



Simulasi Termodinamika Perengkahan Tar pada Keluaran *Fixed Bed Gasifier*

Dwi Hantoko, Taniadi Suria, Joko Waluyo dan Herri Susanto*

Laboratorium Termofluida dan Sistem Utilitas
Program Studi Teknik Kimia, FTI-ITB, Bandung-40132 Indonesia

*Email: herri@che.itb.ac.id

Abstract

Gasification is process to convert solid fuel such as biomass to gaseous fuel. Gasification produces synthetic gas which can be used as fuel, or feedstock for chemical synthesis. Tar production is one of major problem in gasification. Tar can be reduced by steam reforming of producer gas and modification of gasifier's configuration. Gasifier and tar catalytic cracking reactor configurations and operating conditions are studied by using equilibrium thermodynamic model for steam reforming process. Steam/tar mole ratio and operation temperature must be taken into consideration to minimize tar production and prevent coke formation in catalyst. Simulation result can give guidance about operating condition of steam tar cracking reactor and guidance for gasifier configuration to minimize tar production. Simulation results showed that in order to eliminate tar and prevent coke formation, tar cracking reactor minimum temperature of 500-700°C should be used for downdraft gasifier, 662-756°C for conventional updraft gasifier, and 648-715°C for modified downdraft gasifier depending on steam/tar ratio in tar cracking reactor feed.

Keywords: biomass gasification, catalytic tar cracking, coke formation, thermodynamics

Pendahuluan

Gasifikasi merupakan reaksi konversi termal endotermik yang mengubah bahan bakar padat menjadi gas produser atau *syngas* (CO, H₂, CH₄) dengan menggunakan media penggasifikasi seperti udara, oksigen, *steam*, CO₂ maupun kombinasi diantaranya. Gas yang dihasilkan dapat diaplikasikan; (1) sebagai sumber energi (contoh: metana, karbonmonoksida, hidrogen, listrik); (2) bahan bakar transportasi (contoh: biodiesel, biogas, hidrogen); dan (3) bahan kimia (contoh: metanol, ammonia, urea).

Selain menghasilkan gas produser/*syngas*, proses gasifikasi biomassa juga menghasilkan produksi samping berupa tar yang menjadi masalah pada proses-proses hilir pemanfaatan gas. Tar yang terkondensasi dapat menyumbat saluran dingin pada rangkaian alat pembersihan gas atau *blower* hisap, hal ini sering dijumpai pada penerapan teknologi gasifikasi terintegrasi dengan mesin diesel-*genset* (PLTD). Pada aplikasi *syngas* sebagai bahan baku proses kimia produksi metanol atau FT-*fuel*, kualitas gas harus lebih tinggi dari pada gas produser. Gas sintesis harus memiliki jumlah kandungan H₂ dan CO minimal 80%, dan dengan perbandingan mol tertentu. Di samping itu gas sintesis harus bebas tar, agar katalis sintesis tidak deaktivasi.

Secara umum, penghilangan/penyisihan tar dapat dilakukan dengan metode primer dan sekunder. Metode primer adalah penyisihan kandungan tar di dalam reaktor gasifikasi atau sebelum gas keluar dari *gasifier*, yaitu dengan pemilihan kondisi operasi gasifikasi, modifikasi *gasifier*, dan penggunaan bahan aditif atau katalis di dalam *gasifier*. Metode sekunder adalah penyisihan tar di luar reaktor gasifikasi baik secara kimia seperti *catalytic* dan *thermal cracking*, maupun secara fisika seperti *cyclone*, *baffle filter*, *wet scrubber*, *wet electrostatic precipitator*, dan lain-lain (Devi, 2005). Kombinasi penerapan metode primer dan metode sekunder terus diteliti dan dikembangkan untuk peningkatan kualitas gas produser yang bebas tar.

Upaya penyisihan tar telah banyak dilakukan dengan memodifikasi *gasifier*. Modifikasi *gasifier* dapat dilakukan pada tipe unggun tetap (*fixed bed*) maupun pada unggun terfluidisasi (*fluidized bed*). Susanto dan Beenackers (1996) memodifikasi *moving bed gasifier* tipe *downdraft* dengan internal resirkulasi gas. Gas hasil pirolisis dimasukkan ke dalam ruang bakar menggunakan ejektor yang kemudian dibakar dengan udara gasifikasi. *Flue gas* dari ruang pembakaran selanjutnya berfungsi sebagai media gasifikasi. *Flue gas* tersebut dibagi dalam dua bagian yaitu: bagian pertama dialirkan ke daerah reduksi untuk bereaksi dengan arang menghasilkan gas mempan bakar dan bagian kedua bergerak ke daerah pirolisis untuk memberikan panas bagi proses pirolisis. Penggunaan sistem internal resirkulasi akan memberikan pengurangan tar yang cukup besar dibandingkan konvensional *downdraft gasifier* dengan diameter *throat* 0,2 m sebesar 0,35 gram/Nm³.

