INFO TEKNIK
Volume 14 No. 2 Desember 2013 (201-210)

PENGARUH AGEN GASIFIKASI BATUBARA TERHADAP PRODUK GAS YANG DIHASILKAN OLEH BATUBARA PERINGKAT RENDAH

Agus Triantoro, Adip Mustofa, Riswan
Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat

Abstract

The development of coal gasification has several disadvantages including high reaction temperature and big energy consumption, difficult purification of the gaseous products, and stringent requirements of the process equipment. It has also been pointed out to cause serious environmental pollution. In this study, the experiment was conducted by flowing nitrogen, oxygen, and , into the gasification equipment. The gasification reactor was heated to 600 ^{o}C, 700 ^{o}C and 800 ^{o}C, where dry coal had been initially fed into before the gasification process began. The flow rates of pyrolysis products were then measured and a sample was taken for further analysis by using a gas chromatograph. The analysis identified the products composition that was CO, CO_2, H_2, CH_4, C_2H_4 and C_2H_6. The composition of synthesis gas was observed to depend on the gasification agent used. it can be summarized that there is a good correlation between gasification agent and coal used, with the quality and quantity of synthesis gas produced.

Kata Kunci: coal gasification, synthesis gas, gasification agent

1. Pendahuluan

Batubara peringkat rendah sebagian besar belum dimanfaatkan karena kadar air tinggi dan nilai kalori yang rendah. Batubara yang tidak diekspor lebih baikdigunakan secara lokal untuk listrik, ditingkatkan menjadi batubara berkualitas baik atau dikonversi menjadi produk berharga lainnya[1)].Produksi gas dari batubara yang dikenal sebagai gas kota dilakukan di Indonesia pada awal 1970-an dengan menggunakan batubara khusus dengan rank tinggi yang diimpor yaitu, batubara kokas. Gasifikasi dari batubara Indonesiabukan coking menggunakan teknologi *fixed bed* telah dimulai sejak tahun 1995[2)].

Gas yang dihasilkan dari gasifikasi batubara tergantung pada jenis batubara dan agen gasifikasi. Gasifikasi batubara dapat didefinisikan sebagai konversi batubara menjadi produk gas, terutama karbon monoksida (CO) dan hidrogen (H_2) baik tanpa atau menggunakan reaktan atau agent gasifikasi (udara, oksigen, uap, CO atau campuran dari berbagai agen gasifikasi) dalam reaktor. Jika gasifikasi yang dilakukan langsung insitu (dalam lapisan batubara), proses ini dikenal sebagai gasifikasi batubara bawah tanah. CO dan H_2 dapat diproses lebih lanjut menjadi metana yang dikenal sebagai gas alam sintetis (SNG). Batubara yang dihasilkan dari proses gasifikasi berbeda dengan coal bed methane (CBM) karena CBM adalah gas metana yang terperangkap sudah ada dalam lapisan batubara selama proses pengarangan[3)].

Sejalan dengan program pemerintah untuk mengembangkan teknologi batubara bersih dan mengharapkan peraturan lingkungan yang lebih ketat, konversi batubara menjadi produk gas adalah alternatif pemanfaatan batubara peringkat rendah Indonesia. Gas yang dihasilkan dari gasifikasi batubara dapat digunakan sebagai bahan bakar dan bahan baku untuk industri kimia serta minyak

sintetis.Sehubungan dengan tujuan mengamankan pasokan energi dan bahan baku untuk industri, penelitian tentang gasifikasi batubara batubara peringkat rendah Indonesia untuk generasi gas sintesis perlu dilakukan. Penelitian ini didasarkan pada penggunaan batubara peringkat rendah Indonesia, agen gasifikasi yang digunakan dan reaktor fluidized bed.

2. Kajian Teoritis

Gasifikasi batubara adalah proses untuk mengkonversi batubara yang berwujud padat menjadi campuran gas yang memiliki nilai bakar. Pada proses gasifikasi digunakan pereaksi udara, O_2, , CO_2 atau campuran dari gas tersebut. Gas produk gasifikasi memiliki komponen utama H_2, CO dan CO_2[4)].Berdasarkan jenis pereaksi yang digunakan maka produk gas yang dihasilkan gasifikasi batubara dikelompokkan menjadi dua yaitu gas berkalori rendah (4 — 7 MJ/Nm^3) dan gas kalori menengah (10 — 18 MJ/Nm^3) yang sering disebut gas sintesis atau *syngas*. Penggunaan pereaksi udara akan menghasilkan produk gas kalori rendah dan mengandung pengotor N_2 sekitar 50% yang berasal dari udara.

