

SIMULASI DAN ESTIMASI KEBUTUHAN ENERGI SISTEM GASIFIER DENGAN BAHAN BAKU BATUBARA SUMSEL DAN KALSEL

SIMULATION AND ESTIMATION IN ENERGY NEEDS FOR GASIFIER SYSTEM USING COAL FROM SOUTH SUMATRA AND SOUTH KALIMANTAN AS RAW MATERIAL

Abdul Ghofar, Rudy Surya Sitorus, Erbert Ferdy Destian, Endro Wahyu Tjahjono, Moch. Ismail, Murbantan Tandirerung, Derina Paramitasari

Pusat Teknologi Sumberdaya Energi dan Industri Kimia, TIEM- BPPT
Gedung Energi 625, Puspiptek, Serpong, TangSel. Telp. : (021) 75791355/54 Fax : (021) 75791355
e-mail : abdul.ghofar@bppt.go.id, rudy.sitorus@bppt.go.id, ferdy.destian@bppt.go.id,
endro.wahju@bppt.go.id, mochamad.ismail@bppt.go.id, murbantan.tandirerung@bppt.go.id,
derina.paramitasari@bppt.go.id

Abstrak

Batubara yang melimpah di Indonesia dapat dijadikan sebagai bahan baku alternatif untuk industri petrokimia. Namun demikian, diperlukan teknologi pengolahan yang tepat supaya dapat digunakan secara optimal sesuai dengan karakteristik batubara yang ada di Indonesia. Salah satu teknologi pengolahan batubara adalah gasifikasi untuk menghasilkan synthetic gas (syngas). Terdapat beberapa jenis teknologi gasifikasi antara lain Fixed Bed, Fluidized Bed, dan Entrained Bed. Penelitian ini bertujuan mencari keunggulan dari masing-masing teknologi dari segi kebutuhan energi, produk syngas, biaya modal, dan biaya operasional proses yang disimulasikan dengan menggunakan aspen plus. Sampel batubara yang digunakan dalam simulasi ini berasal dari empat daerah di wilayah potensial penghasil batubara yakni dua daerah di wilayah Sumatera Selatan (Keluang dan Babat Tomang) dan dua daerah di wilayah Kalimantan Selatan (Pendopo dan Sebuku). Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa teknologi yang sesuai dengan karakteristik batubara Indonesia adalah teknologi fluidized bed dan entrained bed. Di mana untuk teknologi fluidized bed membutuhkan energi lebih rendah walaupun syngas yang dihasilkan lebih sedikit serta modal dan biaya operasional yang lebih tinggi dibandingkan entrained bed dan fixed bed. Sedangkan untuk teknologi entrained bed menghasilkan syngas yang lebih banyak dan ramah lingkungan walaupun teknologi ini membutuhkan energi yang lebih tinggi.

Kata kunci : Syngas, gasifikasi batubara, simulasi proses, aspen plus

Abstract

The abundant amount of coal in Indonesia can be used as an alternative raw material for petrochemical industries. However, a suitable processing technology based on the coal characteristic is needed. One of the coal processing technology is gasification which convert coal into synthetic gas. There are some type of gasification technology such as fixed, fluidized, and entrained bed. The aim of this research is to choose the most suitable technology by using aspen plus based on energy needs, syngas production, capital cost, and operating cost. Coal samples used in this simulation were obtained from four potential places such as South Sumatera (Keluang and Babat Tomang) and South Kalimantan (Pendopo and Sebuku). The simulation shows that fluidized bed and entrained bed type are the most suitable gasification technology based on the characteristics of Indonesian

coal. Fluidized bed requires lower energy needs but it produces less syngas and the capital and operating cost are higher than the other type. Meanwhile, entrained bed type produce more syngas although it needs higher energy than other type of gasification technology.

Keywords: Syngas, coal gasification, process simulation, aspen plus

Diterima (received) : . 11 Februari 2016, Direvisi (revised) : : 7 Maret 2017

Disetujui (Accepted) : 5 April 2017

PENDAHULUAN

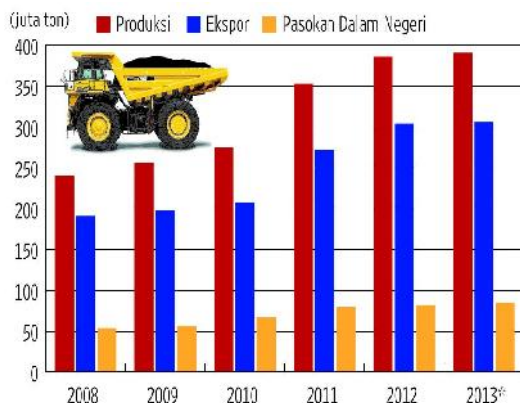
Ketersediaan batubara yang masih melimpah di Indonesia merupakan sumber energi fosil yang belum dimanfaatkan secara optimal. Batubara dapat dijadikan sumber energi yang lebih bermanfaat jika digunakan teknologi yang tepat dalam pengolahannya.

