

PERBANDINGAN AKTIVITAS KATALIS DOLOMIT DAN BATU KAPUR LOKAL DENGAN KATALIS NIKEL KOMERSIAL UNTUK DEKOMPOSISI TOLUEN SEBAGAI MODEL TAR

COMPARISON OF CATALYTIC ACTIVITIES OF LOCAL DOLOMITE AND LIMESTONE WITH COMMERCIAL NICKEL CATALYST FOR DECOMPOSITION OF TOLUENE AS TAR MODEL

Herri Susanto* dan Aisyah Ardy

Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganesha 10 Bandung 40132
*email: herri@che.itb.ac.id

Diterima: 5 Januari 2016

Direvisi: 3 Maret 2016

Disetujui: 11 April 2016

ABSTRAK

Kandungan tar akan menyebabkan masalah jika gas produser hasil gasifikasi biomassa digunakan sebagai bahan bakar alternatif di dalam *internal combustion engine*. Penelitian ini ditujukan untuk mengembangkan katalis penyisihan tar secara optimal dari gas produser. Mineral lokal yang digunakan sebagai katalis adalah dolomit dan batu kapur yang merupakan hasil penambangan dari Padalarang dan Blitar. Percobaan dilakukan dalam sebuah reaktor pipa dengan diameter dalam 2,54 cm dan panjang total 33,5 cm. Jumlah katalis yang digunakan adalah 10 gram dengan ukuran 16/18 mesh. Gas produser dimodelkan oleh uap toluena dengan konsentrasi 0,002-0,004 g/L dan laju alir gas N₂ 32-38 L/jam yang diukur pada suhu kamar. Temperatur reaktor ditetapkan 500, 600, dan 700°C. Kinerja proses perengkahan tar diamati melalui konsentrasi toluena masuk dan keluar reaktor perengkahan tar. Konversi toluena tertinggi adalah 86% dengan menggunakan katalis dolomit pada temperatur 700°C tanpa menggunakan *steam*. Sebagai perbandingan, penelitian dengan menggunakan katalis nikel menghasilkan konversi toluena sekitar 85%. Kemampuan katalitik dolomit untuk mengkonversi toluena adalah 0,084 mg_{toluena}/(g_{kat}·menit) sedangkan batu kapur adalah 0,01-0,05 mg_{toluena}/(g_{kat}·menit). Perengkahan toluena dapat dilakukan tanpa menggunakan katalis temperatur 700°C. Kondisi ini sama dengan zona oksidasi pada *downdraft gasifier*.

Kata kunci: tar *cracking*, *steam reforming*, katalis alam, gas produser

ABSTRACT

Tar content will cause problem during utilization of producer in internal combustion engine. Our research deals with the development tar cracking process for optimum elimination of tar from gaseous product of gasification. Locally available minerals were used as catalyst, i. e: dolomite and lime stone obtained from minings in Padalarang and Blitar respectively. Experiments were carried out in a tubular reactor having an inside diameter of 2.54 cm and a total length of 33.5 cm. The amount of catalyst in the reactor was 10 gram and the particle size was 16/18 mesh. The gas stream containing tar was modeled with toluene vapour in N₂ stream with a toluene concentration of 0.002- 0.004 g/L and gas flow rate of 32-38 L/h. Reactor temperature was adjusted at 500, 600, dan 700°C. The progress of tar cracking was observed using the toluene concentration at the gas inlet and the outlet of the reactor. Highest toluene conversion was found 86% during cracking on dolomite at 700°C without the presence of steam in the gas stream. For comparison, our experiments using Ni-based steam reforming catalyst resulted a toluene conversion of about 85%. This figure was relatively lower than those of dolomite and limestone. Catalytic activity of dolomite for toluene was about 0.084 mg_{toluene}/(g_{cat}·min) and that of limestone was 0.01-0.05 mg_{toluene}/(g_{cat}·min). We also found that toluene might undergo cracking without any catalyst at a temperature of 700°C. This condition was similar to the oxidation zone in a *downdraft gasifier*.

Keywords: tar *cracking*, *steam reforming*, natural catalyst, producer gas

PENDAHULUAN

Dalam upaya mendukung pencapaian *Bauran Energi Nasional*, pemanfaatan biomassa sebagai sumber energi alternatif dan terbarukan terus digalakkan. Sebagai sumber energi alternatif, pemanfaatan biomassa sebagai sumber energi sering dinyatakan *CO₂-neutral* atau dapat menjaga keseimbangan jumlah CO₂ di atmosfer.

Teknologi gasifikasi sudah lama dikenal untuk mengkonversi biomassa menjadi gas produser (*producer gas*, bahan bakar gas hasil gasifikasi biomassa dengan pereaksi udara) atau menjadi *gas sintesis* yang kaya CO dan H₂, jika pereaksinya uap air [1]. Beberapa unit gasifikasi yang digabung dengan pembangkit listrik tenaga motor diesel (PLTD) telah diuji-coba di beberapa daerah terpencil. Sayangnya, pemanfaatan gas produser masih menemui kendala kandungan

tar di dalam gas yang dapat mengakibatkan penyumbatan pada saluran gas atau timbulnya kerak di bagian internal motor diesel.

