

PENGARUH DERAJAT PENGERINGAN BATUBARA LIGNIT TERHADAP UNJUK KERJA GASIFIKASI *ALLOTHERMAL*

Nurhadi¹, Diniyati, D.

Puslitbang tekMIRA, Jl. Jend. Sudirman No. 623, Bandung, Telp. (022)6030483

Susanto, H.

Departemen Teknik Kimia, FTI, ITB, Jl. Ganesha No. 10, Bandung

Abstrak

Gasifikasi batubara *allothermal* menjadi tren pengembangan saat ini karena dapat menghasilkan gas sintesis tanpa menggunakan pereaksi O_2 murni, rasio H_2/CO dalam produk yang besar dan cocok untuk batubara lignit. Makalah ini membahas pengaruh derajat pengeringan batubara terhadap unjuk kerja gasifikasi *allothermal* menggunakan batubara lignit. Batubara dikeringkan pada derajat pengeringan tertentu menggunakan sisa panas *sensible gas* buang. Batubara kering kemudian direaksikan dengan steam dalam gasifier menjadi gas sintesis. Sisa arang dibakar dalam combustor untuk memasok panas reaksi gasifikasi. Panas *sensibel gas* sintesis dan gas buang dimanfaatkan untuk membangkitkan steam dan memanaskan udara pembakaran. Hasil simulasi menunjukkan bahwa sisa panas *sensibel* hanya cukup untuk pengeringan batubara pada variabel derajat pengeringan dan STF yang kecil. Pada derajat pengeringan dan STF yang besar diperlukan tambahan energi melalui pembakaran batubara. Pengeringan batubara akan mengurangi kebutuhan energi gasifikasi sehingga dapat meningkatkan unjuk kerja gasifikasi *allothermal* yaitu konversi karbon (pada rentang 57 – 65%), efisiensi termal (pada rentang 78 – 88%), jumlah produksi H_2+CO dalam gas sintesis (pada rentang 48 – 54 kmol/ton batubara), perbandingan mol H_2/CO (pada rentang 1,4 – 3,3), mengurangi laju sirkulasi pasir (pada rentang 35 - 27 ton/jam) dan dapat meningkatkan laju alir spesifik umpan steam pada STF rendah sehingga dapat terjadi fluidisasi. Pemodelan ini diharapkan dapat mengarahkan penelitian gasifikasi batubara *allothermal* di Indonesia.

Kata Kunci: gasifikasi *allothermal*; batubara lignit; gas sintesis; pemodelan dan simulasi proses.

A. PENDAHULUAN

Gasifikasi batubara adalah proses konversi batubara yang berwujud padat menjadi campuran gas yang memiliki nilai bakar. Berdasarkan jenis pereaksi yang digunakan produk gas dikelompokkan menjadi dua yaitu gas kalori rendah ($4 - 7 \text{ MJ/Nm}^3$) dan gas kalori menengah ($10 - 18 \text{ MJ/Nm}^3$). Penggunaan pereaksi udara menghasilkan gas kalori rendah, sedangkan penggunaan pereaksi oksigen, steam, CO_2 dihasilkan gas kalori menengah. Penggunaan pereaksi H_2O dan CO_2 menghasilkan reaksi endotermal yang disebut gasifikasi *allothermal* (Meijden, et.al., 2008). Beberapa contoh teknologi *allothermal* adalah *Battelle Process* (Nowacki, 1981), FICFB (Nordenkampf and Hofbaeur, 2004), Milena (Meijden, et.al., 2009), COGAS (Nowacki, 1981) dan TIGAR (Fujimori, et.al., 2007).

Berbeda dengan gasifikasi *auto-thermal* yang harus menggunakan pereaksi oksigen murni untuk mendapatkan gas kalori menengah, gasifikasi *allothermal* dapat menghasilkan produk gas yang sama hanya menggunakan pereaksi steam. Hal ini menyebabkan gasifikasi *allothermal* tidak membutuhkan pabrik oksigen sehingga mengurangi biaya investasi. Penggunaan pereaksi steam dalam gasifikasi *allothermal* menghasilkan perbandingan mol H_2/CO yang besar sehingga cocok dimanfaatkan untuk bahan baku kimia.

Keunggulan lain gasifikasi *allothermal* adalah cocok menggunakan bahan baku batubara lignit karena memiliki reaktivitas yang besar. Sumberdaya batubara lignit cukup melimpah di Indonesia tetapi belum dimanfaatkan secara optimal. Masalah yang dihadapi pada pemanfaatan batubara lignit adalah kadar air yang sangat besar sehingga akan menurunkan efisiensi proses. Pengeringan batubara lignit menjadi alternatif dalam pemanfaatan batubara lignit, terutama jika menggunakan panas dari gas buang.