Tabel 1.
Cadangan Energi Fosil dalam (%) yang Terdapat di Indonesia

Tahun	2005	2006	2007
Minyak	14,48	14,00	14,00
Gas	3,91	1,00	2,00
Batubara	58,89	64,00	62,00
Hydro	17,41	15,00	16,00
Geotermal	5,31	6,00	6,00
Total	100	100	100

Sumber Data : Dit. Pengusahaan Minerbapabum 2009

Dari tabel diatas terlihat bahwa ketersediaan batubara yang besar dapat dijadikan sebagai sumber energi alternative.



Keterangan:
^a Rencana Kerja dan Anggaran Perusahaan (RKAP)

Sumber Data : Considine, 1974

Gambar 1.

Produksi Batubara di Indonesia Untuk Dalam Negeri Dan Ekspor Keluar Negeri

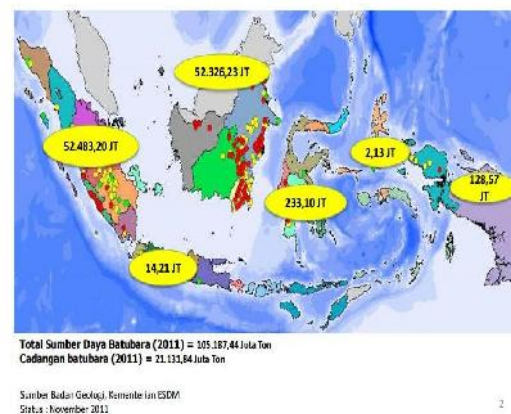
Peningkatan produksi yang terus meningkat dan setiap tahun sebagian besar hanya dimanfaatkan untuk ekspor belum termanfaatkan untuk konsumsi dalam negeri

secara optimal. Untuk itu diperlukan pemilihan teknologi pemanfaatan batubara yang tepat, efektif dan efisien agar dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan dalam negeri.

Penyebaran Dan Karakteristik Batu-bara Di Indonesia

Batubara Indonesia tersebar di beberapa kepulauan besar di Indonesia seperti pulau Jawa, Sumatera, Kalimantan, Sulawesi, Halmahera, dan Papua. Berdasarkan data bulan Desember 2011, cadangan batubara di Indonesia yang terbesar terdapat di pulau Sumatera dan Kalimantan.³⁾

PETA LOKASI PENYEBARAN SUMBER DAYA DAN CADANGAN BATUBARA STATUS DESEMBER (2011)



Gambar 2.

Cadangan Batubara di Indonesia Tahun 2011

Namun demikian, karakteristik batubara di Indonesia sebagian besar low rank dan middle rank dengan kalori rendah dan kadar air tinggi.⁷⁾

Tabel 2.

Kategori	Kategori Batubara Dan Nilai Kalori		
	H ₂ O (%)	C (%)	Kalori (kcal/kg)
Lignite	43,4	37,8	4.113
Sub-bituminous	23,4	42,4	5.403
Low Volatile	11,6	47	7.159
Sub-bituminous	5	54,2	7.715
Medium Volatile	3,2	64,6	8.427
Sub-bituminous			
High Volatile			

<i>Sub-bituminous</i>			
<i>Sub-anthracite</i>	6	83,8	8.271
<i>Anthracite</i>	3,2	95,6	8.027

Sumber Data : Considine, 1974

Cadangan ketersediaan batubara di Indonesia cukup melimpah (jenis lowrank), yaitu diperkirakan sampai sekitar 80 tahun lagi.⁷⁾

Tabel 3.
Karakteristik Cadangan Batubara di Indonesia

Kualitas	Kalori	Cadangan (juta ton)	%
Low rank	< 5.100 kal	21.183,0	20,22
Middle rank	5.100-6.100	69.55	66,39
High rank	6.100-7.100	13.021,4	12,43
Highest rank	> 7.100	1.001,6	0,96
Total		104.757,1	100