Pencegahan timbulnya tar dapat dilakukan di dalam *gasifier* (reaktor proses gasifikasi). Walaupun upaya pencegahan dilakukan di dalam gasifier, ternyata masih ada tar terbawa aliran gas produser keluar *gasifier* [3]. Tar dalam aliran gas setelah keluar *gasifier* juga dapat disisihkan dengan berbagai metoda, di antaranya adalah aplikasi *water scrubber*, walaupun menimbulkan masalah baru yaitu air limbah.

Tar dapat disingkirkan dari aliran gas dengan perengkahan termal (*thermal cracking of tar*) atau perengkahan tar dengan bantuan katalis (*catalytic cracking of tar*). Perengkahan tar disertai reaksinya dengan uap air (*catalytic steam reforming of tar*).

Tabel 1. Komposisi Tar dalam Gas Hasil Gasifikasi Biomassa

No	Senyawa	Fraksi berat	
		[5]	[6]
1	Metil ester		39,75%
2	Metil ester palmiat		31,54%
3	9,12-Octadecadienoic acid		8,66%
4	Bis (2-ethylhexyl) ester		2,11%
5	Mono (2-Ethylhexyl) ester		0,63%
6	Benzen	37,9%	
7	Toluen	14,3%	1,24%
8	Hidrokarbon aromatik dengan 1 cincin lainnya	13,9%	
9	Naftalen	9,6%	1,09%
10	Hidrokarbon aromatik dengan 2 cincin lainnya	7,8%	
11	Hidrokarbon aromatik 3 cincin	3,6%	
12	Hidrokarbon aromatik 4 cincin	0,8%	
13	Senyawa fenol	4,6%	1,48%
14	17-Pentatriacontene		0,76%
15	Phytol isomer		0,73%
16	Senyawa heterosiklik	6,5%	
17	Senyawa lainnya	1,0%	

Penelitian perengkahan tar sering dilakukan dengan toluen sebagai model tar. Pemilihan senyawa model ini didasari bahwa toluen termasuk senyawa penyusun tar yang konsentrasinya besar, sehingga dianggap dapat mewakili tar (contoh komposisi tar disajikan pada Tabel 1). Selain itu, toluen sangat stabil dengan temperatur dekomposisi 700°C [2], sehingga penghilangannya perlu reaksi *catalytic steam reforming* tsb.

Beberapa penelitian perengkahan tar dengan reaksi *catalytic steam reforming* telah banyak dilakukan dan menunjukkan hasil yang memuaskan. Dengan katalis nikel komersial, konversi tar dapat mencapai 95% (600-850°C, waktu tinggal 2 detik), tetapi permukaan katalis sering tertutupi karbon (terjadi proses *cooking*) yang mengakibatkan penurunan aktivitas katalis dan juga *sintering*. Umumnya katalis nikel komersial untuk *steam reforming* dibuat dengan

support alumina dan penambahan senyawa basa seperti KOH [4,5].

Selain katalis nikel, beberapa mineral alam telah diuji-coba sebagai katalis perengkahan tar. Dolomit dilaporkan cukup baik sebagai katalis perengkahan tar [6]. Mineral ini terdiri dari MgO, CaO dan CO₂ serta sedikit Fe₂O₃, Al₂O₃ dan SiO₂. Pengaktifan dolomit dilakukan dengan cara kalsinasi (800-900°C), yaitu dekomposisi untuk melepaskan CO₂ dan membentuk MgO-CaO. Katalis dolomit telah diketahui memiliki kemampuan konversi toluena 78-91%, pada 780-920°C [7].

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengkaji potensi dolomit alam dan batu kapur lokal untuk mendekomposisi toluena sebagai senyawa model tar dan membandingkan kinerja katalis alam dengan katalis nikel komersial. Penelitian ini merupakan salah satu bagian dari pengembangan teknologi pembersihan gas produser (hasil gasifikasi dengan udara).

BAHAN DAN METODE

Dalam percobaan ini katalis yang telah diuji adalah dolomit dan batu kapur dari Padalarang (Bandung) serta katalis nikel komersial sebagai pembanding. Toluena digunakan sebagai model tar. Massa katalis 10 gram dan ukurannya 0,1 cm (lolos 50 mesh). Sebelum difungsikan sebagai katalis, bahan