Vidian (2013) meneliti pengurangan tar pada *updraft gasifier* tanpa menggunakan katalis. Pengembangan modifikasi *gasifier* dilakukan dengan resirkulasi gas pirolisis ke daerah pembakaran dan gas keluar dari *side stream* (daerah reduksi) pada *updraft gasifier* dengan menggunakan dua suplai udara gasifikasi yaitu dari *motive fluid*



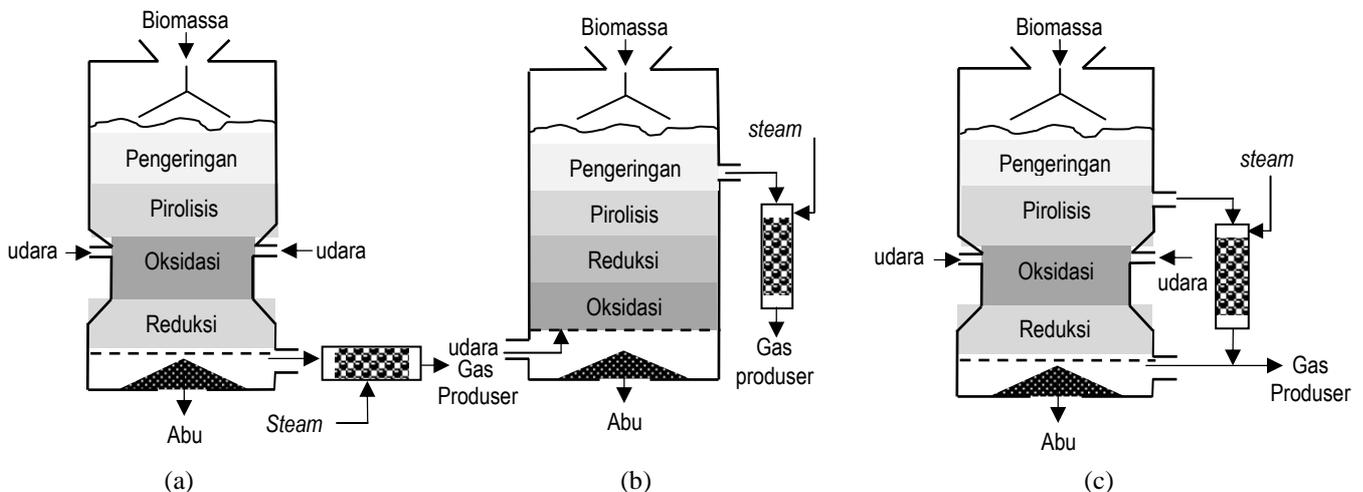
ejector dan bagian bawah reaktor (udara gasifikasi primer). Gasifikasi pada *updraft gasifier* dengan eksternal resirkulasi gas pirolisis ke daerah pembakaran dan pengeluaran gas produser dari *side stream* mampu menurunkan kandungan tar maksimum sebesar 85,9%.

Salah satu contoh pengembangan konfigurasi *fluidized bed gasifier* adalah *two-stage biomass fluidized gasifier*. Perbedaan *gasifier* ini dengan tipe *fluidized bed gasifier* konvensional terletak pada pemasukan bahan bakar dari atas dan dimodifikasi dengan injeksi udara sekunder serta resirkulasi sebagian gas mempan bakar ke daerah *freeboard*. Udara sekunder diinjeksikan agar gas resirkulasi melalui ejektor dapat terbakar. Biomassa diumpukan dari bagian atas melewati zona *freeboard* sehingga terjadi proses pengeringan dan pirolisis. Tar yang terbentuk selama proses pirolisis akan terengkah dengan naiknya temperatur di bagian *freeboard*. Arang yang dihasilkan selama proses pirolisis sebagian akan dibakar dan digasifikasi dengan injeksi udara primer dari bawah reaktor yang dilengkapi dengan pasir sebagai material pembawa panas (Cao, dkk., 2005).

Pemodelan dan simulasi yang disajikan dalam makalah ini merupakan bagian awal upaya penyisihan tar dari gas keluaran *gasifier*. Pada metode sekunder ini, tar direngkah di dalam sebuah reaktor tambahan: *catalytic fixed bed reactor*. Pada tahap pertama ini, simulasi dilakukan terbatas terhadap *fixed reactor* ini saja dengan memperhatikan komposisi dan kondisi gas umpan yang sesuai dengan gas keluaran *gasifier*. Pemodelan dan simulasi termodinamika dilakukan dengan asumsi bahwa terjadi *steam reforming of tar* di dalam *catalytic fixed bed reactor* tersebut, dan mencapai konversi kesetimbangan. Hasil simulasi ini digunakan untuk memperkirakan kondisi dan kinerja reaktor perengkahan tar berdasarkan parameter, antara lain: kebutuhan *steam*, temperatur reaksi, kajian potensi deposit karbon yang diperkirakan dapat mengganggu kinerja katalis. Penelitian uji laboratorium penggunaan katalis *steam reforming* komersial untuk perengkahan model tar juga telah dilakukan (Aisyah, dkk., 2015).

