

NILAI $K_L a$ KOLOM SEMBUR UNTUK PENYISIHAN TOLUEN SEBAGAI MODEL TAR DALAM ALIRAN GAS

PERFORMANCE EVALUATION OF SPRAY COLUMN FOR TOLUENE REMOVAL AS A TAR MODEL FROM A GAS FLOW

Suharto

UPT Balai Pengolahan Mineral Lampung, LIPI
Jln. Ir. Sutami Km. 15, Tanjung Bintang, Lampung Selatan
e-mail: harto_berg@yahoo.com

ABSTRACT

Gasification has become an alternative technology to convert biomass as renewable energy resource. However, the utilization of gas from the process as diesel-engine fuel is hindered by the presence of tar. Used cooking oil could be used as tar absorbent medium due to its higher or nearly equal boiling point compared with that of tar component. In this study, the performance of spray column was evaluated by measuring the absorption efficiency and mass transfer coefficient of volumetric tar in liquid phase (K_{La}). The tar used in this study was represented by toluene which was carried by air flow and then set as tar model in gas producer. The tar model dispersed in air was injected to spray column for absorption process with gas flow rate 2.580 L/min and temperature 30°C. The composition of tar model in gas phase was determined both as input and output of spray column by gas chromatography flame ionization detector (GC-FID). The absorption efficiencies of toluene with absorption liquid of water, 5.4% w/w used cooking oil in water and 10.8% w/w used cooking oil in water are 70.2%, 93.8% and 95.2% respectively in 30°C, with K_{La} value $1.59 \cdot 10^{-2}/\text{min}$, $7 \cdot 10^{-4}/\text{min}$ and $4 \cdot 10^{-4}/\text{min}$ respectively.

Keywords: $K_L a$ value, Spray column, Used cooking oil.

ABSTRAK

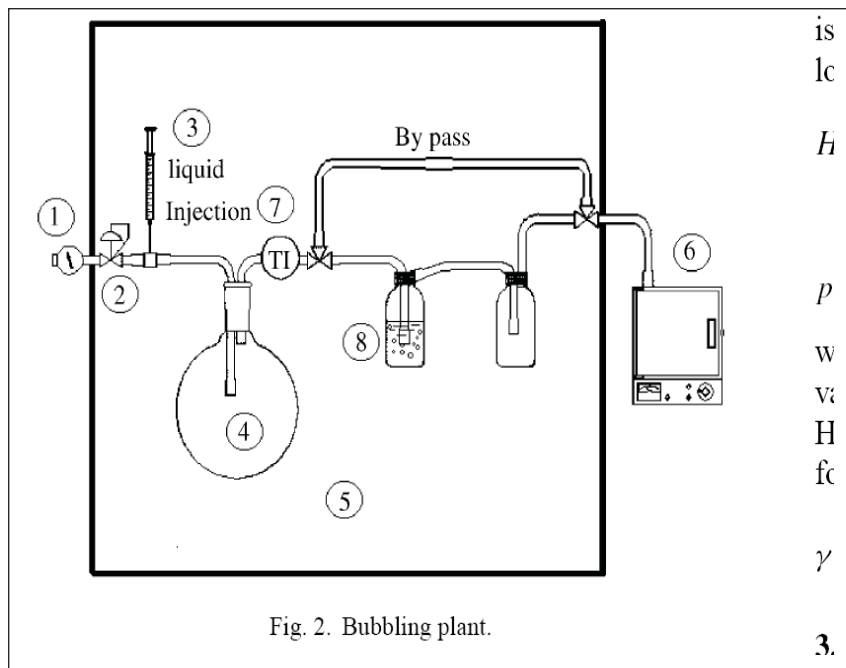
Gasifikasi merupakan salah satu teknologi konversi biomassa sebagai sumber energi alternatif yang terbarukan. Meskipun demikian, pemanfaatan gas hasil gasifikasi sebagai bahan bakar gas untuk diesel-genset terkendala oleh adanya kandungan tar. Minyak goreng bekas diperkirakan dapat digunakan sebagai media penyerap tar atas pertimbangan utama titik didihnya lebih tinggi atau hampir sama dengan titik didih komponen tar. Penelitian ini bertujuan untuk mengukur efisiensi penyerapan komponen tar di dalam kolom sembur dan koefisien perpindahan massa volumetrik tar fasa cair ($K_L a$). Tar dalam penelitian ini diwakili oleh toluen yang dibawa oleh aliran udara sebagai model tar dalam gas produser. Model tar dalam udara masuk ke dalam kolom sembur untuk proses penyerapan pada laju alir gas 2,580 L/menit dan temperatur 30°C. Konsentrasi komponen model tar fasa gas yang masuk dan keluar pada kolom sembur diukur dengan menggunakan Gas Chromatography-Flame Ionization Detector (GC-FID). Efisiensi penyerapan toluen dalam cairan penyerap yang terdiri dari air, campuran 5,4% massa minyak goreng bekas dengan air dan campuran 10,8% massa minyak goreng bekas dengan air berturut-turut sebesar 70,2%, 93,8% dan 95,2% pada 30 °C. Sedangkan nilai $K_L a$ berturut-turut sebesar $1,59 \cdot 10^{-2}/\text{menit}$, $7 \cdot 10^{-4}/\text{menit}$ dan $4 \cdot 10^{-4}/\text{menit}$.

