

Uji Reaktor Gasifikasi Downdraft Biomassa Sampah Kota

I Putu Angga Yuda Pratama¹⁾, I Nyoman Suprpta Winaya²⁾,
I Gede Putu Agus Suryawan³⁾

¹⁾ Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Udayana,
Kampus Bukit Jimbaran, Badung, Bali, Indonesia 80361

^{2,3)} Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Udayana
Kampus Bukit Jimbaran, Badung, Bali, Indonesia 80361

Email: anggad30@gmail.com, nswinaya@gmail.com, suryaagus77@gmail.com

doi: <https://doi.org/10.24843/METTEK.2019.v05.i02.p08>

Abstrak

Teknologi gasifikasi tipe *downdraft* adalah salah satu teknologi untuk mengkonversikan bahan bakar padat atau biomassa padat secara termokimia dengan temperatur 600⁰-700⁰ C menjadi bahan bakar gas mampu bakar dengan kebutuhan udara 20 – 40% Stoikiometri dimana suplai udara masuk dari atas menuju dasar reaktor dan proses gasifikasi terjadi di dasar reaktor. Sampah kota atau (*Municipal Solid Westes*) adalah bahan buangan yang terdiri dari bahan organik dan anorganik yang mempunyai nilai kalor sehingga dapat digunakan sebagai bahan bakar. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui performansi dari gasifier tipe *dwondraft* dengan variasi perlakuan awal bahan bakar kering, pellet, dan briket. Perbedaan perlakuan bahan bakar akan menghasilkan nilai kalor dan karakteristik bahan bakar yang berbeda sehingga nantinya akan didapatkan bahan bakar yang paling efektif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa efisiensi tertinggi didapatkan pada variasi perlakuan awal bahan bakar sampah kota yang di briketkan yaitu sebesar 61,32% dan FCR tertinggi terjadi pada bahan bakar pellet yaitu 4,61 kg/jam.

Kata Kunci : Gasifikasi Downdraft, Sampah kota kering, Pellet, Briket, Efisiensi

Abstract

Gasification type Downdraft technology is one technology to convert thermochemical solid or biomass fuels with temperatures of 600⁰-700⁰ C into combustible gas fuels with air requirements of 20 - 40% Stoichiometry where the supply of air enters from above to the reactor base and gasification process occurs at the bottom of the reactor. Municipal solid waste is a waste material consisting of organic and inorganic materials that has a heating value, so that it can be used as fuel of gasification. This study aims to determine the performance of the dwondraft gasifier with variations in the pretreatment of dry MSW, pellets and briquettes. Differences in fuel treatment will produce different heating values and fuel characteristics so that the most effective fuel will be found later. The results showed that the highest efficiency was found in the variation of initial treatment municipal solid waste briquettes which was 61,32%, and the highest FCR occurs in pellet fuel which is 4.61 kg / hour.

Keywords: *Downdraft Gasification, Dry Municipal solid Waste, Pellet, Briquette, Efficiency*

1. PENDAHULUAN

Bali merupakan salah satu destinasi wisata yang terkenal di dunia dengan jumlah wisatawan yang berkunjung ke Bali terus bertambah setiap tahunnya. Seiring dengan pertumbuhan jumlah wisatawan, diikuti dengan peningkatan jumlah sampah yang semakin hari bertambah banyak. Total jumlah sampah yang dihasilkan kota Denpasar di tahun 2018 sebanyak 3.046 m³/hari atau 914 ton/hari dan terus meningkat setiap tahunnya (DLHK Kota Denpasar). Energi biomassa adalah sumber energi alternatif yang sangat potensial di Indonesia.. Kekayaan vegetasi yang dimiliki Indonesia meliputi di bidang kehutanan, pertanian, dan perkebunan menyebabkan melimpahnya sumber energi biomassa, baik berbentuk bahan baku ataupun limbah.

Teknologi gasifikasi adalah salah satu cara yang efektif dalam mengatasi masalah sampah padat karena produk yang dihasilkan dari proses gasifikasi berupa bahan bakar gas. Menurut Rinovianto (2012) proses gasifikasi adalah proses konversi bahan bakar padat menjadi gas mampu bakar (*flammable gas*) melalui proses termokimia dengan temperatur 600-700⁰C dan suplai udara terbatas (20-40% udara stoikiometri). Proses gasifikasi terjadi di dalam reaktor gasifier dan menghasilkan gas CO, H₂, dan *syn-gas*. Bahan bakar gas yang dihasilkan adalah berupa energi kimia yang dapat dikonversikan menjadi energi panas, dan energi gerak atau energi mekanik.