Metodologi

Simulasi termodinamika bertujuan menentukan kondisi proses yang baik terkait dengan dasar pengembangan konfigurasi *gasifier* yang mampu menghasilkan gas produser dengan kandungan tar rendah. Pengembangan konfigurasi *gasifier* ini menggunakan *downdraft* dan *updraft gasifier* dengan memodifikasi aliran dan menambahkan reaktor perengkahan tar dengan bantuan *steam* dan katalis sehingga tar akan terengkah (Gambar 1).



Gambar 1. Konfigurasi *gasifier*

Gas umpan tar *catalytic-fixed bed-reactor* sangat tergantung pada gas dari *gasifier*. Tiga jenis *fixed bed gasifier* dikaji dalam studi ini.

- Downdraft gasifier* konvensional (Gambar 1a).

Sebenarnya rancangan *gasifier* jenis ini ditujukan untuk memperoleh gas dengan kadar tar rendah karena tar hasil pirolisis telah diarahkan untuk lewat daerah oksidasi yang temperaturnya tinggi. Tetapi aliran tar sering menyusup lewat daerah oksidasi yang relatif dingin, terutama pada skala gasifikasi di atas 100 kg/jam.

- Updraft gasifier* (Gambar 1b).

Gasifier jenis ini sangat mudah dibuat dengan skala lebih besar daripada *downdraft gasifier* konvensional. Syngas (CO dan H₂) hasil proses reduksi pasti lewat daerah pirolisis dan membawa *volatile matter* keluar di bagian atas *gasifier*. Jadi syngas memiliki kandungan tar lebih besar daripada *downdraft* konvensional. Karena itu menarik untuk mengevaluasi kemungkinan penggunaan *catalytic tar cracking* pada *updraft gasifier*.

c. *Modified downdraft gasifier* (Gambar 1c).

Konfigurasi *gasifier* ini merupakan gabungan jenis pertama dan jenis kedua di atas. Prediksinya beban *tar catalytic reactor* tidak seberat *gasifier* jenis kedua.

Contoh komposisi gas umpan *tar catalytic reactor* dari ketiga jenis *gasifier* disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi gas umpan reaktor perengkahan tar

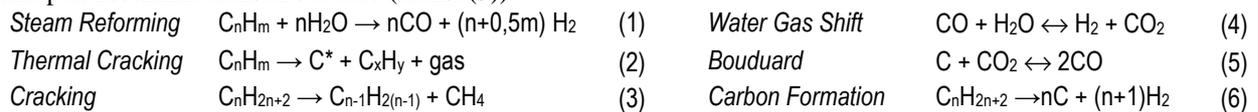
No	Komponen	Konfigurasi (a)	Konfigurasi (b)	Konfigurasi (c)
		Fraksi mol	Fraksi mol	Fraksi mol
1	CO	19,95%	24,0%	14,0%
2	H ₂	16,42%	11,0%	9,0%
3	CO ₂	11,18%	9,0%	20,0%
4	CH ₄	0,4%	3,0%	7,0%
5	N ₂	42,24%	53,0%	50,0%
6	H ₂ O	9,11%	- ^a	- ^a
7	Tar	Fraksi massa	Fraksi massa	Fraksi massa
8	C ₆ H ₆	46,9%	46,9%	46,9%
9	C ₇ H ₈	15,8%	15,8%	15,8%
10	C ₈ H ₁₀	18,2%	18,2%	18,2%
11	C ₁₀ H ₈	11,0%	11,0%	11,0%
12	C ₆ H ₆ O	0,08%	0,08%	0,08%
13	C ₁₆ H ₁₀	0,00%	0,00%	0,00%
14	Total tar (g/Nm ³ bebas tar)	1,1	50	50
15	Pustaka sumber	(Pranolo dkk, 2009) (Coll dkk, 2001)	(Brown, 2003)	(Brown, 2003)

^aH₂O dalam gas ditambahkan/diatur sehingga dapat mewakili rasio *steam*/tar aktual sebagai umpan reaktor

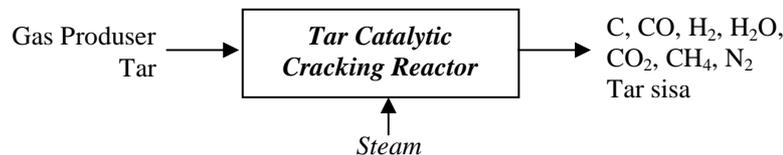
Simulasi termodinamika pada penelitian ini memperhatikan tiga parameter operasi berikut ini.

- Steam ratio* : perbandingan mol *steam* total masuk reaktor perengkahan terhadap *steam* keluar reaktor
- Steam/tar* (S/T) : perbandingan mol *steam* terhadap mol tar di dalam gas produser
- Temperatur : temperatur reaksi perengkahan tar

Proses perengkahan tar dengan *steam* dan panas melibatkan banyak reaksi spontan, misalnya persamaan (1) hingga (6). Deposit karbon dapat terbentuk melalui reaksi dekomposisi hidrokarbon menjadi karbon (reaksi (6)) maupun kebalikan reaksi Boudouard (reaksi (5)).



