

Efisiensi Gasifikasi Batubara pada *Gasifier Mini Fixed Bed Updraft* Kapasitas 30 Kg/Jam di Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dan Batubara

Coal Gasification Efficiency on Gasifier Mini Fixed Bed Updraft Capacity 30 Kg/Hour in Research Center and Development of Mineral and Coal Technology

¹Nabela Ericha JM, ²Sriyanti, ³Fahmi

^{1,2}*Prodi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Islam Bandung,*

Jl. Tamansari No.1 Bandung 40116

email: ¹nabelaerichajm@gmail.com, ²sriyanti.tambang@yahoo.com, ³sulistyohadifahmi@gmail.com

Abstract. Coal gasification the fixed bed updraft method is a process that converts coal from solid material to gas fuel. Gasification with coal raw materials occurs in conditions that are isolated from the surrounding air (limited oxygen), closed space, and at ambient pressure. Gases produced from the gasification process of carbon monoxide, carbon dioxide, hydrogen, methane, oxygen and nitrogen. Calorific value for gas from coal gasification 900 – 1200 Kcal/Nm³. Currently coal gasification has a role to fulfill modern production needs as an alternative to petroleum. The study used an updraft type gasifier with coal raw material. This is done to determine the effect of air flow rate on updraft type gasification, the effect of gas composition on gasification by inserting an air pipe into the gasboard gas analyzer inlet and the effect of efficiency on the value of HHV (High Heating Value). From the results of the study it can be seen that the effect of efficiency on coal gasification is very influential. The gas efficiency produced is influenced by HHV, the higher the HHV value, the coal feeder speed increases or enters the feed into the gasifier. The efficiency obtained at HHV is 869,30 at 44,59%, at HHV 927,66 at 65,04%, at HHV 861,42 at 72,96%, at HHV 845,15 at 77,67%, and at HHV 865,77 of 78,28%. This can indicate that the optimum efficiency is found in the second to fifth HHV which achieves an efficiency value of 78,28%.

Keywords: Coal Gasification, Updraft, Gas Composition, Gas Efficiency.

Abstrak. Gasifikasi batubara metode *fixed bed* updraft merupakan proses yang mengubah batubara dari bahan padat menjadi bahan bakar gas. Gasifikasi dengan bahan baku batubara terjadi pada kondisi yang terisolasi dari udara sekitar (oksigen yang terbatas), ruangan tertutup, dan berada pada tekanan sekitar. Gas yang dihasilkan dari proses gasifikasi karbon monoksida, karbon dioksida, hidrogen, metan, oksigen dan nitrogen. Nilai kalori untuk gas hasil gasifikasi batubara 900 – 1200 Kkal/Nm³. Saat ini gasifikasi batubara memiliki peranan untuk memenuhi kebutuhan produksi modern sebagai alternatif pengganti minyak bumi. Penelitian menggunakan *gasifier tipe updraft* dengan bahan baku batubara. Hal ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh laju alir udara terhadap gasifikasi *tipe updraft*, pengaruh komposisi gas pada gasifikasi dengan cara memasukan pipa udara kedalam inlet *gasboard gas analyzer* dan pengaruh efisiensi terhadap nilai HHV (*High Heating Value*). Dari hasil penelitian dapat diketahui bahwa pengaruh efisiensi terhadap gasifikasi batubara sangat berpengaruh. Efisiensi gas yang dihasilkan ini dipengaruhi oleh HHV, semakin tinggi nilai HHV maka kecepatan *coal feeder* bertambah atau pemasukan umpan kedalam *gasifier*. Efisiensi yang di dapat pada HHV 869,30 sebesar 44,59%, pada HHV 927,66 sebesar 65,04%, pada HHV 861,42 sebesar 72,96%, pada HHV 845,15 sebesar 77,67%, dan pada HHV 865,77 sebesar 78,28%. Hal ini dapat menunjukkan bahwa efisiensi yang optimum terdapat pada HHV kedua sampai kelima yang mencapai nilai efisiensi sebesar 78,28%.

