

ANALISIS SYNGAS GASIFIKASI BATUBARA TIPE *DOWNDRAFT* DITINJAU DARI VARIASI UKURAN BATUBARA DAN TINGGI ISIAN *PACKING ABSORBER*

SYNGAS ANALYSIS OF COAL GASIFICATION DOWNDRAFT TYPE IN TERMS OF COAL SIZE VARIATION AND HEIGHT OF PACKING ABSORBER FILLING

Muhammad Fadjrin Ismaily*¹, Fegi Kurniawaty¹, Aida Syarif*¹, Irawan Rusnadi¹, Ida Febriana¹

¹Jurusan Teknik Kimia Program Studi Sarjana Terapan Teknik Energi, Politeknik Negeri Sriwijaya

Jl. Sriwijaya Negara Bukit Besar Palembang 30139, telp: 0711-353414 / fax: 0711-453211
e-mail : aida_syarif@yahoo.co.id, *fadjrinismaily622@gmail.com

ABSTRACT

Coal gasification is the process of converting low rank coal into syngas which can be used as fuel. One of the factors that affect the quality of syngas is the size of coal particles. Meanwhile, to produce clean syngas, the gas from the combustion reactor is flowed through a packed bed absorber filled with marbles to reduce the incompatible particulate gases that are still contained in the syngas. The variations in the size of the coal used in this study are 3-4 cm, 5-6 cm, and 7-8 cm. While the variation of the height of the packing absorber filling used was 9.75 cm, 19.5 cm, 29.25 cm and 39 cm. The composition of the best combustible gas from the variation of coal size and the variation in the filling height of the absorber packing is found in the coal size 3-4 cm, and the packing filling height is 39 cm. With combustible gases (CO, H₂ and CH₄) produced by 10.9%, 10.5% and 0.9%, the volume of O₂ and CO₂ is 0.1% and 10.1%, the syngas volume of the absorber output is 2473.47 m³ and the LHV syngas is 6.932 MJ/kg.

Key words: Coal Gasification, Coal Size, Syngas, Packing Absorber

1. PENDAHULUAN

Indonesia memiliki potensi cadangan batubara yang berlimpah. Menurut data Kementerian ESDM tahun 2011, total batubara Indonesia diperkirakan 119,4 miliar ton, dimana 48%-nya terletak di Sumatera Selatan dengan 70% deposit batubara tersebut adalah batubara muda atau berkualitas rendah. Menurut data dari Kementerian ESDM tahun 2019, produksi batubara tahun 2018 meningkat menjadi 528 juta ton dibanding produksi tahun 2017 sebesar 461 juta ton. Diprediksikan produksi tahun 2019 tidak akan jauh berbeda dari tahun 2018. Kualitas sumber daya batubara Indonesia cukup bervariasi, baik dalam parameter kalori, kandungan abu, kandungan sulfur, total lengas, dan parameter lainnya. 60% batubara yang dimiliki Indonesia merupakan batubara berkalori sedang atau sekitar 5100-6100 kcal/kg ADB (*Air Dried Basis*) (*medium rank*), 30% di kategorikan *low rank* (nilai kalori <5100 kcal/kg ADB), 7% termasuk dalam kategori *high rank* (nilai kalori 6100-7100 kcal/kg ADB) dan 2% batubara di Indonesia termasuk batubara berkategori *very high rank* (>7100 kcal/kg ADB) (BAPPENAS, 2019).

