

STUDI EKSPERIMENTAL GASIFIKASI *UPDRAFT* SEKAM PADI DAN BATUBARA KUALITAS RENDAH BERKATALIS BENTONIT UNTUK PRODUKSI SYNGAS

Akhmad Syarief dan Maidi

Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lambung Mangkurat

E-mail :maidie.engineer7@gmail.com

ABSTRACT

This Research aims to determine the amounts generated in the gas liquefaction process rice husk with low coal quality at temperatures at 500 ° C and to know the speed of the updraft gasification process rice husk and the low coal quality of Bentonite catalyst. This research uses updraft type gasification where the gas that can be generated from the gasifier section will flow into the flowmeter and will be accommodated in the urine bag. In this study obtained syngas results on the process of updraft rice husk gasification and low quality coal berkatalis bentonit. Most Syngas produce on sample A SP 200 gr: BB 0 gr: B 100 gr equal to 36,72L. In sample B 180gr: 20gram: 100gr at 31,47L. In the sample C 140gr: 60gr: 100gr At 27.3L. and the lowest volume of syngas produced on the D sample 100gr: 100gr: 100gr at 24.28L. The heating rate that can be used in the gas filtration process and the low quality coal catalyzed bentonite is obtained at the highest heating rate in sample A 200gr: 0gr: 100gr at 16.89 ° C / min. In sample B 180gr: 20gr: 100gr at 15.25 ° C / min. In sample C 140gram: 60 grams: 100 grams of 13.13 ° C / min The lowest heating rate was obtained in D 100gr: 100gr: 100gr at 11.26 ° C / min.

Keywords : rice husk, Coal, Gasification, Updraft, Syngas.

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara dimana biomassa sangat mudah dijumpai dan didapatkan serta jumlahnya berlimpah. biomassa yang sangat mudah didapatkan salah satunya adalah sekam padi, sekam padi merupakan biomassa yang banyak di jumpai di hampir setiap daerah di Indonesia, akan tetapi sebagian besar sekam padi masih banyak yang terbuang dan menjadi limbah. Kalimantan Selatan adalah salah satu provinsi lumbung padi nasional dan menjadi penghasil padi nomor satu di pulau kalimantan. Data Badan Pusat Statistik tahun 2016 menunjukkan bahwa produksi padi pada tahun 2015 di kalimantan selatan sebesar 2.140.276 ton dengan luas panen 511.213 ha (BPS Kalsel, 2016). Biomassa sekam padi dapat dirubah menjadi energi terbarukan, Energi dapat diperoleh dengan pembakaran biomassa secara langsung, dapat juga

dengan pirolisis (tanpa adanya oksigen) atau gasifikasi (dengan oksigen terbatas) untuk menghasilkan bahan bakar cair atau bahan bakar gas.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Gasifikasi

Gasifikasi adalah suatu proses termokimia yang mengubah bahan bakar padat dengan proses pembakaran menggunakan oksigen terbatas menjadi gas mampu bakar yang dikenal dengan istilah “*producer gas* atau *syntetic gas (syngas)*” yang lebih aman dan nyaman digunakan sebagai energi panas (*heating energy*) maupun untuk *power* (diesel, turbin, dll). *Updraft gasifier* merupakan salah satu jenis gasifier dan memiliki keuntungan bisa menghasilkan daya yang lebih besar di dibandingkan *downdraft gasifier* tetapi memiliki kerugian karena menghasilkan tar yang lebih banyak.

Updraft Gasifikasi

Gasifikasi *Updraft* Pada gasifikasi tipe *updraft* ciri dari sistem ini adalah arah aliran udara dari *blower* masuk melalui bagian bawah *gasifier*. Pada gasifikasi tipe ini gas N_2 masuk melalui bagian bawah *gasifier* untuk mendorong oksigen keluar *gasifier* sehingga tidak akan terjadi proses pembakaran sempurna. Sementara produksi gas mampu bakar dikeluarkan melalui bagian atas dari *gasifier*. Produksi gas mampu dikeluarkan melalui bagian atas dari reaktor sedangkan abu dari proses reaksi jatuh ke bagian bawah *gasifier* karena pengaruh gaya gravitasi dan berat jenis abu sehingga kandungan menjadi lebih bersih. Gas mampu bakar kemudian bergerak menuju bagian atas *gasifier* yang memiliki temperatur lebih rendah. Selain itu kelebihan dari tipe ini adalah dapat digunakan dalam skala kecil dan *char* yang dihasilkan hampir tidak ada karbon karena terbawa oleh gas keatas. Kekurangan dari tipe ini adalah memiliki hasil tar yang tinggi.