Kata Kunci: Nilai $K_L a$, Kolom sembur, Minyak goreng bekas

PENDAHULUAN

Konsumsi energi di Indonesia dari tahun ke tahun mengalami peningkatan yang signifikan. Semen-

tara cadangan energi nasional akan semakin menipis sehingga harus ditemukan cadangan energi baru. Sebagai catatan, jika tidak ada penemuan



Gambar 1. Alat percobaan pengelembungan toluen¹

cadangan energi baru maka cadangan minyak Indonesia tinggal 15 tahun, cadangan gas tinggal 60 tahun, dan cadangan batu bara tinggal 150 tahun. Hal tersebut telah diantisipasi melalui kebijakan pemerintah dalam mendorong pemanfaatan energi alternatif, berdasarkan Peraturan Presiden No. 5/2006 tentang kebijakan energi nasional. Salah satu energi terbarukan yang mempunyai potensi besar di Indonesia adalah biomassa. Oleh karena itu, perlu dilakukan berbagai terobosan dalam memanfaatkan biomassa.

Salah satu prospek pemanfaatan sumber biomassa adalah teknologi gasifikasi. Hal itu dapat dilihat pada dekade terakhir, proses gasifikasi kembali mendapatkan perhatian para peneliti di seluruh dunia, terutama untuk mengolah biomassa sebagai sumber energi alternatif yang terbarukan dan bahan kimia. Pengembangan teknologi gasifikasi biomassa di Indonesia sangat relevan untuk diterapkan karena potensi biomassa berupa limbah pertanian dan perkebunan yang tersedia melimpah dan tersebar banyak di tanah air, terutama di wilayah pedesaan.

Walaupun demikian, permasalahan yang dihadapi dalam aplikasi teknologi gasifikasi biomassa adalah kandungan tar yang terdapat dalam gas produser. Penelitian dan pengembangan yang dilakukan saat ini mengarah pada sistem

proses pembersihan kandungan tar dalam gas produser untuk mengurangi atau menghilangkan dampak negatifnya terhadap instalasi gasifikasi maupun lingkungan sekitar.

Minyak diperkirakan dapat digunakan sebagai media penyerap tar atas pertimbangan utama: titik didihnya lebih tinggi atau hampir sama dengan titik didih komponen tar. Heymes¹ menyatakan bahwa sifat fisik (viskositas) cairan penyerap berpengaruh terhadap laju transfer massa zat terlarut di dalam media penyerap. Semakin tinggi viskositas cairan penyerap menyebabkan koefisien difusi zat terlarut di dalam cairan penyerap semakin rendah sehingga laju transfer massa akan turun. Di dalam suatu alat transfer massa, luas muka antarmuka biasanya cukup sulit diukur. Oleh karena itu, digunakan sebuah faktor a yang menunjukkan luas muka kontak antarmuka per satuan volume alat transfer massa atau volume cairan.

Perubahan konsentrasi A (mol A /volum) di fasa cair merupakan fungsi waktu, persamaannya adalah:²

$$\frac{dC_{AL}}{dt} = K_L a \cdot (C_A^* - C_{AL}) \quad (1)$$

C_{AL} : konsentrasi A pada badan utama fasa cair
 C_A^* : konsentrasi A dalam fasa cair yang berseimbangan dengan fasa gas
 $K_L a$: koefisien kapasitas transfer massa A keseluruhan fasa cair atau koefisien transfer massa A volumetris fasa cair.

Faktor a dan koefisien transfer massa tergantung pada geometri alat transfer massa dan laju alir fasa gas dan cair.

