



Analisa Performa Gasifikasi Downdraft dengan Perbandingan antara Bodi Utama dan Cekikan Venturi Sebesar 3 : 1

Performance Analysis Comparison between the Gasification Downdraft and Strangulation Venturi Main Body of 3: 1

I Gusti Ngurah Agung Satria Prasetya Dharma Yudha¹, Made Sucipta², I Nym. Suprpta Winaya³

¹Program Studi Teknik Manufaktur Kapal, Politeknik Negeri Banyuwangi

^{2&3}Megister Teknik Mesin, Universitas Udayana

¹agungsatris@poliwangi.ac.id

Abstrak

Proses gasifikasi merupakan proses pemanfaatan biomassa dengan cara mengubah energi dari bahan baku padat (biomassa) menjadi gas sintesis (*syngas*), yang selanjutnya dapat digunakan sebagai bahan bakar. Contoh gasifikasi yang telah dikembangkan adalah sistem *downdraft*. Proses gasifikasi memiliki beberapa faktor yang mempengaruhi proses dan kandungan *syngas* yang dihasilkan yaitu karakteristik biomassa, desain *gasifier*, jenis agen gasifikasi dan perbandingan udara-bahan bakar. Pada penelitian ini dirancang sebuah reaktor gasifikasi, sistem menggunakan pipa baja hitam berdiameter 6 inci pada *main body* dan 2 inci pada cekikan venturi, dengan tinggi 1 meter. Menggunakan 2 liter, 4 liter, dan 6 liter per menit untuk laju aliran agen gasifikasi oksigen. Hasil penelitian menunjukkan bahwa laju aliran oksigen yang diberikan berbanding terbalik dengan lamanya proses gasifikasi, yang mana proses gasifikasi tercepat terjadi pada laju aliran oksigen 6 lpm (liter per menit), dan proses gasifikasi terlama terjadi pada 2 oksigen. Distribusi suhu di setiap zona selama proses gasifikasi memiliki suhu tertinggi pada laju aliran oksigen 6, kemudian 4 lpm, dan ketika laju aliran oksigen adalah 2 lpm, suhu paling rendah. Pada laju alir oksigen 4 lpm terjadi efisiensi terbaik sebesar 34,85%. Efisiensi dipengaruhi oleh kandungan gas CO, CH₄ dan H₂. Selain itu, efisiensi juga dipengaruhi oleh lamanya *syngas* yang tersedia (*continuous combustion*) selama proses gasifikasi, karena semakin lama pemanfaatannya maka semakin banyak *syngas* yang akan dihasilkan.

Kata Kunci: gasifikasi, downdraft, agen gasifikasi oksigen, variasi laju aliran oksigen, efisiensi gasifikasi.

Abstract

The gasification process is the process of utilizing biomass by converting energy from solid raw materials (biomass) to synthesis gas (*syngas*), which can then be used as fuel. An example of gasification that has been developed is the *downdraft* system. The gasification process has several factors that influence the process and the resulting *syngas* content, namely the characteristics of the biomass, the design of the *gasifier*, the type of gasification agent and the air-fuel ratio. In this research, a gasification reactor is designed, the system uses a black steel pipe with a diameter of 6 inches in the main body and 2 inches in the strangulation venturi, with a height of 1 meter. Uses 2 liters, 4 liters, and 6 liters per minute for the flow rate of the oxygen gasifying agent. The results showed that the oxygen flow rate given was inversely proportional to the length of the gasification process, where the fastest gasification process occurred at an oxygen flow rate of 6 lpm (liters per minute), and the longest gasification process occurred at 2 oxygens. The temperature distribution in each zone during the gasification process has the highest temperature at the oxygen flow rate of 6, then 4 lpm, and when the oxygen flow rate is 2 lpm, the lowest temperature. At the oxygen flow rate of 4 lpm, the best efficiency was 34.85%. Efficiency is influenced by the gas content of CO, CH₄ and H₂. In addition, efficiency is also influenced by the length of *syngas* available (*continuous combustion*) during the gasification process, because the longer it is used, the more *syngas* will be produced.