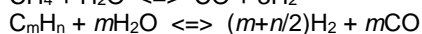
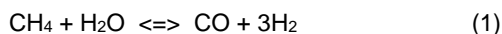
Sumber Data : Dit. Pengusahaan Minerabapabum 2009

Berdasarkan pertimbangan tersebut pengembangan teknologi gasifikasi batubara menjadi sangat prospektif untuk menghasilkan gas sintesa (syntetic gas) yang dapat berlaku sebagai alternatif pengganti gas alam, baik untuk energi maupun sebagai bahan baku industri petrokimia.

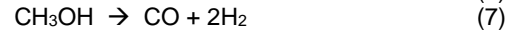
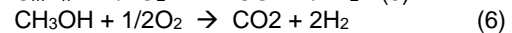
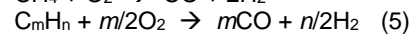
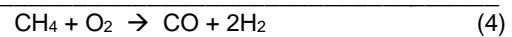
Gasifikasi Batubara

Gasifikasi adalah proses konversi hidrokarbon menjadi produk gas-gas yang memiliki nilai kalor yang berguna. Bahan yang bisa digasifikasi adalah semua hidrokarbon yaitu minyak, batubara, petcoke, vacuum residue, bahkan biomasa. Pada gasifikasi akan dihasilkan *synthetic gas* (syngas) dengan komposisi, rasio, dan karakteristik gas yang berbeda-beda tergantung pada bahan baku, proses, dan jenis gasifier yang digunakan.⁵⁾ Syngas merupakan campuran gas karbon monoksida, hidrogen, metana, karbon dioksida, dan gas-gas lainnya. Selain dapat digunakan langsung sebagai bahan bakar ramah lingkungan, syngas juga merupakan *intermediate product* pada industri petrokimia yang artinya produk yang berfungsi sebagai bahan baku untuk produk lainnya, seperti bahan baku pembuatan methanol, pupuk urea, dan lain-lain⁴⁾. Adapun prinsip teknologi syngas, adalah sesuai persamaan reaksi berikut :

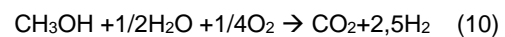
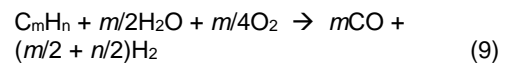
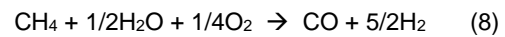
) Steam reforming :



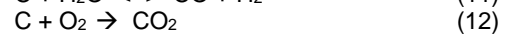
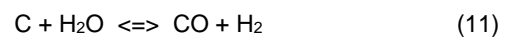
) Partial Oxidation :



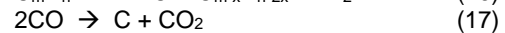
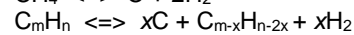
) Autothermal reforming atau oxidative steam reforming :



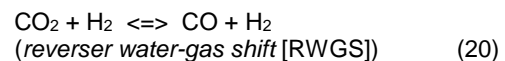
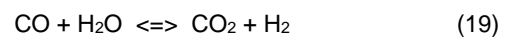
) Carbon gasification (coal, coke) :



) Carbon Formation :



) Water-gas shift :

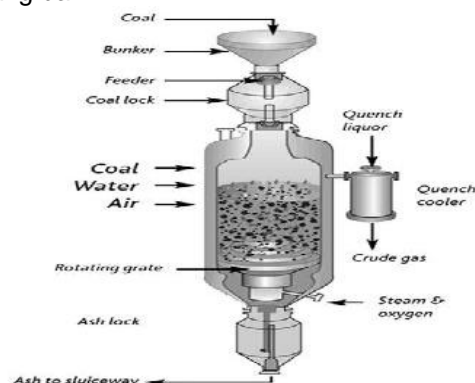


Teknologi dan Jenis Reaktor penghasil syngas

Secara umum, terdapat tiga jenis reaktor gasifier yang digunakan untuk gasifikasi batubara dan biomasa yaitu fixed bed gasifier (teknologi Lurgi), fluidized bed, dan entrained flow gasifier.⁴⁾

1. Fixed Bed Reactor (Teknologi Lurgi)

Aliran proses dalam reaktor interjadi secara counter current antara batubara dan oksigen. Steamdialirkan dengan kecepatan yang tinggi untuk memperoleh hasil gasifikasi yang baik.



