

Perancangan Gasifikasi *Downdraft* dengan Variasi Laju Aliran Oksigen sebagai Agen Gasifikasi

G.N.A. Satria Prasetya D.Y.^{1)*}, Made Sucipta^{1,2)} dan I Nyoman Suprpta Winaya^{1,2)}

¹⁾S2 Teknik Mesin Program Pascasarjana Universitas Udayana
Kampus Sudirman Denpasar, Bali

²⁾Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Udayana
Kampus Bukit Jimbaran, Bali 80362
Email: satris88@gmail.com

Abstrak

Energi biomassa adalah energi yang bersumber dari bahan biologis dari tumbuh-tumbuhan seperti kayu, sekam padi, bongkol jagung, dan lain sebagainya. Proses konversi biomassa menjadi energi dapat dilakukan dengan beberapa cara yaitu pembakaran, pirolisis, dan gasifikasi. Proses gasifikasi merupakan proses pemanfaatan biomassa dengan cara mengkonversi energi dari bahan baku padat (biomassa) menjadi syn-gas (gas hasil sintesa) yang nantinya dapat digunakan sebagai bahan bakar. Salah satu contoh gasifikasi yang telah dikembangkan adalah sistem downdraft. Proses gasifikasi memiliki beberapa faktor yang mempengaruhi proses dan kandungan syngas yang dihasilkannya yaitu, karakteristik biomassa, desain gasifier, jenis agen gasifikasinya, dan air-fuel ratio.

Dalam penelitian ini dirancang reaktor gasifikasi menggunakan pipa blackstell diemater 6" dengan tinggi reaktor 1 meter. Agen gasifikasi oksigen dipilih untuk mendapatkan hasil syngas yang lebih baik, dengan laju aliran oksigen sebesar 2, 4, dan 6 liter permenit, dan menggunakan serutan kayu sebagai bahan bakarnya.

Dari hasil penelitian diperoleh variasi laju aliran oksigen 4 lpm menghasilkan energi berguna dan efisiensi yang paling tinggi, kemudian diikuti pada laju aliran oksigen 6 lpm, dan terakhir paling rendah pada laju aliran oksigen 2 lpm. Hal ini selain dipengaruhi oleh persentase kandungan syngas CO, CH₄, dan H₂, juga dipengaruhi oleh lamanya pemanfaatan gas yang terjadi pada setiap variasi laju aliran oksigen. Dimana waktu pemanfaatan gas ini akan mempengaruhi nilai SA aktual yang menentukan jumlah mol syngas CO, CH₄, dan H₂.

Kata Kunci: Gasifikasi, Downdraft, Agen Gasifikasi Oksigen, Variasi Laju Aliran Oksigen, Efisiensi Gasifikasi

Abstract

Biomass energy is energy derived from biological material from plants such as wood, rice husk, corn head, and other. The process of conversion of biomass into energy can be process by combustion, pyrolysis, and gasification. The gasification process is a process of utilization of biomass by converting energy from a solid raw material (biomass) into syn-gas (the synthesis gas) that can later be used as fuel. One example of gasification that has been developed is a downdraft system. Gasification process has several factors that affect the process and content of syngas dihasilkannya ie, characteristics of biomass gasifier designs, types of agents gasifikasinya, and the air-fuel ratio.

In this study the gasification reactor is designed to use black steel pipe diameter of 6 "with a height of 1 meter reactor. Agent oxygen gasification syngas selected to obtain better results, the oxygen flow rate by 2, 4, and 6 liters per minute, and the use of wood as fuel shaved.

The results were obtained variation of the oxygen flow rate of 4 lpm produce useful

energy and efficiency are the highest, followed at 6 lpm oxygen flow rate, and the lowest last on oksigen flow rate of 2 lpm. This is in addition influenced by the percentage of syngas CO, CH₄ and H₂, is also influenced by the length of the gas utilization that occurred in each variasi oxygen flow rate. By which time the utilization of this gas will affect the actual value SA which determines the number of moles of syngas CO, CH₄ and H₂.