Penggunaan pereaksi oksigen, ,CO_2 atau campuran dari gas tersebut akan menghasilkan *syngas*. Gas sintesis merupakan campuran gas H_2 dan CO yang digunakan sebagai bahan baku untuk sintesa beberapa bahan kimia. Penggunaan pereaksi O_2akan menghasilkan reaksi eksotermal, sedangkan penggunaan pereaksi H_2O dan CO_2 akan menghasilkan reaksi endotermal. Proses-proses yang terjadi di dalam reaktor gasifikasi adalah [5)] :

1. Pengeringan
2. Pirolisis
3. Pembakaran
4. Reduksi

2.1. Tahap Pengeringan

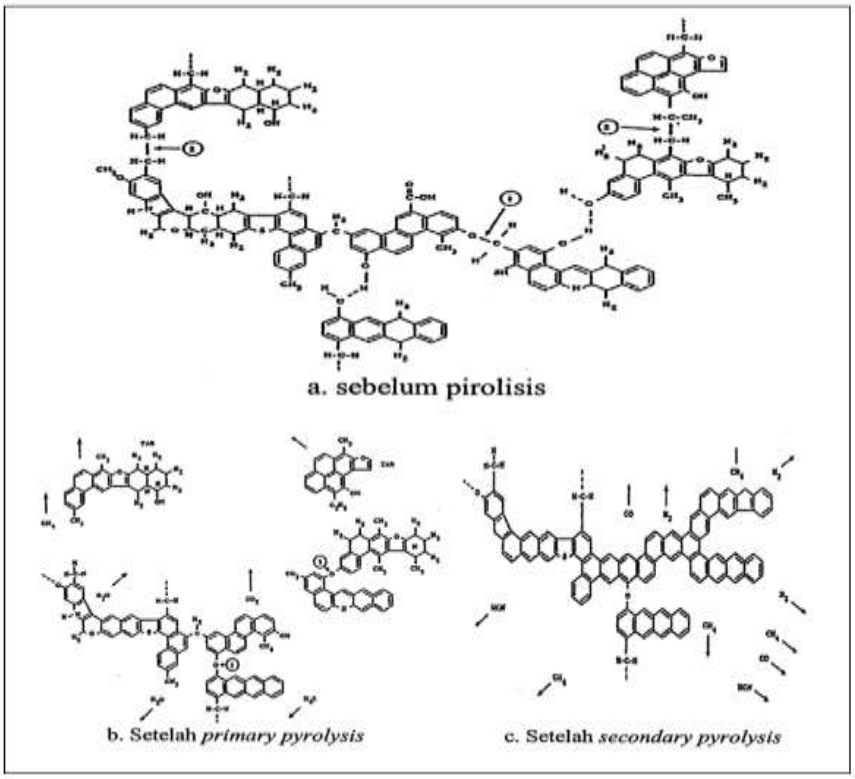
Pada zona pengeringan, kandungan air dalam bahan bakar padat dikurangi dengan memanfaatkan bahang dan udara yang masuk ke gasifier. Pada zona ini, sebagian asam-asam organik juga akan diuapkan. Pengeringan terjadi pada suhu 100 - 200°C.Kebutuhan panas diperoleh dari reaksi oksidasi yang bersifat eksotermal.Kandungan asam ini dapat menyebabkan korosi pada dinding reaktor.

2.2. Tahap Pirolisis

Pirolisis batubara merupakan proses dekomposisi thermal batubara pada kondisi udara terbatas [6)]. Pada tahap ini terjadi perengkahan termal bahan bakar padatmenjadi senyawa-senyawa CO, CO_2,CH_4, H_2, H_2O, tar dan arang. Gas-gas yang terbentuk pada tahap pirolisis akan menjadi reaktan pada tahap oksidasi dan tahap reduksi. Kebutuhan bahang untuk tahap pirolisis dipenuhi oleh bahang reaksi reduksi dan oksidasi.Laju reaksi pirolisis dipengaruhi oleh laju persamaan bahan di dalam zona pirolisis.Laju pemanasan bahan bergantung pada sifat-sifat termofisik bahan yang dinyatakan sebagai difusivitas bahang bahan. Semakin besar difusivitas bahang maka laju pemanasan bahan akan semakin tinggi, berarti laju pirolisis akan semakin tinggi, sehingga laju pembentukan gas akan semakin tinggi.

Proses pirolisis merupakan proses yang rumit dan belum sepenuhnya dimengerti. Beberapa catatan tentang pirolisis sebagai berikut, pada temperatur 200^oC hanya uap air yang dilepaskan.Sedangkan pada temperatur 200-280^oC, CO_2, asam asetat, dan uap air dilepaskan. Proses pirolisis pada temperatur 280-500^oC menghasilkan gas dalam jumlah yang besar. Pada temperatur 500-700^oC gas yang dihasilkan lebih sedikit dan mengandung hidrogen.