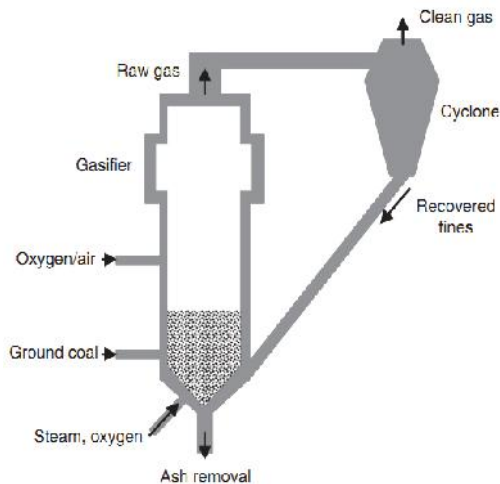
Gambar 3.
Fixed Bed Reactor

Adapun karakteristik batubara dari teknologi lurgi/ fixed bed reactor ini adalah sebagai berikut:

- Batubara harus mengandung banyak zat volatile karena hasil dari daerah devolatilisasi adalah tar dan metana (tidak semua batubara cocok untuk teknologi ini)⁴⁾
- Kandungan ash harus rendah, karena membutuhkan energi lebih untuk memisahkan ash tersebut.⁴⁾
- Batubara memiliki ukuran kurang lebih 3-55 mm.⁴⁾

2. Fluidized Bed Reactor

Dalam teknologi ini batubara dimasukan dari atas dan dialirkan dengan bantuan gas sehingga membentuk fluida, sementara oksigen dan steam dialirkan dari bawah. Proses dalam teknologi ini berlangsung secara continuous. Karakteristik batubara yang digunakan adalah batubara dihancurkan sampai berukuran sekitar 0.5-5 mm.⁴⁾



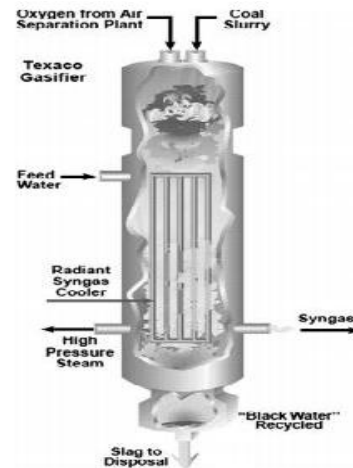
Gambar 4.
Fluidized Bed Reactor

Gambar 4 diatas merupakan gambar reactor Fluidized Bed dengan konfigurasi nya.

3. Entrained Bed Reactor

Pada proses ini batubara, oksigen, dan steam dimasukan secara co-current.

Karakteristik batubara yang digunakan dalam teknologi ini adalah dengan ukuran yang sangat kecil ukuran 0.1 mm dan seragam (homogen).⁴⁾



Gambar 5.
Entrained Bed Reactor

Gambar 5 diatas merupakan gambar reactor Entrained Bed dengan konfigurasi nya.

METODE PENELITIAN

Kegiatan penelitian ini diawali dengan pengambilan sampel batubara yang berasal dari empat daerah di dua wilayah potensial penghasil batubara, yakni dua daerah di wilayah Sumatera Selatan (Keluang dan Babat Tomang) dan dua daerah di wilayah Kalimantan Selatan (Pendopo dan Sebuk). Kemudian sampel dianalisa secara proximate dan ultimate untuk mengetahui karakteristik batubara.

Analisa Proximate

Analisa Proximate Batubara digunakan untuk mengetahui karakteristik (sifat fisis) dan kualitas batubara dalam kaitannya dengan penggunaan batubara tersebut, yaitu untuk mengetahui jumlah relatif air lembab (*Moisture Content*), zat terbang (*Volatile Matter*), abu (*Ash Content*), dan karbon tertambat (*Fixed Carbon*) yang terkandung didalam batubara.⁵⁾

Analisa Ultimate

Analisa Ultimate (analisa elementer) adalah analisa untuk mengetahui sifat kimia dalam penentuan jumlah unsur Karbon (C), Hidrogen (H), Oksigen (O), Nitrogen (N) dan Sulfur (S).⁵⁾

Metode Simulasi

Metode simulasi proses yang digunakan dalam penelitian ini adalah Aspen plus yang merupakan suatu program simulasi yang menggunakan hubungan antara besaran fisika seperti neraca massa, neraca panas,

kesetimbangan termodinamika, persamaan kecepatan untuk memprediksi performance suatu proses seperti sifat aliran dan kondisi operasi ukuran alat, dan lain-lain.