Kesetimbangan Toluen Fasa Cair-Gas

Partisi cair-gas dapat diukur dengan beberapa metode seperti pengelembungan, volumetrik, tebal film, dan metoda kromatografi. Metoda pengelembungan dapat dilakukan dengan mudah dan dengan alat yang sederhana tetapi hasil yang lebih akurat pada berbagai tekanan. Alat untuk pembuatan gelembung ditunjukkan pada Gambar 1. Udara terkontaminasi yang dihasilkan oleh injeksi cairan toluen dalam aliran udara kering (1). Laju alir dikendalikan oleh *flow meter* massa (2) dan diset ke 100 L/jam. Injeksi dilakukan

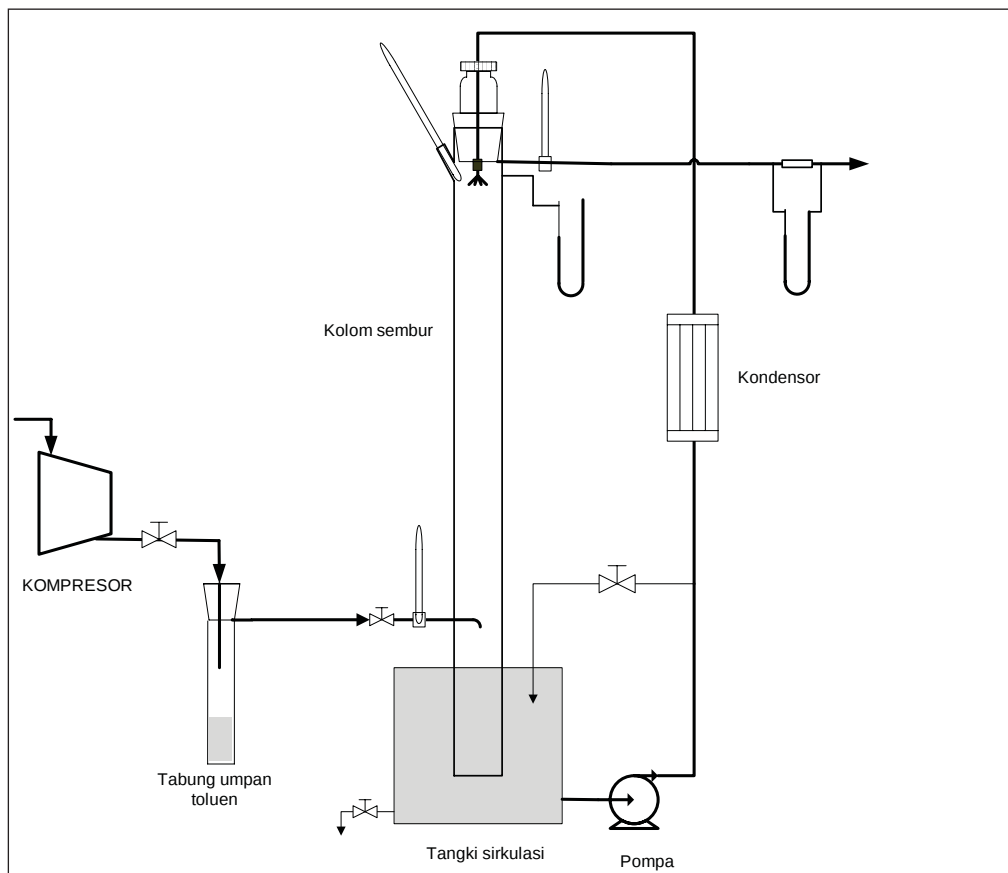
dengan alat berupa jarum suntik (3) yang sesuai dengan target konsentrasi gas $C_{G,in} = 0,37-3,7 \text{ g/m}^3$. Homogenitas konsentrasi gas diperoleh dalam labu (4) selanjutnya aliran gas keluar dari labu ke cairan penyerap. Sistem tersebut dioperasikan dalam ruang dengan temperatur (25°C) (5). Gas yang masuk dan keluar dianalisis oleh *Flame-Ionization Detector FID (COSMA Grafit 730, Prancis)* (6), dan pengukur temperatur (7).

Untuk reaktor semi *batch*, persamaan neraca massanya adalah:¹

$$Q_g C_{g,in} = Q_g C_{g,out}(t) + V_L \frac{dC_L(t)}{dt} \quad (2)$$

di mana Q_g adalah aliran menilai, V_L adalah volume penyerap, $C_{g,in}$ dan $C_{g,out}$, konsentrasi toluen dalam aliran gas yang masuk dan keluar. Konsentrasi toluen dalam fasa cair $C_L(t)$ dapat dinyatakan oleh:

$$C_L(t) = \frac{Q_g}{V_L} (C_{g,in} t - \int C_{g,out}(t) dt) \quad (3)$$



Gambar 2. Skema rangkaian alat percobaan

Jumlah toluen yang tidak terserap diberikan oleh integral dan dihitung dengan integrasi numerik. Hasil perhitungan variasi dari konsentrasi toluen dalam fasa cair adalah sebagai fungsi waktu. Batas nilai konsentrasi kejenuhan adalah C_s .