Kata Kunci: Gasifikasi Batubara, *Updraft*, Komposisi Gas, Efisiensi Gas. **Pendahuluan**

A. Pendahuluan

Latar Belakang

Di zaman era globalisasi ini setiap tahunnya, konsumsi energi fosil mengalami peningkatan cukup drastis seiring dengan ketersediaan yang ada di Indonesia. Salah satu energi yang digunakan adalah batubara, oleh karena

itu pemerintah menetapkan kebijakan dalam memasok batubara di dalam negeri yang biasa disebut dengan istilah *Domestic Market Obligation* (DMO) yang tertera dalam Peraturan Menteri ESDM No. 34 tahun 2009 tentang Pengutamaan Pemasokan Kebutuhan Mineral dan Batubara untuk Kepentingan Dalam Negeri.

Batubara dengan kalori rendah

dapat di kembangkan menjadi produksi gas dimetileter (DME) yang bisa menggantikan gas *Liquefied Petroleum Gas* (LPG), sebagai bahan bakar pengganti solar. Akan tetapi dalam penggunaan batubara, yaitu dalam proses pembakaran secara tidak langsung menggunakan alat *gasifier* (reaktor) yang ramah lingkungan, karena menghasilkan SO_x dan CO_2 relatif lebih rendah.

Puslitbang *tekMIRA* merupakan salah satu institusi pemerintah yang bergerak di bidang mineral dan batubara, sebagai pengembangan teknologi untuk sumber daya alam salah satu contohnya adalah gasifikasi batubara. Teknologi ini merupakan salah satu cara untuk memperoleh gas bakar sintesis dari batubara yang memiliki nilai kalori rendah.

Tujuan Penelitian

1. Mengetahui pengaruh laju alir udara terhadap gasifikasi batubara *tipe updraft*.
2. Mengetahui pengaruh proses gasifikasi terhadap komposisi gas yang dihasilkan.
3. Mengetahui efisiensi gas yang dihasilkan pada setiap percobaan.

B. Landasan Teori

Gasifikasi Batubara

Gasifikasi batubara adalah proses yang menggunakan panas sebagai penunjang untuk merubah biomassa padat menjadi gas sintetik seperti gas alam yang mudah terbakar. Proses gasifikasi batubara dapat digunakan untuk menghasilkan gas sintetik (dari bahan bakar padat, dengan pemanasan dalam gasifier bahan baku batubara akan terurai menjadi gas hidrogen (H), metan (CH_4), karbon monoksida (CO_2), karbon dioksida (CO), nitrogen (N_2), polutan dan abu. Proses gasifikasi dilakukan dalam suatu

gasifier yang disebut dengan gasifier.

Proses gasifikasi ini selain menghasilkan gas yang memiliki nilai kalor, juga menghasilkan produk samping berupa abu, sebab proses gasifikasi ini dilakukan pada suhu di bawah titik leleh batubara, agar batubara yang dihasilkan tidak meleleh sebab dapat membentuk material seperti gelas (*glassy slag*) yang bersifat inert dan dapat mengakibatkan terganggunya kondisi lapisan mengambang atau menyumat bagian dasar *gasifier*.

Hasil yang diperoleh dari gasifikasi batubara merupakan campuran beberapa macam gas. Komponen utama bahan bakar dalam gas batubara adalah H_2 dan CO. Kandungan CO dalam gas gas batubara metode *updraft* 10% - 30%, sedangkan H_2 8% - 14%. Komponen C_nH_m berupa fraksi uap campuran dari berbagai macam senyawa organik yang disebut dengan tar.

Proses Gasifikasi Tipe Updraft

1. Pengerinan

Pada pengerinan, kandungan air pada bahan bakar padat diuapkan oleh panas yang diserap dari proses oksidasi. Reaksi ini terletak pada bagian atas reaktor dan merupakan zona dengan temperature paling rendah di dalam reaktor yaitu di bawah 150°C .