Software yang digunakan untuk simulasi dan estimasi proses adalah Aspen Plus 8.4, dengan parameter komposisi umpan, kondisi proses dan peralatan yang digunakan pada tiga jenis teknologi gasifikasi, yaitu Fix Bed, Fluidized Bed dan Entrained Bed.¹⁰⁾

Simulasi yang dimaksud adalah dengan melakukan estimasi untuk menghitung kebutuhan energi, produk syngas yang dihasilkan, biaya modal dan biaya operasional proses dari ketiga teknologi gasifikasi tersebut di atas.¹⁰⁾

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tiga teknologi gasifikasi batubara Fix Bed, Fluidized Bed dan Entrained Bed memiliki keunggulan masing-masing. Ketiga teknologi tersebut sangat dipengaruhi oleh karakteristik bahan baku yang digunakan sebagai umpan untuk memproduksi syngas, yaitu seperti kandungan kadar air, fixed carbon, kandungan ash, dan volatile matter.

Nilai tersebut diperoleh dari uji karakteristik batubara, yaitu uji proximate. Selain uji proximate, juga dilakukan uji ultimate, yaitu untuk penentuan ash, carbon, hidrogen, nitrogen, sulfur, dan oksigen.

Hasil analisa proximate dan ultimate terhadap sampel batubara dari 4 (empat) daerah uji dapat ditunjukkan pada Tabel 4 dan Tabel 5 berikut:

Tabel 4.
Hasil Analisa Proximate dan Ultimate Batubara dari Sumatera Selatan
(Keluang dan Babat Toman)

Analysis Parameters	Lokasi Sample		Unit	Basis	Standard Methods
	Keluang	Babat Toman			
PROXIMATE :					
Moisture in Air Dried Sample	14	11	%	adb	ASTM D.3173
Ash	7	5	%	adb	ASTM D.3174
Volatile Matter	40	42	%	adb	ISO 562
Fixed Carbon	39	42	%	adb	ASTM D.3172
ULTIMATE :					
Carbon	72,6	65,7	%	adb	ASTM D.5373
Hidrogen	4,90	6,3	%	adb	ASTM D.5373
Nitrogen	1,32	0,8	%	adb	ASTM D.5373
Total Sulfur	0,9	0,2	%	adb	ASTM D.4239
Oxigen	20,2	27	%	adb	ASTM D.3176
Gross Caloric Value	5.300	5.600	Cal/g	adb	ASTM D.5865

Tabel 5.
Hasil Analisa Proximate dan Ultimate Batubara dari Kalimantan Selatan
(Pendopo dan Sebuku)

Analysis Parameters	Lokasi Sample		Unit	Basis	Standard Methods
	Pendopo	Sebuku			
PROXIMATE :					
Moisture in Air Dried Sample	10,81	4,86	%	adb	ASTM D.3173
Ash	16,84	36,05	%	adb	ASTM D.3174
Volatile Matter	41,26	34,55	%	adb	ISO 562
Fixed Carbon	31,09	24,54	%	adb	ASTM D.3172
ULTIMATE :					
Carbon	48,99	46,77	%	adb	ASTM D.5373
Hidrogen	5,08	4,99	%	adb	ASTM D.5373
Nitrogen	0,66	0,78	%	adb	ASTM D.5373
Total Sulfur	0,23	0,49	%	adb	ASTM D.4239
Oxigen	28,20	10,92	%	adb	ASTM D.3176
Gross Caloric Value	4.311	4.611	Cal/g	adb	ASTM D.5865

Hasil uji proximate dan uji ultimate tersebut kemudian dimasukkan dalam simulasi aspen plus, dengan kondisi operasi dan umpan yang sama untuk teknologi yang sama.

Sementara untuk teknologi yang berbeda, dilakukan kondisi operasi dan umpan yang berbeda. Namun untuk umpan, diberikan total nilai yang sama., walaupun komposisinya berbeda-beda.