Perhitungan reaksi kesetimbangan lebih mudah dilakukan dengan perhitungan minimisasi energi bebas *Gibbs*. Perhitungan minimisasi energi bebas *Gibbs* dilakukan dengan menganggap komponen yang berada dalam kesetimbangan berupa C, CO, H₂, H₂O, CO₂, CH₄, N₂, dan tar. Tar dianggap terdiri dari benzena, toluena, xilena, naftalen, pyren, fenol. Penyelesaian minimisasi energi bebas *Gibbs* dilakukan dengan bantuan perangkat lunak komputer Aspen Plus melalui subrutin RGIBBS (Gambar 2).



Gambar 2. Blok diagram subrutin RGIBBS (*Tar Catalytic Cracking Reactor*)

Kinerja proses sistem perengkahan tar dievaluasi dengan tiga parameter berikut ini.

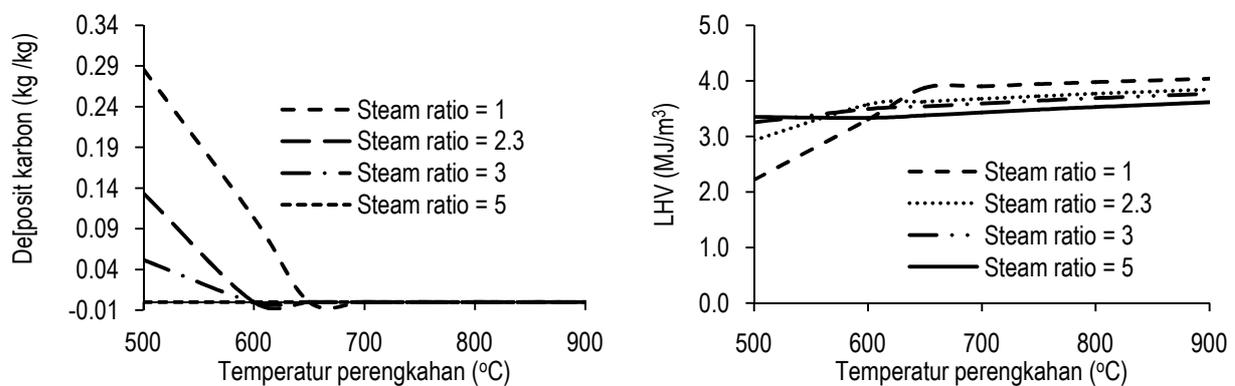
- Deposit karbon : perbandingan karbon yang terbentuk terhadap karbon yang terkandung di umpan
- Nilai kalor (LHV) : hasil hitungan gas produk perengkahan tar setelah pendinginan dan pemisahan kondensat air (fraksi mol produk gas dikali nilai kalor (LHV) senyawa murni)
- Komposisi gas : komposisi gas keluar reaktor perengkahan tar

Hasil dan Pembahasan

Hasil simulasi termodinamika ketiga konfigurasi *gasifier* dijelaskan pada pasal-pasal di bawah ini.

Konfigurasi-a, *Downdraft Gasifier Konvensional*

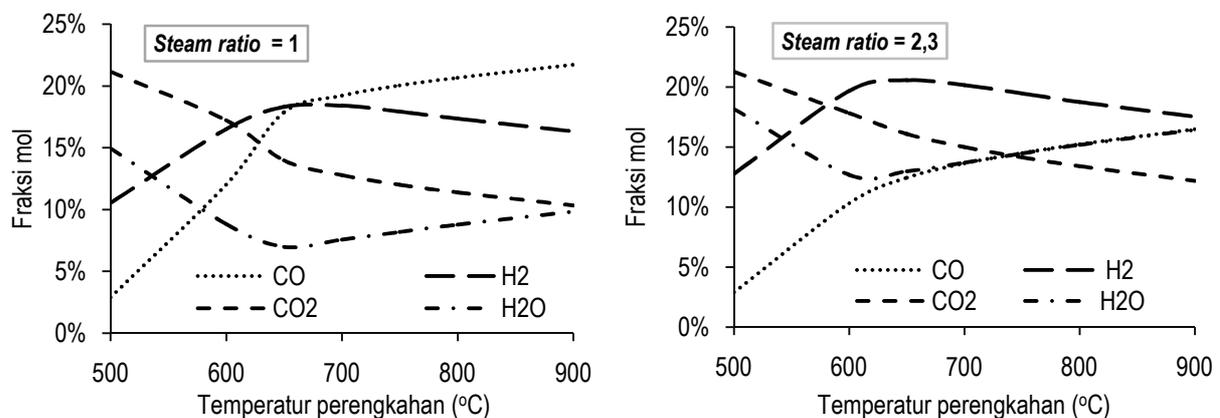
Dalam penelitian ini, konsentrasi tar diambil sebesar 1 g/Nm^3 sebagai konsentrasi tar yang dapat mewakili konsentrasi tar keluaran *gasifier downdraft*. Hasil simulasi disajikan pada Gambar 3. Dengan konsentrasi tar sebesar 1 g/Nm^3 gas, secara termodinamika, tar dapat terengkah dengan sempurna pada temperatur $500\text{-}900^\circ\text{C}$ dengan *steam* yang sudah ada. Akan tetapi, operasi ini akan menghasilkan deposit karbon yang dapat menempel pada permukaan katalis. Untuk menghindari hal ini dapat dilakukan dengan 2 cara, yaitu penambahan *steam* berlebih, dan/atau reaktor dioperasikan pada temperatur yang lebih tinggi. Operasi reaktor pada temperatur tinggi akan menghambat reaksi pembentukan karbon pada katalis. Semakin tinggi temperatur operasi reaktor, semakin sedikit karbon yang terbentuk. Dengan penambahan *steam*, temperatur minimum agar deposit karbon tidak terbentuk sekitar 600°C untuk penambahan 1,3 kali *steam* awal (*steam* awal = $0,366 \text{ kmol/jam}$, basis $90 \text{ Nm}^3/\text{jam}$ gas). Karbon yang terbentuk bereaksi dengan *steam* menghasilkan CO dan H_2 yang menyebabkan nilai kalor gas meningkat. Tanpa penambahan *steam*, deposit karbon tidak terbentuk pada temperatur operasi lebih dari 650°C .