Perbandingan antara jumlah steam terhadap batubara atau *steam to fuel ratio* (STF) sangat berpengaruh terhadap unjuk kerja gasifikasi *allothermal*. STF yang besar akan menurunkan konversi karbon dan efisiensi termal tetapi

¹ Penulis dimana surat-menyurat dialamatkan. E-mail: nurhadi@tekmira.esdm.go.id

akan menambah rasio H₂/CO dalam komposisi syngas. Nilai STF ditentukan oleh kadar air dalam umpan batubara dan laju alir umpan steam sesuai dengan persamaan 1. Pada STF yang sama semakin besar kadar air dalam umpan batubara maka laju alir umpan steam menurun. Umpan steam berfungsi juga sebagai media fluidisasi sehingga laju alir steam dibatasi oleh kecepatan minimum fluidisasi. Kecepatan minimum fluidisasi dipengaruhi oleh sifat-sifat batubara, pasir (*bed material*) dan steam (media fluidisasi). Dari kajian literatur diperoleh bahwa fluidisasi untuk gasifikasi *allothermal* diperoleh jika laju alir spesifik umpan steam (m_s) di atas 0,4 sesuai dengan persamaan empirik 2. Pengeringan batubara dilakukan agar laju alir umpan steam di atas kecepatan minimum fluidisasi.

$$STF = \frac{m_s + m_{TM}}{m_{bb}} \dots\dots\dots (1)$$

(Hofbaeuer and Rauch, 2000)

$$\dot{m}_s = \frac{m_s}{m_{bb} \times \frac{100+TM}{100}} > 0,4 \dots\dots\dots (2)$$

(Corella, et.al, 2008)

Makalah ini membahas pemodelan yang mempelajari pengaruh derajat pengeringan umpan batubara terhadap unjuk kerja gasifikasi *allothermal*, yaitu konversi karbon, efisiensi termal, jumlah produksi H₂+CO dalam gas sintesis, perbandingan mol H₂/CO dalam gas sintesis, kebutuhan tambahan batubara untuk pengeringan dan kebutuhan sirkulasi pasir. Data hasil pemodelan diharapkan dapat digunakan untuk mengarahkan penelitian lanjutan dalam pengembangan teknologi gasifikasi batubara *allothermal* di Indonesia.

B. PENGEMBANGAN MODEL

B.1. Penentuan Variabel

Variabel bebas dalam pemodelan ini adalah derajat pengeringan batubara (0 – 100%) dengan parameter STF (0,6 – 1,6). Variabel tetap adalah kapasitas gasifikasi (1.000 kg batubara/jam), *excess* udara pembakaran (20%), suhu umpan batubara, BFW dan udara (25 °C), suhu pengeringan batubara (150 °C), suhu boiler (500 °C), suhu *gasifier* (850 °C), suhu *combustor* (950 °C), suhu gas buang (140 °C), suhu produk gas sintesis (160 °C), panas hilang (25%) dan tekanan proses (1 bar). Batubara yang digunakan dalam simulasi ini adalah batubara lignit dari Kalimantan Selatan yang memiliki data analisis seperti terlihat pada Tabel 1.

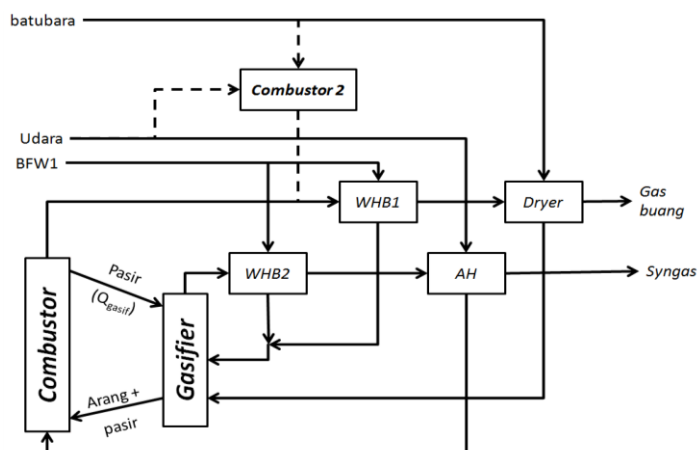
B.2. Deskripsi Model

Diagram alir blok (BFD) model gasifikasi batubara *allothermal* dapat dilihat pada Gambar 1. Batubara mula-mula dikeringkan menggunakan panas sensibel gas buang sebelum diumpkan ke *gasifier*. Setelah masuk *gasifier* umpan batubara dan steam mengalami pemanasan sampai suhu operasi *gasifier*. Kadar air batubara akan menguap selama pemanasan dan berfungsi sebagai tambahan steam. Kandungan zat terbang dan sebagian arang batubara bereaksi dengan steam membentuk gas sintesis dalam *gasifier*. Komposisi gas sintesis mencapai kesetimbangan yang dihitung menggunakan perubahan energi bebas Gibbs minimum (Schuster, et.al., 2001).

