

PENGUKURAN KELARUTAN TOLUEN DAN BENZEN DALAM MINYAK NABATI DENGAN KOLOM GELEMBUNG

Diyah Fadjarwaty dan Herri Susanto

Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri - Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganesa No. 10 Bandung Tlp. (022) 2500989 email: herri@che.itb.ac.id

Abstrak

Penelitian penentuan daya-absorpsi minyak nabati yang kami lakukan mengarah pada pengembangan system pembersih gas produser. Daya absorpsi minyak nabati yang diwakilkan dengan minyak goreng curah (A) dan minyak goreng bekas (B) diukur dengan metode kolom-gelembung yaitu dengan cara pengelembungan gas yang mengandung tar ke dalam minyak. Kolom gelembung memiliki diameter 3 cm dan tinggi minyak divariasikan 4 – 6,5 cm. Gas yang mengandung tar diwakilkan dengan udara yang mengandung uap toluen atau uap benzen sebagai solut. Hasil penelitian disajikan dalam parameter $1/H$ (H = konstanta Henry; dengan satuan konsentrasi solut di fasa gas dan cair adalah mol/L). Nilai $1/H$ untuk sistem kesetimbangan toluen/udara dengan minyak berkisar antara 100-4000, sedangkan nilai $1/H$ untuk kelarutan benzen sekitar 400-1000.

Kata kunci: absorpsi, konstanta Henry, kesetimbangan fasa uap-cair, gasifikasi biomassa

1. Pendahuluan

Mengantisipasi penurunan cadangan dan kenaikan harga minyak di dalam negeri, kiranya teknologi gasifikasi biomassa perlu dikembangkan sebagai teknologi pengolah sumber energi alternatif dan terbarukan. Pemerintah melalui beberapa instansi terkait telah memberi perhatian juga pada pengembangan teknologi gasifikasi biomassa ini dengan penyediaan dana penelitian. Melalui proses gasifikasi, biomassa dapat dikonversi menjadi bahan bakar gas yang secara praktis dapat dimanfaatkan langsung dalam motor diesel penggerak generator.

Beberapa unit uji-lapangan telah dioperasikan, tetapi permasalahan utama adalah kandungan tar di dalam gas hasil gasifikasi biomassa dengan udara (selanjutnya dinamai gas produser). Kondensasi tar dapat menyebabkan *fouling* pada perpipaan dan peralatan pengguna gas produser. Sistem pembersih gas konvensional dengan menggunakan air dapat dikatakan mampu menyisihkan tar dari gas produser sampai tingkat tertentu, mengingat keterbatasan kelarutan komponen tar ke dalam air tersebut (Susanto, 2005). Kandungan tar dan partikulat yang dihasilkan dari gasifikasi biomassa tergantung pada jenis, bentuk bahan baku, kandungan air dan kondisi operasi. Selain itu juga tergantung pada tipe gasifier seperti ditunjukkan pada Tabel 1 (Brown, et.all., 1986).

Tabel 1. Kandungan tar dan partikulat pada beberapa tipe gasifier

Tipe gasifier	Tar (mg/Nm ³)	Partikulat (mg/Nm ³)
<i>Updraft</i>	10.000 – 100.000	100 – 1.000
<i>Downdraft</i>	50 – 500	100 – 8.000
<i>Fluidized Bed</i>	2.000 – 10.000	100 – 8.000
<i>Entrained Bed</i>	8.000 – 30.000	30.000 – 100.000

Minyak nabati diperkirakan dapat digunakan sebagai media penyerap tar yang lebih baik daripada air atas pertimbangan utama: (a) minyak memiliki kemiripan rumus molekul dengan komponen tar; dan (b) titik didihnya lebih tinggi atau hampir sama dengan titik didih komponen tar. Pertimbangan terakhir ini juga memberi kemungkinan untuk menerapkan operasi absorpsi-desorpsi, di mana tar dapat didesorpsi kembali dari minyak pada temperatur yang lebih tinggi dengan menggunakan udara media penggasifikasi. Dengan demikian tar dapat di-*recycle* kembali ke reaktor gasifikasi, dan minyak dapat ter-regenerasi untuk penggunaan ulang.