Proses pirolisis yang terjadi pada molekul batubara dapat dilihat pada Gambar 1. Pemanasan terhadap partikel batubara menyebabkan pemutusan ikatan kimia dan ikatan paling lemah diikuti ikatan yang lebih kuat.Pada tahap pertama ikatan hidrogen terputus dan batubara melembek, yang disebut *metaplast* [7)].



Gambar 1. Perubahan Struktur Molekul Penyusun Batubara
Selama Proses Pirolisis [8)]

Pada tahap kedua, *primary pyrolysis*, ikatan kimia pada rantai alifatis mulai terputus sehingga membentuk molekul dengan berat molekul besar, uap air, metana, CO_2, hidrokarbon ringan dan gas molekul ringan lainnya. Jika molekul besar yang terengkah memiliki jumlah molekul cukup ringan maka pada suhu pirolisis akan menguap sehingga pada suhu yang lebih rendah akan mengembun dan membentuk tar. Ikatan rantai silang menentukan terbentuknya tar dan reaktifitas arang yang terbentuk pada tahap berikutnya .

Pada tahap ketiga, *secondary pyrolysis*, terjadi pemutusan ikatan kimia dan gugus fungsi metilen membentuk gas metana, gugus fungsi eter membentuk gas CO dan proses kondensasi melepaskan gas hidrogen. Pada tahap ini juga terjadi proses polimerisasi molekul-molekul besar membentuk karbon padat.

2.3. Tahap Pembakaran

Pada tahap ini berlangsung reaksi antara oksigen dari media penggasifikasi dengan gas-gas yang mudah terbakar (*combustible*) dan karbon dari tahap pirolisis.Reaksi oksidasi ini sangat eksoterm sehingga bahang reaksi oksidasi dapat memenuhi kebutuhan bahang pada tahap pengeringan, pirolisis, dan reduksi.
Reaksi oksidasi yang berlangsung adalah [9)] :

$C + ½\ O2 \rightarrow CO$ -111 MJ/Kmol ……..…(1)

$CO + ½\ O_2 \rightarrow CO_2$ -283 MJ/Kmol …….(2)

$H_2 + ½\ O_2 \rightarrow 2H_2O$ -242 MJ/Kmol…..…….....(3)

2.4. Tahap Reduksi

Reduksi melibatkan suatu rangkaian reaksi endotermik yang disokong oleh panas yang diproduksi dari reaksi pembakaran. Produk yang dihasilkan pada proses ini adalah gas bakar, seperti H_2, CO, dan CH_4. Reaksi berikut ini merupakan empat reaksi yang umum terjadi pada reaksi reduksi [10].

- Reaksi *Boudouard* (*Boudouard reaction)*
  Boudouard reaction merupakan reaksi antara karbondioksida yang terdapat di dalam gasifier dengan karbon untuk menghasilkan CO. Reaksi yang terjadi adalah sbb:
  $C + CO_2 \rightarrow 2\ CO$ + 172 MJ/Kmol …….(4)

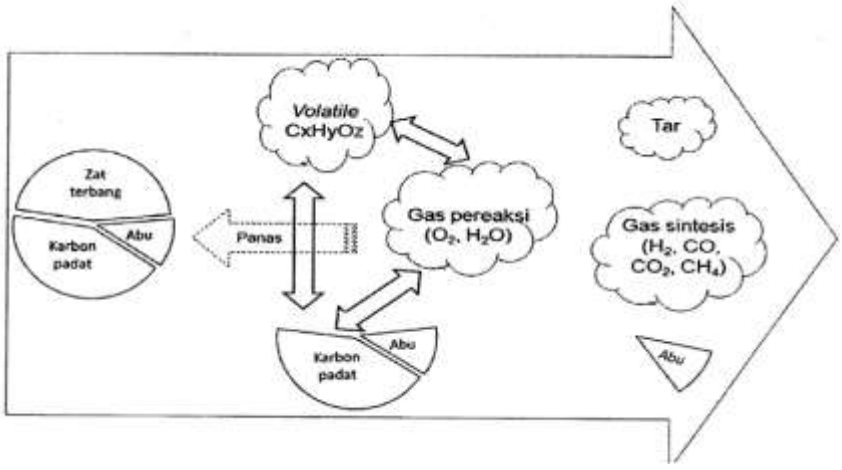
- *Water gas Reaction*
  Water-gas reaction merupakan reaksi oksidasi parsial karbon oleh yang dapat berasal dari bahan bakar padat itu sendiri (hasil pirolisis) maupun dari sumber yang berbeda, seperti uap air yang dicampur dengan udara dan uap yang diproduksi dari penguapan air. Reaksi yang terjadi pada *water-gas reaction* adalah sbb :
  $C + H_2O \rightarrow CO + H_2$ + 131 MJ/Kmol ……(5)