Di antara Energi fosil lain, batubara memiliki kadar karbon dan bahan pengotor (sulfur, nitrogen dan lainnya) paling tinggi. Batubara melepaskan gas (CO₂,

N₂O, NO_x, SO_x dan Hg) penyebab pemanasan global dan polusi. Oleh karena itu, pemanfaatan batubara bersih dan efisien masih tetap menjadi tantangan yang perlu diupayakan secara ekstensif dalam rangka memperpanjang umur ketersediaannya. Selain meminimalkan beban lingkungan global, Salah satu cara untuk meningkatkan pemanfaatan batubara bersih adalah dengan proses gasifikasi batubara. Gasifikasi batubara akan menghasilkan *gas producer* berupa *syntetic gas* (*syngas*) dengan komponen utamanya terdiri dari gas karbon monoksida (CO), hidrogen (H₂), karbondioksida (CO₂), air (H₂O), dan nitrogen (N₂). Sehingga permasalahan yang akan dikaji pada penelitian ini adalah pengaruh ukuran batubara yang berukuran 3-4cm, 5-6cm, dan 7-8cm terhadap kenaikan temperatur dan komposisi *syngas*, serta pengaruh isian *packing absorber* terhadap komposisi *syngas*, tingkat kelarutan O₂ dan CO₂, volume *syngas* keluar absorber serta lhv *syngas*.

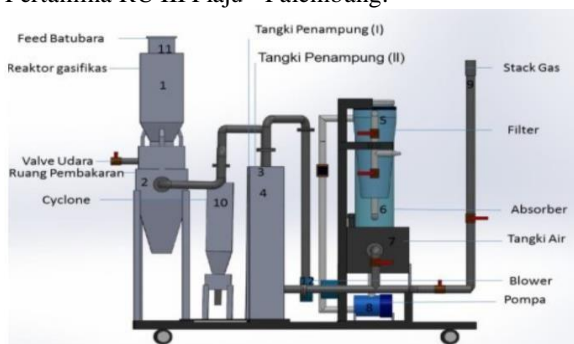
Analisa ini menggunakan batubara peringkat rendah dengan proses absorpsi, menara absorpsi yang digunakan adalah menara absorpsi dengan benda isian (*packing column*). Menara jenis ini terdiri dari kolom dengan pengisian *packing* secara acak untuk memperbesar permukaan kontak dengan jalan

penyebaran zat cair dan penyebaran gas. Bahan isian yang digunakan adalah kelereng.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Perlakuan dan Rancangan Percobaan

Dalam penelitian analisis *syngas* gasifikasi i batubara tipe *downdraft* ditinjau dari variasi ukuran batubara dan tinggi isian *packing* absorber dilakukan di Laboratorium Teknik Energi Politeknik Sriwijaya dari tanggal 06 Juli-10 Agustus 2020. Variable tetap pada penelitian ini adalah persen bukaan *valve* (100%) sebesar 3.2 m/s. Untuk variasi tinggi isian *packing* absorber menggunakan ukuran batubara 7-8 cm, permasalahan yang akan dikaji pada penelitian ini adalah pengaruh ukuran batubara dengan nilai kalor 5108 Kcal/Kg terhadap hasil perubahan komposisi gas mampu bakar (CO, H₂ dan CH₄) dan temperatur ruang bakar, serta pengaruh tinggi isian *packing* absorber terhadap komposisi *syngas*, tingkat kelarutan gas tak mampu bakar (CO₂ dan O₂), volume *syngas* keluar absorber dan *Low Heating Value* (LHV) *syngas*. Dalam penelitian ini dilakukan analisa awal untuk mengetahui komposisi kandungan *proximate* dan *ultimate*. Analisa *proximate* menggunakan analisa ASTM D 3173-03 for moisture, ASTM 3175-07 for volatile matter, ASTM 3175-02 for ash, for fix carbon. Sedangkan kandungan *ultimate* dianalisa PT. Geoservices Palembang dengan metode yang digunakan ASTM-D4239 metode A-2017 untuk total sulfur, ASTM D5373-2016 untuk Instrument ultimate, dan ASTM D3176-2015 untuk *Oxygen by difference*. Untuk mengetahui nilai komposisi *syngas* menggunakan alat GC-MS (ASTM D-2163) dari Pertamina RU III Plaju –Palembang.