Key Words: Gasification, Downdraft, Oxygen AGEN Gasification, Variation of Oxygen Flow Rate, Efficiency of Gasifier

1. PENDAHULUAN

Energi merupakan kebutuhan pokok bagi kegiatan sehari-hari mulai dari kebutuhan rumah tangga sampai dengan kebutuhan di bidang industri. Ada beberapa macam energi yang dapat terbarukan seperti energi surya, energi panas bumi, energi angin, energi gelombang, energi biomassa dan lain sebagainya. Energi biomassa adalah energi yang bersumber dari bahan biologis dari tumbuh-tumbuhan seperti kayu, sekam padi, bongkol jagung, dan lain sebagainya.

Salah satu contoh biomassa yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif adalah serutan kayu. Keberadaan biomassa serutan kayu di Indonesia sangat banyak, mengingat Indonesia merupakan negara kehutanan dan produsen kerajinan kayu. Dalam proses produksi kayu akan menyisakan limbah berupa serutan kayu, namun limbah tersebut belum bisa dimanfaatkan secara maksimal, kenyataannya masih ada yang di tumpuk, sebagian dibuang ke aliran sungai (pencemaran air), atau dibakar secara langsung (ikut menambah emisi karbon di atmosfer). Padahal serutan kayu tersebut bisa dimanfaatkan sebagai salah satu sumber energi alternatif yang dapat terbarukan. Oleh sebab itu limbah serutan kayu cocok digunakan sebagai bahan bakar biomassa untuk energi alternatif.

Proses konversi biomassa menjadi energi dapat dilakukan dengan beberapa cara yaitu pembakaran, pirolisis, dan gasifikasi. Gasifikasi sebagai salah satu proses *thermal* konversi biomassa menjadi energi menawarkan efisiensi yang tinggi dibandingkan dengan proses pembakaran, sedangkan pirolisis saat ini masih dalam proses pengembangan lanjut.

Proses gasifikasi memiliki beberapa faktor yang dapat mempengaruhi proses dan kandungan syngas yang dihasilkan. Faktor-faktor tersebut berkaitan dengan karakteristik biomassa, desain gasifier, jenis agen gasifikasinya, dan *air-fuel ratio* (AFR) [4]. Untuk agen gasifikasinya yang sudah pernah digunakan adalah udara, oksigen, dan steam. Pada umumnya proses gasifikasi menggunakan udara sebagai agennya, namun gas yang dihasilkan tentunya tidak bagus jika menggunakan oksigen murni, karena dalam udara terdapat berbagai unsur lain yang tidak dibutuhkan dalam proses pembakaran seperti kandungan nitrogen. Untuk proses kontrol biasanya yang menentukan performa dari proses gasifikasi adalah volume dari reaktor tersebut dan laju aliran massa agen gasifikasi yang digunakan. Kebutuhan oksigen sebagai agen pada proses gasifikasi berada di antara batas konversi energi pirolisis dan pembakaran, karena itu dibutuhkan rasio yang tepat jika menginginkan hasil *syngas* yang maksimal.

Dari uraian di atas maka telah dibuat desain alat gasifikasi jenis *downdraft* dengan menggunakan agen gasifikasi oksigen untuk mendapatkan gas output yang lebih ramah lingkungan. Agar mendapatkan performa dan gas output yang terbaik perlu dilakukan eksperimen terhadap laju aliran oksigen sebagai agen gasifikasi yang digunakan.

2. METODE PENELITIAN

Kandungan utama biomassa adalah carbon, oksigen, dan hidrogen. Hal ini ditunjukkan pada tabel ultimate analysis. Pada tabel 1 memperlihatkan komposisi dari 13 biomassa.

Rumus kimia dari biomassa umumnya diwakili oleh $C_xH_yO_z$ nilai koefisien dari x, y dan z ditentukan oleh masing-masing biomassa.