Tabel 1. Analisis sampel batubara

No.	Parameter	Nilai
a. Analisa Proksimat		
1.	Kadar Air, ar	35,00%
2.	Karbon Padat, db	45,58%
3.	Zat Terbang, db	49,35%
4.	Abu, %db	5,06%
b. HHV (kKal/kg), db		
		6.574
c. Analisa Ultimat, daf		
1.	Karbon	72,39%
2.	Hidrogen	4,89%
3.	Nitrogen	1,03%
4.	Sulfur	0,25%
6.	Oksigen	21,42%

(http://www.arutmin.com/?page=marketing/product_detail.html)



Gambar 1. Blok diagram model Gasifikasi *allothermal*

Arang sisa gasifikasi kemudian dibakar dalam *combustor* menjadi gas buang. Panas pembakaran digunakan untuk panas reaksi gasifikasi. Jumlah arang yang masuk ke *combustor1* diatur agar jumlah panas reaksi pembakaran dapat memenuhi kebutuhan panas reaksi gasifikasi. Panas sensibel yang terkandung dalam gas buang dan gas sintesis dimanfaatkan untuk membangkitkan steam (umpan gasifikasi), memanaskan udara

pembakaran dan pengeringan batubara. Jika panas sensibel kurang maka ditambah dengan pembakaran batubara dalam *combustor 2*.

Simulasi proses menggunakan *software* Aspen Plus®. Persamaan keadaan yang digunakan adalah PR-BM yang sesuai untuk proses gasifikasi batubara (Aspen Plus, 2008). Reaktor *gasifier* dan *combustor* dimodelkan sebagai reaktor Gibbs. Pemanfaatan panas sensibel gas sintesis dan gas buang dimodelkan secara sederhana menggunakan unit operasi *heater* dan *cooler*. Perpindahan panas antara *heater* dan *cooler* menggunakan aliran panas.

B.3. Parameter Unjuk Kerja Gasifikasi Batubara

Gasifikasi batubara merupakan proses yang kompleks sehingga untuk menjaga unjuk kerja proses dilakukan dengan mengevaluasi beberapa parameter antara lain konversi karbon, efisiensi termal, produksi H₂+CO dalam gas sintesis, perbandingan mol H₂/CO, sirkulasi pasir dan tambahan pembakaran batubara untuk pengeringan. Konversi karbon dan efisiensi termal dihitung berdasarkan persamaan 3 dan 4.

$$X_C = \frac{\sum F_{Ci,SG}}{F_{C,bb} + F_{C,bbt}} \times 100\% \dots\dots\dots(3)$$

$$\eta_{th} = \frac{\sum HHV_{i,SG} \times F_{i,SG}}{HHV_{bb} (m_{bb} + m_{bbt})} \times 100\% \dots\dots\dots(4)$$

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

C.1. Validasi Model

Perbandingan hasil model dengan data percobaan dan model lain dari pustaka dapat dilihat pada Tabel 2. Model dan TIGAR menghasilkan data konversi karbon, efisiensi termal dan perbandingan mol H₂/CO yang hampir sama. Hal ini menunjukkan bahwa model dapat mewakili kondisi sebenarnya. Perbedaan yang mencolok antara model dan data TIGAR adalah komposisi CH₄ dan hidrokarbon ringan lainnya. Komposisi CH₄ dan hidrokarbon ringan pada model 0,01% sedangkan pada data TIGAR 8%. Hal ini disebabkan karena pada data TIGAR saat proses pirolisis, CH₄ dan hidrokarbon ringan lainnya terbawa aliran gas keluar gasifier sebelum mencapai kesetimbangan kimia. Sedangkan komposisi gas sintesis pada model telah mencapai kesetimbangan kimia, sehingga hampir semua CH₄ dan hidrokarbon ringan terkonversi. Model lain (model FICFB) dari pustaka menunjukkan komposisi CH₄ dan hidrokarbon ringan yang hampir sama yaitu 0,1%. Model FICFB memiliki komposisi CH₄ dan hidrokarbon ringan yang lebih besar karena STF lebih kecil yaitu 0,17 dibandingkan dengan model sebesar 1,6. Nilai STF model yang lebih kecil menghasilkan perbandingan mol H₂/CO yang lebih kecil. Kelebihan gasifikasi *allothermal* adalah gas sintesis tidak dikotori oleh N₂ dari udara sehingga kandungan H₂ dan CO tinggi yaitu di atas 75%.