Gambar 2. Desain Rancang Bangun Reaktor Gasifikasi

Preparasi Sampel, Proses Start Up, Pengambilan Sampel dan Mematikan Alat Gasifikasi

Dalam tahap ini dilakukan proses ignisasi awal dimana bahan bakar mengalami proses pemanasan awal (*heating up*) untuk mentransmisikan panas ke proses selanjutnya sehingga didapat proses pembakaran yang berkelanjutan dan menghasilkan *syngas* dari proses gasifikasi yang terjadi di dalam reaktor pembakaran. Adapun prosedur percobaan meliputi:

a. Analisa Proximate Batubara

Analisa proximate menggunakan analisa ASTM D 3173-03 for moisture, ASTM 3175-07 for volatile matter, ASTM 3175-02 for ash, for fix carbon.

b. Persiapan Alat Ukur

Alat ukur yang digunakan untuk pengujian terdiri dari *Thermokopel*, *Anemometer*, dan *Termogun*. *Thermokopel* dipasang sesuai skema *instalation set up* dan pastikan tidak ada kebocoran di tempat pemasangannya.

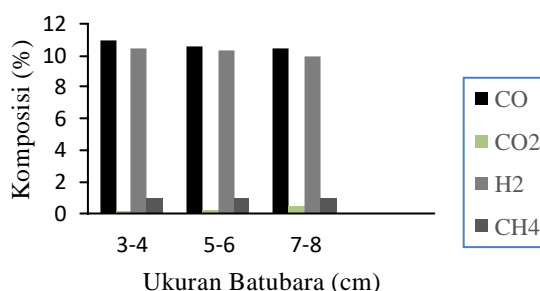
c. Prosedur Gasifikasi Sistem *Downdraft*

Prosedur percobaan yang dilakukan pada proses gasifikasi batubara menggunakan reaktor sistem *downdraft* berdasarkan prosedur percobaan yang dilakukan Silisia (2017) yang telah disesuaikan dengan rancangan dan kondisi alat.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengaruh Ukuran Batubara Terhadap Komposisi *Syngas*

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat dilihat pada Gambar 3 berikut ini.

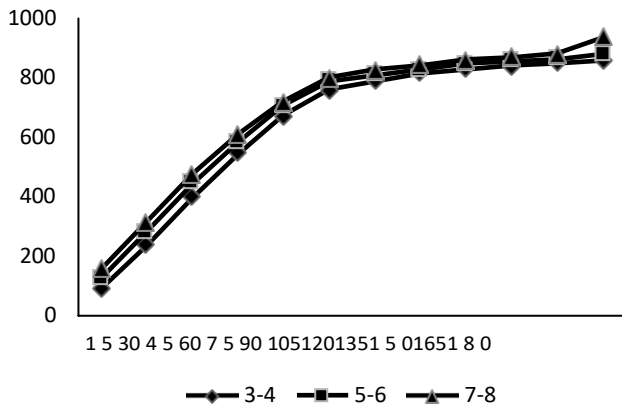


Gambar 3. Pengaruh Ukuran Batubara Terhadap Komposisi *Syngas*

Pada Gambar 3 dapat diamati bahwa semakin besarnya ukuran partikel batubara maka komposisi gas mampu bakar akan menurun. Hal ini dikarenakan semakin besarnya ukuran batubara maka semakin sedikitnya kadar air yang tersisa pada batubara sehingga proses pembakaran akan menjadi sempurna. Jika pembakaran menjadi sempurna, maka komposisi gas mampu bakar akan menurun. Gas mampu bakar dapat terbentuk jika pembakaran tidak sempurna atau udara pembakaran dibatasi, sehingga gas yang terbentuk lebih banyak gas CO₂ (Baaqy dkk., 2013). Semakin kecil ukuran batubara maka akan menyisakan lebih banyak air pada proses pembakaran dikarenakan batubara dengan ukuran partikel kecil memiliki volume rongga antar partikel yang lebih kecil dibandingkan batubara dengan ukuran partikel besar. Luas permukaan partikel tidak lagi menjadi efektif dibandingkan kecilnya volume rongga antar partikel yang mampu menghambat perpindahan massa air atau mengakibatkan air terperangkap dalam tumpukan batubara dan membuat proses pembakaran menjadi relatif lebih sempurna yang menyebabkan komposisi gas mampu bakar menurun.