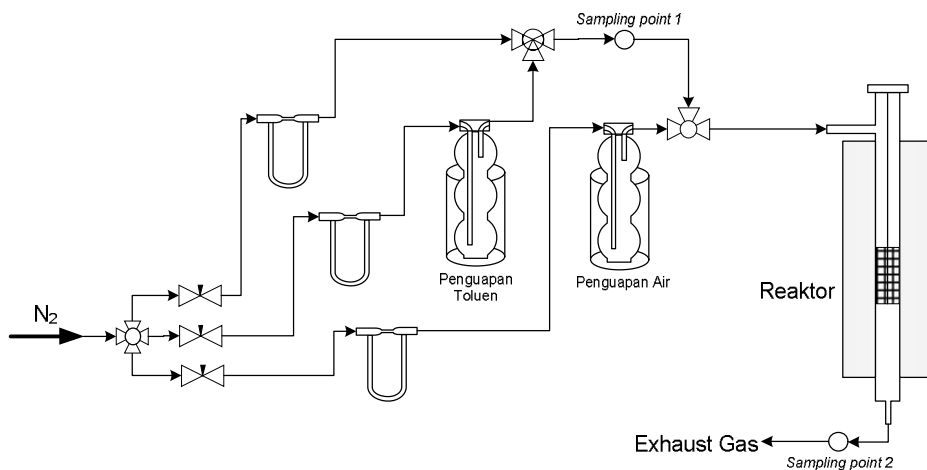
katalis diaktifkan dahulu pada temperatur seperti operasinya selama 1 jam.

Gas model yang berupa campuran toluena dan N₂ dialirkan ke dalam reaktor katalitik yang memiliki diameter 2,54 cm dan panjang 33,5 cm. Rangkaian alat uji katalis disajikan pada Gambar 1. Perengkahan tar dilakukan pada temperatur 500, 600 atau 700°C, selama 5 jam. Analisis konsentrasi toluena dalam aliran gas masuk dan keluar reaktor dilakukan dengan bantuan *Gas Chromatography-FID*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Komposisi katalis hasil analisis dengan AAS dan sifat pori hasil analisis dengan *BET-method* disajikan pada Tabel 2. Uji luas permukaan katalis dolomit dilakukan pada saat katalis belum dikalsinasi. Kadar CaO dan MgO dalam dolomit dan batu kapur merupakan salah parameter penting yang mempengaruhi konversi tar.

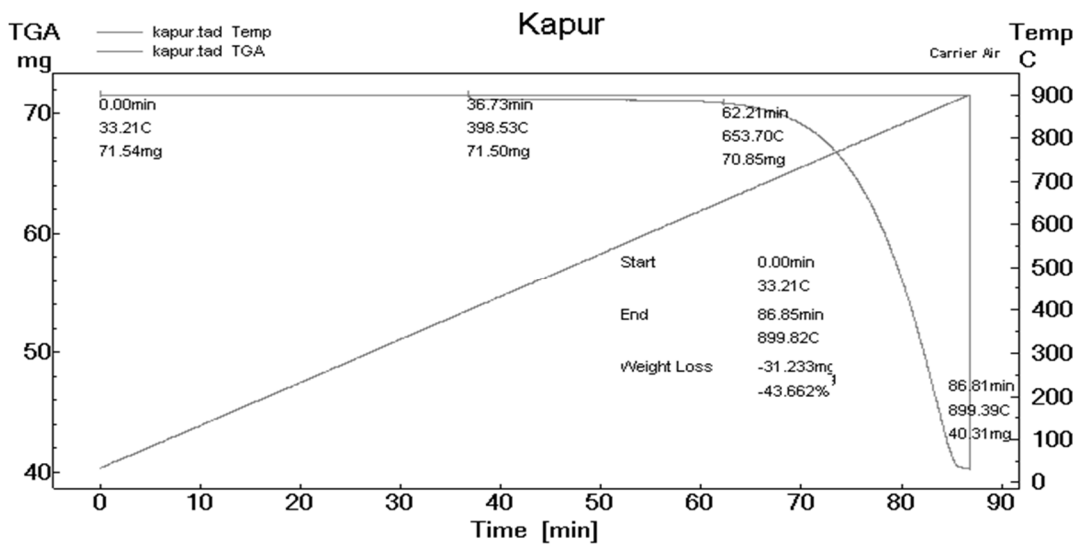
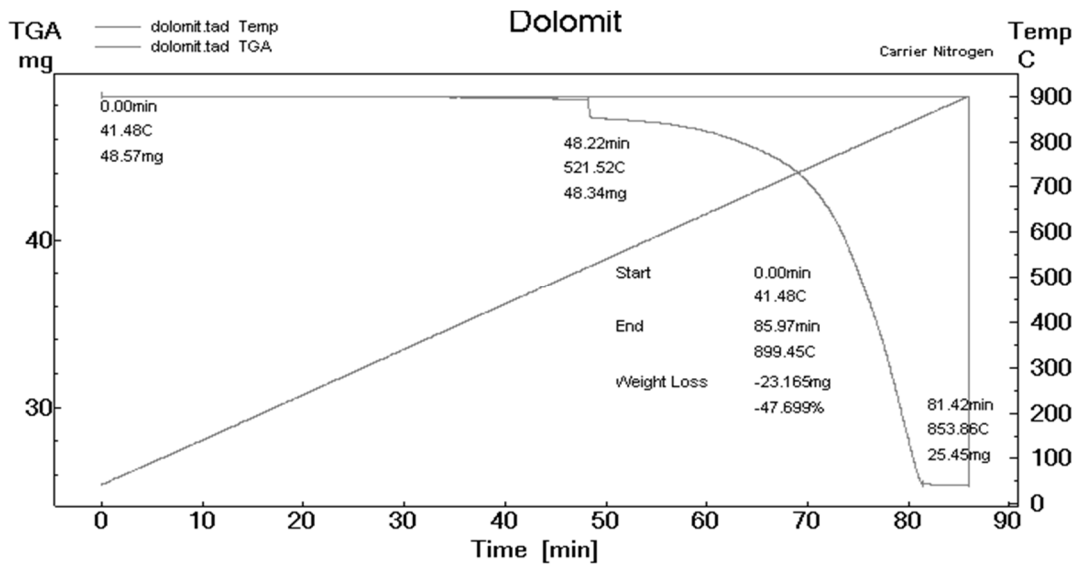
Hasil analisa katalis dolomit dan batu kapur dengan menggunakan TGA menunjukkan bahwa katalis batu kapur mulai terdekomposisi pada temperatur 899°C, sedangkan dolomit hanya 853°C (Gambar 2). Jika katalis mineral ini sudah mulai dekomposisi, maka terjadilah pelepasan CO₂. Akibatnya perpindahan massa reaktan (toluena dan *steam*) ke arah permukaan katalis terhambat.