Penelitian yang dilakukan oleh Feiqiang Guo et al (2014)., berbahan dasar tongkol jagung (*corn stalk*) kering dengan metode memvariasikan *Equivalence Ratio* (ER) 0,18 – 0,37 dan didapatkan hasil bahwa pada ER 0,25 – 0,27 dihasilkan gas dalam kondisi terbaik dengan *Low Heating Value* (LHV) sekitar 5400 kJ/m³ dan *cold gas efficiency* sebesar 65%.

Berdasarkan nilai kalor yang tertinggi dimiliki oleh sampah makanan yang berupa sampah organik, dan sampah plastik mempunyai nilai kalor tertinggi kedua setelah sampah makanan. Sehingga jika penelitian ini menggunakan sampah kota sebagai bahan bakar dengan penambahan sampah plastik sebanyak 5% dari volume sampah organik, diharapkan efisiensi gasifikasi akan meningkat dan energi yang dihasilkan juga lebih besar daripada bahan bakar lainnya. Maka dari itu, penelitian yang akan dilakukan adalah tentang variasi perlakuan awal bahan bakar (kering, pellet, briket) pada proses gasifikasi biomassa sampah kota dengan sistem *downdraft* kontinyu. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui performansi terbaik dari reaktor gasifikasi *downdraft* dengan bahan bakar yang divariasikan yaitu dalam bentuk kering, pellet, dan briket. Parameter yang ditetapkan pada penelitian ini adalah ER dan AFR pada mode gasifikasi.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Teknologi Gasifikasi

Teknologi gasifikasi merupakan salah satu upaya dalam penanggulangan krisis energi fosil yang ketersediaannya mulai menipis. Teknologi gasifikasi menggunakan bahan bakar organik berupa biomassa sehingga tidak mencemari lingkungan dan sangat efektif untuk menekan jumlah sampah yang semakin hari semakin meningkat.

Gasifikasi merupakan proses konversi bahan bakar padat atau cair menjadi bahan bakar gas tanpa menghasilkan limbah atau residu karbon padat. Gasifikasi merupakan salah satu bentuk konversi yang sangat penting karena dapat secara efektif dimanfaatkan untuk desentralisasi pembangkit daya dan penerapan pemanfaatan panas. Menurut Purwantana (2007), gasifikasi juga merupakan teknologi konversi energi yang dapat digunakan untuk berbagai macam bahan bakar biomassa. Produk dari proses gasifikasi terdiri dari karbon monoksida, karbon dioksida, hidrogen, metana, dan gas-gas lain, dalam perbandingannya

tergantung pada reaktan tertentu dan kondisi operasi (temperatur dan tekanan) yang dilakukan dalam reactor

Biomassa

Biomassa adalah bahan bakar yang dapat diperbaharui dan secara umum berasal dari makhluk hidup (non-fosil) yang di dalamnya tersimpan energi. Dalam definisi lain, biomassa merupakan keseluruhan materi yang berasal dari makhluk hidup, termasuk bahan organik yang hidup maupun yang mati, baik di atas permukaan tanah maupun yang ada di bawah permukaan tanah. Biomassa merupakan produk fotosintesa dimana energi yang diserap digunakan untuk mengkonversi karbon dioksida dengan air menjadi senyawa karbon, hidrogen, dan oksigen. Biomasa bersifat mudah didapatkan, ramah lingkungan dan terbarukan.

Briket

Suhartoyo (2017) mengatakan bahwa briket merupakan bahan bakar padat yang terbuat dari campuran biomassa, bahan bakar padat ini merupakan bahan bakar alternatif yang paling murah dan dapat dikembangkan secara massal dalam waktu yang relatif singkat mengingat teknologi dan peralatan yang relatif sederhana.