3.2 Pengaruh Ukuran Batubara Terhadap Kenaikan Temperatur

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan dapat dilihat Pada Gambar 4.

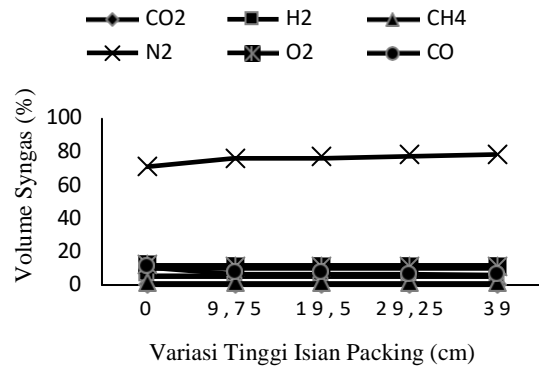


Gambar 4. Pengaruh ukuran batubara terhadap kenaikan temperatur

Pada Gambar 4 ditunjukkan bahwa temperature paling tinggi ialah batubara dengan batubara berukuran 7-8 cm, hal ini dikarenakan kandungan air di dalam batubara yang lebih cepat menguap dikarenakan volume rongga antar partikel yang lebih besar sehingga temperatur yang dicapai lebih tinggi dibanding batubara dengan variasi ukuran lainnya. Ukuran batubara mempengaruhi kenaikan temperatur pembakaran. Batubara memiliki komponen penyusun yang mempengaruhi nilai kalor batubara tersebut. Salah satu faktor tersebut ialah kandungan air pada batubara atau *moisture content*. Batubara dengan ukuran partikel yang lebih kecil cenderung memiliki kadar air yang lebih banyak tersisa pada proses pembakaran. Pada reaksi pembakaran, air dalam batubara menghambat laju pemanasan batubara dan menghalangi kontak batubara dengan oksigen (Handayani, 2017). Kandungan air batubara juga mengurangi jumlah energi panas yang dapat dimanfaatkan karena sebagian energi panas dipakai untuk menguapkan air batubara yang endothermik.

3.3 Pengaruh Tinggi Isian Packing Absorber terhadap Komposisi Syngas

Hubungan pengaruh variasi tinggi isian *packing* absorber terhadap komposisi *syngas* dapat diamati pada Gambar 5.

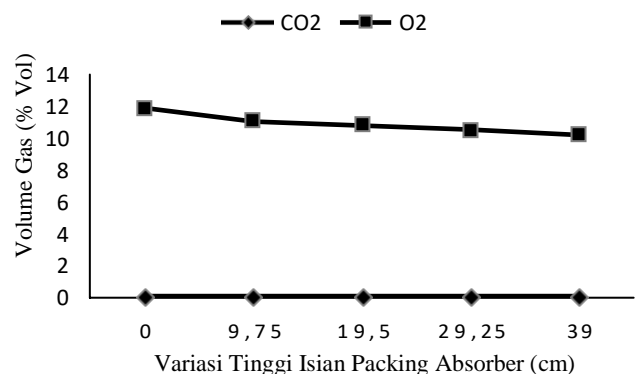


Gambar 5. Pengaruh Tinggi Isian *Packing* Absorber Terhadap Komposisi *Syngas*

Dari Gambar 5 dapat diamati bahwa variasi tinggi isian absorber mempengaruhi komposisi *syngas* hasil analisa dengan produksi *syngas* rata-rata cenderung menurun dengan semakin tingginya isian *packing* absorber. Hal ini disebabkan oleh pengaruh laju alir yang kecil. Jika laju alir fluida semakin kecil, maka waktu kontak antara gas dan pelarut akan semakin lama, dengan demikian akan meningkatkan jumlah gas yang berdifusi (Primasto dkk., 2015). Dari pernyataan tersebut menunjukkan bahwa dengan laju alir fluida yang kecil mampu meningkatkan jumlah gas yang berdifusi sehingga menyebabkan komposisi volume *syngas* semakin berkurang dengan bertambahnya tinggi dan jumlah isian *packing* absorber.