Gambar 1. Skema Peralatan Konversi Tar

Tabel 2. Karakteristik Katalis [8, 9, 10]

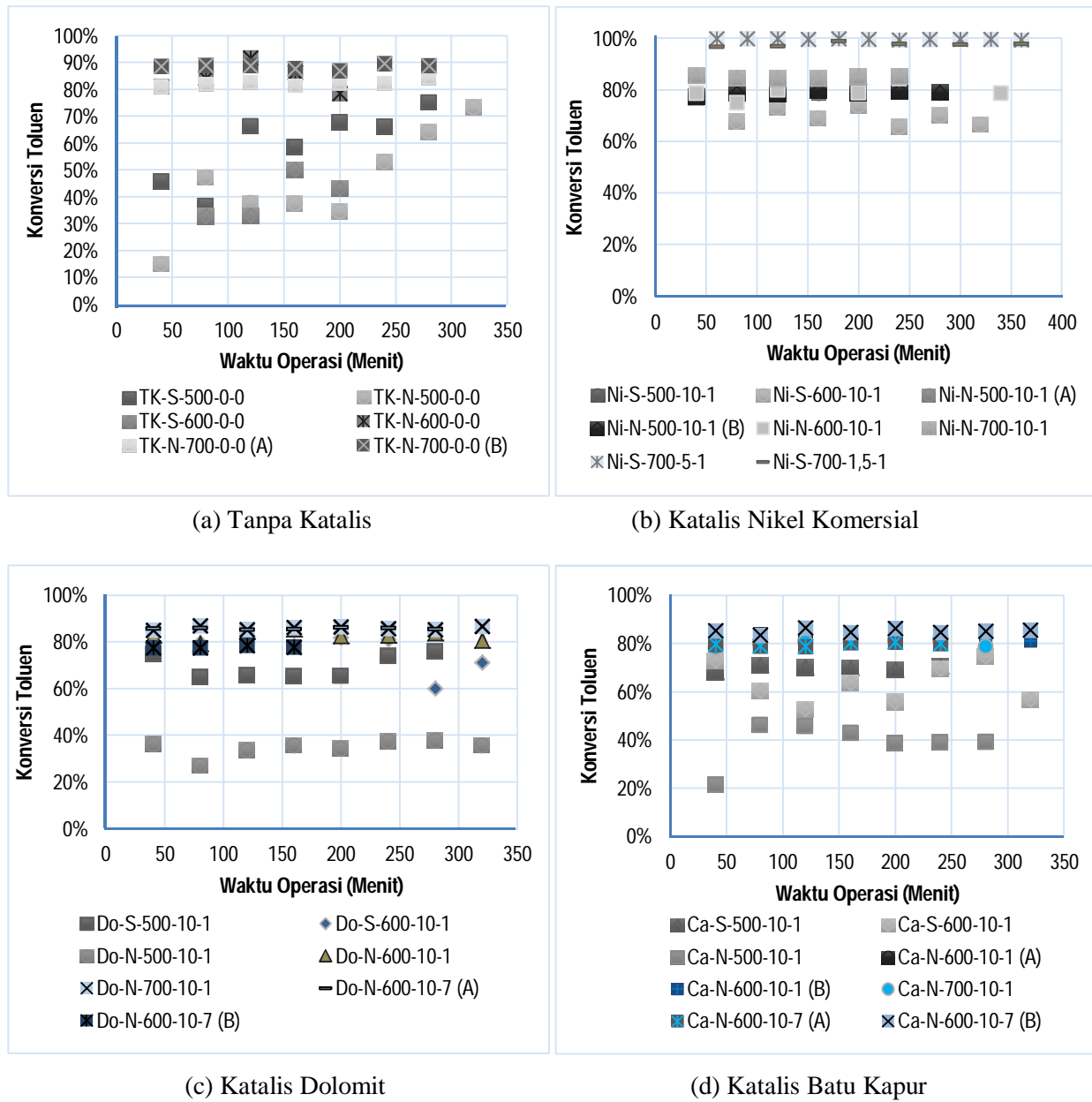
Jenis katalis	Asal	Ni	CaO	MgO	Diameter pori rata-rata (Å)	Luas permukaan (m ² /g)
Dolomit	Blitar		34,30%	17,94%	28,870	5,48
Batu Kapur	Padalarang		55,40%	0,36%	27,964	3,99
Ni-komersial, Ckp	<i>komersial-A</i>	8,22%	-	-	27,448	29,06
Ni-komersial, Clr	<i>komersial-B</i>	10,00%			75,258	15,07