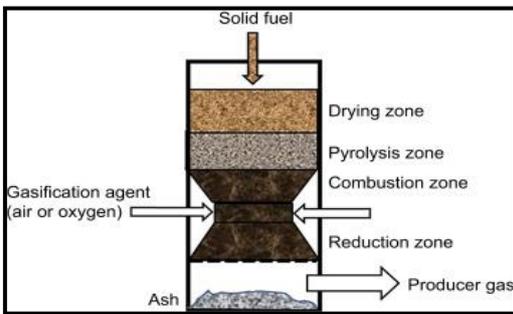
2. Pirolisis

Pirolisis ini merupakan, proses pemecahan struktur bahan bakar dengan menggunakan sedikit oksigen melalui pemanasan menjadi terbentuknya gas. Pada pirolisis, pemisahan *volatile matters* (uap air, cairan organik, dan gas yang tidak terkondensasi). Pada proses ini berlangsung lambat, dikarenakan temperatur yang ingin dicapai 700°C .

3. Reduksi (Gasifikasi)

Reduksi merupakan, proses perubahan bahan bakar padat menjadi gas. Produk gas yang dihasilkan pada proses gasifikasi adalah gas bakar H₂, CO, dan CH₄.
4. Oksidasi (Pembakaran)

Untuk melakukan reaksi oksidasi (pembakaran) terdapat tiga elemen penting yang saling mengisi satu sama lain yaitu panas, bahan bakar, dan udara. Pada gasifikasi di harapkan proses yang terjadi adalah oksidasi secara tidak sempurna.



Sumber : Shushengpang, 2016

Gambar 1. Fixed Bed Gasifier

Perhitungan Gasifikasi Batubara

1. Berat Batubara

Berat pada batubara (kg/jam) dilakukan untuk mengetahui, berapa banyak batubara yang dimasukkan kedalam *gasifier* tipe *updraft* pada kapasitas 30 (kg/jam).

$$W_{Bb} = \frac{\text{Berat batubara total}}{\text{Durasi Total (menit)}} \dots\dots\dots(1)$$

2. Laju Alir Udara

Laju udara, dengan alat yang digunakan *flow meter* sebagai acuan besar kecilnya kebutuhan udara dengan menyatel *valve* sehingga reaktor yang membutuhkan udara lebih kecil bisa disesuaikan alirannya.

$$\Sigma F_{udara} = \frac{\text{Jumlah aliran udara}}{\text{Jumlah kegiatan aliran udara}} \dots\dots\dots(2)$$

3. Berat Massa Udara

Berat udara di dapatkan dari besarnya tekanan udara di suatu tempat

yang sangat bergantung pada jumlah udara di atasnya. Suhu udara yang digunakan 27°C atau 1.2 kg/m³.

$$W_{udara} = \text{Rata-Rata laju udara} \times 1.2 \text{ (kg/m}^3\text{)} \dots\dots(3)$$

4. Efisiensi Gas

Efisiensi gas, persentase energi dari bahan bakar menjadi gas mampu bakar (bebas dari tar). pembakaran ini di hasilkan sejumlah *gas producer* (karbon monoksida, hidrogen, karbon dioksida, methan) dengan energi yang dihasilkan oleh pembakaran batubara. (Mathieu Phillippe, 2002)

$$\eta = \frac{\text{Produser Gas (m}^3\text{/j)}}{\text{Berat Umpan (kg/j)}} \dots\dots\dots(6)$$

C. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Penelitian

Analisis Proksimat dan Ultimat

Pada penelitian gasifikasi, batubara terlebih dahulu di analisis uji proksimat dan ultimat. Pada uji proksimat dan ultimat menggunakan 4 (empat) sampel batubara, dengan masing-masing nilai kalori yang nantinya di ambil nilai rata-rata pada pengujian proksimat dan ultimat (Tabel 1).

Tabel 1. Analisis Proksimat

No.	Analisis Proksimat	Standar	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3	Sampel 4	Rata-Rata
1	Lengas Total (ar) %	ASTM D 3302	24.59	27.27	26.38	25.93	26.04
2	Lengas (adb)%	ASTM D 3173	18	11.08	16.04	16.33	15.36
3	Abu (adb)%	ASTM D 3174	3.91	3.78	3.01	3.92	3.65
4	Zat Terbang (adb)%	ASTM D 3175	38.82	42.82	41.74	41.16	41.13
5	Karbon Tertambat (adb)%	ASTM D 3172	39.27	42.32	39.21	38.13	39.73
6	Kalori (adb) cal/g	ASTM D5865	5555	5948	5787	5286	5644