Perhitungan dan Hasil Simulasi

1. Kebutuhan Energi

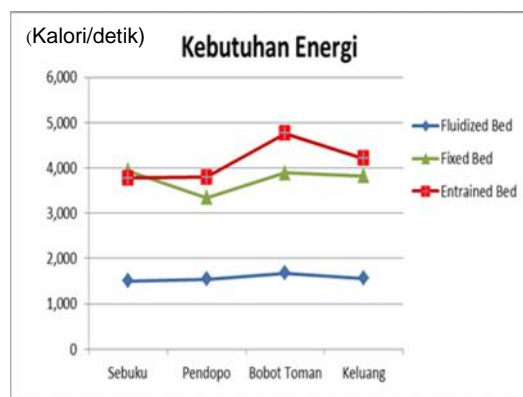
Bahan baku batubara yang digunakan dalam teknologi ini, sangat berpengaruh terhadap kebutuhan energi dari masing-masing teknologi..

Pada penelitian ini, menggunakan basis perhitungan 4.5 kg/jam umpan batubara. Berikut energi yang dihasilkan dari masing-masing teknologi untuk masing-masing daerah di Kalimantan Selatan (Pendopo dan Sebuku) dan Sumatera Selatan (Keluang dan Bobot Toman).

Tabel 6.
Kebutuhan Energi Untuk Setiap Teknologi Pada Masing-masing Daerah

Sampel	Fluidized Bed	Fixed Bed	Entrained Bed
Sebuku	1,510	3,938	3,776
Pendopo	1,540	3,344	3,796
Babat Toman	1,676	3,889	4,742
Keluang	1,561	3,824	4,206

Dari ketiga teknologi yang digunakan, teknologi entrained bed lebih banyak membutuhkan energy, terutama di wilayah Sumatera selatan (Babat Toman dan Keluang).



Gambar 6.
Kebutuhan Energi Untuk Setiap Teknologi pada Masing-masing Daerah

Umumnya, daerah dengan karakteristik batubara yang lebih basah (*wet coal*) akan membutuhkan energi yang lebih besar.

Namun demikian, wet coal tersebut umumnya dapat memproduksi syngas yang lebih banyak dan rendah emisi dengan teknologi gasifikasi yang tepat, seperti teknologi entrained bed gasifier.

2. Biaya Operasional

Dalam dunia industri hal yang sangat diperhatikan antara lain yaitu biaya operasional. Berikut ini estimasi *operating cost* untuk setiap teknologi pada setiap daerah.

Tabel 7.
Operating Cost Untuk Setiap Teknologi Pada Masing-masing Daerah

Sampel	Fluidized Bed	Fixed Bed	Entrained Bed
Sebuku	1,347,000	1,285,530	1,296,390
Pendopo	1,349,670	1,285,530	1,296,640
Babat Toman	1,347,000	1,285,530	1,299,250
Keluang	1,347,000	1,285,530	1,299,250

Biaya operasional (*operating cost*) merupakan salah satu alasan penting dalam menentukan nilai jual suatu produk dari produsen ke konsumen. Untuk itu nilai *operating cost* yang rendah sangat diharapkan oleh suatu perusahaan. Berikut *operating cost* dari masing-masing teknologi untuk masing daerah di Kalimantan Selatan (Pendopo dan Sebuku) dan Sumatera Selatan (Keluang dan Bobot Toman).



Gambar 7.
Operating Cost Untuk Setiap Teknologi di setiap Daerah

Untuk *operating cost*, teknologi fixed bed dan entrained bed memberikan nilai *operating cost* yang hampir sama, atau tidak beda secara signifikan dan keduanya memberikan nilai estimasi *operating cost*

yang lebih rendah dibandingkan dengan teknologi fluidized bed.

Babat Toman	35.115	34,388	40,5
Keluang	34.973	34,235	40,5

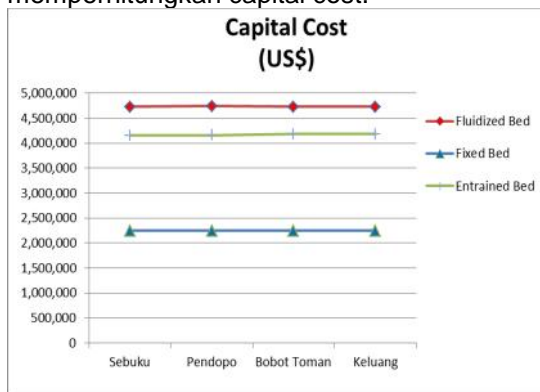
3. Biaya Modal

Bagi industri kecil dan menengah, biaya modal (*capital cost*) merupakan hal sangat penting. Berikut ini tabel *capital cost* hasil dari simulasi yang digunakan