- Reaksi Methanisasi (*Methanation Reaction*)
  Methanation reaction merupakan reaksi pembentukan gas metan. Reaksi yang terjadi pada methanisasi adalah sbb:
  $C + 2H_2 \rightarrow CH_4$ - 75 MJ/Kmol …….(6)

- Reaksi *Shift* CO (CO *Shift Reaction*)
  CO *shift reaction* merupakan reaksi reduksi karbon monoksida oleh untuk memproduksi hidrogen. Reaksi ini dikenal sebagai *water-gas shift* yang menghasilkan peningkatan perbandingan hidrogen terhadap karbon monoksida pada gas produser. Reaksi yang terjadi adalah sbb :
  $CO + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2$ - 41 MJ/Kmol ……...(7)

Pada tahap reduksi berlangsung reaksi-reaksi kesetimbangan antara gas-gas hasil tahap oksidasi dengan karbon padat yang diumpankan sebagai arang.Reaksi-reaksi kesetimbangan yang terjadi merupakan reaksi endoterm.Bahang yang dibutuhkan dipenuhi dari bahang oksidasi.

Reaksi-reaksi tersebut dapat berlangsung secara bertahap atau secara simultan tergantung pada jenis reaktor *(gasifier)* yang digunakan. Pada reaktor *fluidized bed* dan *entrained bed*reaksi gasifikasi berlangsung secara simultan seperti terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Tahap Reaksi Gasifikasi [10]

3. Metode

3.1. Sampel Batubara

Sampel batubara peringkat rendah yang digunakan dalam percobaan adalah batubara Wara, Kalimantan Selatan. Batubara dihancurkan menjadi ukuran -20 mesh dan dikeringkan pada 100^{o}C sebelum diumpankan kedalam reaktor. Analisis data sampel batubara ditunjukkan dalam tabel 1.

Tabel 1. Data analisis sampel batubara

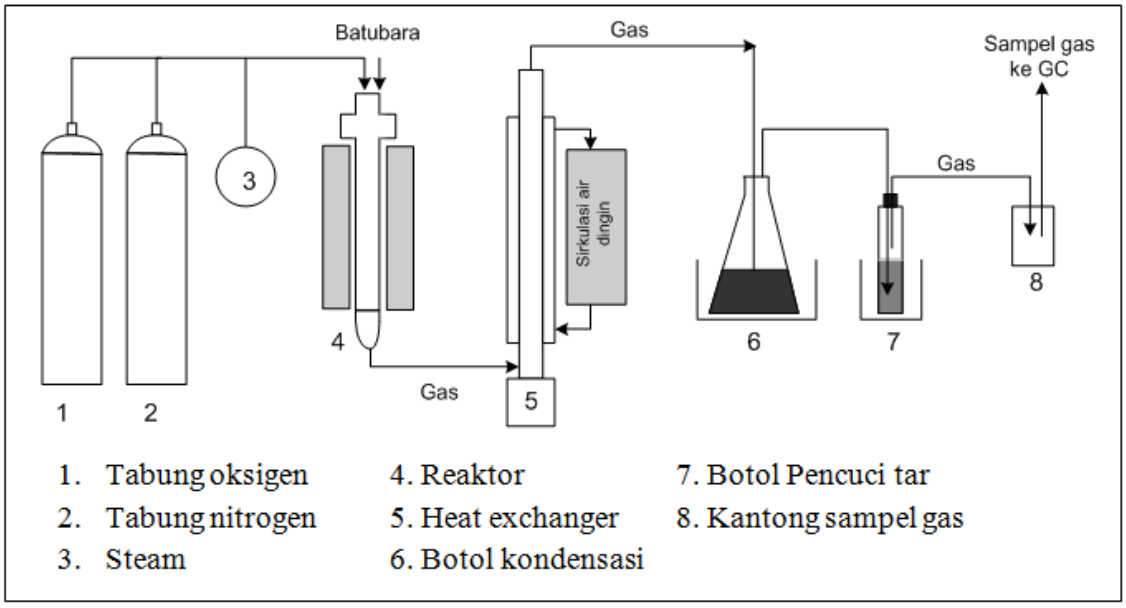
PARAMETER ANALISA	HASIL	UNIT	BASIS
Total Moisture	26,00	%	ar
Ash	2,00	%	adb
Volatile Matter	43,00	%	adb
Fixed Carbon	41,00	%	adb
Calorific Value	4715	Cal/g	adb
Total Sulfur	0,05	%	adb
Carbon	55,11	%	adb
Hydrogen	6,54	%	adb
Nitrogen	0,62	%	adb
Oxygen	25,03	%	adb