Keywords: gasification, downdraft, oxygen gasification agent, variation of oxygen flow rate, gasification efficiency.

PENDAHULUAN

Dalam aktivitas kita sehari-hari, dari kebutuhan rumah tangga hingga kebutuhan industri, semua membutuhkan energi. Energi mencakup dua sumber, yaitu energi terbarukan dan energi tak terbarukan. Energi terbarukan berasal dari energi matahari, energi panas bumi, energi angin, energi gelombang dan energi biomassa. Energi biomassa mengacu pada energi bahan biologis dari tumbuhan seperti kayu, sekam padi, dan tongkol jagung.

Limbah serutan kayu merupakan salah satu contoh biomassa yang dapat digunakan sebagai sumber energi alternatif. Mengingat Indonesia merupakan negara kehutanan yang besar dan penghasil kerajinan kayu. Serutan kayu merupakan limbah yang dihasilkan dari proses produksi kayu. Kondisi saat ini limbah tersebut belum dapat dimanfaatkan secara maksimal, bahkan ada yang masih menumpuk, ada pula yang dibuang ke sungai atau langsung dibakar [1]. Oleh karena itu, serutan kayu cocok digunakan sebagai energi alternatif bahan bakar biomassa.

Gasifikasi adalah metode untuk mengubah biomassa menjadi energi. Faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi gasifikasi antara lain adalah karakteristik biomassa, desain *gasifier*, jenis agen gasifikasi dan *air-fuel ratio* (AFR) [2]. Agen gasifikasi yang digunakan adalah udara, oksigen dan *steam*. Umumnya agen gasifikasi udara digunakan untuk proses gasifikasi, namun gas yang dihasilkan sudah pasti tidak sebaik oksigen murni, karena di dalam udara terkandung unsur lain seperti nitrogen pada saat proses pembakaran. Guna menghasilkan *syngas* dan efisiensi yang terbaik, proporsi oksigen yang tepat harus memasuki proses gasifikasi.

Menurut uraian di atas, *gasifier downdraft* telah dibuat dengan menggunakan oksigen sebagai agen gasifikasi. Lalu untuk mendapatkan unjuk kerja terbaik telah dilakukan percobaan pada laju aliran oksigen yang digunakan.

METODE PENELITIAN

Komponen utama biomassa yang dimanfaatkan sebagai bahan bakar adalah karbon, oksigen dan hidrogen, ditunjukkan pada Tabel 1. Ini menunjukkan komposisi 13 jenis biomassa. Rumus kimia biomassa biasanya dinyatakan dengan nilai koefisien $C_xH_yO_z$ dari x, y, dan z yang ditentukan untuk setiap biomassa.

Berdasarkan Tabel 1, persamaan berikut dapat digunakan untuk menghitung kebutuhan oksigen untuk serutan kayu yang terbakar [3]:

- Oksigen untuk C = 48,2 % :



- Oksigen untuk H = 5,9 % :



- Oksigen untuk S = 0,1 % :



Kebutuhan oksigen :

$$\text{Kebutuhan oksigen Total} = \text{kebutuhan } O_2 \text{ pada C} + \text{kebutuhan } O_2 \text{ pada H} + \text{kebutuhan } O_2 \text{ pada S} - \text{kandungan } O_2 \text{ di dalam biomassa} \tag{4}$$

Tabel 1. Data Kandungan Senyawa dari Biomassa [4]