3.4 Pengaruh Tinggi Isian Packing Absorber terhadap Tingkat Kelarutan Gas Tak Mampu Bakar (CO₂ dan O₂)

Berikut ini merupakan hubungan variasi tinggi isian *packing* absorber terhadap tingkat kelarutan CO₂ dan O₂ dapat diamati pada Gambar 6.



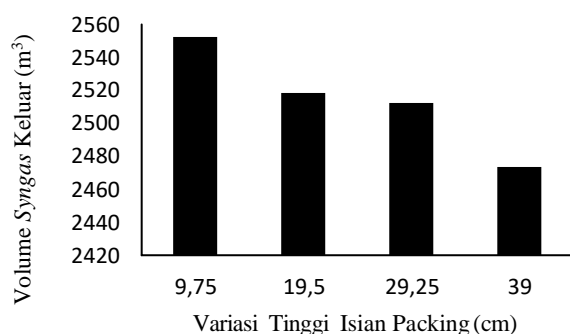
Gambar 6. Pengaruh Tinggi Isian *Packing* Absorber Terhadap Volume Gas O₂ dan CO₂

Dari Gambar 6 dapat diamati bahwa tingkat kelarutan gas O₂ dan CO₂ tertinggi berada pada ketinggian isian *packing* 100 % (39 cm) dengan volume O₂ sebesar 10,1 % dan CO₂ sebesar 0,1 %, sedangkan tingkat kelarutan paling rendah berada pada ketinggian isian *packing* 25 % (9,75 cm) dengan volume O₂ sebesar 11 % dan CO₂ sebesar 0,1 %. Kelarutan gas dalam cairan

bergantung dari suhu dan tekanannya, semakin tinggi suhunya semakin rendah daya larut gas dalam cairan, sedangkan semakin tinggi tekanan, gas akan larut lebih banyak dalam cairan (Widiyanti dkk., 2014). Hal ini sesuai dengan kondisi operasi yang terjadi pada proses absorpsi di dalam *packed bed absorber* yaitu gas yang masuk ke dalam kolom absorber merupakan gas hasil keluaran reaktor pembakaran (gasifier) sehingga menghasilkan suhu yang panas, sedangkan tekanan yang dihasilkan juga kecil karena tidak adanya blower penghisap tekanan yang memperkuat tekanan gas menuju kolom absorber. Sehingga dari kondisi operasi yang juga diperkuat oleh penelitian sebelumnya pada kutipan tersebut mendukung hasil dari penelitian bahwa tingkat kelarutan gas O₂ dan CO₂ yang tidak terlalu besar dengan semakin tingginya isian *packing* absorber. Terutama pada gas CO₂ yang cenderung konstan. Hal ini disebabkan oleh proses penyerapan CO₂ sangat tergantung pada suhu dan tekanan penyerapannya, jika suhu dinaikkan, maka air lebih cenderung menguap dan penyerapan gas CO₂ dalam air tidak maksimal (Ismail dkk., 2017). Sehingga pengontakan gas panas hasil keluaran reaktor dengan air penyerap menyebabkan cairan sirkulasi memiliki suhu yang semakin panas sehingga penyerapan CO₂ tidak berjalan dengan baik.

3.5 Pengaruh Tinggi Isian *Packing* Absorber terhadap Volume *Syngas* Keluaran Absorber

Berikut ini merupakan hubungan variasi tinggi isian *packing* absorber terhadap volume *syngas* keluaran absorber dapat diamati pada Gambar 7.