Tabel 2. Perbandingan model dengan data pustaka

Parameter	Model (Studi ini)	TIGAR (Fujimori, et.al., 2007)	Model FICFB (Schuster, et.al., 2001)
Bahan baku	Lignit	Lignit	Biomassa
Steam to fuel ratio (STF)	1,6	1,6	0,17
Konversi karbon	57%	57%	-
Efisiensi termal	77%	>73%	66,9%
Komposisi gas sintesis, fraksi mol			
H ₂	63,05%	56%	56,2%
CO	19,35%	18%	31,2%
CO ₂	16,74%	18%	12,5%
CH ₄ + C _x H _y	0,01%	8%	0,1%
Perbandingan mol H ₂ /CO	3,25	3,11	1,8

C.2. Konsumsi Energi untuk Pengeringan

Gasifikasi *allthermal* membutuhkan energi dari luar sistem untuk proses pengeringan, pirolisis dan gasifikasi arang. Energi digunakan untuk menaikkan suhu umpan dan menguapkan kadar air batubara selama proses pengeringan. Kebutuhan energi pengeringan akan bertambah pada derajat pengeringan yang lebih besar. Pengeringan batubara yang dilakukan sebelum gasifikasi dapat mengurangi kebutuhan energi gasifikasi. Sebagai ilustrasi untuk mengeringkan batubara sampai derajat pengeringan 60% pada STF 1,2 panas pengeringan sebesar 0,2 juta kkal/jam sehingga menurunkan kebutuhan panas reaksi gasifikasi menjadi 1,9 juta kkal/jam (Gambar 2a). Rentang kebutuhan energi untuk pengeringan batubara adalah 0 – 0,3 juta kkal/jam. Kombinasi variabel

derajat pengeringan 0 – 100% dan STF 0,6 - 1,6 menghasilkan rentang kebutuhan total energi gasifikasi sebesar 1,05 – 3,75 juta kkal/jam.

Semakin besar parameter STF yang digunakan maka kebutuhan energi untuk membangkitkan umpan steam juga semakin banyak, sehingga sisa energi dalam panas sensibel gas buang semakin kecil. Jika sisa panas sensibel ini tidak cukup untuk memasok kebutuhan energi pengeringan batubara maka perlu ditambah dengan pembakaran batubara. Semakin besar nilai derajat pengeringan dan STF maka dibutuhkan semakin banyak tambahan pembakaran batubara, sebagai ilustrasi untuk mengeringkan batubara sampai derajat pengeringan 60% pada STF 1,2 dibutuhkan tambahan batubara sebanyak 65 kg/ton batubara (Gambar 2b). Kombinasi variabel derajat pengeringan 0 – 100% dan STF 0,6 - 1,6 menghasilkan rentang kebutuhan tambahan batubara 0 – 160 kg/jam.

C.3. Konversi Karbon dan Efisiensi Termal

Pengeringan batubara sebelum gasifikasi akan mengurangi kebutuhan total energi untuk gasifikasi (Gambar 2a) menyebabkan berkurangnya kebutuhan pembakaran arang dalam *combustor*. Hal ini akan menambah jumlah reaksi gasifikasi sehingga dihasilkan lebih banyak gas sintesis. Gas sintesis yang bertambah dapat meningkatkan konversi karbon dan efisiensi termal sesuai dengan persamaan (3) dan (4).

Seperti telah dijelaskan sebelumnya bahwa semakin besar nilai derajat pengeringan dan STF akan membutuhkan lebih banyak tambahan pembakaran batubara (Gambar 2b). Tambahan batubara juga akan mengurangi konversi karbon dan efisiensi termal sesuai dengan persamaan (3) dan (4). Gabungan dua fenomena tersebut menyebabkan profil konversi karbon dan efisiensi termal akan meningkat tajam pada derajat pengeringan kecil diikuti penurunan yang landai pada derajat pengeringan yang besar. Sebagai ilustrasi untuk mengeringkan batubara sampai derajat pengeringan 60% pada STF 1,2 maka akan diperoleh konversi karbon dan efisiensi termal masing-masing 60,5 dan 81,5% (Gambar 2c dan 2d). Kombinasi variabel derajat pengeringan 0 – 100% dan STF 0,6 - 1,6 menghasilkan rentang konversi karbon 57 – 65% dan rentang efisiensi termal 78 – 88%.