SN.	Biomass	Ultimate Analysis (wt%)				HHV (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	81,0
2	Coconut coir	47,6	5,7	0,2	45,6	14,67	151	3,97	5,7	2,85	72,0
3	Coconut shell	50,2	5,7	0,0	43,4	20,50	661	4,18	5,7	2,71	65,0
4	Coir pith	44,0	4,7	0,7	43,4	18,07	94	3,67	4,7	2,71	74,0
5	Corn cob	47,6	5,0	0,0	44,6	15,65	188	3,97	5,0	2,79	70,0
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	87,0
8	Ground nut shell	48,3	5,7	0,8	39,4	18,65	299	4,03	5,7	2,49	61,2
9	Millet husk	42,7	6,0	0,1	33,0	17,48	201	3,56	6,0	2,06	58,0
10	Rice husk	38,9	5,1	0,6	32,0	15,29	617	3,24	5,1	2,00	62,0
11	Rice straw	35,9	5,0	0,4	37,9	16,78	259	3,08	5,0	2,37	82,4
12	Subabul 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	254	3,72	5,5	2,61	70,9

Pada saat yang sama, kebutuhan oksigen sistem gasifikasi adalah 25% dari kebutuhan stoikiometri pembakaran. Oleh karena itu, kebutuhan oksigen untuk serutan 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 oksigen stoikiometri (SA) adalah: 0,3275 kg oksigen / kg bahan bakar.

Guna menentukan perbandingan udara-bahan bakar, FCR harus dihitung terlebih dahulu. FCR adalah tingkat konsumsi bahan bakar. Pada penelitian ini nilai kalor serutan kayu ditentukan sesuai Tabel 1 yaitu 19,78 MJ / kg.

Rencanakan untuk merebus 10 kilogram air dengan suhu rata-rata 27° C dalam 30 menit:

$$Q = C_p \Delta T$$

$$Q = C_p (T_2 - T_1) \tag{5}$$

Kemudian hitung nilai kalor bahan bakar yang dibutuhkan dengan persamaan:

$$Q_n = \frac{M_f \times E_s}{T} \quad (6)$$

Kemudian tingkat konsumsi bahan bakar serutan kayu dapat dihitung:

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

Keterangan :

- Q_n = Energi yang dibutuhkan (kJ/jam)
- M_f = Massa air (kg)
- ξ_g = Efisiensi *gasifier* (0,1)

Kemudian jika diasumsikan bahan bakar akan benar-benar habis setelah proses gasifikasi berlangsung selama 30 menit maka dihitung ukuran tungku gasifikasi yang dibutuhkan dalam penelitian tersebut. Dari Tabel 1 terlihat bahwa densitas serutan adalah 259 kg/ m³, jadi Ukuran penguapan yang dibutuhkan adalah:

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

Jika digunakan *gasifier* dengan pipa baja hitam berdiameter 6 inci, tinggi *gasifier* minimum yang dibutuhkan adalah:

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

Keterangan:

- V_j = Volume bahan bakar yang dibutuhkan.
- M_{FCR} = Massa bahan bakar yang dibutuhkan selama 30 menit
- ρ_j = Massa jenis serbuk kayu
- h_m = Tinggi minimum *gasifier*
- d = Diameter *gasifier*

OFR adalah laju aliran oksigen primer yang memasuki reaktor. Guna menentukan aliran udara utama maka volume udara (AFR) dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