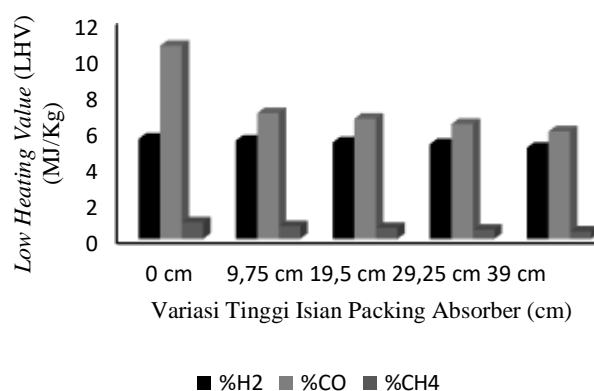
Gambar 7. Pengaruh Tinggi Isian *Packing* Absorber Terhadap Volume *Syngas* Keluaran Absorber

Dari pengamatan Gambar 7 diperoleh bahwa volume gas keluar absorber paling besar terdapat pada isian *packing* paling rendah (9,75 cm) yaitu sebesar 2553,01 m³ dan volume gas paling kecil terdapat pada isian *packing* paling tinggi (39 cm) yaitu sebesar 2473,47 m³. Hal ini terjadi karena semakin rendah isian *packing* maka % tingkat kelarutan gas semakin rendah sehingga menyebabkan banyak gas pengotor yang tidak terlarut dalam absorben terbawa bersama *syngas* keluaran absorber yang menyebabkan volume gas

bertambah. Bila gas dikontakkan dengan zat cair, maka sejumlah molekul gas akan meresap dalam zat cair (Widiyanti dkk., 2014). Hal inilah yang menyebabkan semakin tinggi isian *packing* absorber maka volume *syngas* keluar absorber semakin berkurang karena luas kontak antara gas dan cairan pada *packing* yang semakin besar sehingga perpindahan massa gas ke cairan juga semakin besar.

3.6 Pengaruh Tinggi Isian *Packing* Absorber terhadap *Low Heating Value* (LHV)

Berikut ini merupakan hubungan variasi tinggi isian *packing* absorber terhadap volume *syngas* keluaran absorber dapat diamati pada Gambar 8.



Gambar 8. Grafik Hubungan Variasi Tinggi Isian *Packing* Terhadap *Low Heating Value* (LHV)

Low Heating Value (LHV) merupakan indikasi kualitas bahan bakar yang menunjukkan seberapa banyak nilai kalor yang mampu dihasilkan bahan bakar tersebut. Dari pengamatan Gambar 8 dapat diamati bahwa LHV paling besar terdapat pada *syngas* tanpa dilalui absorber sebesar 8,331 MJ/kg, sedangkan untuk variasi tinggi isian *packing*, diperoleh pada isian *packing* 25 % memiliki nilai LHV gas yang paling besar diantara variasi tinggi isian yang lainnya, yaitu sebesar 7,682 MJ/kg, sedangkan nilai LHV paling kecil terdapat pada isian *packing* 100 % dengan nilai LHV sebesar 6,932 MJ/kg, sehingga LHV pada variasi tinggi isian *packing* cenderung menurun seiring dengan bertambahnya jumlah dan tinggi *packing*. Hal ini disebabkan karena kandungan gas mampu bakarnya yang semakin berkurang dengan bertambahnya jumlah isian *packing* absorber. Seperti pada penelitian yang menyatakan bahwa kandungan gas terbakar yang semakin meningkat, akan meningkatkan nilai LHV *syngas* (Nugraha dkk., 2017). Namun meskipun nilai LHV dari gas mampu bakarnya semakin kecil, kualitas *syngas* lebih bersih. LHV yang semakin kecil inilah yang menyebabkan *syngas* tidak terbakar dikarenakan berkurangnya komposisi *flammable gas* akibat pengontakan dengan air sehingga memperkecil fraksi mol *syngas* keluaran absorber.