C.4. Produk Gas Sintesis

Laju alir komponen H_2 dan CO serta perbandingan mol H_2/CO merupakan parameter penting pada pemanfaatan gasifikasi untuk bahan baku kimia. Seperti telah dijelaskan sebelumnya bahwa konversi karbon dan efisiensi termal akan naik tajam diikuti dengan penurunan yang landai sepanjang derajat pengeringan (Gambar 2c dan 2d), menyebabkan fenomena yang sama pada profil jumlah produksi mol $H_2 + CO$. Sebagai ilustrasi untuk pengeringan batubara sampai derajat pengeringan 60% pada STF 1,2 akan menghasilkan 51,5 kmol/ton batubara (Gambar 3e). Kombinasi variabel derajat pengeringan 0 – 100% dan STF 0,6 - 1,6 menghasilkan rentang jumlah produksi mol $H_2 + CO$ 48 – 54 kmol/ton batubara.

Nilai perbandingan mol H_2/CO lebih banyak dipengaruhi oleh perubahan nilai STF dibandingkan perubahan derajat pengeringan (Gambar 2f). Hal ini disebabkan karena nilai STF berpengaruh pada perbandingan mol steam dan batubara yang akan menggeser kesetimbangan reaksi gasifikasi, sedangkan pada perubahan derajat pengeringan tidak akan merubah perbandingan mol antara umpan steam terhadap batubara. Sebagai ilustrasi pada pengeringan batubara sampai derajat pengeringan 60% dan STF 1,2 diperoleh perbandingan mol H_2/CO sebesar 2,3 (Gambar 2f). Kombinasi variabel derajat pengeringan 0 – 100% dan STF 0,6 - 1,6 menghasilkan rentang nilai perbandingan mol H_2/CO 1,4 – 3,3.

Kombinasi variabel derajat pengeringan dan STF dapat digunakan untuk mencari nilai perbandingan mol H_2/CO yang sesuai dengan laju produksi mol $H_2 + CO$ yang maksimum. Salah satu keunggulan teknologi gasifikasi *allothermal* adalah rentang perbandingan mol H_2/CO yang besar, sehingga dapat digunakan sebagai bahan baku berbagai jenis industri kimia. Hal ini disebabkan karena panas reaksi gasifikasi *allothermal* dipasok dari luar *gasifier* sehingga pengaturan STF menjadi variabel bebas sesuai dengan spesifikasi rasio H_2/CO yang diinginkan. Keunggulan lain dari gasifikasi *allothermal* adalah komposisi CO_2 yang rendah, hal ini disebabkan karena gas buang dari *combustor* tidak tercampur dengan gas sintesis. Sehingga sumber gas CO_2 hanya berasal dari reaksi *water gas shift*. Hal ini akan meningkatkan komposisi H_2+CO dalam syngas. Sebagai ilustrasi pada pengeringan batubara pada derajat pengeringan 60% dan STF 1,2 komposisi H_2+CO sebesar 88% (Gambar 2f).