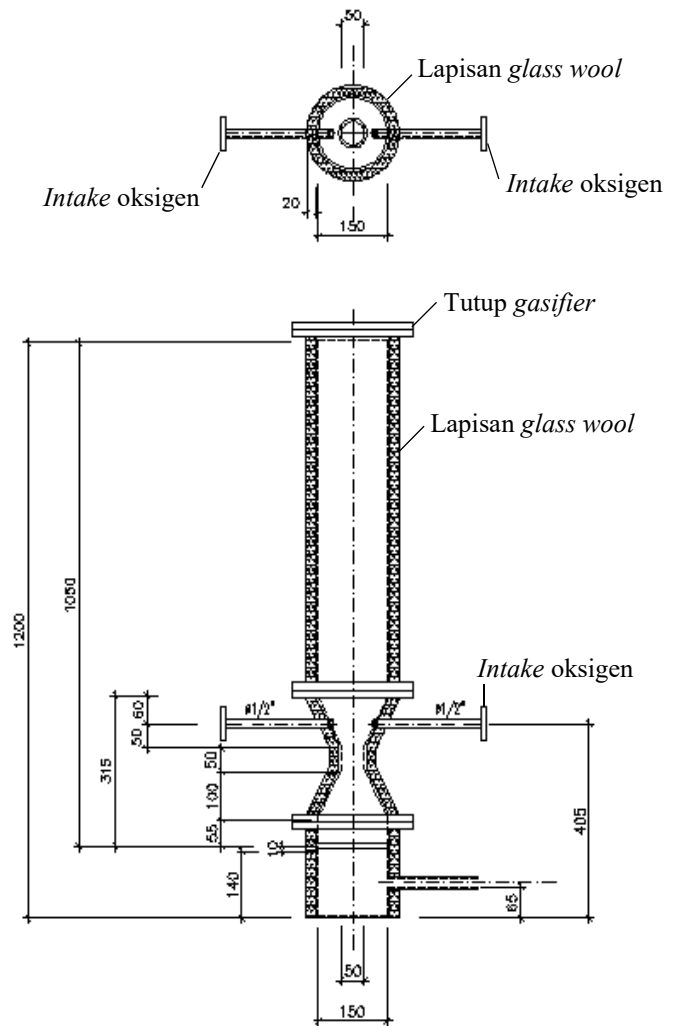
$$OFR = \frac{\varepsilon_o \times FCR \times SA}{\rho_o} \quad (10)$$

Keterangan:

- OFR = *Oksigen Fuel Rate* (laju aliran Oksigen), (m³/jam)
- FCR = *Fuel Consumption Rate* (kg/jam)
- ρ_o = Massa jenis oksigen = massa jenis udara (kg/m³)

- ε_o = Rasio ekuivalensi (0,0735)
- SA = Stoikiometri oksigen dari bahan bakar padat pada proses gasifikasi

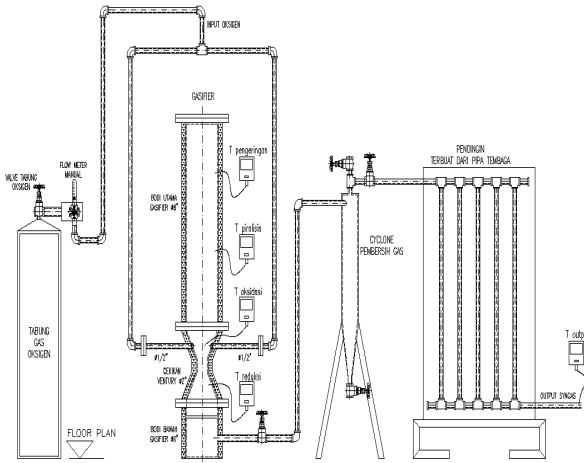
Berdasarkan persamaan di atas, perlu dirancang suatu reaktor gasifier *downdraft* dengan diameter 6 inci dan tinggi 1 meter untuk memanaskan 10 kg air dalam waktu 30 menit. Laju aliran oksigen yang dibutuhkan minimal 2 lpm (liter per menit), sehingga penelitian langsung diperlukan dengan mengubah laju aliran oksigen menjadi 2, 4, dan 6 liter per menit untuk mendapatkan efisiensi aktual dari *gasifier* yang dibuat.