Gambar 3. Pengaruh rasio *steam* terhadap pembentukan karbon dan LHV gas konfigurasi-a

Semakin banyak penambahan *steam*, maka temperatur maksimum terjadinya deposit karbon dapat diturunkan. Akan tetapi, semakin banyak *steam* yang ditambahkan, proses dapat menjadi tidak ekonomis. Selain membutuhkan reaktor perengkahan yang lebih besar, energi produksi *steam* juga semakin besar. Selain itu, dengan penambahan *steam* yang terlalu banyak, LHV gas produk semakin menurun karena banyaknya air yang terkondensasi dan harus dipisahkan. Untuk *steam ratio* yang sama, semakin tinggi temperatur operasi reaktor perengkahan, nilai kalor gas produk akan semakin tinggi karena deposit karbon berkurang dan gas lebih banyak mengandung CO dan H_2 yang memiliki nilai kalor tinggi (Gambar 3).

Setelah temperatur pembentukan karbon terlewat, fraksi mol CO dan H_2O meningkat sedangkan CO_2 dan H_2 menurun karena reaksi *reverse water gas shift reaction* (Gambar 4). Setelah temperatur pembentukan karbon terlewat, kenaikan temperatur reaktor perengkahan tidak terlalu berpengaruh terhadap LHV gas produk. Naiknya temperatur tidak terlalu berpengaruh terhadap nilai LHV. Nilai LHV paling tinggi dicapai dengan penambahan *steam* tambahan, yaitu $3,8 \text{ MJ/m}^3$.

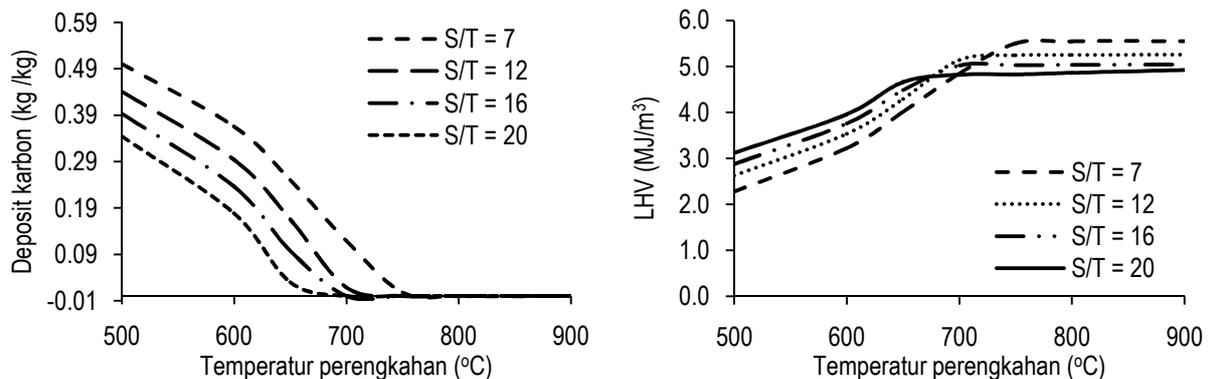


Gambar 4. Pengaruh temperatur dan *steam ratio* terhadap komposisi gas konfigurasi-a