Sekam Padi

Padi sebagai tanaman budidaya yang merupakan sumber makanan pokok masyarakat Indonesia selalu menjadi prioritas utama dalam budidaya dan pengembangan serta dalam peningkatan produksinya yang cenderung terus meningkat karena ledakan penduduk dan perkembangan teknologi. Lingkungan tanaman padi merupakan suatu ekosistem darat berupa pesawahan, dimana suatu ekosistem darat yang digenangi air pada periode tertentu. Dalam prosesnya sebagai produk yang dikonsumsi sebagai makanan pokok, padi diproses

dengan melakukan proses penggilingan sehingga menjadi beras dan selanjutnya dimasak menjadi nasi. Dalam proses penggilingan padi menjadi beras, ada produk-produk sampingan yang berupa limbah yang bila dibiarkan atau dikelola secara kurang bijaksana akan merugikan manusia (Pakpahan, 2006).



Gambar 1. Tanaman Padi

Batubara

Batubara Merupakan energi yang terbentuk dari makhluk hidup jutaan tahun dan terkubur di bawah bumi salah satunya berupa batubara. Pengembangan konversi batubara di Indonesia pada dasarnya merupakan bagian yang tidak bisa dipisahkan dari pendorongan peningkatan nilai tambah batubara yang harus dilakukan oleh pengusaha batubara yang tertuang dalam Peraturan Pemerintah Nomor 23 Tahun 2010 pasal 94, 95, dan 96 dan kebijakan energi nasional berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 79 Tahun 2014 tentang diversifikasi energi, dimana pada pasal 18 ayat 2 butir b menyebutkan bahwa salah satu diversifikasi energi tersebut adalah melalui peningkatan pemanfaatan batubara kualitas rendah untuk batubara tergaskan (*gasified coal*) (Winarno, dkk, 2016).

Bentonit

Nama bentonit ini pertama kali digunakan Knight pada tahun 1898, untuk suatu jenis lempung tanah pemucat yang terdapat di daerah Benton, Rockcreek, Wyoming, Amerika Serikat. Bentonit merupakan istilah bahan galian yang digunakan di dalam dunia perdagangan untuk sejenis batu liat yang mengandung mineral montmorillonit sebagai komponen utamanya. Rumus kimia montmorillonit adalah $(Mg, Ca) O, Al_2O_3, 5SiO_2, 8H_2O$. Mineral-mineral montmorillonit

umumnya berupa butiran halus/sedang, lapisan-lapisan penyusunnya tidak terikat dengan kuat. Dalam kontakannya dengan air, mineral-mineral tersebut menunjukkan pengembangan antar lapis yang menyebabkan volumenya meningkat menjadi dua kali lipat atau lebih. Potensi mengembang dan mengerut, dan adanya muatan negatif yang tinggi merupakan penyebab mineral ini dapat menerima dan menyerap ion-ion logam dan kation-kation organik (Arifin, dkk,1997).

Katalis

Suatu zat yang digunakan untuk mempercepat laju reaksi kimia disebut katalis. Penambahan katalis dapat membuat reaksi berlangsung pada temperatur lebih rendah sehingga energi aktivasi yang dibutuhkan menjadi lebih rendah dan energi yang dibutuhkan saat bereaksi menurun. Hal ini menghasilkan reaksi dapat berlangsung lebih cepat (Nainggolan, 2017).

Secara umum katalis dibedakan menjadi katalis heterogen dan homogen. Katalis homogeny adalah katalis yang fasenya sama dengan pereaksinya, sedangkan katalis heterogen fasenya berbeda dengan pereaksinya. Cara kerja katalis adalah mengganggu ikatan kimia reaktan sehingga electron dari substrat reaktan untuk sementara terperangkap. Ikatan baru terjadi disaat pelemahan ikatan kimia molekul reaktan. Gaya antar molekul melepas ikatan antara produk dan katalis (Juliono, 2017).