Gambar 2. Hasil Uji TGA untuk Dolomit dan Batu Kapur [8]

Mungkin, kalsinasi batu kapur ataupun dolomit sebelum penggunaannya seharusnya dilakukan lebih lama atau/dan pada temperatur lebih tinggi, agar reaksi perengkahan katalitik toluena tidak terganggu oleh pelepasan CO₂. Kalsinasi batu kapur dan dolomit pada

temperatur 600°C telah dilakukan juga selama 7 jam. Dari percobaan pada kondisi ini, konversi toluena dengan bantuan batu kapur maupun dolomit sama saja dengan yang dikalsinasi selama 1 jam (Gambar 3(d)). Jadi aktivasi (kalsinasi) batu kapur dan dolomit cukup 1 jam.



Gambar 3. Konversi toluena hasil *catalytic cracking* menurut jenis katalis [8,9,10]
 Keterangan kode: jenis katalis (Do; Ca;Ni)-agen pereaksi (*steam*; tanpa *steam*)-temperatur operasi (°C)-berat katalis (gram)

Ternyata konversi toluen tanpa katalis dapat mencapai 85% jika temperatur perengkahan 700°C atau lebih (Gambar 3(a)). Sayangnya, di dalam reaktor gasifikasi, ada kemungkinan daerah dengan temperatur di bawah 600°C (yang dinamai *cold spot*) sehingga tar lolos keluar gasifier tanpa terengkah. Jika gas produser sudah keluar gasifier, temperaturnya tidak lebih dari 400°C. Karena itulah perlu perengkahan tar secara katalitik. Penggunaan katalis Ni komersial dapat menghasilkan konversi toluen hampir 100% jika reaksinya pada 700°C dan disertai *steam* (percobaan kode Ni-S-700-5-1 dan Ni-S-700-1,5-1; Gambar 3(b)). Hal ini sesuai perkiraan bahwa *steam* mendorong reaksi perengkahan toluen dan juga menghambat pembentukan deposit karbon pada permukaan katalis. Pembentukan deposit karbon tercermin

pada penurunan konversi toluen dengan waktu dalam percobaan Ni-N-500-10-1, yang ditampilkan pada Gambar 3(b). Seharusnya, katalis Ni diharapkan dapat memberi konversi toluen sampai dengan 95%. Tetapi pada penelitian ini, konversi toluen dengan bantuan katalis Ni masih sekitar 70%, mungkin hal ini disebabkan karena proses aktivasi katalis Ni menjelang penggunaannya belum sempurna.

Aktivasi katalis dolomit pada temperatur 600°C telah dilakukan juga selama 7 jam dan dikerjakan duplo. Tetapi konversi yang didapat hampir sama dengan aktivasi selama 1 jam. Sehingga dapat diartikan bahwa aktivasi dolomit dan batu kapur cukup 1 jam karena seiring dengan lamanya waktu operasi selama 5 jam dapat sekaligus mengkalsinasi dolomit dan batu kapur.

Tabel 3. Kapasitas Katalis pada Beberapa Kondisi Operasi Terpilih [8]

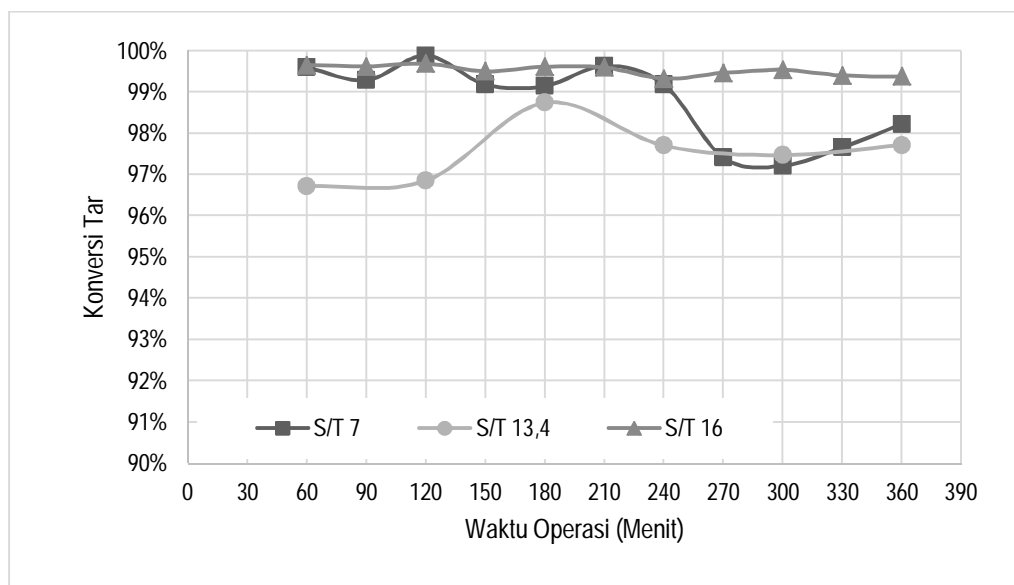
Percobaan	Jumlah akhir katalis (g)	Konsentrasi toluen masuk (g/m ³)	Laju alir gas (L/menit)	Kapasitas katalis total (mg _{toluen} / (g _{kat} .menit))	Kapasitas katalis (mg _{toluen} / (g _{kat} .menit))
Do-N-600-10-1	5,220	4,191	0,58	1,032	0,077
Ni-N-600-10-1	8,533	4,183	0,58	0,991	0,045
Ca-N-600-10-1(A)	6,500	3,714	0,58	0,265	0,055
Do-N-700-10-1	5,128	4,306	0,58	1,67	0,083
Ni-N-700-10-1	9,103	4,451	0,58	0,668	0,048
Ca-N-700-10-1	5,302	3,106	0,58	0,592	0,054