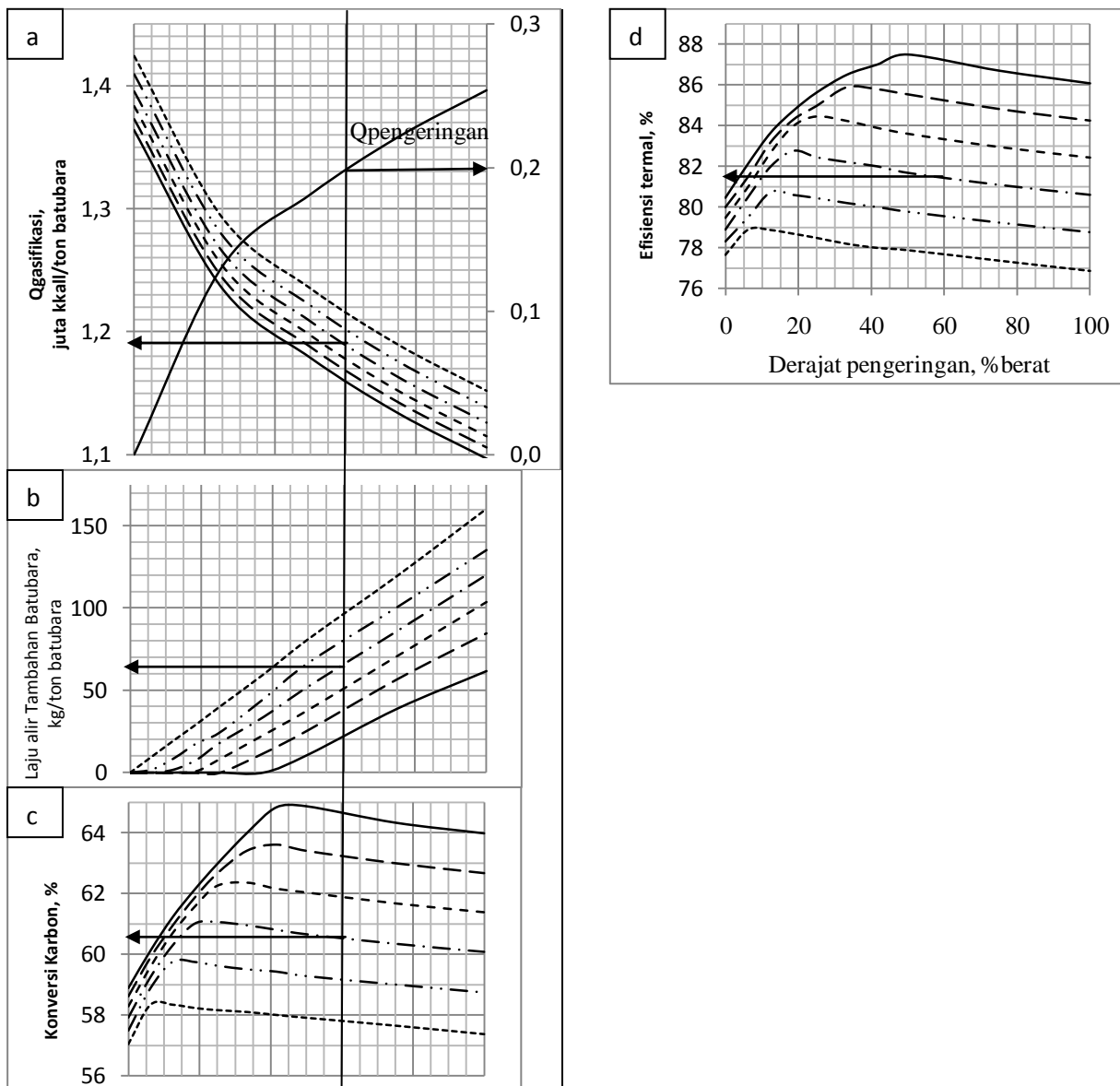
C.5. Kebutuhan Sirkulasi Pasir

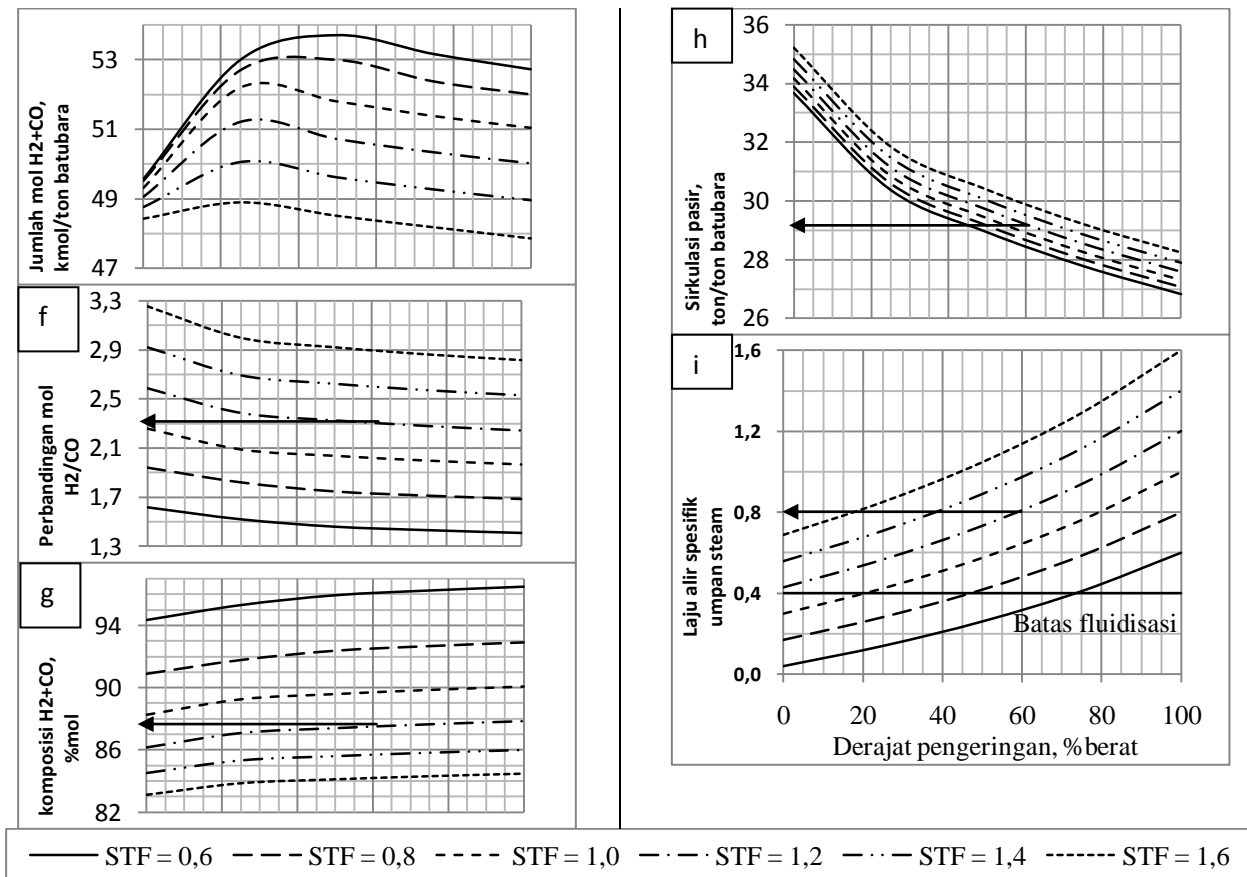
Proses gasifikasi *allothermal* sangat dipengaruhi oleh sirkulasi pasir sebagai pembawa panas reaksi dari *combustor* ke *gasifier*. Laju sirkulasi pasir yang besar menjadi salah satu kelemahan teknologi ini karena menyebabkan erosi, boros energi untuk proses fluidisasi dan kesulitan dalam menjaga kestabilan proses.