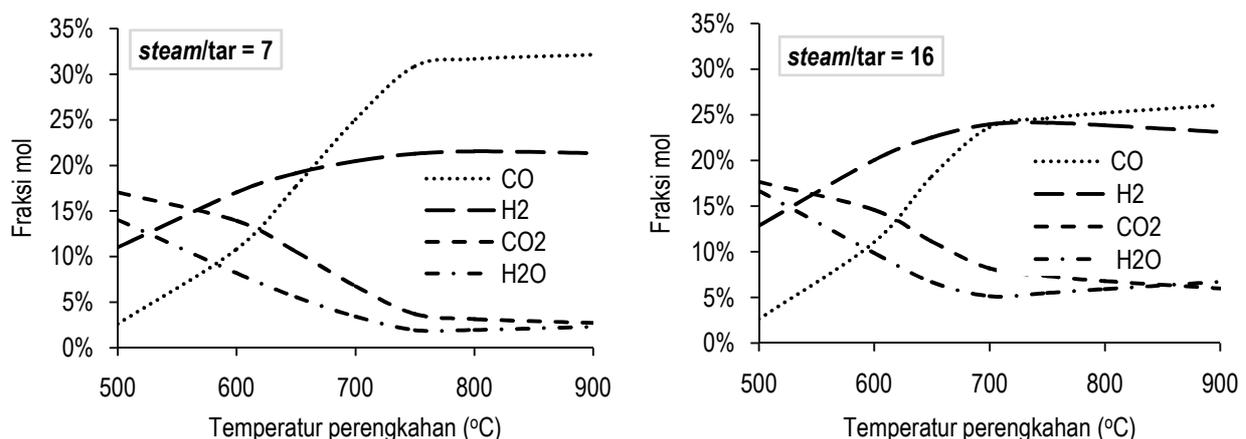
Semakin banyak *steam* yang ditambahkan pada temperatur yang sama dimana tidak terdapat deposit karbon, CO berkurang dan H₂ bertambah. Hal ini menyebabkan nilai kalor gas keluaran berkurang karena densitas kandungan energi per volum CO lebih besar dibandingkan dengan H₂.

Konfigurasi-b, *Updraft Gasifier*

Pada konfigurasi *updraft gasifier*, komposisi tipikal gas hasil gasifikasi diambil dari (Brown, 2003). Karakteristik gas tidak jauh berbeda dibandingkan dengan *downdraft*. Akan tetapi, mengingat gas keluaran reaktor *updraft* melalui zona pengeringan biomassa, gas keluaran *updraft gasifier* memiliki kandungan uap air lebih tinggi dibandingkan dengan *downdraft gasifier*. Selain itu, *updraft gasifier* memiliki kandungan tar yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan *downdraft gasifier* sebesar 50 g/Nm³. Hasil simulasi disajikan pada Gambar 5. Tar dapat terenkah pada semua temperatur operasi yang dipilih (lebih tinggi dari 500°C). Walaupun tar dapat terenkah pada temperatur tersebut, pembentukan karbon menjadi masalah serius. Temperatur minimum operasi pada konfigurasi-b lebih tinggi dibandingkan dengan konfigurasi-a karena adanya kecenderungan terbentuknya deposit karbon yang lebih tinggi. Pada temperatur sekitar 500-650°C, masih terbentuk banyak deposit karbon, walaupun rasio *steam*/tar sudah mencapai 20. Secara stoikiometri, tar dengan berat molekul paling besar dalam simulasi ini adalah naftalen, C₁₀H₈ dengan rasio stoikiometri *steam*/tar sebesar 10. Deposit karbon dapat dicegah dengan temperatur operasi 700-750°C untuk rasio molar *steam*/tar sebesar 12-16, dan temperatur minimum bebas deposit karbon turun menjadi 675°C untuk rasio molar *steam*/tar sebesar 20. Kandungan tar yang tinggi menyebabkan nilai kalor gas produser *updraft gasifier* menjadi lebih tinggi karena tar yang terkandung terenkah menjadi gas CO dan H₂ (Gambar 6).



Gambar 5. Pengaruh rasio *steam*/tar terhadap pembentukan karbon dan (LHV) gas konfigurasi-b



Gambar 6. Pengaruh temperatur dan rasio *steam*/tar terhadap komposisi gas konfigurasi-b

Konfigurasi-c, *Modified Downdraft Gasifier*

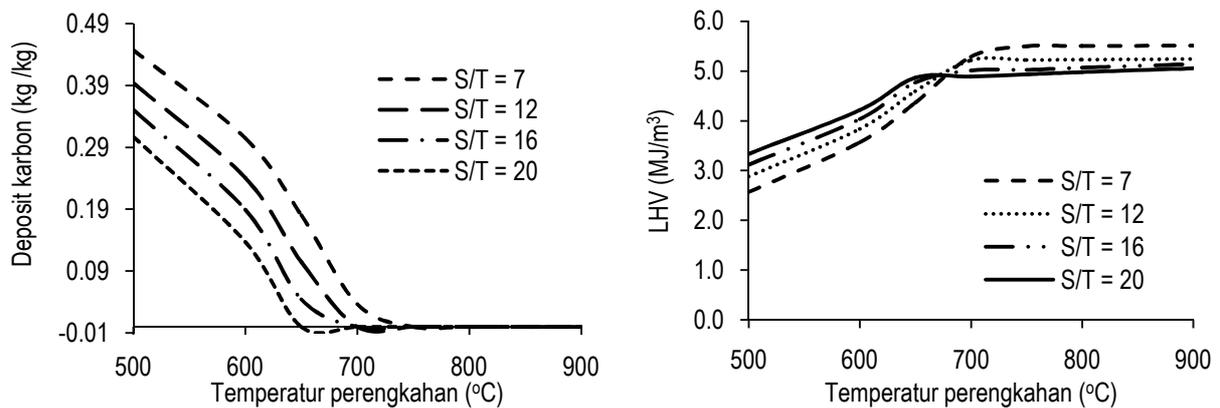
Konfigurasi ini merupakan konfigurasi *modified downdraft gasifier*. Gas hasil prolisis dihisap menggunakan ejektor dan dimasukkan ke dalam reaktor perengkahan tar. Gas keluaran *gasifier* lebih dekat dengan zona oksidasi, sehingga gas keluaran *gasifier* lebih kaya akan CO₂. Untuk memodelkan komposisi gas keluar *gasifier*, digunakan komposisi tipikal *fluidized bed gasifier* yang kaya CO₂. Reaktor unggul terfluidakan adalah reaktor *fixed bed* dengan pengadukan yang sangat baik antar zona sehingga tidak terdapat zona pengeringan, reduksi, oksidasi, dan pirolisis. Konsentrasi tar dianggap sama dengan konfigurasi *updraft gasifier* tetapi pada dasarnya konfigurasi-c