Hasil analisis tabel ultimat dibawah ini, digunakan untuk perhitungan mencari nilai efisiensi gas. Tetapi pada tiap sampel analisis ultimat ini diambil nilai rata-ratanya (Tabel 2)

Tabel 2. Analisis Ultimat

No	Analisis Ultimat	Standar	sampel 1	sampel 2	sampel 3	sampel 4	Rata-Rata
1	Karbon (adb) %	ASTM D 5373	58.4	63.04	60.96	65.02	61.85
2	Hidrogen (adb) %	ASTM D 5373	6.28	5.68	6.8	5.17	5.98
3	Nitrogen (adb) %	ASTM D 5373	0.87	0.65	0.99	0.85	0.84
4	Total Sulfur (adb) %	ASTM D 4239	0.79	0.48	0.68	0.52	0.61
5	Oksigen (adb) %	ASTM D 3176	29.75	26.68	27.29	25.36	27.27

Berat Batubara

Berat batubara yang diumpukan ke dalam *gasifier*, sebelumnya di timbang terlebih dahulu. Minimal batubara yang diumpukan ke dalam *gasifier* 6.5 kg dan maksimal 15 kg untuk beberapa menit, setelah batubara masuk ke dalam *gasifier*. Untuk mengetahui batubara yang di dalam *gasifier* habis atau tidaknya, dilakukan secara manual dengan cara membuka tutup input *gasifier*.

Laju Alir Udara

Laju udara merupakan salah satu syarat dialirkannya udara ke dalam *gasifier*, sehingga terjadinya proses pembakaran secara tidak sempurna pada gasifikasi. Nilai pada laju udara ditunjang menggunakan alat *inverter*. Pada dasarnya alat *inverter* ini pada gasifikasi batubara sebagai pengatur *blower*, untuk menyuplai dengan menaikkan dan menurunkan udara ke dalam *gasifier*.

Berat Massa Udara

Untuk menghitung berat udara harus ditentukan temperatur atau suhu yang digunakan di daerah proses kegiatan gasifikasi berlangsung. Jadi suhu yang digunakan 27°C, di rubah ke dalam satuan Kg/m³ sehingga massa jenis yang digunakan 1.2 Kg/m³.

Komposisi Gas

Perolehan komposisi gas ini tergantung pada peringkat batubara dan temperatur, pada proses gasifikasi mengubah semua material organik batubara menjadi bentuk gas, di inginkan bisa diperoleh gas (Tabel 3).

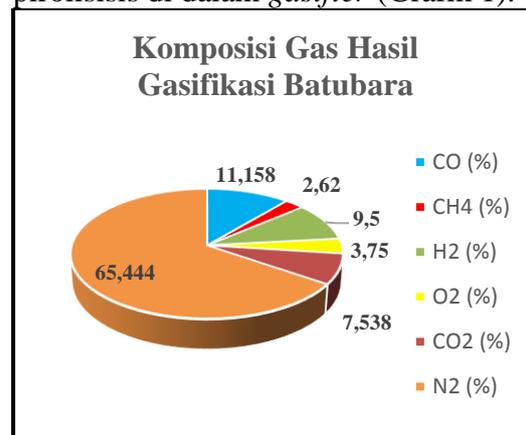
Tabel 3. Komposisi Gas

Tanggal	Komposisi Gas						
	CO (%)	CH ₄ (%)	H ₂ (%)	CO ₂ (%)	CnHm (%)	O ₂ (%)	N ₂ (%)
24-04-2019	11.82	2.41	11.52	8.66	0	3.72	61.87
25-04-2019	12.31	2.78	9.51	8.56	0	3.95	62.89
26-04-2019	10.64	2.42	9.55	7.33	0	3.61	66.45
27-04-2019	10	2.66	8.53	6.07	0	3.83	68.91
28-04-2019	11.02	2.73	8.43	7.07	0	3.65	67.1
Rata-Rata	11.15	2.62	9.5	7.53	0	3.75	65.44