Beberapa katalis yang memperlihatkan kinerja baik disajikan pada Tabel 3. Katalis dolomit memiliki aktivitas paling tinggi pada temperatur operasi 600°C dan 700°C tanpa *steam* dibandingkan katalis nikel dan batu kapur. Katalis dolomit untuk perengkahan dapat menghasilkan kapasitas penyisihan toluen 0,083 mg_{toluen} / (g_{kat}.menit). Kapasitas katalis dolomit lebih tinggi daripada katalis batu kapur, karena kandungan MgO dalam katalis dolomit.

Perbandingan kinerja berbagai katalis untuk konversi toluen (senyawa model untuk tar) disajikan pada Tabel 4. Katalis komersial yang telah diaktivasi dan diberi penambahan agen pereaksi (*steam*) dapat meningkatkan kinerjanya. Penambahan *steam* ini dapat mengarahkan reaksi kepada pembentukan gas sintesis (CO dan H₂) dan menekan terjadinya deposit karbon. Efek *steam to toluene ratio* disajikan di Gambar 4.

Tabel 4. Aktivitas Katalis dalam Konversi Toluena pada Temperatur 700°C [8, 9, 10]

Katalis	Agan Reforming	Rasio Steam/Toluene	Waktu Operasi (Menit)	Konversi Tar
Dolomit	tanpa steam	-	200	89,0%
Batu Kapur	tanpa steam	-	180	81,0%
Nikel Komersial (tanpa aktivasi)	tanpa steam	-	250	89,0%
Nikel Komersial (aktivasi)	steam	13,4	180	98,7%
Nikel Komersial (aktivasi)	steam	16	30	99,8%
Ni/ γ -Al ₂ O ₃	steam	13,4	120	98,6%
Ni/ α -Al ₂ O ₃	steam	13,4	60	95,9%



Gambar 4. Kinerja Katalis Komersial untuk *Steam/Toluena* Rasio 7, 13 dan 16 [9, 10]

Fasa aktif nikel pada katalis *steam reforming* memiliki fungsi untuk mengarahkan reaksi pembentukan gas CO dan H₂, tetapi juga memiliki kelemahan potensi pembentukan karbon. Kelemahan ini dapat dikurangi dengan memberikan *steam* berlebihan. Tiga percobaan dengan variasi jumlah *steam* telah dilakukan dalam penelitian ini.

Steam to toluene ratio (S/T) secara stoisiometrik adalah 7, seperti yang digunakan pada katalis *komersial-B*. Tetapi untuk lebih meyakinkan kesempurnaan reaksi toluena dan pencegahan deposit karbon, *S/T ratio* telah dinaikkan menjadi S/T 13,4 pada katalis *komersial-A* dan S/T 16 pada *komersial-B*, hasilnya disajikan pada Gambar 4. Katalis *komersial-A* dengan S/T 13,4 memberi konversi