Daya absorpsi minyak nabati telah diuji dan ternyata lebih baik daripada air (Wibowo dan Susanto, 2009, Suhartono, dkk., 2010; dan Suharto, 2010). Makalah ini disusun untuk menyajikan hasil-hasil percobaan-ulang dalam pengujian daya absorpsi minyak nabati terhadap komponen tar.

Sebagaimana telah dilaporkan dalam (Wusana dan Susanto, 2009), penelitian dilaksanakan menggunakan minyak goreng curah dan minyak goreng bekas. Sama dengan penelitian terdahulu, komponen tar diwakili dengan toluen dan benzen. Tetapi pengukuran konsentrasi komponen tar di dalam gas dilakukan dengan gas kromatografi (tidak seperti sebelumnya: dengan gravimetri).

2. Teori Pendukung

Tar merupakan campuran senyawa organik yang dihasilkan sebagai akibat oksidasi termal atau oksidasi parsial (proses gasifikasi), dan pada umumnya merupakan senyawa aromatik (Milne, et.al, 1998). Karena itu, studi absorpsi penyisihan tar dari gas produser sering dilakukan dengan menggunakan toluen, benzen dan senyawa sejenisnya sebagai komponen model tar. Pada operasi gasifikasi, absorpsi tar dengan menggunakan air sebagai cairan penyerap mampu memisahkan tar fraksi berat 70%, tar fraksi ringan 40% dan tar jenis heterosiklis 90%. Jadi masih tersisa beberapa komponen tar yang tidak tersisihkan dari gas produser. Para peneliti di negara maju umumnya melakukan penelitian pencarian jenis absorben dari bahan kimia yang lebih ampuh daripada air. Sayangnya absorben tersebut mahal dan mungkin sulit diperoleh di pasar Indonesia.

Karena kelarutan senyawa penyusun tar sangat rendah, hasil daya absorpsi pelarut sering kali dikaitkan dengan Hukum Henry: konsentrasi zat terlarut di dalam fasa gas sebanding dengan konsentrasinya di fasa cair, dengan konstanta Henry sebagai faktor pembanding. Pada dasarnya, percobaan kelarutan komponen tar dalam minyak dengan metoda kolom gelembung adalah pengukuran konsentrasi zat terlarut pada kedua fasa ketika kesetimbangan telah tercapai.

Pada kolom gelembung, aliran fasa gas dioperasikan kontinyu dan cairan-penyerap bersifat *batch*. Dengan demikian konsentrasi zat-terlarut di dalam fasa cair selalu berubah dari waktu ke waktu (meningkat untuk operasi absorpsi) sampai mencapai kejenuhannya. Seiring dengan hal ini, konsentrasi zat-terlarut di dalam fasa gas keluar kolom absorpsi juga meningkat, sampai akhirnya menyamai konsentrasinya pada aliran masuk ketika cairan-penyerap telah mencapai kejenuhan. Jika kesetimbangan fasa telah tercapai, maka berlaku persamaan berikut ini.

$$H = \frac{C_G^\#}{C_L^\#} \quad (1)$$

dengan: H = konstanta Henry

$C_G^\#$ dan $C_L^\#$ = konsentrasi zat-terlarut di dalam fasa gas dan fasa cair.

Di dalam percobaan dengan kolom gelembung, operasi absorpsi berlangsung secara dinamik. Karena pengukuran konsentrasi hanya pada fasa gas, maka konsentrasi zat-terlarut di dalam fasa cair dihitung dengan neraca massa berikut ini.

$$C_L V_L = Q_G \int_0^t (C_{G,i} - C_{G,o}) dt \quad (2)$$

dengan: $C_{G,i}$ dan $C_{G,o}$ = konsentrasi zat-terlarut pada aliran gas masuk dan keluar kolom absorpsi

V_L = volum cairan pelarut yang dilewati gelembung gas solven

Penggunaan persamaan di atas didasari asumsi bahwa:

- (i) fasa cair tercampur sempurna, sehingga konsentrasi zat-terlarut homogen
- (ii) sistem beroperasi secara isothermal dan volum cairan-penyerap konstan (tidak ada yang menguap)
- (iii) uap zat terlarut bersifat gas ideal.