Pembahasan

Analisis Komposisi Gas

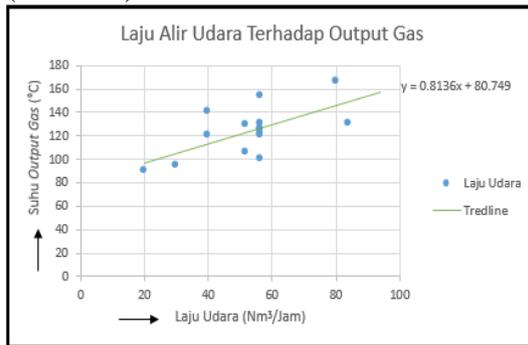
Dari hasil analisis gas yang dapat diperoleh, berupa kadar gas-gas yang terdeteksi oleh alat *gas analyzer portable*, yaitu CO, CH₄, H₂, O₂, CO₂, dan N₂. Berdasarkan grafik di bawah ini, secara teoritis kandungan CO 10-30% sedangkan secara aktual di lapangan di dapatkan 11,15%. Sedangkan H₂ secara teoritis 8-14%, secara aktual didapatkan 9,5%. Adapun komponen gas CnHm pada alat *gas analyzer* merupakan fraksi uap campuran dari berbagai macam senyawa organik yang disebut dengan nama umum *tar*, gas tersebut selalu bernilai 0% karena terbakar bersamaan dengan proses pembakaran pada tahap pirolisis di dalam *gasifier* (Grafik 1).

**Gambar 1.** Komposisi Gas

Hal yang Mempengaruhi Gasifikasi

Hal yang mempengaruhi proses gasifikasi adalah laju alir udara, laju alir udara merupakan salah satu syarat dialirkannya udara ke dalam *gasifier*,

sehingga terjadinya proses pembakaran secara tidak sempurna pada gasifikasi. Nilai pada laju udara ditunjang menggunakan alat *inverter*. Umumnya alat *inverter* ini pada gasifikasi batubara sebagai pengatur *blower*, untuk menyuplai dengan menaikkan dan menurunkan udara kedalam *gasifier* (Grafik 2).



Gambar 2. Laju alir Udara Terhadap Output Gas

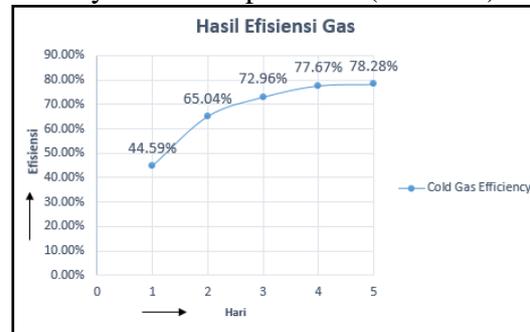
Dari grafik diatas menunjukkan hubungan antara jumlah laju alir udara terhadap suhu yang di hasilkan dari gas berbanding lurus. Jadi semakin besar nilai laju udara dan lama waktu gasifikasi yang digunakan, maka nilai suhu *output gas* akan tinggi. Sehingga suhu yang di dalam *gasifier* mempunyai nilai yang lebih tinggi. Jadi akan berpengaruh terhadap produksi abu yang dihasilkan, karena abu yang terbawa oleh *output gas* akan sedikit karena habis terbakar oleh suhu tinggi *gasifier*.

Suhu pada *gasifier* dapat ditentukan dengan mengatur banyaknya alir udara dan berat umpan yang masuk kedalam *gasifier*. Nilai laju udara dapat ditentukan dengan menggunakan alat *inverter* yang terhubung pada *blower* yang berfungsi untuk menyuplai udara dengan cara menaikkan dan menurunkan udara kedalam *gasifier* yang dapat dibatasi.

Efisiensi Gas Gasifikasi Batubara

Efisiensi gas merupakan persentase biomassa padat atau batubara yang dikonversi menjadi gas

yang bebas dari tar. Fungsi untuk mencari nilai efisiensi ini, guna mendapatkan nilai persentase gas yang baik pada *tipe updraft* sebagai pengganti bahan bakar dan layak atau tidaknya untuk di produksi (Grafik 3).