Berdasarkan tabel 1 maka bisa dihitung kebutuhan oksigen pembakaran serutan kayu dengan persamaan:

◆ Oksigen untuk C = 48,2 % :
 $C + O_2 = CO_2$ (1)

◆ Oksigen untuk H = 5,9 % :
 $2 H_2 + O_2 = 2H_2O$ (2)

◆ Oksigen untuk S = 0,1 % :
 $S + O_2 = SO_2$ (3)

Kebutuhan oksigen C, H, dan S serutan kayu :

Kebutuhan oksigen Total = kebutuhan oksigen C + kebutuhan oksigen H + kebutuhan oksigen S - kandungan oksigen dalam biomassa (4)

Tabel 1. Analisis Ultimate dari Biomassa [5]

S.N	Biomass	Ultimate Analysis (wt %)				HHV ^a (MJ/kg)	Density (kg/m ³)	x	Y	Z	% conversion of carbon
		C	H	N	O						
1	Bagasse	43.8	5.8	0.4	47.1	16.29	111	3.65	5.8	2.94	81
2	Coconut coir	47.6	5.7	0.2	45.6	14.67	151	3.97	5.7	2.85	72
3	Coconut shell	50.2	5.7	0.0	43.4	20.50	661	4.18	5.7	2.71	65
4	Coir pith	44.0	4.7	0.7	43.4	18.07	94	3.67	4.7	2.71	74
5	Corn cob	47.6	5.0	0.0	44.6	15.65	188	3.97	5.0	2.79	70
6	Corn stalks	41.9	5.3	0.0	46.0	16.54	129	3.49	5.3	2.88	82.3
7	cotton gin waste	42.7	6.0	0.1	49.5	17.48	109	3.56	6.0	3.10	87
8	Ground nut shell	48.3	5.7	0.8	39.4	18.65	299	4.03	5.7	2.46	61.2
9	Millet husk	42.7	6.0	0.1	33.0	17.48	201	3.56	6.0	2.063	58
10	Rice husk	38.9	5.1	0.6	32.0	15.29	617	3.24	5.1	2.0	62
11	Rice straw	36.9	5.0	0.4	37.9	16.78	259	3.08	5.0	2.37	82.4
12	Sabuhul wood	48.2	5.9	0.0	45.1	19.78	259	4.02	5.9	2.82	70.2
13	Wheat straw	47.5	5.4	0.1	35.8	17.99	222	3.96	5.4	2.24	56.5
Average		44.6	5.5	0.3	41.8	17.32	253.84	3.72	5.49	2.61	70.89

^aHigher heating value.

Sementara itu kebutuhan oksigen untuk sistem gasifikasi adalah 25% dari kebutuhan stoikiometri pembakaran. Jadi kebutuhan oksigen serbuk kayu adalah:

$$0,25 \times 1,31 \frac{\text{kg } O_2}{\text{kg BB}} = 0,3275 \frac{\text{kg } O_2}{\text{kg BB}}$$

Jadi kebutuhan stoikiometri oksigen (SA) adalah : 0.3275 kg O₂/kg BB

Untuk menentukan *air fuel rate* perlu dihitung terlebih dahulu FCR. FCR adalah laju konsumsi bahan bakar. Dalam penelitian ini nilai kalor dari serut kayu ditentukan berdasarkan tabel 1 yaitu 19,78 MJ/kg.

Direncanakan energi yang dibutuhkan untuk mendidihkan 10 kg air yang bertemperatur rata – rata 27°c adalah dalam waktu 30 menit adalah:

$$Q = C_p \Delta T$$

$$Q = C_p (T_2 - T_1) \quad (5)$$

Kemudian dihitung nilai kalor bahan bakar yang diperlukan dengan persamaan:

$$Q_n = \frac{M_f \times E_g}{\tau} \quad (6)$$

Maka laju konsumsi bahan bakar serbuk kayu dapat dihitung:

$$FCR = \frac{Q_n}{HV_f \times \xi_g} \quad (7)$$

Dimana :

Q_n = energi yang dibutuhkan (kJ/jam)

M_f = massa air (kg)

ξ_g = Efisiensi tungku, efisiensi tungku digunakan 0,1 sesuai dengan perancangan reaktor sebelumnya.

Kemudian menghitung dimensi gasifier yang diperlukan dalam penelitian jika diasumsikan bahan bakar akan habis total setelah proses gasifikasi berlangsung selama 30 menit, dimana dari tabel 1 diketahui massa jenis untuk serutan kayu adalah 259 kg/m^3 , maka besarnya dimensi gasifikasi yang dibutuhkan adalah:

$$V_j = \frac{M_{FCR}}{\rho_j} \quad (8)$$

Jika menggunakan gasifier dengan bahan pipa black stell diameter 6" maka tinggi minimum gasifier yang dibutuhkan adalah:

$$h_m = \frac{V_j}{\frac{1}{4} \times \pi \times d^2} \quad (9)$$

dimana:

V_j = Volume bahan bakar yang dibutuhkan.