Dari penelitian yang dilakukan oleh Patabang (2012) briket arang dapat dibuat dengan dua cara, yaitu dengan membuat arang kemudian dihaluskan dan dibuat briket atau dapat juga membentuk briket dengan cara dimampatkan, kemudian diarangkan. Hasil penelitian dari Patabang (2012), didapatkan nilai kalor briket arang sekam padi sebesar 2789 kal/g. Pada penelitian ini proses pembuatan

Pellet

Bahan bakar pellet merupakan salah satu bahan bakar padat yang dibentuk dengan proses pemanasan dan penekanan untuk merekatkan biomassa dengan kandungan *lignin* sebagai perekat. Pellet biasanya terbuat dari biomassa serbuk kayu dan biomassa lainnya yang mempunyai kandungan *lignin* yang tinggi. Berdasarkan hasil uji nilai kalor *wood pellet* dengan suhu pemanasan 60°C dengan bahan baku kayu kembang yang dilakukan oleh Arsada (2013) nilai kalor *wood pellet* yaitu 3970,98 - 4050,08 kal/g.

3. METODE

Penelitian ini dilakukan secara eksperimental yang meliputi preparasi reaktor gasifikasi *dwndraft gasifier* dan pengujian komposisi *syn-gas* yang dihasilkan, laju konsumsi bahan bakar, lama nyala api dan efisiensi gasifikasi yang dikontrol secara ketat dalam penelitian. Studi eksperimental bersifat sistematis dan logis sehingga hasil dari penelitian ini memiliki kemampuan pembuktian yang lebih kuat dibandingkan jenis penelitian dengan metode pendekatan yang berbeda.

Penelitian dirancang sesuai dengan tujuan pelaksanaan penelitian yang ingin mencari pengaruh ketiga variasi perlakuan biomassa sampah kota terhadap performansi reaktor gasifikasi *dwndraft*. Dalam penelitian ini, hasil penelitian diperoleh melalui perbandingan komposisi *syn-gas*, laju konsumsi bahan bakar, lama nyala api dan efisiensi gasifikasi antara bahan bakar yang telah diberi perlakuan dengan yang tidak.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi Bahan Bakar Sampah Kota

Pengujian atau karakterisasi bahan bakar dilakukan untuk mengetahui kandungan dan kondisi dari sampah kota yang akan kita uji. Ada 4 pengujian yang dilakukan pada bahan

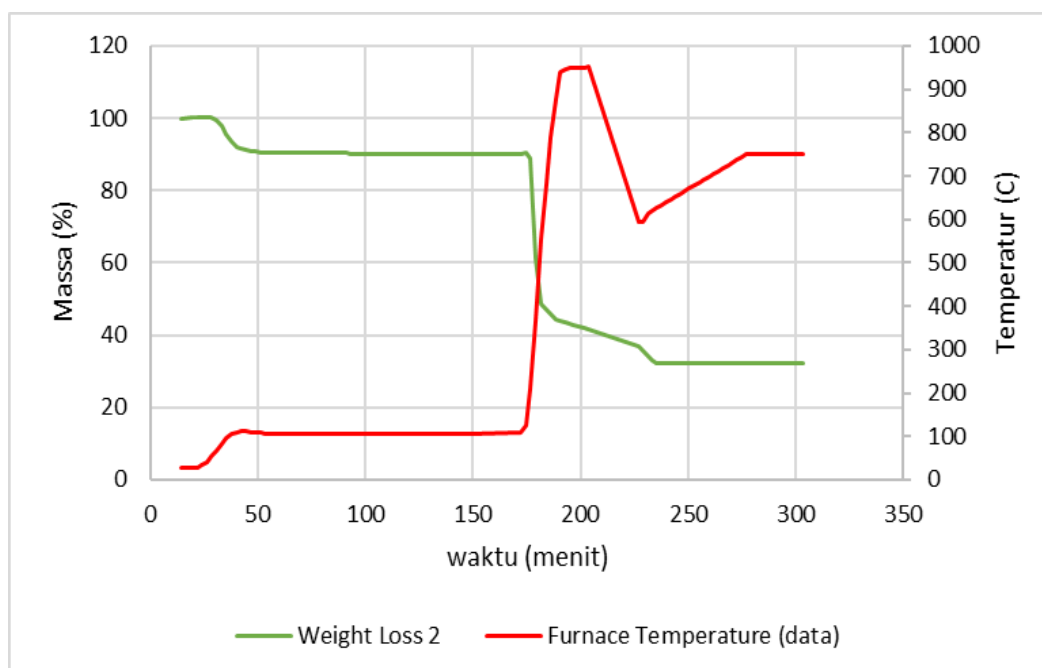
bakar yaitu analisis *proximate*, analisis *ultimate*, analisis nilai kalor, dan *Thermo Gravimetric Analysis (TGA)*.