Tujuan penelitian dan pengembangan absorpsi toluen dalam kolom sembur dengan memanfaatkan minyak goreng bekas sebagai cairan penyerap adalah:

- Menentukan nilai $K_L a$ dan mengevaluasi kinerja kolom sembur untuk penyerapan sistem gas-cair menggunakan toluen sebagai tar model.
- Mengukur parameter operasi dan laju absorpsi komponen tar dalam air dan campuran air dan minyak goreng bekas.

METODE PENELITIAN

Metodologi penelitian ini berupa pengembangan sistem pembersih gas produser. Penelitian dilakukan dengan model gas produser berupa toluen fasa gas dalam udara dan menggunakan air dan campuran minyak goreng bekas dengan air. Percobaan dilakukan dalam skala laboratorium dengan menggunakan kolom sembur, dengan variasi laju alir cairan dan gas, konsentrasi toluen dalam udara sebagai model gas produser dan temperatur cairan dalam tangki sirkulasi saat penyerapan.

Pemilihan toluen sebagai model tar karena toluen mewakili komponen tar fraksi ringan kelas 3. Pemilihan toluen sebagai komponen model tar didasarkan pada hasil penelitian yang dilakukan oleh ECN, bahwa efisiensi pemisahan kelas 3 adalah 97%, sedangkan efisiensi pemisahan tar untuk kelas-kelas yang lain dapat mencapai 100%.³ Dari aspek pengadaan bahan, toluen mudah diperoleh.

Kinerja kolom sembur akan dievaluasi, cairan penyerap yang akan diuji dalam penelitian ini berupa air dan campuran minyak goreng bekas dengan air pada komposisi minyak 5,4% massa dan 10,8% massa. Pemilihan jenis minyak segar didasarkan keberhasilan penelitian sebelumnya dalam mengabsorpsi toluen sebagai model tar. Minyak dengan berat molekul yang besar atau ukuran molekul yang besar lebih mudah

membentuk ikatan London yang berperan dalam pelarutan senyawa nonpolar. Viskositas sangat berpengaruh terhadap koefisien difusi. Semakin tinggi viskositas koefisien difusi semakin rendah sehingga laju transfer massa akan turun.⁴ Minyak goreng bekas juga diperkirakan mempunyai kapasitas penyerapan yang besar.

Penelitian ini merupakan studi awal dari pengembangan sistem pembersih gas produser. Percobaan penyerapan dengan kolom sembur skala laboratorium mencakup pembuatan toluen sebagai model gas produser. Penyerapan komponen toluen sebagai model tar dihitung dari hasil analisis konsentrasi toluen masuk dengan keluar menggunakan *Gas Chromatography-Flame Ionization Detector* (GC-FID).⁵ GC Model gas produser diperoleh dengan cara mengalirkan udara di atas uap toluen dalam tabung umpan toluen. Udara dengan kandungan komponen model tar tersebut kemudian diumpankan ke dalam kolom sembur untuk penyerapan komponen tar. Percobaan dilakukan pada kondisi temperatur operasi yang dipilih selama waktu operasi sekitar 180 menit. Jumlah komponen model tar yang terserap di dalam cairan penyerap setelah waktu operasi sekitar 180 menit diukur menggunakan GC.

Dari percobaan tersebut diperoleh hasil berupa laju penyerapan komponen model tar di dalam cairan penyerap data konsentrasi kejenuhan model tar dalam cairan penyerap. Pada penelitian ini turut dihitung nilai koefisien transfer massa volumetrik fasa cair $K_L a$. Nilai $K_L a$ bermanfaat untuk perancangan alat kontak gas-cair. Data-data penelitian dan hasil penelitian berupa laju penyerapan komponen model tar dan nilai $K_L a$ kemudian dapat digunakan sebagai dasar dalam studi pemilihan tipe kontaktor gas-cair yang sesuai. Kriteria studi tipe kontaktor meliputi luas kontak. Penelitian pada tahap ini diharapkan dapat menghasilkan suatu rangkuman atau saran-saran untuk pengembangan penelitian lebih lanjut dan perancangan kontaktor gas-cair, khususnya kolom sembur. Skema rangkaian alat percobaan disajikan pada Gambar 2.