M_{FCR} = Massa bahan bakar yang dibutuhkan untuk proses gasifikasi selama 30 menit

ρ_j = Massa jenis serbuk kayu

h_m = Tinggi minimum gasifier

d = Diameter gasifier

OFR adalah tingkat aliran oksigen primer yang masuk ke reaktor. Untuk menentukan kapasitas aliran udara primer, kapasitas udara (AFR) dapat dihitung dengan persamaan:

$$OFR = \frac{\varepsilon_o \times FCR \times SA}{\rho_o} \quad (10)$$

Dimana :

OFR = *Oksigen fuel rate* (tingkat aliran Oksigen), (m^3/jam)

FCR = *fuel consumption rate* (kg/jam)

ρ_o = massa jenis oksigen = massa jenis udara (kg/m^3)

ε_o = rasio ekuivalensi (0,0735)

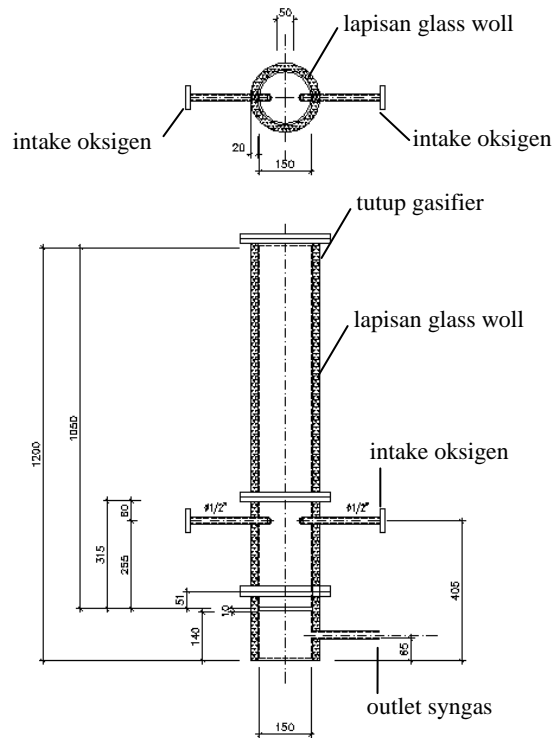
SA = oksigen stoikiometri dari bahan bakar padat pada proses gasifikasi

Dari perhitungan di atas maka desain reaktor downdraft untuk memanaskan air sebanyak 10 kg dalam waktu 30 menit, diperlukan diameter reaktor gasifier downdraft sebesar diameter 6" dengan tinggi reaktor 1 meter. Selain itu laju aliran oksigen minimal dibutuhkan sebesar 2 lpm (liter permenit) sehingga perlu dilakukan penelitian secara langsung dengan variasi laju aliran oksigen sebesar 2 lpm, 4 lpm, dan 6 lpm untuk memperoleh efisiensi aktual reaktor gasifikasi downdraft.

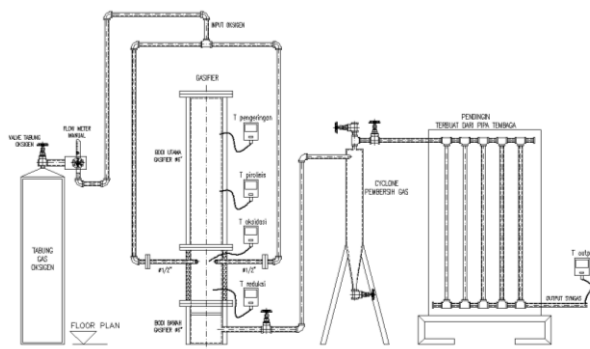
Pembuatan Reaktor Gasifier terbuat dari bahan-bahan yang mudah diperoleh. Bagian dalam reaktor gasifier terbuat dari pipa black stell diameter 6" dengan tipe SCH40, yang dibungkus dengan glass woll setebal 2cm, kemudian ditambah selubung alumunium foil disekelilingnya (gambar 1). Reaktor gasifikasi sendiri memiliki tinggi 100cm, dengan dua

sumber input agen gasifikasi dengan pipa black stell diameter 1/2". Laju oksigen sebagai agen gasifikasi diatur melalui valve dan diukur menggunakan flow meter gas.