Jika hasil absorpsi di dalam kolom gelembung tidak berada dalam kesetimbangan antara solut di fasa gas dan di fasa cair, dengan asumsi tersebut diatas, persamaan laju perpindahan solut dapat juga ditulis sebagai berikut.

$$\ln \left\{ \frac{C_L(t)}{C_L(t_0)} \right\} = H \cdot \frac{Q_G}{R \cdot T \cdot V_L} (t - t_0) \quad (3)$$

dengan: R = ketetapan gas; T = temperatur; Q_G = laju alir gas

Pada penelitian kami terdahulu (Wusana dan Susanto, 2009), kondisi kesetimbangan diragukan tercapai walaupun percobaan sudah dilakukan sampai 5 jam. Di samping itu, asumsi bahwa konsentrasi zat-terlarut di dalam fasa cair homogen juga diragukan. Untuk mengatasi masalah pertama, kami mengusulkan perhitungan konstanta Henry atas dasar kondisi transien (kejenuhan fasa cair tidak perlu tercapai) dengan memperhatikan kecepatan pindah massa yang juga berubah sebagai fungsi waktu sejalan dengan perubahan konsentrasi di fasa cair. Selanjutnya hubungan antara konsentrasi zat terlarut di dalam

fasa cair dan di aliran gas keluar kolom gelembung dinyatakan dalam persamaan berikut ini untuk masing-masing pendekatan.

(1) Jika hambatan perpindahan massa hanya terjadi di fasa gas:

$$C_L = \frac{K_{Ga} + Q_G}{K_{Ga} \cdot H} C_{G,o} - \frac{Q_G}{K_{Ga} \cdot H} C_{G,i} \quad (4)$$

(2) Jika hambatan perpindahan massa hanya terjadi di fasa cair:

$$C_L = \left(\frac{1}{H} + \frac{Q_G}{K_{La}} \right) C_{G,o} - \frac{Q_G}{K_{La}} C_{G,i} \quad (5)$$

dengan: C_L dan $C_{G,o}$ = konsentrasi zat terlarut sebagai fungsi waktu

$C_{G,i}$ = konsentrasi zat terlarut pada aliran gas masuk kolom absorpsi (dijaga konstan)

Q_G = laju alir gas masuk kolom absorpsi (dijaga konstan)

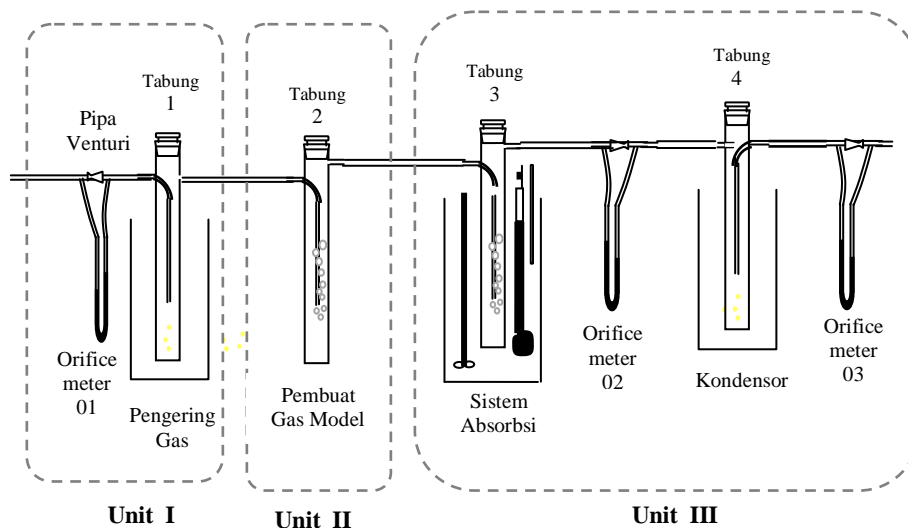
K_{Ga} dan K_{La} = koefisien perpindahan massa pada *interface* sisi gas dan sisi cair