Gambar 3. Hasil Efisiensi Gas

Pada hari (pertama) efisiensi gas yang dihasilkan 44.59% hal ini dibawah kriteria gas yang di inginkan. Hal ini banyak berbagai pengaruh, dapat di lihat pada (Tabel 4). Semakin besar nilai umpan yang masuk kedalam *gasifier* dengan nilai kalori batubara tinggi, maka efisiensi yang dihasilkan kecil begitupun sebaliknya. Hal ini harus di seimbangkan antara berat batubara dengan nilai kalori batubara. Nilai kalori yang didapat cukup tinggi sebesar 5644 dan nilai efisiensi gas pada umpan 1 turun, hal ini dikarenakan pada proses gasifikasi terdapat, proses oksidasi, komposisi gas, dan *HHV*.

Tabel 4. Faktor yang Mempengaruhi Efisiensi Gas

No.	Faktor Yang Mempengaruhi Nilai Efisiensi Gas
1	Berat Batubara
2	Kalori Btubara
3	HHV (<i>High Heating Value</i>)
4	Laju Alir Udara

Pada hari 2 (kedua) efisiensi gas yang di dapat 65,04%. Dalam hal ini sudah melebihi nilai efisiensi gas yang di inginkan, dikatakan efisien nilai hasil proses dari keseluruhan gasifikasi $\geq 50\%$ (Guswendar, 2012).

Pada hari 3 (tiga) di dapat nilai 72,96% hal ini tidak jauh berbeda dengan efisiensi gas yang di hasilkan pada hari sebelumnya. Faktor-faktor yang mempengaruhi hasil efisiensi dapat dilihat pada (Tabel 4). Di dalam *gasifier* terjadinya proses cukup baik tidak banyak hambatan dibandingkan dengan hari 1 (pertama). Hal yang mempengaruhi, batubara tidak terbakar habis sehingga komposisi gas yang di hasilkan kurang baik dan berpengaruh pada perhitungan efisiensi gas

Pada hari 4 (empat) 77.67% dan hari 5 (lima) efisiensi yang di dapat 78,28%. Dari hari ke 2-5 gas yang dihasilkan cukup bagus, hal ini yang dapat mempengaruhinya dapat dilihat pada (Tabel 5.1). Jadi semakin sedikit umpan yang masuk, nilai kalori batubara cukup tinggi, dan nilai HHV tinggi maka *cold gas efficiency* yang dihasilkan besar. Jadi efisiensi dari proses gasifikasi menggunakan *gasifier* yang telah di rancang sebelumnya dan bahan bakar berupa batubara yang paling baik pada hari 2 sampai 5, karena diatas 50% efisiensi yang dihasilkan.

Nilai kalori awal pada batubara setelah dilakukannya proses gasifikasi maka akan terjadinya penurunan. Hal ini terjadi karena, di dalam proses gasifikasi terdapat proses oksidasi, yang dimana di oksidasi ini energi habis terbakar dan hilang menjadi tar (tar menyerap energi kalor yang tinggi). Pada gasifikasi batubara nilai efisiensi yang di dapat lebih rendah dibandingkan dengan pembakaran langsung. Hal ini di karenakan, gasifikasi ramah terhadap lingkungan (menghasilkan nilai SO_x dan CO_2 lebih rendah), bisa di *piping* atau pipanisasi sedangkan untuk pembakaran langsung tidak bisa, dan limbahnya terkonsentrasi atau tidak berterbangan (Fahmi Sulistyohadi, S.T).

D. Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan di atas, penelitian ini dapat disimpulkan :