Tabel 8.
Capital Cost Untuk Setiap Teknologi Pada Masing-masing Daerah

Sampel	Fluidized Bed	Fixed Bed	Entrained Bed
Sebuku	4,726,210	2,251,260	4,154,040
Pendopo	4,744,120	2,251,260	4,163,810
Babat Toman	4,726,210	2,251,260	1,181,170
Keluang	4,727,210	2,251,260	1,181,170

Untuk *capital cost* nilai satuan yang digunakan daalam US Dollar. Untuk itu, dalam melakukan investasi bisnisnya pengusaha kecil dan menengah sangat memperhitungkan *capital cost*.



Gambar 8.
Capital Cost Untuk Setiap Teknologi Pada Masing-masing Daerah

Dari kurva diatas dan dari ketiga teknologi yang digunakan, serta dari ke empat wilayah yang digunakan sebagai sampel teknologi fluidized bed membutuhkan *capital cost* yang lebih besar dibandingkan dengan teknologi entrained bed dan fixed bed gasifier.

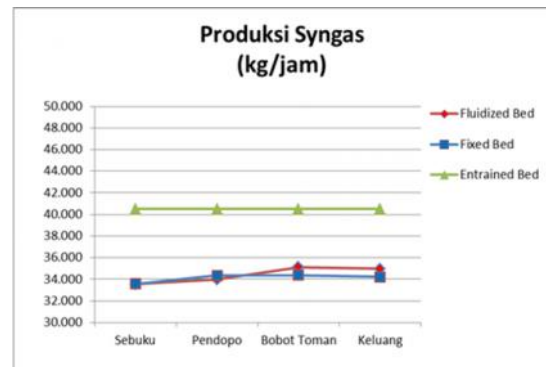
4. Produksi Syngas

Pada penelitian ini, parameter lain yang diperhatikan antara lain produksi syngas. Berikut tabel dibawah ini untuk hasil simulasi produksi syngas.

Tabel 9.
Produksi Syngas Untuk Setiap Teknologi Pada Masing-masing Daerah

Sampel	Fluidized Bed	Fixed Bed	Entrained Bed
Sebuku	33.527	33,581	40,5
Pendopo	33.972	34,337	40,5

Untuk hasil dari gasifikasi yang berupa syntetik gas atau syngas, produksi syngas yang dihasilkan dalam satuan kg/jam.



Gambar 9.
Produksi Syngas Untuk Setiap Teknologi Pada Masing-masing Daerah

Dari kurva diatas dan dari ketiga teknologi yang digunakan, serta dari ke empat wilayah yang digunakan sebagai sampel teknologi entrained bed gasifier menghasilkan syngas yang paling besar dibandingkan teknologi fluidized bed dan fixed bed gasifier. Dimana teknologi entrained bed ini pun merupakan teknologi yang lebih ramah lingkungan.

SIMPULAN

Ditinjau dari sumberdaya alamnya, Sumatera Selatan dan Kalimantan Selatan cukup representatif sebagai daerah potensial penghasil bahan baku batubara. Sementara itu, dari hasil analisa sampel uji *proximate* dan *ultimate* terhadap bahan baku batubara yang diambil dari daerah Sumatera Selatan mempunyai karakteristik sebagai berikut :

Semakin besar kadar air (*moisture content*) pada batubara, akan semakin kecil *Gross Caloric Valuenya*, maka *Gross Caloric Value* batubara dari daerah Keluang lebih kecil dari daerah Babat Tomang.

Semakin besar kadar air (*moisture content*), maka akan semakin besar kadar karbonnya. *Moisture content* batubara dari daerah Keluang lebih besar dibanding dari daerah Babat Tomang, maka kadar karbon batubara dari daerah Keluang juga lebih besar dari daerah Babat Tomang.

Hasil analisa sampel uji *proximate* dan *ultimate* terhadap sampel bahan baku yang diambil dari daerah Kalimantan Selatan mempunyai karakteristik sebagai berikut :

Semakin besar kadar air (*moisture content*) batubara, akan semakin kecil Gross Caloric Value, maka Gross Caloric Value batubara dari daerah Pendopo lebih kecil dari daerah Sebuku.