Tabel 1 Data Uji *Proximate* Bahan Bakar Sampah Kota

Bahan bakar	Moisture %	Kandungan Abu %	Fixed Carbon %	Volatile Matter %
Sampah Kota	8,65	8,16	3,38	79,81

Tabel 2 Data Uji *Ultimate* Bahan Bakar Sampah Kota

Bahan Bakar	Sulfur %	Nitrogen %	Karbon %	Oksigen %	Hidrogen %
Sampah Kota	0,05	0,52	64,46	18,03	11,50



Gambar 1. Grafik TGA

Data Hasil Penelitian

Setelah melakukan penelitian dan pengamatan seperti yang telah dijelaskan pada metodologi penelitian, maka dapat diketahui data berupa waktu operasi, lama nyala api, temperature pada tiap titik yang telah ditentukan, kecepatan aliran udara, massa output dan massa input. Waktu operasi adalah durasi lama proses percobaan gasifikasi dari awal memasukkan bahan bakar, terciptanya gas mampu bakar hingga gas mampu bakar habis untuk 1 kg bahan bakar. Temperatur dapat diketahui dari letak Thermocouple yang sudah dipasang pada bagian tengah reaktor secara vertikal yaitu atas, bawah, dan tengah. Lama nyala api dihitung dari awal nyala *syn-gas* sampai habis sedangkan massa input dan output dihitung dari berat bahan bakar yang memasuki reaktor dan berat arang hasil gasifikasi. Laju aliran syngas dihitung dengan cara mengukur kecepatan output syngas menggunakan anemometer dan mengalikannya dengan luas penampang pipa output berdiameter 1 inch

Tabel 3 Data Hasil Penelitian

Variasi Bahan Bakar	Waktu Operasional (menit)	Temperatur Gasifikasi			Lama Nyala (menit)	Massa input (gram)	Massa Output (gram)	Kecepatan output syn-gas m/s	Laju aliran Syn-gas m ³ /s
		T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)					
Kering	41	673	499	52	15	1000	100	2,10	0,00102
Pellet	57	810	350	90	8	1000	400	2,25	0,00110
Briket	37	790	123	50	21	1000	130	2,19	0,00107

Menghitung Fuel Conversion Rate (FCR)

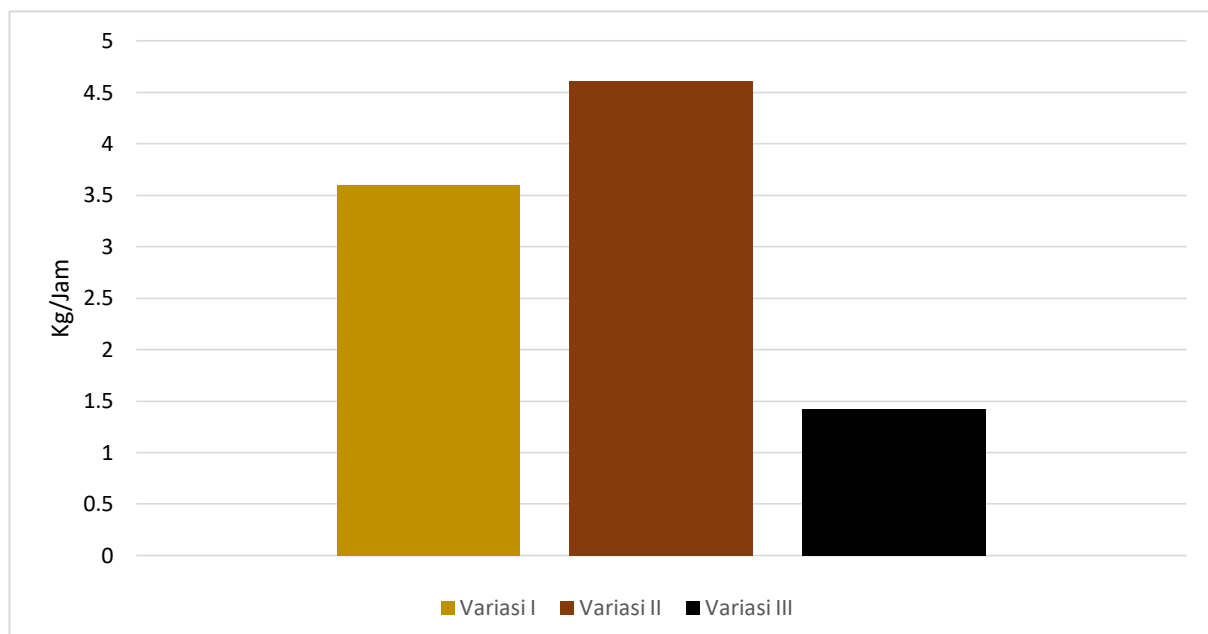
A. Variasi I (bahan bakar sampah kota kering)