3.7 Perbandingan Karakteristik dengan Penelitian Sebelumnya

Hasil penelitian proses gasifikasi batubara ini dan penelitian sebelumnya dapat dilihat pada Tabel 9 berikut ini

Tabel 9. Tabel perbandingan hasil Analisa Gasifikasi Batubara dengan Penelitian Sebelumnya

Metode Gasifikasi	Bahan Baku	Produk Gasifier		Sistem Pembersih		Referensi
				Produk	Jenis	
<i>Downdraft System</i>	Biomassa	CO	20%	TD	TD	Silisia (2017)
		H ₂	15%			
		N ₂	53%			
		CH ₄	2%			
		CO ₂	10%			
<i>Updraft System</i>	Biomassa	CO	20,78%	23,40%	Filter Jerami	Yolanda (2015)
		H ₂	2,51%	1,84%		
		N ₂	52,88%	58,34%		
		CH ₄	0,26%	2,09%		
		CO ₂	14,08%	4,20%		
		O ₂	8,77%	10,13%		
<i>Updraft System</i>	Batubara	CO	12,2%	TD	TD	Trifiananto (2015)
		H ₂	6,9%			
		N ₂	62,4%			
		CH ₄	0,8%			
		CO ₂	2,5%			
		O ₂	15,2%			
<i>Downdraft System</i>	Batubara	CO	10,6%	5,9%	<i>Packed Bed Absorber</i>	Penelitian saat ini
		H ₂	5,5%	5%		
		N ₂	71,1%	78,5%		
		CH ₄	0,9%	0,4%		
		CO ₂	0,1%	0,1%		
		O ₂	11,8%	10,1%		

Dari Tabel 9 dapat dilihat bahwa perbandingan produk gasifier antara bahan baku biomassa dengan bahan baku batubara mengalami perbedaan yang cukup signifikan. Pada penelitian yang telah dilakukan (Silisia, 2017) menggunakan sistem *downdraft* berbahan baku biomassa hanya diperoleh hasil *syngas* keluaran gasifier tanpa disertai data *syngas* keluaran sistem pembersih. Sedangkan pada penelitian saat ini juga menggunakan sistem *downdraft* tetapi bahan baku yang digunakan adalah batubara dan disertai data *syngas* keluaran sistem pembersih. Pada penelitian yang telah dilakukan (Yolanda, 2015) menggunakan sistem *updraft* berbahan baku biomassa diperoleh hasil *syngas* keluaran gasifier dan disertai dengan data *syngas* keluaran sistem pembersih berupa filter jerami. Sedangkan pada penelitian saat ini juga diperoleh hasil *syngas* keluaran gasifier dan disertai dengan data *syngas* keluaran sistem

pembersih berupa *packed bed absorber*, tetapi bahan baku yang digunakan adalah batubara dan menggunakan sistem *downdraft*. Pada penelitian yang telah dilakukan (Trifiananto, 2015) menggunakan sistem *updraft* berbahan baku batubara hanya diperoleh hasil *syngas* keluaran gasifier tanpa disertai data *syngas* keluaran sistem pembersih. Sedangkan pada penelitian saat ini juga menggunakan bahan baku batubara tetapi sistem yang digunakan adalah sistem *downdraft* dan disertai data *syngas* keluaran sistem pembersih. Untuk perbandingan persentase *syngas* dari kedua penelitian diperoleh data hasil penelitian saat ini cenderung lebih kecil dibanding data penelitian sebelumnya.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan pengamatan dan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa :