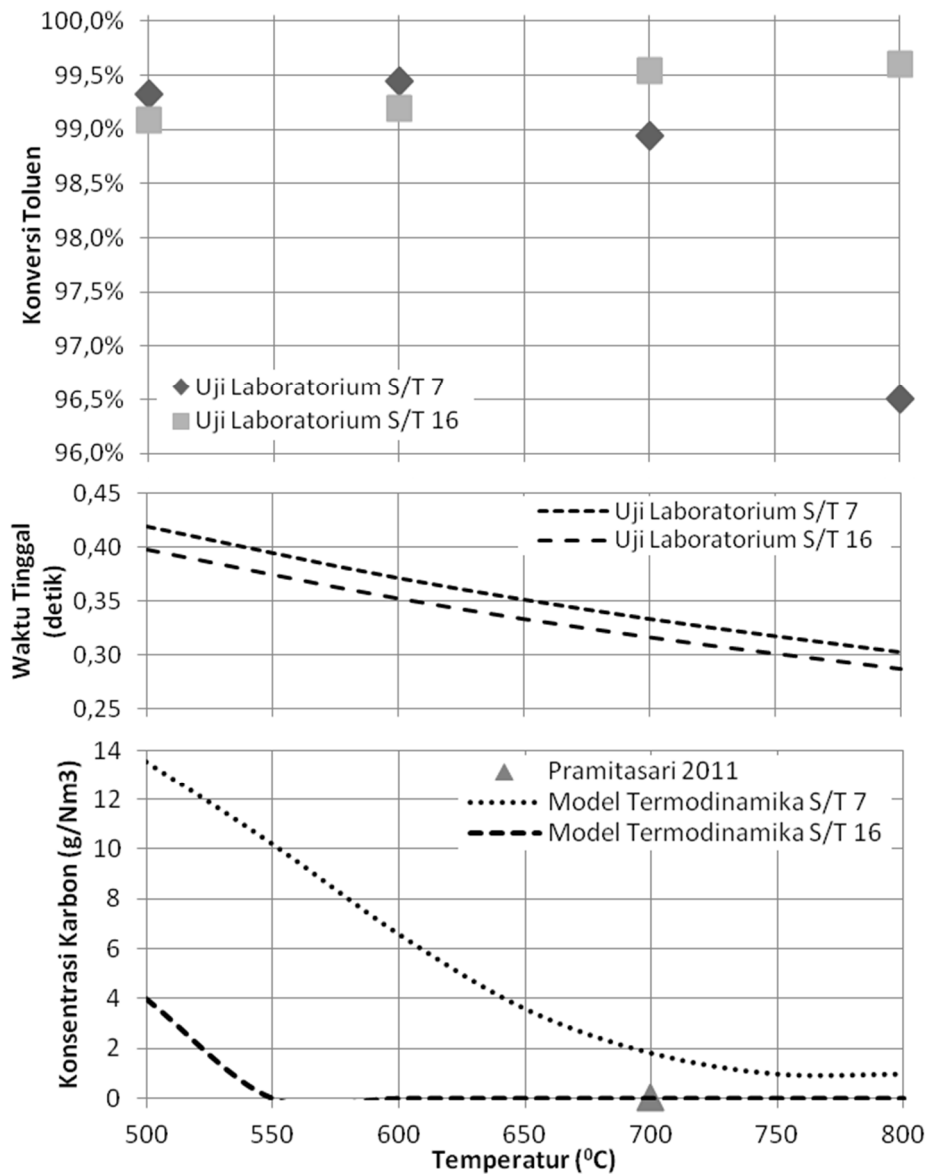
toluena lebih baik daripada katalis *komersial-B* dengan S/T 16. Perbedaan kinerja katalis ini sangat mungkin dipengaruhi oleh sifat pori masing-masing katalis dan kandungan Ni dalam katalis *komersial-B* lebih banyak (Tabel 2).

Dengan S/T 16, aktivitas katalis *komersial* selama 6 jam operasi masih dapat dikatakan stabil dengan konversi toluena 99,5%. Pengamatan berbeda ditemui pada percobaan dengan S/T 13,4, aktivitas katalis turun setelah 4 jam operasi dan seterusnya. Barangkali, penurunan aktivitas ini akibat pembentukan deposit karbon di atas katalis.

Kajian termodinamika reaksi *steam reforming* toluena dan potensi pembentukan deposit karbon disajikan pada Gambar 5. Pada temperatur relatif rendah, pembentukan deposit

karbon sangat potensial jika reaksi dilaksanakan dengan S/T 7 (campuran stoisiometrik *steam* dan toluen). Potensi pembentukan karbon turun dengan tajam jika, reaksi dilaksanakan dengan umpan dengan *steam* berlebih (misalnya S/T 16). Potensi pembantuan karbon juga turun dengan

naiknya temperatur proses, seiring dengan kenaikan konversi toluen menjadi gas sintesis, yaitu CO dan H₂. Pada hasil kajian termodinamika ini, disajikan pula beberapa hasil percobaan konversi toluen.



Gambar 5. Kinerja Katalis pada Berbagai Temperatur Operasi Reaktor [9]

Pada penelitian ini, penyediaan katalis Ni juga telah dilakukan sendiri dan perbandingan kinerjanya disajikan pada Tabel 4. Kinerja katalis Ni/ γ -Al₂O₃ sediaan sendiri sedikit lebih baik dibandingkan dengan katalis komersial dengan konversi toluen 99% untuk waktu penggunaan

selama 120 menit. Sayangnya, katalis Ni/ γ -Al₂O₃ sediaan sendiri terlihat mengalami penurunan aktivitas lebih cepat daripada yang komersial. Di samping itu, katalis sediaan sendiri terasa rapuh atau ketahanan tekannya relatif rendah.

KESIMPULAN DAN SARAN

Percobaan *catalytic cracking* telah dilakukan dalam reaktor skala laboratorium dan hasil percobaan sangat menjanjikan. Dolomit dan batu kapur lokal dapat digunakan untuk mengkonversi toluena sampai di atas 80% pada temperatur reaksi 700°C.