$$FCR = \frac{\text{Berat Bahan bakar} - \text{Berat Arang}}{\text{Lama nyala}} \quad (1)$$

Tabel 4 FCR dari Masing-masing Variasi Bahan Bakar

Variasi Perlakuan Awal Bahan Bakar	Massa Bahan Bakar (kg)	Massa Arang (kg)	Lama Nyala (menit)	FCR (kg/jam)
Variasi I (bahan bakar kering)	1	0,1	15	3,60
Variasi II (bahan bakar pellet)	1	0,4	8	4,61
Variasi III (bahan bakar briket)	1	0,39	21	1,42

Berdasarkan tabel diatas, *FCRa (Fuel Consumption Rate Actual)* dari masing-masing variasi bahan bakar dapat digambarkan dalam bentuk grafik dibawah ini :



Gambar 2 Grafik FCR

Data Hasil Pengujian Syn-Gas

Setelah dilakukan pengujian pada masing-masing variasi bahan bakar, selanjutnya gas yang dihasilkan akan di uji untuk mengetahui kandungan gas hasil gasifikasi. Pengujian dilakukan di Laboratorium Forensik Poltabes Denpasar.

A. Hasil Pengujian Variasi I (bahan bakar kering)

Tabel 5 Abudance Gas Variasi I

Berat Molekul	Nama Unsur	Abudance Gas	Abudance Udara
14		165	
16	Metana	695	514
17		9949	5502
18	Air	45544	23416
20			
26			
26.90			
28	Nitrogen Molekul	7551	3772
	Karbon Monoksida		
29.10			
32	Oksigen Molekul	1688	1143
39.10			
40	Argon	159	151
41			
42.10			
44	Karbon Dioksida	998	1471
44.90			
	Total	66749	35969

Pada uji gasifikasi *downdraft*, gas mampu bakar yang dicari adalah Karbon Monoksida (CO), Metana (CH₄), dan Hidrogen (H₂). Unsur Nitrogen dan Karbon Monoksida sama-sama memiliki berat molekul 28, jadi untuk mengetahui abudance CO, harus ditentukan dulu nilai abudance dari N₂ dengan persamaan sebagai berikut :

- Menentukan nilai abudance N₂

$$\text{Abudance N}_2 \text{ Gas} = \frac{\text{Nilai Abudance N}_2 \text{ Udara}}{\text{Nilai Abudance AR Udara}} \times \text{Nilai Abudance AR Gas} \quad (2)$$

- Menghitung Nilai Abudance CO

$$\text{Abudance CO Gas} = \text{Nilai abudance berat molekul 28} - \text{Nilai abudance N}_2 \text{ gas} \quad (3)$$

$$\text{Persentase Gas CO} = \frac{\text{Nilai Abudance Gas CO}}{\text{Nilai Abudance Gas Total}} \times 100\% \quad (4)$$

- Persentase Gas H₂ = 100% - (%CO + %CO₂ + %CH₄ + %H₂O + %O₂ + ...)

$$\begin{aligned}
 & \%N_2) \\
 & = 100\% - (5,36\% + 1,50\% + 1,04\% + 68,23\% + 2,53 \\
 & \quad \% + 5,95\%) \\
 & = 100\% - (84,61\%) \\
 & = 15,39\%
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan jumlah kandungan gas mampu bakar pada variasi I menggunakan bahan bakar kering dapat ditampilkan pada tabel berikut :

Tabel 6 Persentase Kandungan *Syn-Gas* Variasi I

CO	CO ₂	CH ₄	H ₂ O	O ₂	N ₂	H ₂
5,36%	1,50%	1,04%	68,23%	2,53%	5,95%	15,39%

Pada variasi selanjutnya, pengolahan data hasil pengujian akan langsung ditampilkan dalam bentuk tabel dengan perhitungan menggunakan persamaan yang sama dengan variasi I.