Pengeringan batubara sebelum gasifikasi dapat mengurangi total energi gasifikasi (2a), sehingga dapat mengurangi laju sirkulasi pasir. Sebagai ilustrasi pada pengeringan batubara sampai derajat pengeringan 60% dan STF 1,2 kebutuhan sirkulasi pasir akan berkurang menjadi 29 ton/ton batubara (Gambar 2h). Kombinasi variabel derajat pengeringan 0 – 100% dan STF 0,6 - 1,6 menghasilkan rentang laju alir 27 – 35 ton/ton batubara. Selisih kebutuhan laju alir yang besar sangat penting pada pengoperasian gasifikasi allothermal.

C.6. Kebutuhan Laju Alir Umpan Steam

Kadar air dalam batubara, laju alir umpas steam dan STF merupakan variabel yang saling berhubungan dalam gasifikasi *allothermal* sesuai dengan persamaan (1). Seperti telah dijelaskan sebelumnya bahwa untuk memperoleh konversi karbon dan efisiensi termal yang besar dibutuhkan STF yang kecil. STF yang kecil akan menghasilkan laju alir umpas steam yang kecil pula. Karena umpas steam juga berfungsi sebagai media fluidisasi, maka laju alir spesifik umpas steam harus di atas kecepatan minimum fluidisasi. Pengeringan batubara akan mengurangi kadar air sehingga akan menambah laju alir spesifik umpas steam pada STF yang sama. Sebagai ilustrasi pada pengeringan batubara sampai derajat pengeringan 60% dan STF 1,2 laju alir spesifik umpas steam akan meningkat menjadi 0,8 (Gambar 2i).





Gambar 2. Pengaruh derajat pengeringan terhadap unjuk kerja gasifikasi allothermal:

- | | | |
|--------------------------------------|---|---|
| a. Panas pengeringan dan gasifikasi; | d. Efisiensi termal; | g. Komposisi H ₂ +CO dalam syngas; |
| b. Laju alir tambahan batubara; | e. Laju alir H ₂ +CO dalam syngas ; | h. Laju alir sirkulasi pasir; |
| c. Konversi karbon; | f. Perbandingan mol H ₂ /CO dalam syngas ; | i. Laju alir spesifik umpan steam. |

D. KESIMPULAN

Gasifikasi *allothermal* merupakan proses gasifikasi yang membutuhkan panas dari luar *gasifier*. Pengeringan batubara sebelum gasifikasi dapat menggunakan sisa panas sensibel gas buang setelah digunakan untuk membangkitkan steam dan memanaskan udara pembakaran. Pada derajat pengeringan dan STF yang besar diperlukan tambahan panas dari pembakaran batubara. Pengeringan akan mengurangi kebutuhan energi gasifikasi sehingga dapat meningkatkan konversi karbon (pada rentang 57 – 65%), efisiensi termal (pada rentang 78 – 88%), jumlah produksi H₂+CO dalam gas sintesis (pada rentang 48 – 54 kmol/ton batubara), mengatur nilai perbandingan H₂/CO (pada rentang 1,4 – 3,3), mengurangi laju sirkulasi pasir (pada rentang 27 – 35 ton/jam) dan dapat meningkatkan laju alir spesifik umpan steam pada STF rendah sehingga dapat terjadi fluidisasi.