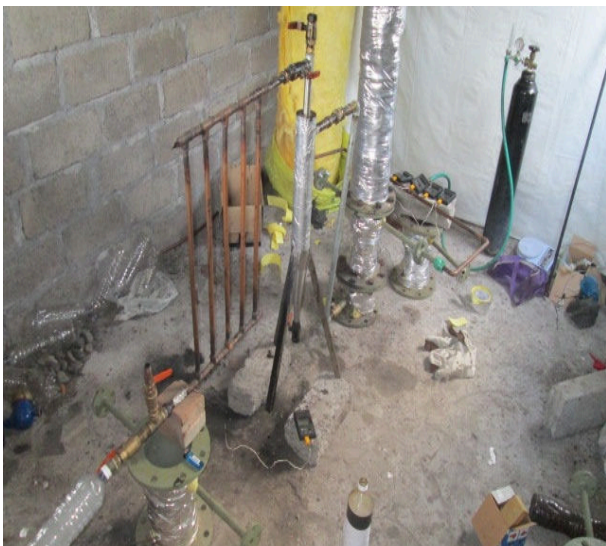
Gambar 1. Desain reaktor *downdraft*

Reaktor *gasifier* terbuat dari pipa baja hitam dengan diameter 6 inci, dibungkus dengan lapisan *glass woll* setebal 2 cm, kemudian dilapisi dengan aluminium foil (Gambar 1). Ketinggian reaktor gasifikasi itu sendiri adalah 100 cm, sumber agen gasifikasi tersebut dimasukkan melalui pipa baja hitam dengan diameter 1/2 inci. Rasio oksigen sebagai agen gasifikasi diatur melalui katup dan diukur dengan pengukur aliran gas.

Pada Gambar 2 dapat dilihat desain reaktor gasifikasi *downdraft* yang diuji, dan pada Gambar 2 dan 3 dapat dilihat tata letak seluruh sistem reaktor gasifikasi, yang meliputi menempatkan tabung oksigen, reaktor gasifikasi *downdraft*, termokopel, pembersih gas *cyclon*, pendingin dan gas keluaran.



Gambar 2. Sistem gasifikasi



Gambar 3. Sistem gasifikasi saat penelitian

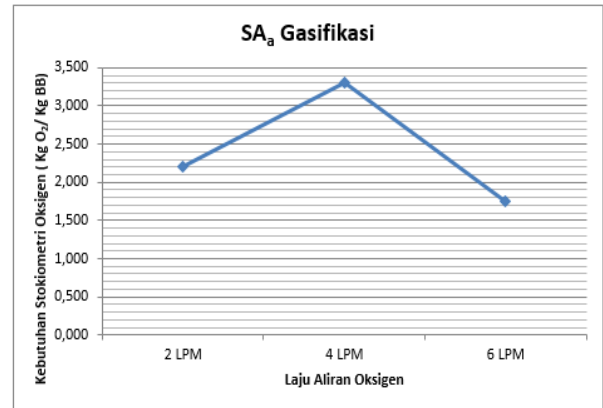
HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil penelitian didapatkan sisa arang dan waktu kerja *gasifier*, laju konsumsi bahan bakar aktual (FCR_a) dan kebutuhan oksigen stoikiometri aktual (SA_a) dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut.

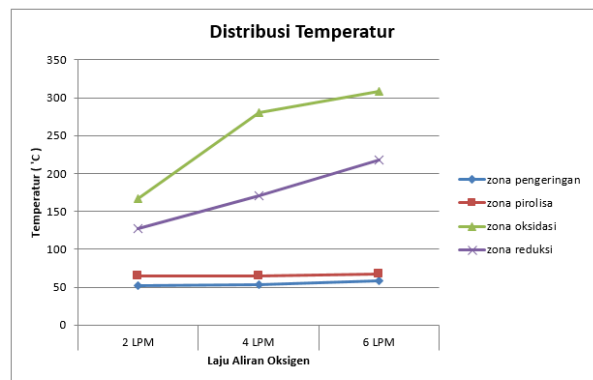
$$FCR_a = \frac{\text{berat bahan bakar} - \text{berat arang}}{\text{waktu operasional}} \quad (11)$$

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

Gambar 4 disajikan untuk menunjukkan SA aktual yang terjadi selama penelitian. Dapat dijelaskan dari Gambar 4 bahwa pada saat laju aliran oksigen adalah 4 lpm maka SA aktual paling tinggi. Dengan menghitung SA aktual maka dapat menentukan jumlah mol CO, CH₄, dan H₂ yang dihasilkan pada setiap percobaan.