1. Pengaruh laju aliran udara terhadap waktu proses gasifikasi batubara, semakin besar nilai laju udara dan lama waktu proses gasifikasi yang digunakan, maka nilai suhu *output gas* akan naik sehingga tentunya suhu yang di dalam *gasifier* (reaktor) gasifikasi mempunyai nilai yang lebih tinggi. Jadi akan berpengaruh terhadap produksi abu yang dihasilkan, sehingga abu yang terbawa oleh *output gas* akan sedikit karena habis terbakar oleh suhu tinggi *gasifier*.
2. Berdasarkan pengaruh proses gasifikasi terhadap komposisi gas, di dalam proses gasifikasi terdapat zona oksidasi. Di dalam zona oksidasi tar terbentuk, jika semakin banyak produksi tar yang dihasilkan, maka gas hasil gas kurang baik. Komposisi gas yang dihasilkan sudah mampu menghasilkan gas mampu bakar pada percobaan awal sampai ke lima dengan rata-rata komposisi CO sebesar 11,15%, H_2 sebesar 9,5%, dan CH_4 berkisar 2,62%.
3. Efisiensi gas yang dihasilkan ini dipengaruhi oleh nilai *HHV* (*High Heating Value*), semakin tinggi nilai *HHV* maka kecepatan *coal feeder* bertambah, dan pemakaian laju aliran udara pada bahan bakar bertambah. Efisiensi yang di dapat pada hari pertama percobaan 44,59% dengan berat umpan 24kg dan *HHV* 869,30 nilai efisiensi $\leq 50\%$ hal ini dikarenakan di dalam proses gasifikasi terdapat proses oksidasi, yang memungkinkan energi habis di dalam proses

tersebut dan ada yang berubah menjadi tar. Hari kedua didapatkan efisiensi sebesar 65,04% dengan umpan 36kg dan nilai *HHV* 927,66 hari ketiga efisiensi 72,96% dengan umpan sebesar 30kg dan nilai *HHV* 861,42 sedangkan untuk hari ke empat efisiensi sebesar 77,67% dengan nilai *HHV* 845,15 dan hari kelima nilai efisiensi sebesar 78,28% dengan umpan 18kg dan nilai *HHV* sebesar 865,77.

E. Saran

1. Melakukan penelitian gasifikasi batubara dengan lebih banyak parameter untuk bisa dilakukan perbandingan analisis sehingga dapat diperoleh hasil yang optimal.
2. Melakukan perawatan dan pembersihan pada *gasifier*, *cyclone*, pipa agar kegiatan gasifikasi batubara berjalan lancar dan tidak adanya material yang masih tersangkut ketika melakukan proses kegiatan.
3. Saluran buangan abu pada *gasifier* perlu diperbesar agar memudahkan pengambilan abu serta menambah keakuratan pengukuran.
4. Melakukan penelitian lebih lanjut pada efisiensi gasifikasi batubara, sehingga dapat diketahui layak atau tidaknya efisiensi gas yang dihasilkan untuk dimanfaatkan.

Daftar Pustaka

- Anonimous. 2006. “*Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*”, Bandung: Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara.
- Arif, I. 2014. “*Batubara Indonesia*”, Jakarta: Gramedia.
- Ali Sayigh. 2012. “*Comprehensive Renewable Energy*”, Australia: World renewable energy congress.
- Basu, P. 2010, “*Biomass Gasification and Pyrolysis Practical Design and Theory*”, New York: Publishers.
- Gede I Hendra Gunawan, Made Sucipta, I Nyoman Suprpta Winaya. 2015. “*Analisis Performasi Reaktor Gasifikasi Updraft dengan Bahan Bakar Tempurung Kelapa*”, Bali: Universitas Udayana.
- Highman Christopher and Maarten van der Burgt. 2005. “*Gasification*”, England: Gulf Professional Publishing.
- Nowacki, Perryi. 1981. “*Coal Gasification Processes*”, New Jersey: Noyes Data Corporation Published.
- Oakey John. 2016. “*Fuel Flexible Energy Generation (Solid, Liquid, and Gaseous Fuels)*”, Australia: Woodhead Publishing.
- Sharma Atul, Amritanshu Shukla, Lu Aye. 2018. “*Low Carbon Energy Supply*”, India: Rajiv Gandhi Institue Of Petroleum Technology.
- Speight James, G. 2014. “*Gasification Of Unconventional Feedstocks*”, Amerika: University Of Utah
- Yulistiani Yulistiani. 2017. “*Pengaruh Laju Alir Udara Pada Reaktor Gasifikasi Batch Tipe Downdraft Skala Kecil dengan Umpan Janggal Jagung*”, Bandung: Jurnal.
- Zainuddin Muammar, Miftakhul Fujiaman, Dina Mariani, Muhamad Aswalatah. 2017. “*Analisis Efisiensi Gasifikasi Pada Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa Tongkol Jagung Kapasitas 500 KW*”, Gorontalo: Teknik Elektro Nurhal.