Hasil pemodelan ini diharapkan dapat mengarahkan penelitian gasifikasi batubara *allothermal* di Indonesia.

E. DAFTAR NOTASI

STF : *Steam to fuel ratio* (perbandingan total massa steam terhadap batubara kering)
 \dot{m}_s : Laju alir spesifik umpan steam
 m_s : Laju alir massa umpan steam, kg/det
 m_{TM} : Laju alir massa air dalam batubara (kadar air), kg/det
 m_{bb} : Laju alir massa batubara kering (db), kg/det

m_{bbt} : Laju alir massa tambahan batubara kering (db), kg/det
 TM : Total moisture (kadar air total), %berat
 $F_{Ci,SG}$: Laju alir molar karbon dalam komponen gas sintesis, mol/det
 $F_{C,bb}$: Laju alir molar karbon dalam batubara, mol/det

<p>$F_{C,bb}$: Laju alir molar karbon dalam tambahan batubara, mol/det</p> <p>$F_{i,SG}$: Laju alir molar komponen syngas, mol/det</p> <p>$HHV_{i,SG}$: HHV komponen syngas, MJ/Nm³</p>	<p>HHV_{bb} : HHV batubara kering (db), MJ/Nm³</p> <p>X_C : Konversi karbon, %</p> <p>X_{H_2O} : Konversi steam, %</p> <p>η_{th} : Efisiensi termal, %</p> <p>DP : Derajat pengeringan, %</p>
--	---

F. DAFTAR PUSTAKA

- Aspen Plus, Inc., 2008. *Tutorial: Aspen plus pipeline gas from coal model*, Burlington, M.A., USA
- Corella, J., Toledo, J.M., and Molina, G., 2008. *Biomass gasification with pure steam in fluidized bed: 12 variables that affect the effectiveness of the biomass gasifier*, Int. J. Oil, Gas and Coal Technology, Vol. 1, Nos. 1/2, pp.194-207
- Fujimori, T., Suda, T., Matsuzawa, K., Kubota, N. and Tani, H., 2007. *A Novel Twin Fluidized bed Gasification Process for Low Rank Coal*. 6th Asia-Pasific Conference on Combustion, Nagoya Congress Center, Japan, 20-23 May 2007
- http://www.arutmin.com/?page=/marketing/product_detail.html, diakses tanggal 26 Januari 2010
- Hofbauer, H., and Rauch, R., 2000. *Stoichiometric water consumption of steam gasification by the FICFB-gasification Process*, Progress in thermochemical biomass conversion, Innsbruck September 2000, <http://www.ficfb.at/pub.htm> diakses tanggal 23 Maret 2008
- Hofbaeur, H., Rauch, R., and Bosch, K., 2002. *Biomass CHP Plant Gussing – A succes story*, Expert meeting on pyrolysis and gasification of biomass and waste, October 2002, Strasbourg, France, <http://www.ficfb.at/pub.htm> diakses tanggal 23 Maret 2008
- Meijden, C.M., Veringa, H.J., Drift, A., and Vreugdenhil, B.J., 2008. *The 800 kWth allothermal biomass gasification Milena*, Presentation at the European Biomass Conference and Exhibition, Valencia, 2008, <http://www.milenatechnology.com/publications/>, diakses tanggal 27 Mei 2010
- Meijden, C.M., Veringa, H.J., Vreugdenhil, B.J., and Drift, B., 2009. *Scale-up of the Milena biomass gasification process*, Int. J. of Chemical Reactor Engineering, Vol. 7, article A53, <http://www.bepress.com/ijcre/vol7/A53>, diakses tanggal 27 Mei 2010
- Nordenkampf, M.B. and Hofbaeur, H., 2004. *gasification demosntration plants in Austria*, 1st international Ukrainian conference on biomass for energy; September 23-27, 2002, Kyiv, Ukraine, <http://www.ficfb.at/pub.htm> diakses tanggal 23 Maret 2008
- Nowacki, P. (ed), 1981. *Coal Gasification Process*. Noyes Data Corporation, New Jersey
- Paisley, M.A., Irving, J.M., and Overend, R.P., 2001. *A promising power option – The ferco SILVAGAS™ biomass gasification process – operating experience at the Burlington gasifier*, Proceeding of ASME Turbo Expo 2001, ASME Turbo Expo Land, Sea, & Air 2001, June 4 – 7, 2001,
- Schuster, G., Loffler, G., Weigl, K., and Hofbaeur, H., 2001. *Biomass steam gasification – an extensive parametric modeling study*, Bioresources Tech., Vol. 77, pp. 71-79.