HASIL DAN PEMBAHASAN

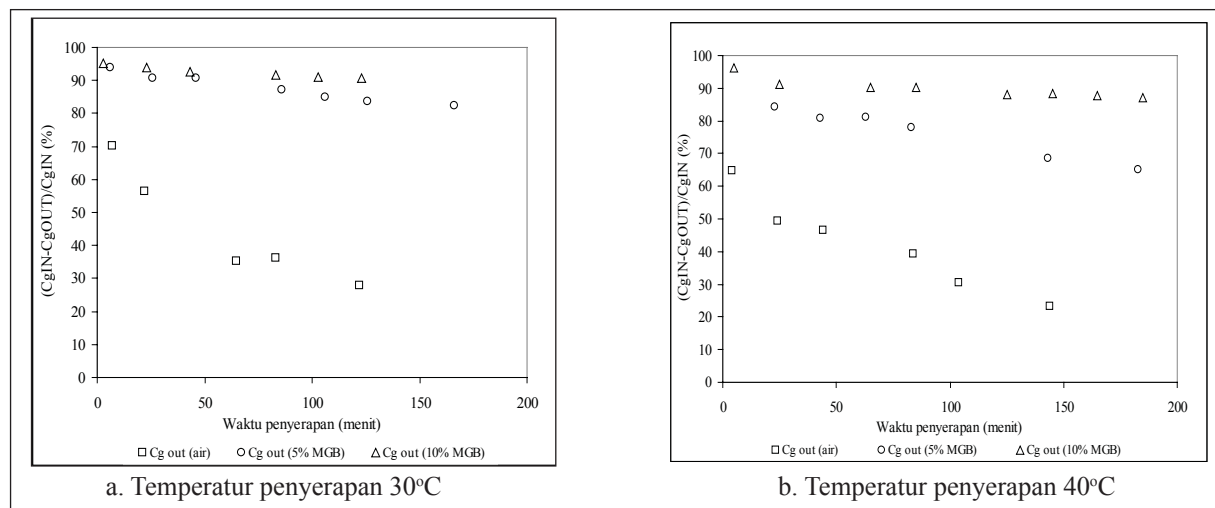
Penelitian tentang kajian absorpsi toluen sebagai model tar menggunakan kolom sembur telah dilakukan dengan variasi parameter operasi

berupa temperatur penyerapan, laju alir gas, laju alir cairan serta jenis dan komposisi cairan penyerap berupa air dan campuran minyak dengan air. Target utama yang diinginkan pada penelitian ini adalah menentukan Nilai $K_L a$, unjuk kerja kolom sembur, laju dan kapasitas penyerapan cairan penyerap yang dalam hal ini minyak nabati yang diwakili minyak goreng bekas.

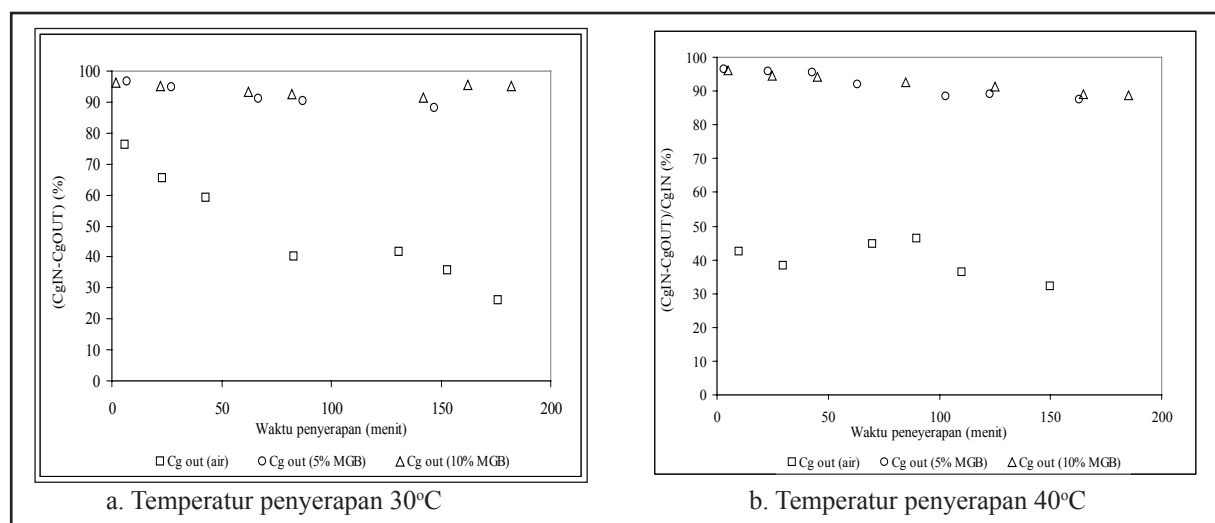
Kapasitas dan Efisiensi Penyerapan

Di dalam setiap percobaan, cairan penyerap (campuran minyak goreng bekas dengan air) disirkulasikan ke dalam kolom sembur, volume