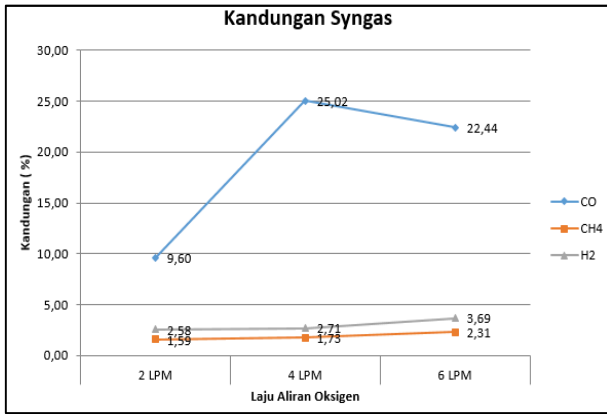
Gambar 4. Grafik SA aktual



Gambar 5. Grafik distribusi temperatur

Gambar 5 menunjukkan sebaran temperatur tiap zona selama proses gasifikasi. Dalam grafik ini terlihat bahwa untuk semua zona temperatur tertinggi terjadi pada laju aliran oksigen 6 lpm kemudian 4 lpm, dan temperatur terendah adalah 2 lpm. Pasalnya, saat aliran oksigen 6 lpm, maka lebih banyak bahan bakar yang terbakar di ruang bakar (zona oksidasi), yang tentunya mengarah pada peningkatan suhu.

Gambar 6 disajikan untuk menunjukkan kandungan CO, CH₄ dan H₂ di setiap pengujian. Ketika laju aliran oksigen dengan kandungan gas CO tertinggi adalah 4 lpm, laju aliran oksigen CH₄ paling banyak 6 lpm, dan laju aliran oksigen H₂ adalah 6 lpm.



Gambar 6. Grafik kandungan syngas

Efisiensi gasifikasi (η) adalah kemampuan suatu alat untuk mengubah bahan bakar menjadi gas yang mudah terbakar/ *synthetic natural gas* (SYNGAS) seperti CO, H₂ dan CH₄. Parameter yang mempengaruhi efisiensi gasifikasi adalah kandungan akhir bahan bakar yang digunakan. Berdasarkan data analisis akhir, kebutuhan udara (SA) dan kandungan gas yang dihasilkan, efisiensi gasifikasi setiap perubahan komposisi bahan bakar dapat ditemukan dengan cara berikut.

$$\text{Supply } N_{2\text{Oksigen}} = \text{Kandungan N pada Oksigen} \times SA_a \quad (13)$$

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

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

Guna menghitung energi pembakaran berbagai elemen gas, pertama-tama kita harus mengetahui HHV masing-masing elemen. Diketahui bahwa nilai HHV CO = 282,99 MJ/ kg mol, HHV H₂ = 285,84 MJ/ kg mol dan HHV CH₄ = 890,36 MJ/ kg mol. Kemudian menggunakan persamaan (16)-(18) untuk menghitung bahwa energi gas yang diteliti:

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

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

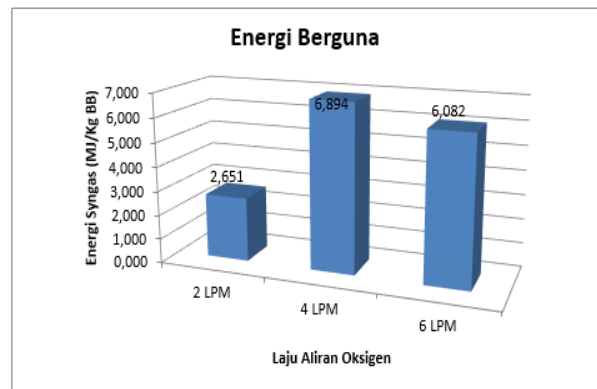
$$\text{Energi syngas CH}_4 = \text{Produksi N} \times \text{CH}_4 \text{ pada gas gasifikasi} \times \text{HHV CH}_4 \quad (18)$$

Persamaan (19) berikut dapat digunakan untuk mencari efisiensi gasifikasi (η).