Persamaan (4) dan persamaan (5) menunjukkan hubungan linier antara konsentrasi zat terlarut di dalam fasa cair (C_L) terhadap konsentrasinya di aliran gas keluar kolom gelembung ($C_{G,o}$). Konstanta-konstanta H , K_{Ga} dan K_{La} dapat dihitung dari *slope* dan *intersept* dari persamaan-persamaan tersebut.

3. Bahan dan Metode Penelitian

Gas model dibuat dengan mencampurkan uap toluen/benzen murni dengan udara. Percobaan dilakukan dalam rangkaian peralatan yang tersusun dari (lihat Gambar 1): Unit I (pengering udara), Unit II (pembentukan model gas), dan Unit III (kolom gelembung penyerapan). Unit I terdiri dari tabung kosong yang direndam dalam wadah berisi air, es dan garam; dan tabung berisi silika gel untuk meyakinkan pengeringan udara. Unit II terdiri dari tabung berisi cairan toluen atau benzen sebagai senyawa model. Aliran udara akan membawa uap cairan ini untuk membentuk gas model sebagai representasi gas produser dengan kandungan tar tertentu. Unit III terdiri dari tabung berisi cairan penyerap (minyak nabati) yang diletakkan dalam *constant temperature bath*. Tabung 4 dipasang sebagai pengaman untuk penyerap senyawa model yang tidak terserap di dalam kolom absorpsi.

Kolom gelembung untuk absorpsi memiliki diameter 3 cm dan tinggi minyak (cairan penyerap) divariasikan 4 – 6,5 cm. Cairan penyerap yang digunakan dalam percobaan ini adalah minyak goreng curah dan minyak goreng bekas. Percobaan ini dilakukan pada rentang temperatur 25 °C – 45 °C. Laju alir gas model divariasasi 0,114; 0,180 dan 0,284 L/menit. Pengukuran konsentrasi toluen dilakukan dengan menggunakan kromatografi gas.



Gambar 1. Rangkaian peralatan percobaan

4. Hasil dan Pembahasan

Kelarutan zat-terlarut dalam minyak nabati yang disajikan dalam nilai $1/H$: Tabel 1 untuk toluen dan Tabel 2 untuk benzen. Hasil percobaan kelarutan toluen dalam minyak nabati menunjukkan bahwa harga $1/H$ cenderung naik seiring dengan naiknya laju alir gas. Hal tersebut diduga karena konsentrasi solut dalam fasa gas dan fasa cair belum mencapai kesetimbangan. Hal ini disebabkan oleh besarnya hambatan perpindahan massa di fasa air. Karena itu perhitungan konstanta Henry dilakukan dengan

menggunakan persamaan (4) dan persamaan (5) seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1. Semakin besar harga $1/H$ menunjukkan kelarutan toluen dalam solven semakin besar.

Penggunaan minyak goreng curah (A) dan minyak goreng bekas (B) pada percobaan ini menunjukkan bahwa kelarutan toluen dalam minyak A lebih baik jika dibandingkan dengan minyak B. Hal ini mungkin disebabkan oleh kemurnian minyak A lebih baik dari minyak B yang sudah mengandung pengotor. Namun jika dilihat dari segi ekonomi, hasil percobaan pada kondisi operasi $T = 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan $Q = 0,180\text{ L/menit}$ dengan minyak goreng bekas, harga $1/H$ yang diperoleh lebih dari setengah harga $1/H$ pada kondisi $T = 45\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan $Q = 0,114\text{ L/menit}$ dengan minyak baru. Sehingga untuk penghematan biaya, solven ini dinilai cukup baik digunakan untuk menyerap toluen.