Pada proses gasifikasi menggunakan penambahan zat katalis dapat mempercepat reaksi kimia. Penambahan katalis dapat mengurangi kebutuhan Energi pereaksian sehingga proses pereaksian dapat terjadi pada temperatur rendah. Katalis yang di gunakan berupa bentonit, bentonit adalah salah satu mineral yang berasal dari alam. Biomassa dengan katalis bentonit saat proses pirolis menghasilkan lebih banyak gas dan meningkatkan kandungan hydrogen dan metana meskipun pada temperatur yang rendah (Dou, 2016). diharapkan dengan penambahan bentonit dapat meningkat volume hasil produksi *syngas*.

3. METODE PENELITIAN

Pelaksanaan penelitian ini dilaksanakan pada bulan Januari 2018 – bulan Mei 2018 dan penelitian ini dilakukan di laboratorium teknik mesin Universitas Lambung Mangkurat, dan laboratorium Teknik mesin Universitas Brawijaya Malang. Pada penelitian ini bahan yang digunakan ialah:

- a. Sekam Padi

Sekam Padi ialah spesimen yang digunakan pada penelitian ini dan nantinya akan diukur gas yang dihasilkan setelah proses gasifikasi.

b. Batubara

Pada penelitian ini batubara yang digunakan adalah batubara kualitas rendah yang menjadi bahan pencampur dari proses gasifikasi

c. Bentonit.

Bentonit pada penelitian ini digunakan sebagai bahan campuran yang berfungsi sebagai katalis untuk meningkatkan laju pemanasan pada proses gasifikasi

Berat total dari bahan yang digunakan pada penelitian ini berjumlah 300 gram, kemudian setiap bahan dicampur sesuai dengan Tabel 1.

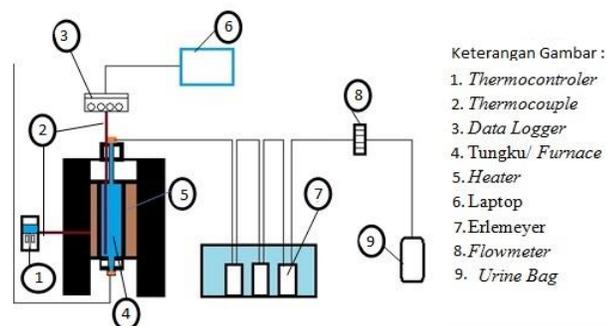
Tabel 1. Variasi Campuran Bahan

No	sekam padi (gram)	batubara (gram)	bentonit (gram)
1.	200	0	100
2.	180	20	100
3.	140	60	100
4.	100	100	100

Proses alur penelitian sebagai berikut:

1. Melakukan persiapan peralatan gasifikasi, dalam melakukan persiapan kita terlebih dahulu mengecek semua peralatan yang akan digunakan untuk memastikan bahwa peralatan dapat bekerja dengan normal.
2. Menimbang semua bahan yang akan di gasifikasi, Setelah semua bahan siap maka terlebih dahulu sekam padi, batubara dan bentonit ditimbang sesuai dengan variasi yang telah ditentukan. Untuk perbandingan dari variasi berat sekam padi, batubara dan bentonit dapat dilihat pada tabel di atas.
3. Memasukkan semua bahan yang sudah di campurkan sesuai dengan perbandingan yang telah ditentukan. sekam padi, batubara dan bentonit di masukkan secara bersamaan pada reaktor tungku gasifikasi. kemudian menutup tungku dengan rapat agar tidak terjadi kebocoran gas.

4. Hidupkan saklar yang ada pada *thermocontroler* dan atur temperatur 500°C sesuai dengan temperatur yang diinginkan. secara bersamaan tekan tombol *start* pada aplikasi *data logger* dan tekan tombol *start* pada *thermocontroler* untuk memulai proses pemanasan pada tungku gasifikasi. Hal ini dilakukan agar data pemanasan di dalam tungku gasifikasi dapat terbaca pada *data looger* dari proses *start* awal gasifikasi. Waktu yang ditentukan pada proses gasifikasi ini ialah 2 jam. Selama proses gasifikasi berjalan amati tabung *flowmeter* dan catat volume gas yang dihasilkan setiap kenaikan 50 cm³ pada *flowmeter*. Ketika temperatur sudah sesuai yang diinginkan jaga temperatur tersebut agar konstan dan pastikan tidak terjadi kebocoran. Setelah proses selesai hitung jumlah gas yang di hasilkan pada tabung *flowmeter* dan catat produk sampingan yang terbentuk berupa *tar* dan *char*.