1. *Syngas* terbersih dihasilkan pada tinggi isian *packing* absorber 100 % yakni 39 cm dengan volume keluar absorber 2473,47 m³, LHV 6,932 MJ/kg, serta tingkat kelarutan dengan volume O₂ sebesar 10,1 % dan CO₂ sebesar 0,1%
2. Semakin tinggi isian *d* absorber maka tingkat kelarutan gas O₂ dan gas CO₂ semakin besar, volume *syngas* keluar absorber semakin kecil dan LHV semakin menurun.
3. semakin besar ukuran batubara maka komposisi gas mampu bakar pada *syngas* akan menurun, dikarenakan proses pembakaran di reaktor lebih sempurna yang mengakibatkan kandungan CO₂ pada *syngas* akan meningkat.
4. Peningkatan ukuran partikel batubara akan menyebabkan kenaikan temperatur lebih tinggi, dikarenakan semakin besar ukuran batubara maka kadar air pada batubara tersebut akan semakin banyak yang hilang sehingga dapat mempengaruhi waktu nyala api pada stack. Durasi nyala api terlama yaitu batubara dengan ukuran 7-8cm yaitu selama 107 menit.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PTBA Tanjung Enim, PTBA unit Dermaga Kertapati, PT. Geoservices Palembang, PT. Pertamina RU III dan Tim Redaksi Jurnal Teknik Politeknik Negeri Sriwijaya yang telah memberikan banyak bantuan sehingga jurnal dapat diterbitkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Baaqy Lutfi Al, Genta Arias, dan M. Rachimoellah. 2013. *Pengeringan Low Rank Coal Dengan Menggunakan Metode Pemanasan Tanpa Kehadiran Oksigen*.
- BAPPENAS. 2019. *Laporan Akhir Kajian Ketercapaian Target DMO Batubara Sebesar 60 % Produksi Nasional pada Tahun 2019*. Jakarta: Direktorat Sumber Daya Energi, Mineral dan Pertambangan
- Handayani S. 2017. *Analisa Desain Sistem Pengeringan Batubara Menggunakan Gas Nitrogen Di Kapal Dengan Memodifikasi Ruang Palkah* (Doctoral Dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember)
- Ismail, Nashef R., Novi C., dan Wahyudi. 2017. *Perancangan, Pembuatan dan Pengujian Alat Pemurni Biogas Dari Pengotor Karbondioksida Dengan Metode Water-Washing*. Jurnal Thesis Teknik Mesin SKR FT 048 : 1-5. Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Iswanto, Toto, Muhammad Rifa'i, Yeni Rahmawati dan Susianto. 2015. *Desain Pabrik Syntetic Gas (Syngas) dari Gasifikasi Batubara Kualitas Rendah sebagai Pasokan Gas PT. Pupuk Sriwidjaja*. Jurnal Teknik

Its Vol. 4, No. 2.

- Kadarjono, Agoeng, Eriia Yusnitha, Agus Sartono Dwi Santosa, dan Pertiwi Diah Winastri. 2020. *Pengaruh Jenis Packing Pada Menara Packed-Bed Absorber Dalam Penyerapan Gas Nox*. Urania Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir 26(1): 25–36.
- Nugraha, Kurnia, Erwin, Slamet Wiyono, dan Ainun Najib. 2017. *Unjuk Kerja Tungku Gasifikasi Tg 30- 1 Dengan Bahan Bakar Sekam Padi Dengan Variasi Kandungan Kadar Air Dan Kecepatan Udara Pembakaran* dalam Jurnal Teknik Mesin UNTIRTA Vol. III, No. 2. Cilegon : Flywheel
- Primasto, Agil Ramadhan, Aisyah Nur Ridha, dan Jupiter Eresta. 2015. *Proses Operasi Teknik II (Modul Absorpsi)*. Depok: Universitas Indonesia.
- Silisia R. Elji. 2017. *Gasifikasi Limbah Kayu dan Tempurung Kelapa Menggunakan Gasifier Tipe Downdraft Ditinjau Dari Variasi Rasio Bahan Bakar*. Laporan Tugas Akhir, Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Sriwijaya. Palembang
- Trifiananto, M. (2015). *Equivalence Ratio Updraft Coal Gasification Characterization With Varying*. Program Magister Bidang Keahlian Rekayasa Konversi Energi, Laporan Tugas Akhir, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya
- Widianti, Neng Sri, Rima Puspitasari, dan Zahir Ilham. 2014. *Laboratorium Satuan Operasi*. Bandung: Departemen Teknik Kimia Politeknik Negeri Bandung
- Yolanda, S.D., 2015. *Gasifikasi Biomassa (Serbuk Kayu Laban) Sistem Updraft Single Gas Outlet dengan Sistem Pembersih Filter Jerami (Tinjauan Kinerja Filter Jerami Terhadap Produksi Syngas)*. Laporan Tugas Akhir, Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Sriwijaya. Palembang