dapat menghasilkan tar yang lebih rendah dibandingkan dengan konfigurasi-b karena temperatur gas keluar *gasifier* lebih tinggi (lebih dekat dengan zona pembakaran). Berdasarkan Gambar 7, dengan jumlah kandungan tar dan rasio *steam* per tar yang sama, *gasifier* dengan konfigurasi-c memiliki temperatur minimum tanpa pembentukan karbon dan penghilangan tar lebih rendah dibandingkan dengan konfigurasi-b. Perbandingan temperatur minimum ini ditampilkan pada Tabel 2. Temperatur minimum reaktor perengkahan tanpa deposit karbon berada pada rentang 650°C-715°C dengan konsentrasi tar 50 g/Nm³.

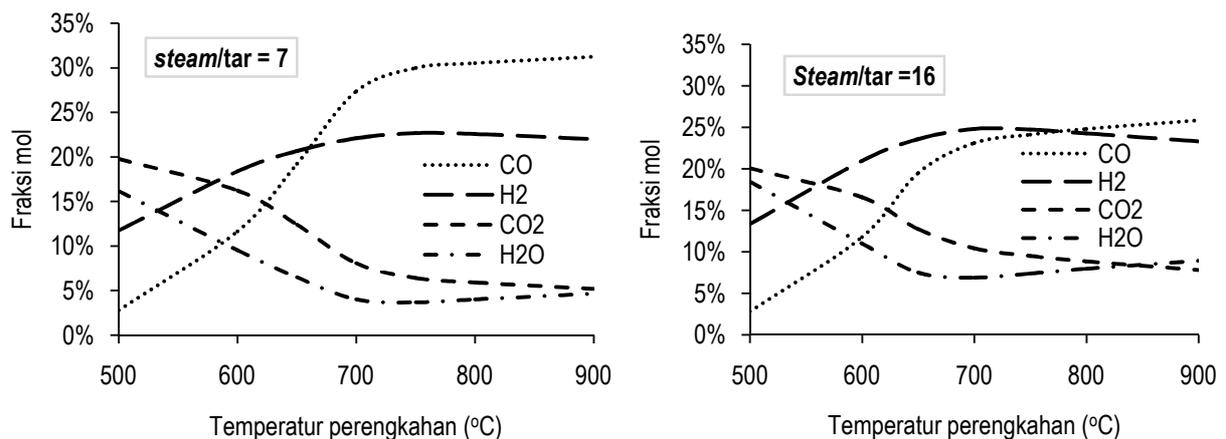
Tabel 2. Perbandingan temperatur minimum tanpa deposit karbon sistem perengkahan tar

No	Rasio <i>steam</i> /tar (mol/mol)	Konfigurasi-b (°C)	Konfigurasi-c (°C)	Selisih (°C)
1	7	756,2	714,8	41,4
2	12	708,7	686,0	22,7
3	16	683,3	667,1	19,2
4	20	662,1	647,9	14,2

Sistem perengkahan tar dengan konfigurasi-c memiliki perolehan deposit karbon yang lebih rendah dibandingkan dengan konfigurasi-b. Hal ini disebabkan komposisi gas konfigurasi-c memiliki kandungan CO₂ lebih tinggi dibandingkan dengan konfigurasi-b. Adanya CO₂ ini menghambat reaksi deposit karbon sesuai dengan reaksi kesetimbangan (5). Rasio *steam*/tar semakin meningkat, selisih temperatur minimum antara konfigurasi-b dan konfigurasi-c semakin menurun karena *steam* bereaksi dengan karbon membentuk CO dan H₂ sehingga mengurangi deposit karbon. Komposisi gas keluar reaktor perengkahan disajikan pada Gambar 8.



Gambar 7. Pengaruh rasio *steam*/tar terhadap pembentukan karbon dan LHV gas konfigurasi-c



Gambar 8. Pengaruh temperatur dan rasio *steam*/tar terhadap komposisi gas konfigurasi-c

Percobaan menggunakan reaktor *plug flow* dengan diameter 19 mm dan tinggi unggun katalis Ni/ α -Al₂O₃ 25 mm telah dilakukan dan memberi hasil yang menjanjikan (Aisyah, dkk., 2015). Toluene dijadikan sebagai senyawa model tar dengan gas N₂ sebagai *gas carrier*. Dengan rasio *steam*/toluene 7 (campuran stoikiometri), konversi toluene mengalami penurunan dengan naiknya temperatur: 99,33% (500°C) dan 96,51% (800°C). Penurunan konversi toluene



ini disebabkan adanya deposit karbon pada permukaan katalis. Sedangkan percobaan dengan temperatur 800°C dan rasio *steam*/tar 16, konversi toluen dapat mencapai 99,60%. Hal ini menunjukkan bahwa adanya *steam* berlebih mampu mengurangi pembentukan karbon pada permukaan katalis.