Gambar 2. Instalasi Gasifikasi

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Data hasil penelitian yang diambil berupa data laju pemanasan, data hubungan suhu terhadap waktu, data hasil volume syngas, dan data produk sampingan berupa Char (arang) dan Tar. Yang disajikan pada Tabel 2 dan 3 dan pada Gambar 3 sampai 7. Untuk mempermudah pengolahan data, maka variasi persentasi penelitian di berikan simbol seperti pada Tabel 2.

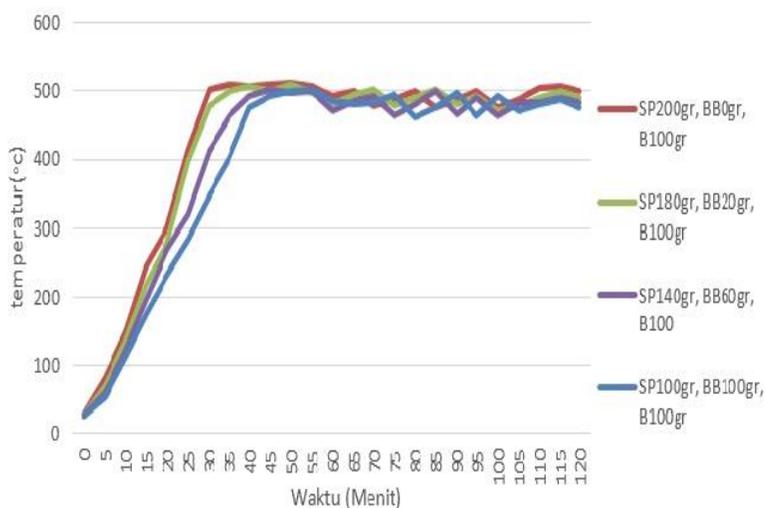
Tabel 2. Pengolahan data

sekam padi (gram)	batubara (gram)	bentonit (gram)	Simbol
200	0	100	A
180	20	100	B
140	60	100	C
100	100	100	D

Tabel 3. Data variasi campuran bahan

No	Variasi Campuran (gram)			Laju Pemanasan °C/menit	Gas (liter)	Tar (ml)	Char (gram)
	Sekam Padi	Batubara	Bentonit				
A	200	0	100	16,89	36.72	62.5	196
B	180	20	100	15,25	31.47	58.5	200
C	140	60	100	13,13	27.3	56.5	213
D	100	100	100	11,26	24.28	54.5	216

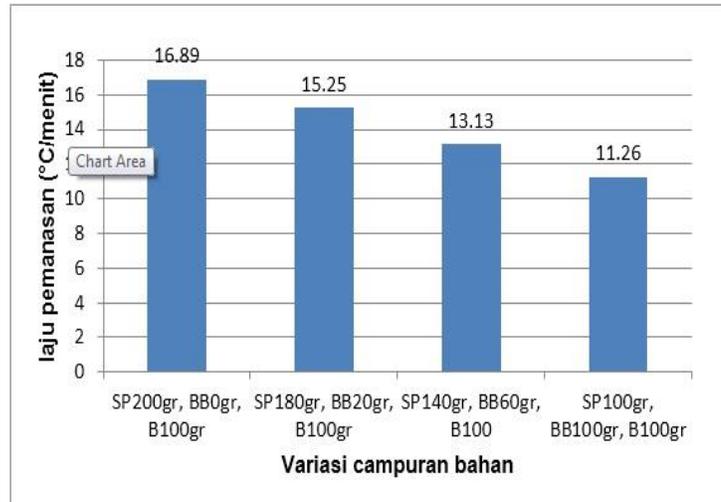
Hubungan suhu terhadap waktu sekam padi dengan penambahan batubara berkatalis bentonit pada suhu 500°C.