3.2. Prosedur Penelitian

Proses Gasifikasi batubara dilakukan dengan memasukkan partikel pasir silika ke dalam reaktor sebagai bahan bed diikuti dengan injeksi nitrogen.Reaktor dipanaskan sampai suhu 600^{o}C, 700 ^{o}C dan 800^{o}C yang merupakan Suhu diinginkan untuk mengambil data gas. Batubara dan agen gasifikasi kemudian dimasukkan ke reaktor. Laju aliran reaktan digunakan untuk gasifikasi adalah mendasarkan pada perhitungan stoikiometri. Selain batubara, variabel yang digunakan dalam percobaan adalah agen gasifikasiyaitu oksigen, uap dan campuran oksigen dengan uap.Berat umpan batubara yang digunakan untuk sekali proses gasifikasi adalah sebesar 20 gram. waktu yang dibutuhkan untuk satu kali percobaan selama 2-3 jam.

Reaktor gasifikasi terbuat dari gelas kuarsa dilengkapi dengan pemanas listrik.Heat exchanger berfungsi untuk mendinginkan produk zat terbang.Botol kondensasi berfungsi untuk menangkap air dan tar dalam dalam gas. Kantong pengambil sampel gas dan gas chromatography digunakan untuk analisis komposisi gas.

Percobaan menggunakan agen gasifikasi oksigen, dimulai dengan mengalirkan gas nitrogen dan gas oksigen dalam serangkaian alat percobaan.laju alir gas Nitrogen 200 ml/menit, dan oksigen (O_2) pada 50 ml / menit. Percobaan menggunakan agen gasifikasi campuran uap dengan oksigen, laju alir gas nitrogen 150 ml/menit, oksigen dan uap masing-masing 50 ml/menit. Untuk agen gasifikasi uap, laju alir nitrogen 200 ml/menit dan uap 50 ml/menit.Reaktor gasifikasi dipanaskan sampai suhu 600 ^{o}C, 700 ^{o}C dan 800 ^{o}C. Penukar panas (HE), kondensasi botol (berisi 60 ml air suling) dan botol pencuci tar (mengandung 60 ml anisol) didinginkan sampai suhu 10 ° C dan -4^{o}C. Batubara kering diumpankan ke dalam reaktor sebelum proses gasifikasi dimulai.



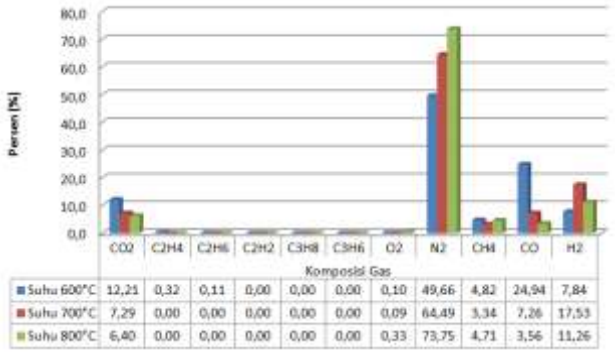
Gambar 3. Skema Peralatan Percobaan Gasifikasi Batubara[11)]

Produk gas pirolisis kemudian diambil sampelnya menggunakan kantung sampel gas untuk di analisis menggunakan gas kromatografi. Komposisi gas yang diukur adalah CO, CO_2, H_2, CH_4, C_2H_4 dan C_2H_6. Setelah selesai reaktor pirolisis didinginkan sampai suhu 40^oC.Arang terbentuk kemudian ditimbang.

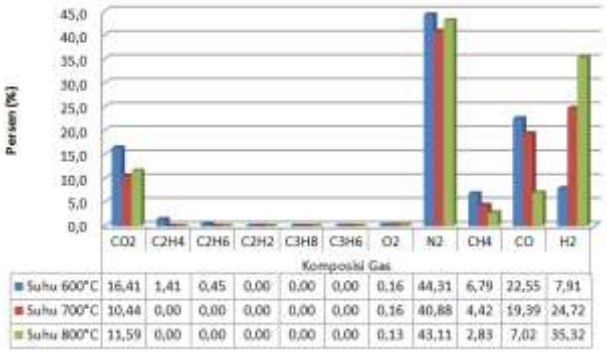
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. PengaruhAgenGasifikasiTerhadap KomposisiProdukGas