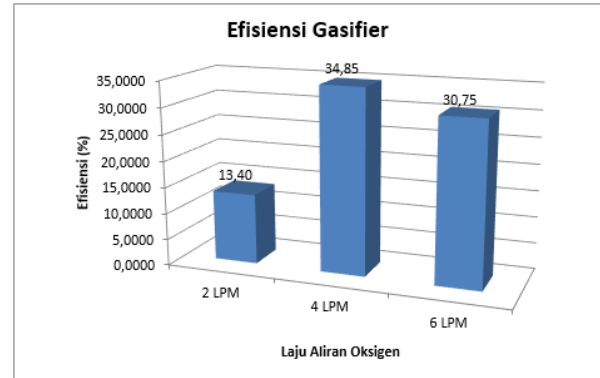
$$\eta = \frac{\text{Energi syngas}}{\text{Energi input}} \times 100\% \quad (19)$$

Dari persamaan di atas, energi dan efisiensi masing-masing varian syngas dapat dilihat pada Gambar 7 dan 8 berikut ini.

Dapat dijelaskan dari Gambar 7 dan 8 bahwa perubahan laju aliran oksigen sebesar 4 lpm akan menghasilkan energi dan efisiensi yang paling tinggi, diikuti oleh aliran oksigen 6 lpm, dan terakhir aliran oksigen 2 lpm adalah yang paling rendah. Hal ini dipengaruhi oleh persentase kandungan *synthetic natural gas* (SYNGAS) CO, CH₄ dan H₂ serta lamanya waktu pemanfaatan gas yang ada pada masing-masing variabel laju aliran oksigen. Waktu penggunaan gas ini akan mempengaruhi nilai SA aktual, yang menentukan jumlah mol syngas.



Gambar 7. Grafik energi berguna



Gambar 8. Grafik efisiensi gasifier

PENUTUP

Simpulan

Guna memanaskan 10 kg air dalam 30 menit, menurut perhitungan, diameter reaktor gasifier aliran bawah ditentukan 6 inci, sehingga ketinggian reaktor yang dibutuhkan adalah 1 meter. Laju aliran oksigen minimum yang dibutuhkan adalah 2 lpm (liter per menit), sehingga perlu dilakukan studi langsung untuk mempelajari perubahan laju aliran oksigen sebesar 2 lpm, 4 lpm, dan 6 lpm untuk mendapatkan efisiensi aliran yang sebenarnya. reaktor gasifikasi.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa energi dan efisiensi yang berguna adalah yang tertinggi ketika laju aliran oksigen adalah 4 lpm, diikuti oleh laju aliran oksigen 6 lpm, dan terakhir yang terendah pada 2 lpm.

Saran

Adapun saran-saran yang dapat penulis berikan untuk penelitian selanjutnya perlu dilakukan kajian lebih lanjut mengenai pengaruh posisi leher venturi terhadap badan utama gasifier, perubahan ini akan mempengaruhi zona oksidasi, zona pirolisis, zona pengeringan dan zona reduksi selama gasifikasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I W. Slamet, "Tugas Akhir Performansi Reaktor Downdraft dengan Variasi Biomassa Sekam Padi dan Serbuk Kayu", Universitas Udayana, 2012.
- [2] H. Ade, "Karakterisasi Proses Gasifikasi Biomassa pada Reaktor Downdraft Sistem Batch dengan Variasi *Air-Fuel Ratio* (AFR) dan Ukuran Biomassa", Universitas Gajah Mada, 2013.
- [3] A. Wusana W., "Perancangan dan Uji-Kinerja Reaktor Gasifikasi Reaktor Gasifikasi Skala Kecil", Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, UNS, 2010.
- [4] Jean and B. Pierre, "*Biomass Gasification*", Chemistry Processes and Applications, Nova Science Publisher, Inc., New York, 2009.