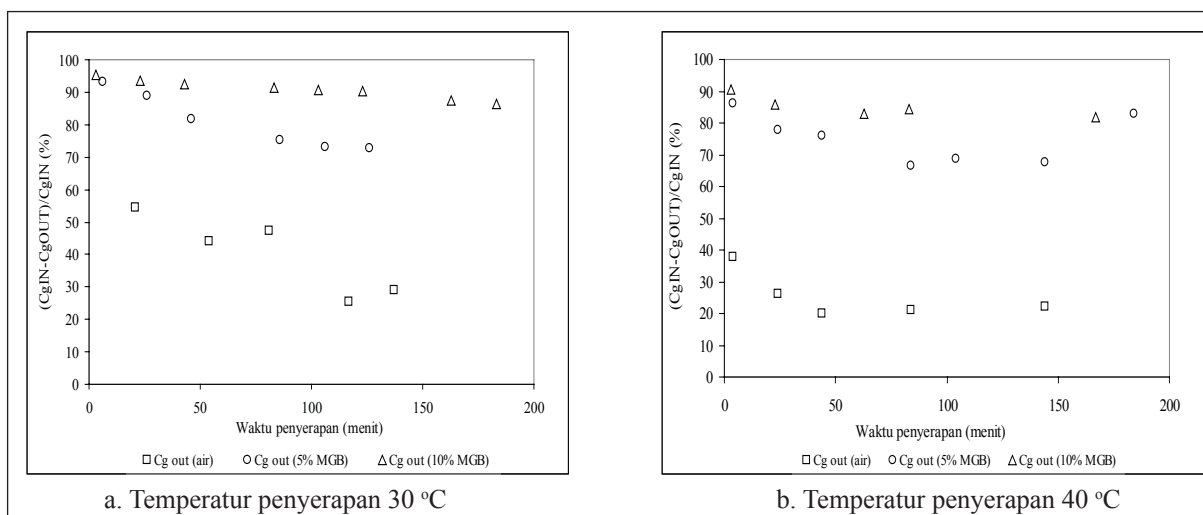
cairan tangki penyerap sebesar 6200 mL dan diusahakan agar sistem dalam tangki penyerap tidak terdapat kebocoran yang memungkinkan toluen yang sudah terserap akan menguap. Di samping itu, udara dalam tangki cairan penyerap diusahakan sekecil mungkin sehingga toluen dalam fasa gas minimal. Pada setiap percobaan nampak bahwa terjadi penyerapan toluen oleh cairan penyerap, makin lama toluen yang terserap semakin tinggi, pada saat konsentrasi toluen fasa gas masuk kolom sembur mendekati atau sama dengan konsentrasi toluen keluar fasa gas maka kejenuhan cairan penyerap oleh toluen mulai terjadi.



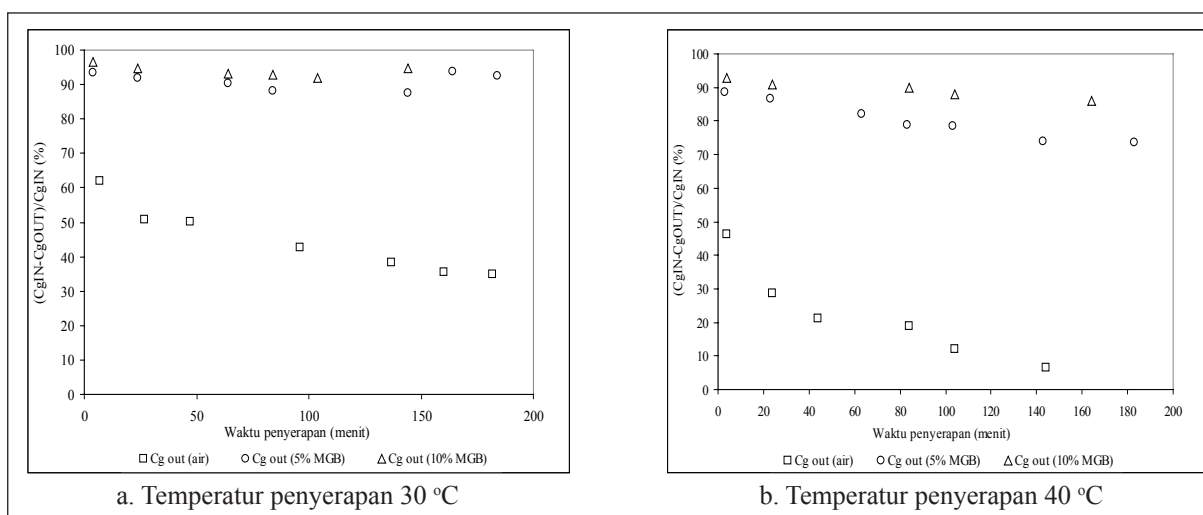
Gambar 3. Efisiensi penyerapan toluen sebagai fungsi waktu. Laju alir gas = 2,58 L/menit dan laju alir cairan = 0,34 L/menit