Gambar 1 menunjukkan desain reaktor yang telah diuji. Gambar 2 menunjukkan gambar sistem gasifikasi keseluruhan, termasuk penempatan untuk tabung oksigen, gasifier downdraft, alat ukur termokopel, cyclone, pendingin, dan gas output.



Gambar 1. Desain Reaktor Downdraft



Gambar 2. Sistem Gasifikasi



Gambar 3. Sistem Gasifikasi saat Penelitian

3. PEMBAHASAN

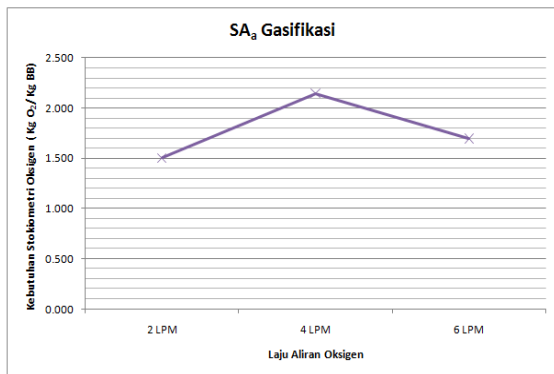
Dari hasil penelitian yang diperoleh mengenai sisa arang dan waktu operasional gasifer maka dihitung Fuel Consumption Rate aktual (FCR_a) dan kebutuhan oksigen stoikiometri

aktual (SA_a) menggunakan persamaan di bawah ini:

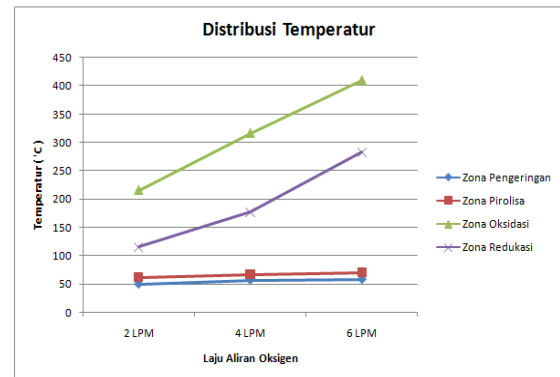
$$FCR_a = \frac{\text{berat bahan bakar} - \text{berat arang}}{\text{waktu operasional}} \quad (11)$$

$$SA_a = \frac{OFR_a \times \rho_a}{\varepsilon \times FCR_a} \quad (12)$$

maka diperoleh Gambar 3 untuk menunjukkan SA aktual yang terjadi saat berlangsungnya penelitian.



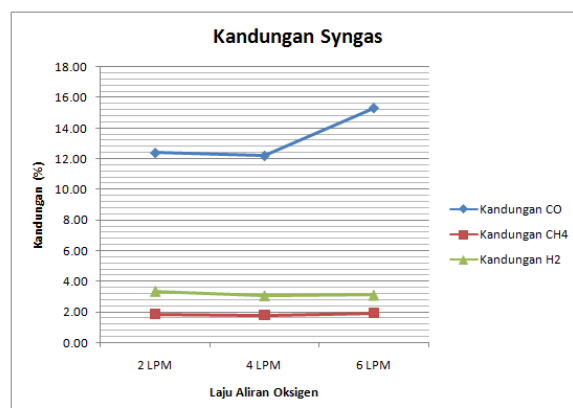
Gambar 3. SA aktual



Gambar 4. Distribusi Temperatur Rata-Rata

Dari gambar 3 diatas dapat dijelaskan bahwa SA aktual paling tinggi terjadi saat laju aliran oksigen 4 lpm. SA aktual ini dihitung agar nantinya kita bisa menentukan jumlah mol CO , CH_4 , dan H_2 yang dihasilkan pada setiap variasi penelitian.