B. Hasil Pengujian Variasi II (bahan bakar pellet)

Tabel 7 Persentase Kandungan *Syn-Gas* Variasi II

CO	CO ₂	CH ₄	H ₂ O	O ₂	N ₂	H ₂
2,75 %	2,20%	2,54%	66,04%	3,17%	7,89%	15,41%

C. Hasil Pengujian Variasi III (bahan bakar briket)

Tabel 8 Persentase Kandungan *Syn-Gas* Variasi III

CO	CO ₂	CH ₄	H ₂ O	O ₂	N ₂	H ₂
6,38%	12,96%	1,31%	52,86%	2,70%	8,91%	14,88%

Setelah didapatkan persentase kandungan gas mampu bakar pada masing-masing variasi, maka hasil perhitungan diatas dapat disimpulkan pada tabel berikut :

Tabel 9 Kandungan *Syn-gas* Masing-masing Variasi

Variasi Bahan Bakar	CO %	CH ₄ %	H ₂ %	Total %
Bahan bakar kering	5,36	1,04	15,39	21,79
Bahan bakar pellet	2,75	2,54	15,41	20,70
Bahan bakar briket	6,38	1,31	14,88	22,57

Cold Gas Efficiency

Cold gas efficiency (η_{CG}) merupakan perbandingan antara energi kimia yang dihasilkan oleh syngas (didapatkan dari perkalian antara laju alir massa dengan Nilai Kalor Bawah gas) dengan energi kimia dari biomassa (didapatkan dari perkalian antara laju alir massa biomassa dengan Nilai Kalor Bawah biomassa). Berdasarkan data hasil uji nilai kalor bahan bakar, dan pengukuran laju aliran *syn-gas* pada saat pengujian, maka efisiensi gasifikasi dapat diketahui dengan cara berikut :

1. Efisiensi Variasi I (bahan bakar sampah kota kering)

- Menghitung LHV bahan bakar :

$$\begin{aligned}
 LHV_{BB} &= HHV_{BB} - 2400 (\text{Moisture} + 9H_2) & (6) \\
 &= 3843,93 \text{ kKal/kg} - 2400 (0,0865 + 9(0,1539)) \\
 &= 3843,93 - 2679,84 \\
 &= 1164,1 \text{ kkal/kg}
 \end{aligned}$$

- Menghitung LHV *syn-gas* :

$$\begin{aligned} \text{LHV}_{\text{sg}} &= 2762,68 \text{ kKcal/m}^3 (\text{CO}) + 7832,66 \text{ kKcal/m}^3 (\text{CH}_4) + 2360,90 \text{ kKcal/m}^3 (\text{H}_2) \\ &= 2762,68 \text{ kKcal/m}^3 (0,0536) + 7832,66 \text{ kKcal/m}^3 (0,0104) + 2360,90 \text{ kKcal/m}^3 (0,1539) \\ &= 148,07 + 81,46 + 363,34 \\ &= 592,87 \text{ kKcal/m}^3 \end{aligned} \quad (7)$$

- Menentukan *mass flowrate* bahan bakar variasi I

$$\begin{aligned} MF_{bb} &= \frac{\text{massa bahan bakar} - \text{berat arang}}{\text{lama nyala}} \\ &= \frac{1 \text{ kg} - 0,1 \text{ kg}}{15 \text{ menit}} \\ &= 0,06 \text{ kg/menit} \\ &= 0,001 \text{ kg/s} \end{aligned} \quad (8)$$

- Menentukan *flowrate syn-gas*
 Berdasarkan data di atas, laju aliran *syn-gas* adalah : 0,00102 m³/s