Gambar 3. Grafik hubungan suhu terhadap waktu sekam padi batubara berkatalis bentonit

Pada Gambar 3 menunjukkan grafik hubungan suhu terhadap waktu, dimana suhu awal pemanasan 27°C kemudian dipanaskan hingga 120 menit. Untuk mencapai suhu 500°C waktu tercepat di peroleh pada variasi A sebesar 28 menit dan terlama pada variasi D sebesar 42 menit. Kemudian suhu berfluktuasi hingga waktu mencapai 120 menit.

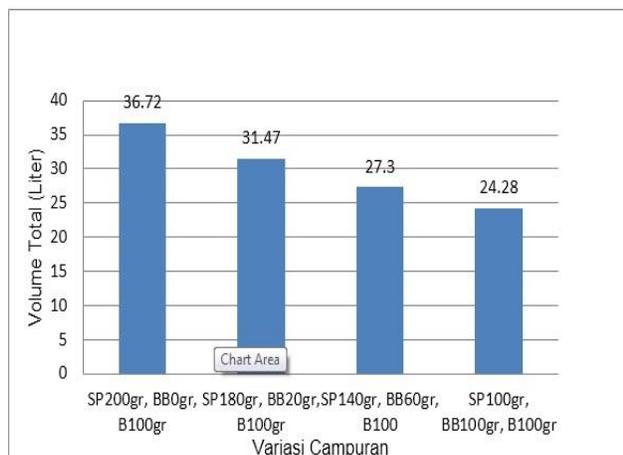
Hubungan data laju pemanasan sekam padi dengan penambahan batubara berkatalis bentonit pada suhu 500°C.



Gambar 4. Grafik laju pemanasan gasifikasi sekam padi dan batubara berkatalis bentonit

Pada Gambar 4 menunjukkan grafik laju pemanasan. dimana laju pemanasan tertinggi di peroleh pada variasi A sebesar 16,89°C/menit. Dan terendah pada variasi D sebesar 11,26°C/menit. Hal ini dikarenakan sekam padi dapat terbakar dengan keseluruhan dan dengan di pengaruhi adanya bentonit sebagai katalis hingga dapat mempercepat laju reaksi. Sedangkan dengan adanya penambahan batubara dapat memperlambat laju pemanasan hal ini di karenakan batubara yang sulit terbakar pada temperatur yang rendah.

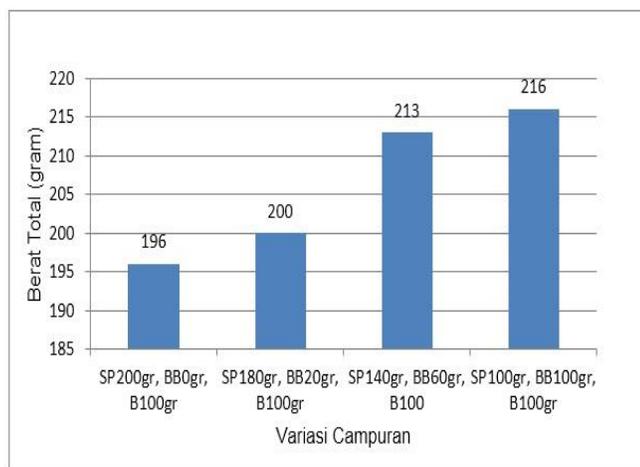
Data volume gas hasil gasifikasi sekam padi dan batubara berkatalis bentonit.



Gambar 5. Grafik data volume gas hasil gasifikasi sekam padi dan batubara berkatalis bentonit

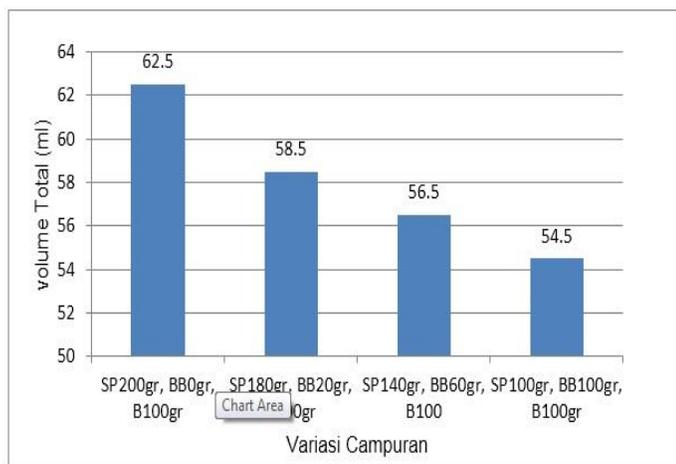
Pada Gambar 5 menunjukkan grafik volume gas yang dihasilkan. Volume gas tertinggi dihasilkan pada variasi A sebesar 36,72L, dan terendah pada variasi D sebesar 24.28L.