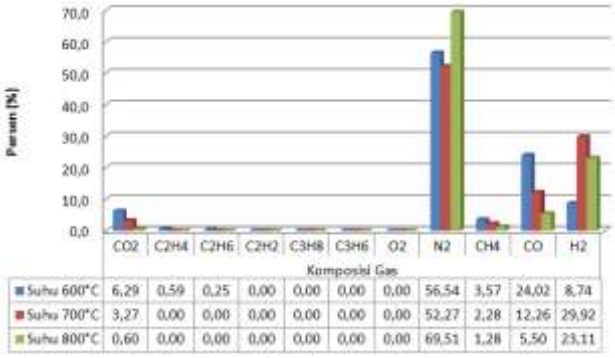
Komposisi produk gas sintesis yang dihasilkan dari agen gasifikasi berbeda ditunjukkan pada gambar 4 dan 5.Komposisi gas sintesis cenderung bergantung pada agen gasifikasi yang digunakan. Gasifikasi pada suhu 600^oC menggunakan agen gasifikasi oksigen menghasilkangas sintesis CO tertinggi sampai dengan 24,94%, namun mengandung H_2 yang cukup rendah yaitu sebesar 3,41%. Gasifikasi menggunakan agen gasifikasi campuran uap dan oksigen menghasilkan gas dengan kandungan CO tertinggi hingga 22,55% tetapi mengandung H_2yang relatif rendah sebesar 7,91%. Sementara gasifikasi menggunakan agen uap menghasilkan kandungan gas sintesis tertinggi CO yaitu sebesar 24,02% dan kandunganH_2yang rendah yaitu 8,74%.



(a)

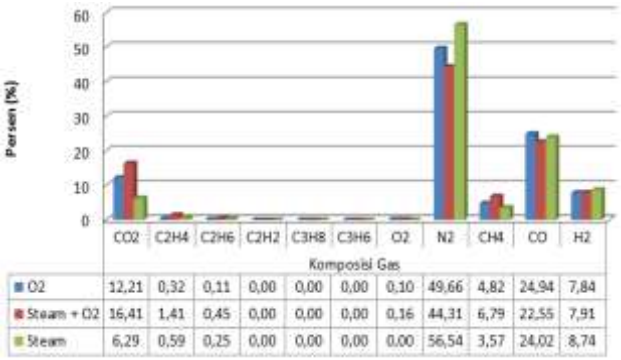


(b)

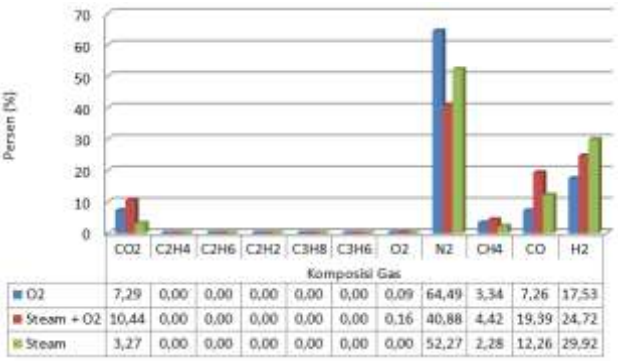


(c)

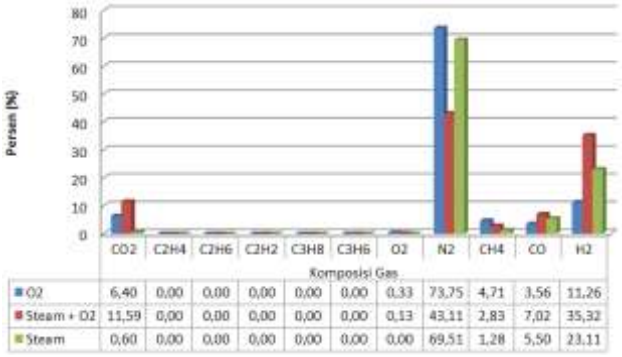
Gambar 4. (a) Gasifikasi menggunakan agen gasifikasi oksigen
(b) Gasifikasi menggunakan agen gasifikasi campuran uap dan oksigen
(c) Gasifikasi menggunakan agen gasifikasi uap



(a)



(b)



(c)

Gambar 5. (a) Pengaruh agen gasifikasi terhadap produk gas yang dihasilkan pada suhu 600 ^{o}C
(b) Pengaruh agen gasifikasi terhadap produk gas yang dihasilkan pada suhu 700 ^{o}C
(c) Pengaruh agen gasifikasi terhadap produk gas yang dihasilkan pada suhu 800 ^{o}C