Kesimpulan

Pada kondisi kesetimbangan, ketiga konfigurasi sistem *gasifier* dapat memberikan konversi tar secara sempurna, tetapi deposit karbon terjadi apabila tidak ada penambahan *steam*. Untuk konfigurasi-a, *downdraft gasifier* konvensional dengan tar sedikit, temperatur minimum tanpa deposit karbon terjadi pada rentang 500-700°C. Sedangkan untuk konfigurasi-a, *updraft gasifier* konvensional, rentang temperatur minimum adalah 662-756°C untuk kandungan tar dalam gas umpan 50 g/Nm³ dengan rasio mol *steam*/tar 7-16. Untuk konsentrasi tar dan jumlah *steam* masuk perengkahan yang sama, gas yang memiliki CO₂ lebih tinggi mampu menghambat deposit karbon. Konfigurasi-c, *downdraft gasifier* termodifikasi, rentang temperatur minimum adalah 648-715°C untuk kandungan tar dalam gas umpan 50 g/Nm³ dan rasio molar *steam*/tar 7-16.

Ucapan Terimakasih

Penelitian ini didanai dengan Hibah Kompetensi 2014 dari Direktorat Pendidikan Tinggi (DIKTI) dengan judul *Konversi Tar Secara Katalitik Untuk Menghasilkan Gas Sintesis Hasil Gasifikasi*.

Daftar Pustaka

- Aisyah Ardy, Herri Susanto dan Subagjo, Uji Laboratorium Proses Perengkahan Toluena dengan Katalis Reformasi Kukus Ni/ α -Al₂O₃ *Makalah dalam Seminar Teknik Kimia 'Kejuangan'*, UPN, Yogyakarta, 2015.
- Brown, RC, *Biorenewable Resources: Engineering New Products from Agriculture*, Blackwell Publishing: Iowa, 2003: hal 149.
- Cao, Yun., Wang, Yang., Riley, John. T., dan Pan, Wei-Ping 2006, A Novel Biomass Air Gasification Process for Producing Tar Free Higher Heating Fuel Gas, *Fuel Processing Technology*, 87,343-353
- Coll, R., J., Salvado, X., Farriol, dan D., Montane, 2001, Steam Reforming Model Compounds of Biomass Gasification Tars: Conversion at Different Operating Conditions And Tendency Towards Coke Formation, *Fuel Processing Technology*, 74, 19-31
- Devi, L.; M., Craje; P., Thune; KJ., Ptasinski; FJJG., Janssen; Olivine as Tar Removal Catalyst For Biomass Gasifiers: Catalyst Characterization, *Applied Catalysis A: General*, 2005, 294, 68 – 79.
- Pranolo, S.H., H., Susanto, dan I., Nurlaela, 2009, Kajian Pemanfaatan Janggel Jagung Sebagai Sumber Energi PLTD Gasifikasi di Pelaihari, Kabupaten Tanah Laut-Kalimantan Selatan, *Prosiding Seminar Nasional Kejuangan 2009*.
- Shen, Y., dan K., Yoshikawa, Recent Progresses in Catalytic Tar Elimination During Biomass Gasification or Pyrolysis – A Review, *Renewable and Sustainable Energy Review*, 2013, 21, 371-392.
- Susanto, H., B., A A.C.M. Beenackers, 1996, A Moving Bed Gasifier with Internal Recycle of Pyrolysis Gas, *Fuel*, 75(11), 1339-1347.
- Vidian, Fajri, 2013, Pengurangan Tar pada *Updraft Gasifier* dengan Modifikasi Aliran Gas Pirolisis dan Gas Keluar Reaktor, *Desertasi Doktor*, Universitas Indonesia, Depok.





Lembar Tanya Jawab

Moderator : Yunus Tonapa Sarungu (Politeknik Negeri Bandung)

Notulen : Sri Wahyu Murni (Teknik Kimia UPN "Veteran" Yogyakarta)

1. Penanya : M. Syahri (UPN "Veteran" Yogyakarta)
Pertanyaan :
 - Tipe gasifikasi yang baik dilihat dari mana?
 - Gas hasil gasifikasi digunakan untuk apa?Jawaban :
 - Disesuaikan dengan aplikasinya
 - Digunakan sebagai pemanas agregat dryer.
2. Penanya : Yunus Tonapa Sarungu (Politeknik Negeri Bandung)
Pertanyaan :
 - Medium termal cracking ditempatkan dimana?
 - Apakah komponen utama tar?Jawaban :
 - Akan dipasang pada keluaran reaksi gasifikasi.
 - Komponen utama tar adalah toluena.