Gambar 4. Efisiensi penyerapan toluen sebagai fungsi waktu. Laju alir gas = 2,58 L/menit dan laju alir cairan = 0,49 L/menit



Gambar 5. Efisiensi penyerapan toluen sebagai fungsi waktu. Laju alir gas = 3,39 L/menit dan laju alir cairan = 0,34 L/menit



Gambar 6. Efisiensi penyerapan toluen sebagai fungsi waktu. Laju alir gas = 3,39 L/menit dan laju alir cairan = 0,49 L/menit

Dari setiap rangkaian percobaan, dapat dikatakan bahwa campuran minyak goreng bekas dengan air meningkatkan kapasitas penyerapan toluen secara signifikan, dan kapasitas penyerapan secara umum komposisi minyak goreng bekas makin tinggi dapat meningkatkan kapasitas penyerapan. Meskipun demikian, untuk kolom sembur pada komposisi (10,8% massa minyak goreng bekas) tersebut kualitas semburan masih memadai dengan diameter *nozzle* 1 mm dan tekanan 1 bar. Pada komposisi minyak yang lebih besar masih dimungkinkan atau bahkan minyak goreng bekas saja, tetapi dengan tekanan *nozzle* yang lebih besar. Informasi ini dapat dipertimbangkan atau digunakan secara efisien sebagai

cairan penyerap tar model untuk meningkatkan kemampuan air sebagai media penyerap tar.

Pada percobaan efisiensi penyerapan tar toluen oleh cairan penyerap, dengan kondisi operasi pada temperatur kolom absorber 30°C, laju udara 2,580 L/menit dan laju alir semburan 0,34 L/menit (Gambar 3), nampak bahwa untuk air dapat mencapai 70% senyawa tar model toluen dari aliran gas model dapat terserap dengan baik, 93,8% pada komposisi 5,4% minyak goreng bekas dan 95,2% pada komposisi minyak goreng bekas 10,8%. Pada temperatur operasi yang lebih tinggi (40°C), efisiensi penyerapan toluen oleh cairan penyerap semakin berkurang. Untuk air efisiensi penyerapan menjadi sekitar 40%–60%.

Perbedaan efisiensi penyerapan tergantung pada sifat fisika dan kimia dari model tar dan cairan penyerap yang digunakan sebagai media pengabsorpsi model tar. Pada temperatur dan tekanan parsial model tar yang tetap, sifat-sifat fisika yang dapat memengaruhi penyerapan dari model tar adalah densitas, viskositas cairan, kelarutan (*solubility*), dan difusivitas senyawa tar model dalam cairan. Sifat-sifat kimiawi, seperti kepolaran dari model tar dan cairan (minyak dan air) dan bentuk senyawa hidrokarbon alifatik (linier dan nonlinier) atau aromatik dan sifat alamiah hidrofobik dan hidrofilik model tar dapat pula berpengaruh terhadap efisiensi penyerapan model tar tersebut dalam media penyerap.⁴

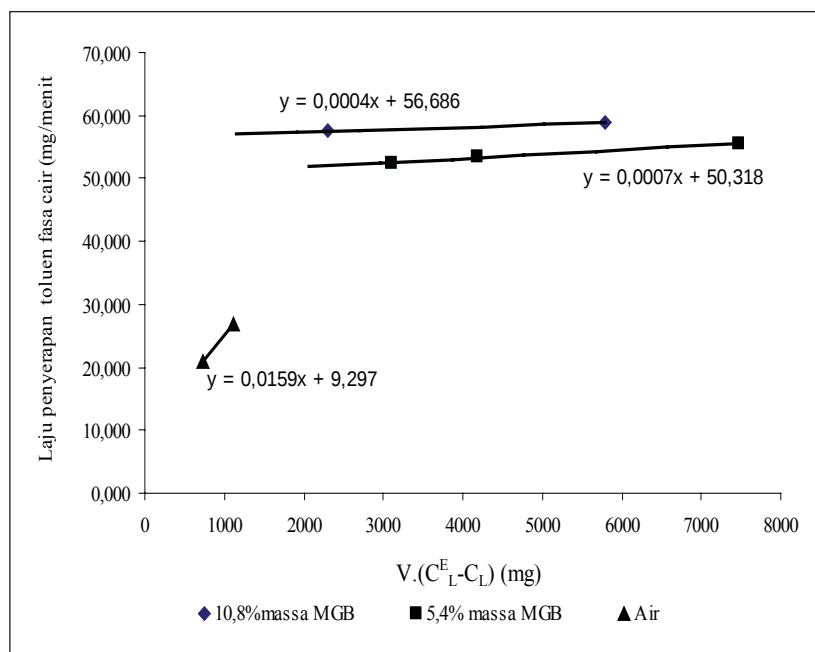
Perbedaan efisiensi penyerapan toluen terhadap berbagai variasi percobaan disajikan dalam Gambar 3, 4, 5, dan 6 pada setiap rangkaian percobaan efisiensi penyerapan model tar yang menurun seiring waktu ketika proses penyerapan terus berlangsung jumlah (konsentrasi) model tar yang terserap dalam cairan penyerap bertambah. Hal ini mengakibatkan efisiensi penyerapan menjadi semakin menurun. Terlihat bahwa tingginya efisiensi penyerapan tar model menyebabkan lama kejenuhan cairan penyerap.