Gambar 4 menunjukkan distribusi temperatur pada setiap zona pada proses gasifikasi, dapat dilihat dari grafik tersebut, untuk semua zona gasifikasi temperatur tertinggi terjadi pada laju aliran oksigen sebesar 6 lpm, kemudian 4 lpm, dan terendah pada 2 lpm. Hal ini terjadi karena saat laju aliran oksigen 6 lpm, bahan bakar yang terbakar lebih banyak, sehingga mengakibatkan luasnya ruang pembakaran (zona oksidasi) yang tentunya akan mengakibatkan temperatur menjadi lebih tinggi.



Gambar 5. Kandungan Syngas

Gambar 5 menunjukkan kandungan CO , CH_4 , dan H_2 yang terkandung dalam setiap pengujian yang dilakukan. Dimana kandungan gas CO paling banyak terjadi pada laju aliran oksigen 6 lpm, CH_4 paling banyak terjadi pada laju aliran oksigen 2 lpm, dan H_2 paling

banyak terjadi pada laju aliran oksigen 6 lpm.

Efisiensi gasifikasi (η) adalah kemampuan alat untuk mampu mengkonversikan bahan bakar menjadi gas mampu bakar/*syngas* (CO, H₂ dan CH₄). Parameter yang mempengaruhi efisiensi gasifikasi yaitu kandungan ultimat dari bahan bakar yang digunakan. Berdasarkan data hasil analisa ultimat, kebutuhan udara (SA) dan kandungan gas yang dihasilkan, maka efisiensi gasifikasi pada masing-masing variasi komposisi bahan bakar dapat dicari dengan cara berikut.

$$\text{Supply } N_2 \text{ Oksigen} = \text{Kandungan N pada Oksigen} \times SA_a \quad (13)$$

$$\text{Total N} = \frac{\text{Komposisi N BB} + \text{Supply } N_2 \text{ Oksigen}}{\text{berat molekul } N_2} \quad (14)$$

$$\text{Produksi N} = \frac{\text{Total N}}{\text{Kandungan } N_2 \text{ dari gas hasil}} \quad (15)$$

Menghitung energi pembakaran dari unsur-unsur gas yang berbeda, maka terlebih dahulu harus diketahui HHV dari masing-masing unsur. Dimana diketahui nilai HHV CO = 282,99 MJ/kg mol, HHV H₂ = 285,84 MJ/kg mol, dan HHV CH₄ = 890,36 MJ/kg mol. Maka dapat dihitung energi gas mampu bakar/*syngas* yang pada penelitian dihasilkan menggunakan persamaan 2.30 sebagai berikut:

$$\text{Energi } \textit{syngas} \text{ CO} = \text{Produksi N} \times \text{CO pada gas gasifikasi} \times \text{HHV CO} \quad (16)$$

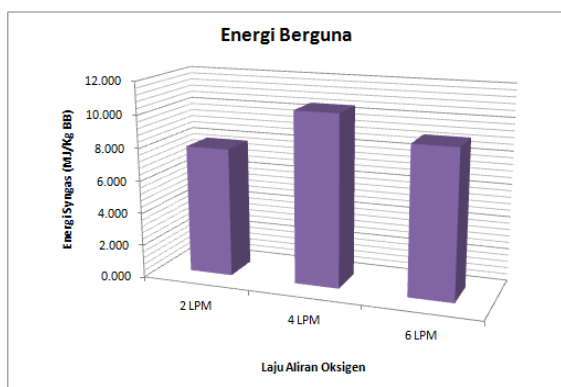
$$\text{Energi } \textit{syngas} \text{ H}_2 = \text{Produksi N} \times \text{H}_2 \text{ pada gas gasifikasi} \times \text{HHV H}_2 \quad (17)$$

$$\text{Energi } \textit{syngas} \text{ CH}_4 = \text{Produksi N} \times \text{CH}_4 \text{ pada gas gasifikasi} \times \text{HHV CH}_4 \quad (18)$$

