULAN

Berdasarkan pada percobaan yang telah dilakukan tersebut, dapat diambil beberapa kesimpulan seperti berikut ini, yaitu :

1. Temperatur gasifikasi tertinggi yang dapat dicapai pada limbah jerami adalah 604 °C

untuk aliran udara alamiah dan 747 °C untuk aliran udara konveksi paksa. Nilai tersebut lebih rendah daripada limbah kapas dan kardus dimana didapatkan temperatur 643 °C pada kapas dan 695 °C pada kardus untuk aliran udara alamiah, serta 765 °C dan 771 °C untuk aliran udara konveksi paksa.

2. Nilai FCR untuk aliran udara alamiah antara limbah jerami dan limbah kapas relatif sama, berkisar pada nilai 18,02 gr/min untuk jerami dan 18,24 gr/min untuk limbah kapas, sedangkan FCR untuk limbah kardus lebih tinggi dari kedua jenis limbah tersebut yaitu sekitar 19,33 gr/min. Namun, untuk aliran konveksi paksa, FCR limbah jerami lebih kecil daripada limbah kapas, dan FCR limbah kapas lebih kecil daripada limbah kardus.
3. Nilai laju kalor pembakaran, Q_f pada limbah jerami juga memiliki nilai yang paling rendah yaitu 3,57 kW untuk aliran alamiah dan 5,17 kW untuk aliran konveksi paksa, sedangkan limbah kapas, meskipun nilai FCR-nya lebih rendah daripada limbah kardus namun memiliki nilai Q_f yang lebih tinggi daripada limbah kardus. Dimana nilai Q_f untuk limbah kapas sekitar 4,67 kW untuk aliran alamiah dan 7,20 kW untuk aliran konveksi paksa serta nilai Q_f untuk limbah kardus 4,62 kW untuk

aliran alamiah dan 7,01 kW untuk aliran konveksi paksa.

4. Nilai efisiensi pembakaran cenderung turun dengan bertambahnya aliran udara pada sisi masuk reaktor gasifikasi.
5. Dengan menambahkan blower ± 3 watt untuk aliran konveksi paksa pada sisi udara masuk reaktor gasifikasi, akan menaikkan laju kalor pembakaran Q sebesar 1600 watt (44,8%) untuk limbah jerami, 2530 watt (54,2%) pada limbah kapas dan 2390 watt (51,7%) pada limbah kardus.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Winata, Resiana. Perancangan Kompor Biomassa. Skripsi Jurusan Teknik Kimia, Universitas Indonesia. Depok. 2012
- [2] Nawafi F., R. D. Puspita, Desna, dan Irzaman. Optimasi Tungku Sekam Skala Industri Kecil Dengan Sistem Boiler. Jurnal Berkala Fisika Vol. 12, No. 3, Juli 2010. Departemen Fisika, FMIPA, Institut Peranian Bogor. 2010. ISSN : 1410 – 9662
- [3] <http://www.maksindo.com/mesin-kompor-gas-biomass.htm>
- [4] <http://prasetya.ub.ac.id/berita/Energi-Sampah-Kompor-Biomass-Ramah-Lingkungan-5205-id.html>.
- [5] Keating, Eugene L. *Applied combustion, Second Edition. Taylor & Francis Group, LLC. New York USA. 2007*
- [6] Reed, TB. *Handbook of Biomass Downdraft Gasifier Engine Systems. Solar Energi Research Institute. Golden Colorado, USA. 1988*