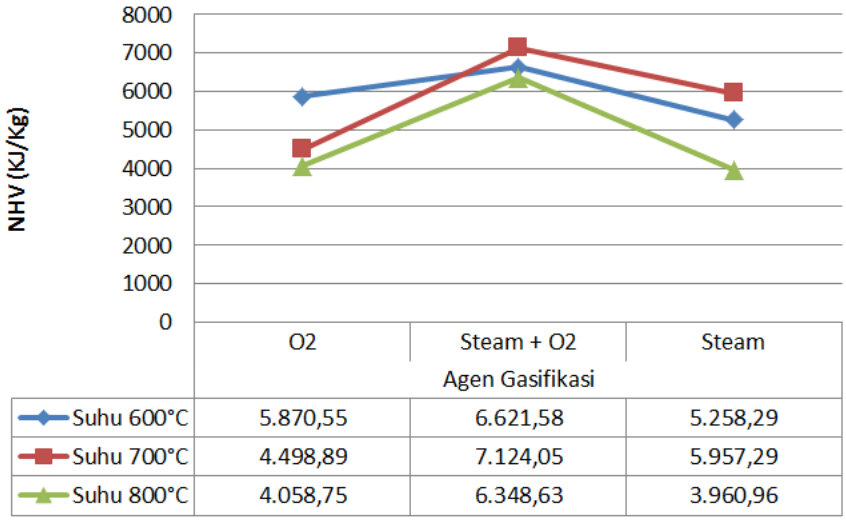
Gasifikasi pada suhu 700 ^{0}C menggunakan agen gasifikasi oksigen menghasilkan kandungan H_2 yang cukup tinggi sebesar 17,53 % dan kandungan CO yang rendah yaitu sebesar 7,26 %, sedangkan gasifikasi menggunakan agen gasifikasi campuran uap dan oksigen menghasilkan kandungan gas H_2 sebesar 24,72% dan CO sebesar 19,39%. Untuk gasifikasi menggunakan agen gasifikasi uap menghasilkan produk gas H_2 yang cukup tinggi yaitu sebesar 29,92 % dan CO sebesar 12,26%.

Gasifikasi pada suhu 800 ^{o}C menggunakan agen gasifikasi oksigen menghasilkan kandungan H_2 yaitu sebesar 11,26% dan CO sebesar 3,56%. Sedangkan gasifikasi menggunakan agen campuran uap dan oksigen menghasilkan gas H_2 yang cukup tinggi yaitu sebesar 35,32 % dan CO yang cukup rendah yaitu 7,02 %. Untuk gasifikasi menggunakan agen gasifikasi uap menghasilkan H_2 sebesar 23,11 % dan CO sebesar 5,50 %.

Penggunaan suhu dan agen gasifikasi yang berbeda sangat mempengaruhi komposisi produk gas yang dihasilkan.

4.2. PengaruhAgenGasifikasiTerhadap Nilai Panas Yang Dihasilkan (NHV)

Gambar 5 menunjukkan efek agen gasifikasi pada *net heating Value* (NHV) dari gas yang dihasilkan. Gasifikasi menggunakan agen campuran uap dan oksigen pada suhu 700^{o}C menghasilkan gas dengan NHV tertinggi yaitu 7.124,05 Kj/m^3 dan gasifikasi menggunakan agen uap menghasilkan gas dengan NHV terendah yaitu 3.960,96 Kj/m^3. Tingginya nilai NHV pada gasifikasi menggunakan agen campuran uap dan oksigen pada suhu 700 ^{o}C dikarenakan komposisi CO dan H_2cukup tinggi.