Efisiensi penyerapan ketiga jenis cairan penyerap dengan perbedaan komposisi campuran

secara umum mengalami penurunan efisiensi penyerapan sejalan dengan waktu penyerapan. Sebagai salah satu contoh dari Gambar 3, efisiensi penyerapan pada awal proses untuk air, campuran 5,4% massa minyak, dan campuran 10,8% massa minyak berturut-turut sebesar 70,2%, 93,8%, dan 95,2%. Untuk cairan penyerap air efisiensi penyerapan turun secara tajam hingga 28% setelah 120 menit, sedangkan untuk campuran minyak masih sekitar 85% setelah 180 menit. Pola perubahan kapasitas absorpsi sebagai fungsi waktu semacam ini diperoleh juga untuk kondisi laju aliran gas dan cairan lainnya. Efisiensi penyerapan toluen untuk campuran minyak lebih besar karena sifat minyak yang nonpolar sehingga lebih mudah menyerap toluen. Di samping itu, kapasitas penyerapan menjadi lebih besar dengan hadirnya minyak goreng bekas.

Penentuan Nilai $K_L a$

Nilai $K_L a$ pada penyerapan toluen di dalam cairan penyerap air, campuran 5,4% massa minyak goreng bekas dengan air dan campuran 10,8% massa minyak dengan air berturut-turut adalah $1,59 \cdot 10^{-2}/\text{menit}$, $7 \cdot 10^{-4}/\text{menit}$, dan $4 \cdot 10^{-4}/\text{menit}$. Nilai $K_L a$ diperoleh secara grafik yang disajikan dalam Gambar 7. Nilai $K_L a$ tersebut diperoleh dengan mengalurkan laju penyerapan toluen fasa



Gambar 7. Penentuan $K_L a$ cairan penyedap dalam kolom sembur pada kondisi $T = 30^\circ\text{C}$; $L1=0,34 \text{ L/menit}$; $G1=0,258 \text{ L/menit}$

cair dalam cairan penyerap terhadap jumlah toluen yang terserap, kemiringan kurva adalah nilai $K_L a$.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil percobaan efisiensi penyerapan toluen sebagai fungsi waktu dapat disimpulkan bahwa efisiensi air dalam kolom sembur sebagai cairan penyerap dapat ditingkatkan dengan penambahan minyak nabati (minyak goreng bekas) hingga 10,8% massa.

Sementara itu, percobaan penentuan nilai $K_L a$ kolom sembur pada temperatur operasi 30°C diperoleh untuk air, campuran 5,4% massa minyak dengan air, dan campuran 10,8% massa minyak dengan air berturut-turut sebesar $1,59 \cdot 10^{-2}$ /menit, $7 \cdot 10^{-4}$ /menit, dan $4 \cdot 10^{-4}$ /menit.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Prof. Dr. Herri Susanto karena telah membimbing dan memberikan arahan kepada penulis sehingga karya tulis ini dapat terlaksana dengan baik.

Terima kasih juga saya sampaikan kepada Tanoto Foundation yang telah mendanai penelitian ini hingga selesai.

DAFTAR PUSTAKA

- ¹Heymes, F. et al. 2006. A New Efficient Liquid to Treat Exhaust Air Loaded with Toluene. *Chemical Engineering Journal*, 115: 225–231.
- ²Treybel. 1985. *Mass Transfer Operations* (3rd ed.). New York: McGraw Hill.
- ³Boerrigter, H. et al. 2005. “OLGA” Tar Removal Technology. *Proof of Concept (PoC) for Application in Integrated Biomass Gasification Combined Heat and Power (CHP) Systems*. Netherland: Energy Research Centre of the Netherlands (ECN).
- ⁴Lalanne, F., L. Malhautier, J. C. Roux, and J. L. Fanlo. 2008. Absorption of A Mixture of Volatile Organic Compounds (VOCS) in Aqueous Solutions of Soluble Cutting Oil. *Bioresource Technology*, 99: 1699–1707.
- ⁵Hasler, P. And T. Nussbaumer. 2000. Sampling and Analysis of Particles and Tars from Biomass Gasifiers. *Biomass & Energy*, 18: 61–66.