Tabel 1. Hasil percobaan kelarutan toluen dalam minyak nabati

No.	cairan penyerap	$T_{\text{absorpsi}},\text{ }^{\circ}\text{C}$	$Q_G,$ L/menit	$C_{G,i},$ mmol/L	$C_{G,o},$ mmol/L	$C_L,$ mmol/L	$1/H$ (pers.3)	$1/H$ (pers.4) (pers.5)
1	minyak goreng curah	35	0,114	0,10	0,04	46	63	979
2		35	0,180	0,10	0,03	85	79	1682
3		35	0,284	0,05	0,03	222	328	1738
4		45	0,114	0,10	0,03	67	87	4007
5	minyak goreng bekas	25	0,149	0,12	0,03	138	249	2297
6		25	0,208	0,10	0,02	141	118	2732
7		30	0,180	0,05	0,03	38	403	948
8		35	0,180	0,20	0,04	40	66	2359
9		35	0,284	0,03	0,02	2,4	4054	112

Tabel 2. Hasil percobaan kelarutan benzen dalam minyak nabati

No.	cairan penyerap	$T_{\text{absorpsi}},\text{ }^{\circ}\text{C}$	$Q_G,$ L/menit	$C_{G,i},$ mmol/L	$C_{G,o},$ mmol/L	$C_L,$ mmol/L	$1/H$ (pers.3)	$1/H$ (pers.4) (pers.5)
1	minyak goreng curah	35	0,114	1,00	0,56	3200	103	597
2		35	0,180	0,40	0,20	2400	181	1193
3		35	0,208	0,50	0,38	1300	314	423
4		35	0,284	0,40	0,37	2000	680	703
5		45	0,114	0,60	0,40	1500	141	525
6		45	0,180	0,40	0,40	1300	269	543
7		45	0,208	0,60	0,38	2700	223	1221
8	minyak goreng bekas	30	0,180	0,50	0,32	1600	370	543
9		35	0,284	0,40	0,36	1300	500	482

Pada percobaan kelarutan benzen dalam minyak nabati, dengan persamaan (3) diperoleh harga $1/H$ yang cenderung meningkat seiring dengan meningkatnya laju alir. Sama halnya dengan kelarutan toluen, pada kondisi ini diduga konsentrasi solut dalam fasa gas dan fasa cair belum mencapai kesetimbangan. Oleh sebab itu dipergunakan persamaan (4) dan persamaan (5) untuk memperoleh harga konstanta Henry yang lebih baik. Dengan persamaan (3), (4) dan (5) hasil percobaan ditunjukkan pada Tabel 2.

Pada Tabel 2 diatas, dengan minyak B sebagai penyerap pada kondisi percobaan $T = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan $Q = 0,180\text{ L/menit}$ diperoleh harga konstanta Henry ($1/H$) sebesar 543. Jika dibandingkan dengan harga $1/H$ pada kondisi operasi yang lain, harga ini menunjukkan kelarutan benzen dalam minyak goreng bekas cukup baik. Sehingga dapat disimpulkan bahwa dari segi ekonomi penggunaan minyak goreng bekas sangat menguntungkan.

Tabel 3. Evaluasi C_L pada kelarutan toluen di dalam minyak nabati (minyak goreng curah)

percobaan ini				penelitian sebelumnya [Wusana dan Susanto, 2009]		
tinggi cairan = 4 – 6,5 cm				tinggi cairan = 12 cm		
lama absorpsi = 5 – 7 jam				lama absorpsi = 6 jam		
No.	T_{absorben} , °C	Q_G , L/menit	C_L , mmol/L	T_{absorben} , °C	Q_G , L/menit	C_L , mmol/L
1	35	0,114	46	28	0,063	5,5
2	35	0,180	85	28	0,043	6,2
3	35	0,284	222	59	0,063	7,8
4	45	0,114	67	59	0,043	10,9
5	-	-	-	59	0,032	7,5
6	-	-	-	92	0,063	2,1
7	-	-	-	92	0,043	6,4
8	-	-	-	92	0,032	6,1