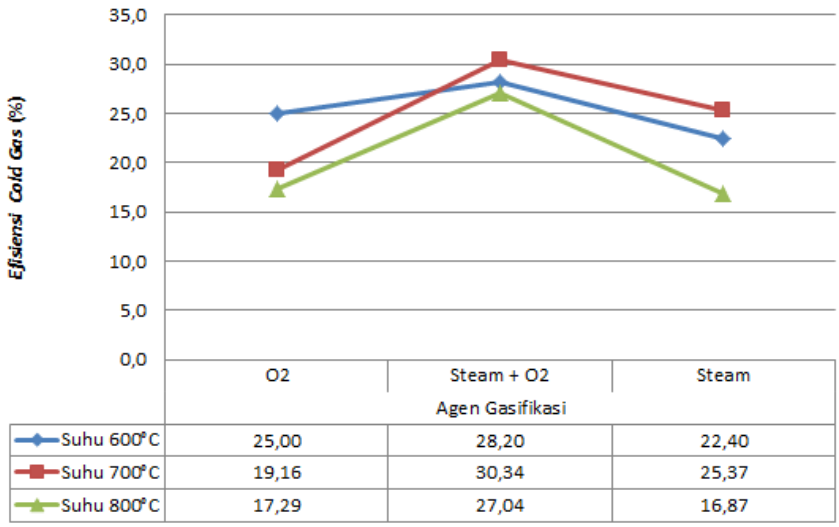


	O2	Steam + O2	Steam
	Agen Gasifikasi		
Suhu 600°C	5.870,55	6.621,58	5.258,29
Suhu 700°C	4.498,89	7.124,05	5.957,29
Suhu 800°C	4.058,75	6.348,63	3.960,96

Gambar 5.Nilai NHV yang dihasilkan dari gasifikasi menggunakan agen yang berbeda

4.3. PengaruhAgengasifikasiTerhadap Nilai Efisiensi *Cold Gas* Yang Dihasilkan

Efisiensi gas dingin adalah rasio antara kandungan energi gas produser dengan kandungan energi umpan batubara [12].Gambar 6 menunjukkan efek agen gasifikasi pada efisiensi *cold gas* dari gas yang dihasilkan. Gasifikasi menggunakan agen campuran uap dan oksigen pada suhu 700^{o}C menghasilkan efisiensi *cold gas* tertinggi yaitu 30,34 % dan gasifikasi menggunakan agen uap menghasilkan gas dengan nilai efisiensi *cold gas* terendah yaitu 16,87 %. Tingginya nilai pada gasifikasi menggunakan agen campuran uap dan oksigen pada suhu 700 ^{o}C dikarenakan komposisi CO dan H_2 cukup tinggi.



Gambar 6.Nilai Efisiensi *cold gas* yang dihasilkan dari gasifikasi menggunakan agen yang berbeda

4.4. KESIMPULAN

Percobaan gasifikasi menggunakan batubara peringkat rendah Indonesia dapat dilakukan dengan sukses.Penggunaan agen gasifikasi dan suhu yang berbeda dapat mempengaruhi komposisi gas yang dihasilkan. Semakin tinggi komposisi gas CO dan H_2 maka akan semakin tinggi pula nilai NHV dan efisiensi *cold gas* yang dihasilkan. Sehingga dapat disimpulkan adanya korelasi yang baik antara agen gasifikasi, sampel batubara dan suhu gasifikasi yang digunakan terhadap kualitas dan kuatitas gas yang dihasilkan.

Daftar Pustaka

1) S. Suprapto, Nurhadi, *Production of synthesis gas from Indonesian low rank coals using fluidized bed gasification reactor*, Indonesian mining journal, **10**, 10 (2007)
2) S. Suprapto, T. Rochman, and Y. Basyuni, *Gasifikasi batubara peringkat rendah dengan pereaksi udara*, Prosiding Seminar Ilmiah Hasil Penelitian dan Pengembangan Bidang Fisika Terapan, 154, Bandung, Indonesian (1995)
3) Caltex, *The potential of coal bed methane in Indonesia*, PT Caltex Pacific Indonesia, Jakarta (1998)
4) Nowacki, P. (ed), *Coal Gasification Process*. Noyes Data Corporation, New Jersey, 1981.
5) Rajvanshi, A.K., *Biomass Gasification, Nimbkar Agricultural Institute*, Maharasthra, India, 1986.
6) Gavalas, G.R., *Coal Pyrolysis*, Elsevier Scientific Publishing Company, Netherland, 1982.
7) Solomon, P.R., Serio, M.A., dan Suuberg, E.M., *Coal Pyrolysis: Experiment, Kinetic Rates and Mechanisms*. Prog. Energy Combust. Sci., (1992), 18, 133 - 220.

8) Solomon, P.R., Hamblen, D.G., Carangelo, R.M., Serio, M.A., *General Model of Coal Devolatilization*, Energy and Fuel (1987), 2, 405-422.
9) Cristopher Highman, Maarten Van Derburgt, *Gasification*, Elsevier, USA, 2008.
10) NEDO, 2008. *Clean Coal Overview: Modeling And Simulation Technologies For Coal Gasification.* Modul pelatihan Clean Coal Technology transfer project, NEDO, 1— 20 Desember 2008.
11) Agus Triantoro,*Proses Gasifikasi Batubara Peringkat Rendah Dengan Menggunakan Katalis Nikel dan K_2CO_3*, Thesis, Institut Teknologi Bandung, (2013).
12) Davies, C., *Calculation in Furnace Technologi*, Pergamon Press Ltd., Headington Hll Hall, Oxford, London, 1970.