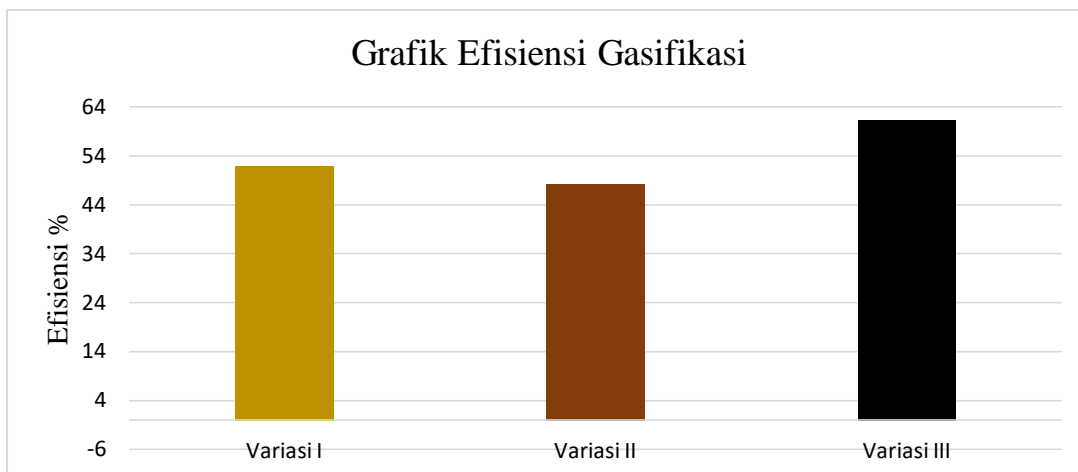
- Menghitung *cold gas efisiensi*

$$\begin{aligned} \eta_g &= \frac{\text{flowrate syngas} \times \text{LHV syngas}}{\text{mass flowrate BB} \times \text{LHV BB}} \times 100\% \\ &= \frac{0,00102 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times 592,87 \frac{\text{kKcal}}{\text{m}^3}}{0,001 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 1164,1 \frac{\text{kKcal}}{\text{kg}}} \times 100\% \\ &= \frac{0,605 \frac{\text{kKcal}}{\text{s}}}{1,164 \frac{\text{kKcal}}{\text{s}}} \times 100\% \\ &= 51,89\% \end{aligned} \quad (9)$$

Berdasarkan data hasil perhitungan diatas, dapat ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik dibawah ini

Tabel 10 Efisiensi Gasifikasi

Variasi Bahan bakar	Efisiensi Gasifikasi
Variasi I (kering)	51,89%
Variasi II (pellet)	48,28%
Variasi III (briket)	61,32%



Gambar 3 Grafik Efisiensi Gasifikasi

5. SIMPULAN

Setelah dilakukan penelitian dan pengujian performansi gasifikasi downdraft, didapatkan *FCR* dari variasi I, II, dan III adalah 3,60 kg/jam, 4,61 kg/jam, dan 1,42 kg/jam, serta didapatkan juga besaran *AFR* aktualnya yaitu, 33,56 liter/menit, 42,98 liter/menit, dan 13,24 liter/menit. Sedangkan efisiensi terbaik didapatkan dengan variasi III yaitu perlakuan awal bahan bakar yang di briketkan sebesar 61,32%. Efisiensi terendah didapatkan pada variasi II yaitu bahan bakar pellet dengan efisiensi 49,78%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Arsada, E. (2014). Sifat Fisik Dan Kimia Wood Pellet Dari Limbah Industri Perakayuan Sebagai Sumber Energi Alternatif. Jurnal Riset Industri Hasil Hutan. Vol.6. No.1. Juni 2014. Balai Riset dan Standardisasi Industri Banjarbaru.
- [2] Guo, F., Dong, Y., Dong, L., Guo, C. 2014. Effect of Design and Operating Parameters on the Gasification Process of Biomass in a Downdraft Fixed Bed: An Experimental Study. Science Direct International Journal of Hydrogen Energy. Volume 39. Issue 11. Pages 5625-5633.
- [3] Patabang, D. (2012). Karakteristik Termal Briket Arang Sekam Padi Dengan Variasi Bahan Perikat. Jurnal Mekanikal. Vol. 3. No. 2. Juli 2012. Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Tadulako.
- [4] Purwantana, B. (2007). Pengembangan Gasifier Untuk Gasifikasi Limbah Padat Pati Aren (Arenga Pinnata Wurmb). Agritech. Vol. 27. No. 3. September 2007. Universitas Gadjah Mada.
- [5] Rinovianto, G. (2012). Karakteristik Gasifikasi pada Updraft Double gas Outlet Gasifier Menggunakan Bahan Bakar Kayu Karet. Universitas Indonesia. Depok.
- [6] Suhartoyo, S. (2017). Efektifitas Briket Biomassa. Prosiding SNATIF Ke -4 Tahun 2017. Jurusan Teknik Mesin Akademi Teknologi Warga Surakarta.