Kapasitas absorpsi toluen dengan minyak goreng curah hasil percobaan terdahulu (pengukuran secara gravimetri) pada $T = 59$ °C, $Q_G = 0,04$ L/menit sebesar 10,9 mmol/L (1 g/L). Sedangkan pada percobaan ini didapat 222 mmol/L (20 g/L) pada suhu 35 °C dan $Q_G = 0,284$ L/menit, seperti terlihat pada Tabel 3. Sebagai pembandingan digunakan hasil percobaan lain yang menggunakan minyak sawit sebagai solven, seperti yang disajikan pada Tabel 4. pada $T = 30$ °C dan $Q_G = 13,6 \times 10^{-3}$ L/menit, kapasitas absorpsi toluen didapat 16 g/L ($1/H = 219$).

Kapasitas absorpsi toluen dalam kedua minyak tersebut lebih besar dibandingkan kapasitas absorpsi toluen dalam air 0,47 g/L. Hal ini juga menunjukkan bahwa percobaan yang dilakukan mempunyai keakuratan yang lebih baik dibandingkan dengan percobaan sebelumnya.

Perbedaan kapasitas absorpsi antara minyak dan air disebabkan sifat fisik dan kimia yang berbeda. Sifat-sifat fisik yang dapat mempengaruhi absorpsi toluen/benzen adalah densitas dan viskositas cairan, kelarutan (solubility) dan difusivitas solut dalam solven. Sifat-sifat kimia seperti kepolaran toluen/benzen dan solven dan bentuk senyawa H-C alifatik minyak juga berpengaruh terhadap kapasitas absorpsi.

Tabel 4. Perbandingan harga $1/H$ hasil percobaan terhadap percobaan sebelumnya

Percobaan saat ini $H = (\text{mol/L})/(\text{mol/L})$						Percobaan Suhartono, dkk [2010] $H = (\text{mol/m}^3)/(\text{mol/m}^3)$				
No.	Solven	T_{absorben} (°C)	Laju alir gas umpan (L/menit)	1/H (pers.3)	1/H (pers.4) (pers.5)	Solven	T_{absorben} (°C)	Laju alir umpan gas (L/menit) $\times 10^{-3}$	1/H (pers.3)	1/H (pers.4) (pers.5)
1	Minyak A	35	0,114	63	979	Minyak sawit	30	13,6	50	219
2	Minyak A	35	0,180	79	1682		30	27,6	68	198
3	Minyak A	35	0,284	328	1738		60	13,6	78	241
4	Minyak A	45	0,114	87	4007		60	27,6	109	180
5	-	-	-	-	-	Air	30	13,6	24	11
6	-	-	-	-	-		30	27,6	32	2
7	-	-	-	-	-		60	13,6	37	6
8	-	-	-	-	-		60	27,6	52	4

Dari hasil perhitungan harga koefisien perpindahan massa di fasa cair lebih rendah dibandingkan koefisien perpindahan massa di fasa gas (lihat Tabel 5). Hal ini umumnya terjadi pada proses absorpsi gas yang sukar larut dalam cairan, termasuk toluen dan benzen dalam percobaan ini.

Tabel 5. Harga K_{Ga} dan K_{La} pada percobaan kelarutan toluen dan benzen dalam minyak nabati

No.	Solven	T_{absorben} (°C)	TOLUEN			BENZEN		
			Laju alir gas umpan (L/menit)	K_{Ga} (L/menit)	K_{La} (L/menit)	Laju alir gas umpan (L/menit)	K_{Ga} (L/menit)	K_{La} (L/menit)
1	Minyak A	35	0,114	0,67	0,0007	0,114	0,81	0,0010
2	Minyak A	35	0,180	1,17	0,0007	0,180	0,66	0,0010
3	Minyak A	35	0,208	-	-	0,208	0,18	0,0004
4	Minyak A	35	0,284	0,47	0,0003	0,284	0,16	0,0002
5	Minyak A	45	0,114	0,73	0,0002	0,114	0,16	0,0003
6	Minyak A	45	0,180	-	-	0,180	0,11	0,0020
7	Minyak A	45	0,208	-	-	0,208	0,23	0,0002
8	Minyak B	30	0,180	0,40	0,0004	0,180	0,49	0,0009
9	Minyak B	35	0,180	7,78	0,0030	0,180	-	-
10	Minyak B	35	0,284	0,67	0,0060	0,284	0,16	0,0003