Komposisi Char dan Tar



Gambar 6. Grafik data char yang dihasilkan pada proses gasifikasi sekam padi dan batubara berkatalis bentonit

Pada Gambar 6 menunjuk produk sampingan berupa tar. produk tar tertinggi dihasilkan pada variasi D sebesar 216gram, dan yang terendah di hasilkan pada variasi A sebesar 196gram.



Gambar 7. Grafik data Tar yang dihasilkan pada proses gasifikasi sekam padi dan batubara berkatalis bentonit

Pada gambar 7 menunjuk produk sampingan berupa char. Produk char tertinggi dihasilkan pada variasi A sebesar 62.5ml, dan yang terendah di hasilkan pada variasi D sebesar 54.5ml.

Pembahasan

Pada pembahasan ini membahas tentang gas yang dihasilkan pada proses gasifikasi serta laju pemanasan pada saat proses gasifikasi *updraft* variasi campuran bahan sekam padi dan batubara berkatalis bentonit. Untuk dapat mengetahui gas yang dihasilkan maka dilakukan pengukuran gas dengan menggunakan tabung ukur *flowmeter*, catat gas yang dihasilkan setiap kenaikan 50 cm^3 pada tabung ukur *flowmeter*. Lakukan pencatatan hingga proses gasifikasi selesai.

Pada penelitian ini produk syngas yang dihasilkan dari variasi campuran bahan sekam padi, batubara, dan bentonit. Dimana volume gas tertinggi yang dihasilkan dari keempat percobaan tersebut di peroleh pada variasi A sebesar 36,72L, dan terendah diperoleh pada variasi D sebesar 24,28L. banyaknya gas yang dihasilkan pada variasi tersebut disebabkan oleh sekam padi. sebagai biomassa yang mudah terbakar dan dengan adanya bentonit sebagai katalis yang dapat mempercepat reaksi pembakaran sehingga dengan semakin cepatnya proses pembakaran yang terjadi pada proses gasifikasi maka gas yang dihasilkan akan semakin maksimal. Pada variasi dengan penambahan batubara gas yang dihasilkan semakin menurun seiring dengan banyaknya jumlah batubara yang ditambahkan, hal ini dikarenakan batubara membutuhkan temperatur yang lebih tinggi lagi untuk dapat terbakar dengan sempurna. juga ukuran dari batubara yang masih besar mempengaruhi proses pembakarannya. dengan ukuran batubara yang besar mengakibatkan sulitnya pembakaran pada batubara.

Untuk mengetahui laju pemanasan di dalam *gasifier* di lakukan perhitungan dengan menjadikan waktu pengambilan data selama 120 menit dan variasi bahan sebagai tolak ukur yang sesuai dengan variabel kontrol penelitian. Selama 120 menit proses gasifikasi berlangsung gas yang dihasilkan akan terus meningkat hingga mencapai temperatur 500°C , dan temperatur ditahan hingga proses gasifikasi selesai. Seiring dengan bertambahnya waktu gas yang dihasilkan mulai menurun hingga proses gasifikasi selesai. Hal ini disebabkan oleh sekam padi pada tungku gasifikasi sudah mulai terbakar seluruhnya akan tetapi batubara pada tungku masih belum terbakar secara keseluruhan.