Kapasitas katalitik dolomit untuk konversi toluena dapat mencapai 0,08, sedangkan batu kapur mencapai 0,01-0,05 mg/menit toluena untuk setiap gram katalis. Sebagai pembandingan, katalis nikel komersial dapat memberi konversi toluena antara 65-85% dengan atau tanpa *steam*. Kemampuan katalis nikel komersial ini relatif rendah, yaitu hanya 0,048 mg/(menit. g-katalis).

Pada penelitian ini, terbukti bahwa toluena dapat terkonversi pada kondisi tanpa katalis jika temperaturnya 700°C. Kondisi ini mirip dengan yang terdapat di zona oksidasi sebuah *downdraft gasifier*.

Untuk melengkapi data konversi toluena, konsentrasi CO dan H₂ sebaiknya dianalisis pada aliran keluar reaktor. Selain itu, pembentukan arang pada permukaan katalis perlu dianalisis juga. Kemampuan katalitik dolomit dan batu kapur mungkin dapat ditingkatkan jika bahan ini dikalsinasi dahulu pada temperatur 800-900 °C, serta dibubuhi Ni dan Fe sebagai promotor.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian *catalytic tar cracking* sebagian besar didanai oleh Yayasan Bakti TANOTO (2010-2012) dan juga Hibah Kompetensi Nasional (2015-2016). Ucapan terima kasih disampaikan kepada Dr. Subagjo, Laboratorium Teknik Reaksi Kimia TK-ITB, atas diskusi dan arahnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Susanto, H., *Pengujian PLTD-Gasifikasi Sekam 100 kW di Haurgeulis-Indramayu*, Departemen Teknik Kimia FTI, ITB, Bandung, 2005.
- [2] Bona, S., G., Patricia, A.J., German, G., Lucia, dan B., Rafael, *Toluene Steam Reforming Using Coprecipitated Ni/Al Catalysts Modified With Lanthanum or Cobalt*, Chemical engineering Journal, 137, 587-597, 2007.
- [3] Cao, Yun., Wang, Yang., Riley, John. T., dan Pan, Wei-Ping., *A Novel Biomass Air Gasification Process for Producing Tar-Free Higher Heating Value Fuel Gas*, Fuel Processing Technology, 87, 343-353, 2005.
- [4] Miyazawa, Tomohisa., Kimura, Takeo., Nishikawa, Jin., Kado, Shigeru., Kunimori, Kimio., dan Tomishige, Keiichi., *Catalytic Performance of Supported Ni Catalysts in Partial Oxidation and Steam Reforming of tar Derived from the Pyrolysis of Wood Biomass*, Catalyst Today, 115, 254-262, 2006.
- [5] Swierczynski, D., Libs, S., Courson, C., dan Kiennemann, A., *Steam Reforming of Tar From Biomass Gasification Process over Ni/Olivine Catalyst Using Toluene as a Model Compound*, Applied Catalyst B: Environmental, 74, 211-222, 2007.
- [6] Simell, P.A., Hirvensalo, E.K., Smolander, V.T., Krause, A., dan Outi, I., *Steam Reforming of Gasification Gas Tar Over Dolomite With Benzene as a Model Compound*, 38, 1250-1257, 1999.
- [7] Sundac, N., *Catalytic Cracking of Tar from Biomass Gasification*, Department of Chemical Engineering Lund University, Swedia, 2007.
- [8] Agustina, M., *Perbandingan Uji Aktivitas Katalis Dolomit Dan Batu Kapur Lokal Dengan Katalis Nikel Komersial Untuk Dekomposisi Toluena Sebagai Model Konversi Tar*, Tesis, Institut Teknologi Bandung (ITB), Bandung, 2011.
- [9] Ardy, A., H., Susanto, dan Subagjo, *Uji Laboratorium Proses Perengkahan Toluena dengan Katalis Reformasi Kukus Ni/ α -Al₂O₃*, Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan", Universitas Pembangunan Nasional "Veteran"-Yogyakarta, 2015.
- [10] Pramitasari, D., *Pengembangan Katalis Ni/Al₂O₃ Untuk Steam Reforming Tar Hasil Gasifikasi*, Tesis, Institut Teknologi Bandung, Bandung, 2011.
- [11] Coll, Roberto., Salvado, Joan., Farriol, Xavier., dan Montane, Daniel., *Steam Reforming Model Compounds of Biomass Gasification Tar : Conversion at Different Operating Conditions and Tendency Towards Coke Formation*, Fuel Processing Technology, 74, 19-31, 2001.
- [12] Hantoko, D., Yuono, dan H., Susanto, *Experimental Study On The Effect Of Pyrolysis Condition Of Coconut Shells On*

- Tar Characteristics, Regional Symposium on Chemical Engineering (RSCE), Bangkok-Thailand. 2015.*
- [13] Hasler, P., Nussbaumer, Th., *Gas Cleaning for IC Engine Applications from Fixed Bed Biomass Gasification, Biomass and Bioenergy*, 16, 385-395, 1999.
- [14] Li, C., dan K., Suzuki, *Tar Property, Analysis, Reforming Mechanism And Model For Biomass Gasification An Overview, Renewable and Sustainable Energy Review*, 13, 594-604, 2008.