Harga K_{Ga} pada percobaan kelarutan benzen dalam minyak nabati (lihat Tabel 5) cenderung turun dengan naiknya suhu dan laju alir, hal ini diduga pada suhu dan laju alir yang lebih tinggi terdapat senyawa-senyawa dari solven yang menguap dan menyebabkan lapisan antar muka di fasa gas bertambah tebal. Begitu pula yang terjadi dengan harga K_{La} , pada suhu yang lebih tinggi, harga K_{La} cenderung menurun. Hal ini kemungkinan terjadi akibat menurunnya viskositas dari solven. Penurunan viskositas solven akan menyebabkan penurunan waktu tinggal gelembung solut dalam solven. Viskositas yang tinggi akan mempertebal lapisan antarmuka sisi cair dan menurunkan difusivitas pada lapisan tersebut.

5. Kesimpulan

Merujuk pada nilai konstanta Henry (1/H) yang didapat, minyak goreng curah (A) dan minyak goreng bekas (B) mampu menyerap toluen/benzen dengan baik. Minyak goreng bekas dapat dipilih sebagai solven yang cocok untuk mengabsorpsi tar dalam gas produser pada gasifikasi biomassa, dengan pertimbangan biaya pengoperasian yang lebih rendah.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini merupakan salah satu bagian dari proyek *Pengembangan Teknologi Gasifikasi Biomassa Ramah Lingkungan* yang didanai oleh *Tanoto Professorship Award, 2007-2010*. Pelaksanaan percobaan absorpsi ini dilakukan oleh para mahasiswa praktikan Laboratorium Instruksional (Sem. 6), Program Studi Teknik Kimia, Institut Teknologi Bandung.

Daftar Pustaka

- Boerrigter, H., van Paasen, S.V.B., Bergman, P.C.A., Konemann, J.W., Emmen, R., and Wijnands, A., 2005, *"OLGA" Tar Removal Technology. Proof-of-Concept (PoC) for application in integrated biomass gasification combined heat and power (CHP) systems*, Energy Research Centre of the Netherlands (ECN), Belanda.
- Bridgwater, A.V., 2002, *The future for biomass pyrolysis and gasification: status, opportunities and policies for Europe*, Bio-Energy Research Group, Aston University, Birmingham, UK.
- Coda, B., et al., 2004, *Tar Measurement Standart: A Joint Effort for the Standardisation of a Method for Measurement of Tars and Particulates in Biomass Producer Gas*, Energy Research Centre of the Netherlands (ECN), Belanda.
- Vuong, M.D., Couvert, A., Couriol, C., Amrane, A., and Le Cloirec, P., *Determination of the Henry's Constants and the Mass Transfer Rate of VOCs in Solvent*, Chemical Engineering Journal, 2009.
- Susanto, H., 2005, *Pengujian PLTD-Gasifikasi Sekam 100 kW di Haurgeulis, Indramayu*, Program Studi Teknik Kimia, FTI-ITB.
- Wibowo, W.A., 2008, *"Kajian Awal Penyisihan Tar dari Gas Produser dengan Absorpsi-Minyak"*, Tesis Magister, Program Studi Teknik Kimia ITB, Bandung.
- Suhartono, Kokugan, T., dan Susanto, H., 2010, *Pengukuran Kapasitas Absorpsi dan Kecepatan Pindah Massa Sistem Udara, Uap Toluena dan Minyak*, Prosiding Seminar Nasional, UGM, Yogyakarta.