Hubungan suhu terhadap waktu, dimana suhu awal pemanasan 27°C kemudian dipanaskan hingga 120 menit. Campuran bahan sekam padi batubara dan bentonit Pada variasi A, waktu yang dibutuhkan untuk mencapai suhu 500°C adalah 28 menit. Pada variasi B, waktu yang

dibutuhkan untuk mencapai suhu 500°C adalah 31 menit. Pada variasi C, waktu yang dibutuhkan untuk mencapai suhu 500°C adalah 36 menit. Pada variasi D, waktu yang dibutuhkan untuk mencapai suhu 500°C adalah 42 menit. Kemudian suhu berfluktuasi hingga waktu mencapai 120menit. Banyaknya biomassa yang di gasifikasi waktu yang dibutuhkan semakin sedikit untuk mencapai suhu yang ditentukan. Hal ini di karenakan biomassa memiliki sifat yang mudah terbakar pada suhu rendah sehingga proses pembakaran yang terjadi semakin cepat. Kemudian dengan adanya penambahan batubara maka waktu yang dibutuhkan untuk mencapai suhu yang di tentukan semakin lambat, hal ini dikarenakan batubara masih belum dapat terbakar secara keseluruhan pada suhu yang rendah sehingga waktu yang dibutuhkan untuk membakar batubara cenderung lama. ukuran batubara yang masih besar juga mempengaruhi lambatnya pembakaran pada batubara. Sedangkan dengan adanya penambahan bentonit sebagai katalis dapat mempercepat reaksi pembakaran akan tetapi adanya bentonit masih belum mampu mempercepat reaksi pembakaran pada batubara karena batubara memerlukan temperatur yang lebih tinggi untuk dapat terbakar secara sempurna.

Laju pemanasan proses gasifikasi ini berpengaruh pada hasil volume *syngas*. Karena semakin cepat temperatur *gasifier* mencapai temperatur 500°C maka akan semakin cepat proses gasifikasi menghasilkan gas. Pada percobaan gasifikasi *updraft* sekam padi dan batubara berkatalis bentonit ini di dapatkan hasil laju pemanasan, semakin banyak massa biomassa sekam padi yang digasifikasi maka laju pemanasan semakin cepat. Dimana pada variasi A laju pemanasan yang terjadi sebesar 16,89°C/menit. Pada variasi ini dimana biomassa memiliki sifat yang mudah terbakar dan dengan adanya bentonit sebagai katalis dapat mempercepat reaksi pembakaran sehingga pembakaran yang terjadi semakin cepat. Semakin cepatnya pembakaran yang terjadi maka akan semakin cepat proses gasifikasi dapat menghasilkan gas yang maksimal. Pada variasi B laju pemanasan yang terjadi sebesar 15,25°C/menit. Pada variasi ini laju pemanasan yang terjadi menurun di banding dengan variasi A hal ini dikarenakan dengan adanya penambahan batubara proses pembakaran menjadi lambat, karena batubara tidak mudah terbakar dengan cepat pada temperatur yang rendah juga ukuran batubara yang masih besar sehingga pembakaran yang terjadi kurang maksimal. Dengan adanya penambahan bentonit sebagai katalis masih kurang mampu mempercepat reaksi pembakaran pada batubara. Pada variasi C laju pemanasan yang terjadi sebesar 13,13°C/menit. Pada variasi ini laju pemanasan yang terjadi

semakin menurun di banding dengan variasi A dan B hal ini dikarenakan dengan semakin banyaknya batubara yang di tambahkan berpengaruh dengan semakin lambatnya proses pembakaran sehingga laju pemanasan yang terjadi juga semakin lambat, batubara yang sulit terbakar dengan sempurna juga dengan ukuran batubara yang masih besar menyebabkan proses gasifikasi menjadi tidak maksimal. Dengan adanya penambahan bentonit sebagai katalis masih kurang mampu mempercepat reaksi pembakaran pada batubara. Pada variasi D laju pemanasan yang terjadi sebesar $11.26^{\circ}\text{C}/\text{menit}$. Pada variasi ini laju pemanasan yang terjadi semakin lambat di banding dengan variasi A, B dan C pada variasi ini jumlah batubara yang ditambahkan semakin banyak, dengan adanya penambahan batubara tersebut sehingga laju pemanasan yang terjadisemakin lambat. hal ini dikarenakan batubara sulit terbakar pada temperatur rendah juga ukuran batubara yang masih besar. Dengan adanya penambahan bentonit sebagai katalis masih kurang mampu mempercepat reaksi pembakaran pada batubara.