Semakin besar kadar air (*moisture content*), akan semakin besar kadar karbon. Moisture content batubara dari daerah Pendopo lebih besar dibanding dari daerah Sebuku, maka kadar karbon batubara dari daerah Pendopo juga lebih besar dari daerah Sebuku.

Selanjutnya dengan menggunakan aplikasi Aspen Plus dalam kegiatan penelitian ini, diperoleh hasil, bahwa batubara yang mempunyai kadar air (*moisture content*) dan fixed carbon tinggi, pada proses gasifikasinya membutuhkan energi yang lebih besar. Sementara itu kebutuhan energi untuk proses gasifikasi dengan menggunakan teknologi fluidized bed membutuhkan energi yang paling kecil dibandingkan dengan teknologi fixed bed dan entrained bed. Dan Entrained bed yang paling besar membutuhkan energi dengan kapasitas produksi yang sama. Produk gas yang dihasilkan dari proses gasifikasi dengan menggunakan teknologi entrained bed akan lebih banyak menghasilkan syngas, dibandingkan dengan teknologi fixed bed dan fluidized bed. Dengan besaran laju umpan yang sama. Untuk perhitungan biaya investasi (*capital cost*) pendirian plant gasifikasi batubara untuk teknologi fixed bed lebih murah dibandingkan dengan teknologi fluidized bed dan entrained bed. Biaya capital cost fluidized bed yang paling besar nilainya. Sedangkan untuk perhitungan biaya operasional (*operating cost*) teknologi gasifikasi yang paling murah adalah dengan teknologi fixed bed, namun tidak beda jauh dengan teknologi entrained bed. Sedangkan biaya oprasional yang paling mahal adalah dengan teknologi fluidized bed gasifier.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Kementerian Negara Riset dan Teknologi dan Pendidikan Tinggi (KEMENRISTEK DIKTI) Republik Indonesia atas bantuan pendanaan untuk Riset Terapan Kegiatan Simulasi dan Estimasi Kebutuhan Energi Sistem Gasifier dengan Bahan Baku Batubara Sumatera Selatan dan Kalimantan Selatan yang merupakan bagian dari program insentif riset Sistem Inovasi Nasional (SINas), Tahun Anggaran 2015.

DAFTAR PUSTAKA

1. BP, Statistical Review of World Energy, www.bp.com, diakses tanggal 25 Agustus 2009.
2. Sekretariat Panitia Teknis Sumber Energi (PTE), Blueprint Energi Nasional 2005-2025, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2007.
3. Badan Geologi Kementerian ESDM. November 2011.
4. Perancangan Pabrik Gas Sintetis Menggunakan Proses Gasifikasi Batubara Sebagai Bahan Baku Pembuatan Bahan Bakar Cair. Muhammad Habiburrohman. Universitas Indonesia: Depok. 2012
5. Pengaruh Komposisi Biomassa Serbuk Kayu Dan Batu Bara Terhadap Performansi Pada Co Gasifikasi Sirkulasi Fluidized Bed. I Ketut Wijaya. Universitas Udayana: Bali. 2015.
6. Peraturan Presiden Nomor. 5 Tahun 2006, tentang Kebijakan Energi Nasional, 2006.
7. Direktorat Jenderal Mineral dan Batubara. Kementerian ESDM RI. Jakarta: 2009.
8. Considine, D., Chemical and Process Technology Encyclopedia, Mc Graw hill book company, 1974.
9. Milne, T.A., and Evans, R.J., Biomass Gasifier "Tars": Their Nature, Formation, and Conversion, National Renewable Energy Laboratory, 1998.
10. Nikoo, M.B., and Mahinpey, N., Simulation of biomass gasification in fluidized bed reactor using ASPEN PLUS. Biomass Bioenergy, 32, 1245–1254, 2008.
11. Francois, J., Abdelouahed, L., Mauviel, G., Patisson, F., Mirgaux, O., Rogaume, C., Rogaume, Y., Feidt, M., and Dufour, A., Detailed process modeling of a wood gasification combined heat and power plant. Biomass Bioenergy, 51, 68–82, 2013.
12. Lee, J.M., Kim, Y.J., Lee, W.J., and Kim, S.D., Coal-gasification kinetics derived from pyrolysis in a fluidized-bed reactor. Energy, 23, 475–488, 1998.
13. Sharmina, B., Mohammad, G.R., Delwar, A., and David, C., An Experimental and Numerical Investigation of Fluidized Bed Gasification of Solid Waste, Energies, 7, 43-61, 2014.