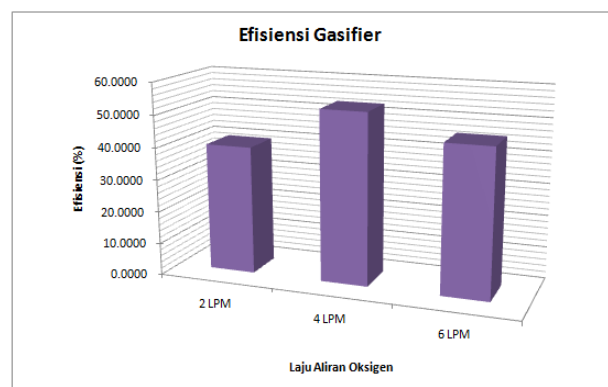
Mencari efisiensi gasifikasi (η) dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan 2.32 dan 2.33 sebagai berikut

$$\eta = \frac{\text{Energi } \textit{syngas}}{\text{Energi input}} \times 100\% \quad (19)$$

Dari persamaan persamaan di atas maka untuk energi *syngas* dan efisiensi pada setiap variasi dapat dilihat paada Grafik 6 dan grafik 7 dibawah ini.



Gambar 6. Energi Berguna



Gambar 7. Efisiensi

Dari Gambar 6 dan 7 dapat dijelaskan bahwa pada variasi laju aliran oksigen 4 lpm

menghasilkan energi berguna dan efisiensi yang paling tinggi, kemudian diikuti pada laju aliran oksigen 6 lpm, dan terakhir paling rendah pada laju aliran oksigen 2 lpm. Hal ini selain dipengaruhi oleh persentase kandungan *syngas* CO, CH₄, dan H₂, juga dipengaruhi oleh lamanya pemanfaatan gas yang terjadi pada setiap variasi laju aliran oksigen. Dimana waktu pemanfaatan gas ini akan mempengaruhi nilai SA aktual yang menentukan jumlah mol *syngas*.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan maka desain reaktor *downdraft* untuk memanaskan air sebanyak 10 kg dalam waktu 30 menit. Jika ditentukan diameter reaktor gasifier *downdraft* sebesar 6" maka tinggi reaktor yang diutuhkan adalah 1 meter. Selain itu laju aliran oksigen minimal dibutuhkan sebesar 2 lpm (liter permenit) sehingga perlu dilakukan penelitian secara langsung dengan variasi laju aliran oksigen sebesar 2 lpm, 4 lpm, dan 6 lpm untuk memperoleh efisiensi aktual reaktor gasifikasi *downdraft*.

Dari hasil penelitian diperoleh variasi laju aliran oksigen 4 lpm menghasilkan energi berguna dan efisiensi yang paling tinggi, kemudian diikuti pada laju aliran oksigen 6 lpm, dan terakhir paling rendah pada laju aliran oksigen 2 lpm.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Agung, Wusana W., (2010), "Perancangan dan Uji-Kinerja Reaktor Gasifikasi Reaktor Gasifikasi Skala Kecil", Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, UNS
- [2]. Angga, Yudanto, (2009), "Pembuatan Biobriket Bioarang dari Arang Serbuk Gergaji Kayu Jati", Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang
- [3]. Ciferno, Jared, (2002), "*Benchmarking Biomass Gasification Technologies for Fuels, Chemicals and Hydrogen Production*". U.S. Department of Energy, National Energy Technology Laboratory
- [4]. Hidayat, Ade, (2013), "Karakterisasi Proses Gasifikasi Biomassa pada Reaktor *Downdraft* Sistem Batch dengan Variasi *Air-Fuel Ratio* (AFR) dan Ukuran Biomassa", Universitas Gajah Mada
- [5]. Jean and Badeau Pierre, (2009), "*Biomass Gasification*", Chemistry Processes and Applications, Nova Science Publisher, Inc., New York
- [6]. Prabowo, Nandana Dwi, (2010), "Pengaruh Variasi *Air Fuel Ratio* (AFR) dan Ukuran Biomassa Terhadap Gasifikasi Biomassa Ampas Tebu pada reaktor *Downdraft* Sistem Batch", ITS
- [7]. Seloliman, (2007), "Limbah Kayu", Pusat Pendidikan Lingkungan Hidup (PPLH), Trawas, Mojokerto
- [8]. Slamet, I Wayan, (2012), "Tugas Akhir Performansi Reaktor *Downdraft* dengan Variasi Biomassa Sekam Padi dan Serbuk Kayu", Universitas Udayana