KESIMPULAN

Dari analisa pembahasan pengaruh variasi campuran bahan terhadap hasil gasifikasi *updraft* sekam padi dengan penambahan batubara berkatalis bentonit, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Gas yang dihasilkan pada gasifikasi *updraft* sekam padi dengan penambahan batubara berkualitas rendah berkatalis bentonit, Volume gas tertinggi dihasilkan pada variasi A sebesar 36,72L, dan terendah pada variasi D sebesar 24.28L. Dengan semakin banyak penambahan batubara gas yang dihasilkan menurun.
2. Laju pemanasan dengan penambahan batubara lebih rendah dibandingkan dengan tanpa penambahan batubara. dimana laju pemanasan pada variasi A sebesar $16,89^{\circ}\text{C}/\text{menit}$. Dan terendah pada variasi D sebesar $11,26^{\circ}\text{C}/\text{menit}$.

DAFTAR PUSTAKA

Arief Tajali, (2015) Panduan Penilaian Potensi Biomassa Sebagai Sumber Energi Alternatif Di Indonesia. Jakarta Penabulu Aliance 2015.

- Arifin, M. dan A. Sudrajat, 1997. Bahan Galian Industri: Bentonit. Departemen Pertambangan dan Energi. Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral, Bandung
- Badan Pusat Statistik Provinsi Kalimantan Selatan 2016. Survei Pertanian Produksi Tanaman Padi Dan Palawija Kal-Sel, Banjarmasin CV Karya Bintang Musim.
- Dou. 2016. In situ upgrading of pyrolysis biofuels by bentonite clay with simultaneous production of heterogeneous adsorbents for water treatment. Department of Mechanical Engineering, Boston University, 110 Cummington Mall, Boston, MA 02215, United States.
- Hardianto Toto (2015). Melakukan penelitian dengan judul “Studi Pemanfaatan Batubara Peringkat Rendah Dengan Metode Gasifikasi Entrained Flow Pada Sistem PLTGU Di Indonesia”.
- Juliyono Adimas Rangga, (2017), Pengaruh Katalis Bentonit Terhadap Hasil Gasifikasi Updraft Cangkang Kelapa Sawit Pada Temperatur 550oc, 650oc, Dan 750oc. Skripsi. Tidak di publikasikan, Malang: Universitas Brawijaya Fakultas Teknik .
- Nurtanto Irvan, (2012). Studi Kandungan Tar *Updraft* gasifier dengan pengeluaran syngas pada zona reduksi.Fakultas teknik program studi teknik mesin depok.
- Nainggolan, Andre Gunawan. 2017. Pengaruh Perbandingan karbon Aktif dan CuZn Terhadap Produktivitas Gas Hidrogen Dari Minyak Biji Randu. Skripsi. Tidak dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya.
- Prabir Basu, 2010. Biomass Gasification and Pyrolysis Practical Design and Theory. Elsevier.
- Pakpahan, A., (2006). Sekam Padi, Sebuah Alternatif Sumber Energi. Jakarta : Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Departemen Pertanian
- Suliono, Dionisius Felix, Rohmat Nur Yusup, Delffika Canra, Rahmat Bijak Karisma, 2017 unjuk kerja reaktor gasifikasi sekam padi sebagai alat pembuatan gas pengganti elpiji pada rumah tangga.
- Suharto, (2013).Kajian Awal Potensi Pemanfaatan Biomassa Sekam Padi Untuk Pembangkit Listrik Melalui Teknologi Gasifikasi Di Provinsi Sulaesi Selatan. Seminiar Nasional Kimia Dan Pendidikan Kimia V, Program Studu Pendidikan Kimia Jurusan PMIPA FKIP UNS Surakarta

- Triantoro Agus, Mustofa Adif, Riswan (2013), Pengaruh Agen Gasifikasi Batubara Terhadap Produk Gas Yang Dihasilkan Oleh Batubara Peringkat Rendah. Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat.
- Winarno Agus, Amijaya Hendra, Harijoko Agung (2016). Studi Pendahuluan Pengaruh Karakteristik Batubara Peringkat Rendah Cekungan Kutai Terhadap Gasifikasi Batubara. Program Studi Teknik Pertambangan, Universitas Mulawarman Departemen Teknik Geologi, Universitas Gadjah Mada.
- World Coal Institute, (2005). Buku Sumber Daya Batubara, Tinjauan Lengkap Mengenai Batubara.