

KAJIAN EKSPERIMENTAL KINERJA KOLOM-VENTURI DAN KOLOM SEMBUR UNTUK PENYISIHAN TOLUEN SEBAGAI MODEL TAR DARI ALIRAN GAS PRODUSER

Andri Ferdinan dan Herri Susanto

Kelompok Keahlian Energi dan Sistem Pemroses Teknik Kimia, FTI-ITB

Jl. Ganeca No.10 Bandung,40132

Email: herri@che.itb.ac.id

Abstrak

Gas hasil gasifikasi (gas produser) yang terdiri dari : CO , H_2 , CO_2 , CH_4 dan H_2O , dapat digunakan sebagai bahan bakar pada motor diesel atau internal combustion engine jenis lain. Saat ini, sistem pembersih gas konvensional yang murah adalah menggunakan air sebagai penyerap tar dari gas produser. Tetapi sebenarnya, daya serap air terhadap tar terbatas sehubungan dengan perbedaan sifat air dan komponen-komponen tar yang non polar. Karena itu dipertimbangkan penggunaan minyak nabati yang sifat kimianya mirip dengan senyawa penyusun tar, sehingga memiliki kapasitas absorpsi tinggi.

Percobaan absorpsi toluen (sebagai model tar) telah dilakukan dalam dua macam kontraktor gas-cair: kolom sembur (spray tower) dan kolom venturi (venturi scrubber). Kedua jenis kontraktor ini memiliki bagian utama yang sama yaitu; diameter 5 cm dan tinggi 55 cm.

Laju alir cairan penyerap pada kolom sembur 0,148 L/menit dan 0,116 L/menit sedangkan pada kolom venturi laju alir cairan 5,909 L/jam dan 4,260 L/jam. Gas produser diwakili dengan aliran udara yang mengandung toluen, dan aliran gas ini masuk ke dalam kolom sembur dengan laju alir sekitar 0,314 L/menit dan 0,343 L/jam, serta kolom venturi dengan laju alir gas masuk 0,944 L/jam dan 1,187 L/jam.

Efisiensi penyerapan model toluen di dalam kolom sembur dan kolom venturi dapat ditingkatkan. Efisiensi penyerapan kolom sembur 33% (dengan air murni), dan 73% (air ditambah 5%-v minyak). Untuk kolom venturi scrubber, efisiensi penyerapan 13 % (dengan air murni), dan 95 % (dengan minyak murni). Hasil percobaan ini akan dimanfaatkan untuk meningkatkan kinerja sistem pembersih gas produser pada unit-unit gasifikasi biomassa yang telah ada.

Kata kunci : biomassa gasifikasi; venturi-scrubber; spray-column; absorpsi VOC

Abstract

Absorption experiments of toluene in a gas stream have been carried out by using water, a mixture of water and 5%-v vegetable oil, and pure oil vegetable. Two types of absorption column were used, i.e.: spray tower and ventury scrubber.

When using water as absorbing liquid, absorption efficiency in the spray column was 33% meanwhile using of mixture of water and 5%-v vegetable oil absorption, efficiency was 73%. The presence of small amount of oil in the absorbing water could increase the absorption capacity significantly. While, the usage of ventury scrubber, the absorption efficiency of 13% was obtained using water. Fortunately, the ventury scrubber could be operated using pure oil, the absorption efficiency was up to 95%. The ventury scrubber will be applied in the gas cleaning system of a biomass gasification unit.

Key word: biomass gasification; ventury-scrubber; spray-column; VOC absorption

1. Pendahuluan

Kebutuhan energi dunia semakin meningkat seiring dengan terbatasnya sumber minyak bumi yang semakin habis, menyebabkan kepedulian akan energi terbarukan semakin meningkat terutama terhadap sumber energi terbarukan dari sektor pertanian, maupun perkebunan. Pemerintah telah mengeluarkan kebijakan untuk mendorong pemanfaatan sumber energi alternatif, yaitu Peraturan Presiden No.5/2006. Salah satu cara untuk memanfaatkan biomassa adalah dengan teknologi gasifikasi yang mendapatkan perhatian kembali di seluruh dunia akhir-akhir ini.

Dengan ketersediaan biomassa yang berlimpah (terutama limbah biomassa seperti tongkol jagung, sekam padi, kayu, cangkang sawit, batok kelapa) di berbagai daerah dapat dikembangkan melalui teknologi gasifikasi

menjadi sumber energi alternatif. Proses teknologi gasifikasi biomassa dapat menggantikan peran minyak bumi dalam pemenuhan akan kebutuhan energi.

Namun, dalam penerapan teknologi proses gasifikasi biomassa terkendala dengan adanya kandungan tar dalam gas produser. Tar tersebut akan menimbulkan masalah baru dalam pengoperasian proses gasifikasi, seperti rendahnya efisiensi proses serta terjadinya penyumbatan dan kerusakan pada peralatan industri. Hal tersebut menyebabkan biaya yang dibutuhkan dalam proses gasifikasi menjadi semakin besar. Karena itu, diperlukan serangkaian teknologi untuk penyisihan kandungan tar agar menghasilkan gas bersih sesuai dengan yang disyaratkan.

Tujuan penelitian adalah untuk mengevaluasi kinerja kolom sembur dan kolom venturi dengan mengukur efisiensi penyerapan, kapasitas absorpsi dan koefisien perpindahan massa fasa cair.

2. Landasan Teori

Absorpsi gas adalah operasi dimana campuran gas dikontakkan dengan cairan untuk melarutkan satu atau lebih komponen yang berada di dalam fasa gas atau untuk menyediakan cairan dengan solut tertentu. Mekanisme perpindahan massa gas cair (dua fasa) adalah sebagai berikut :

- perpindahan massa dari fase gas ke *interface* (antarmuka)
- perpindahan massa pada *interface* (antarmuka)
- perpindahan massa dari *interface* (antarmuka) ke fase cair

Perpindahan massa toluen dari fasa gas ke fasa cair dikendalikan oleh hambatan pada film fasa cair. Koefisien perpindahan massa dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\frac{dC_{AL}}{dt} = K_{La} \cdot (C_A^* - C_{AL}) \quad (I)$$

dengan: C_{AL} = konsentrasi A (toluen, solut) didalam fasa cair, berubah sepanjang waktu

C_A^* = konsentrasi A dalam fasa cair yang berkesetimbangan dengan fasa gas

K_{La} = koefisien pindah massa A dalam film fasa cair

Konsentrasi toluen dalam fasa cair (C_{AL}) dihitung dari perubahan konsentrasinya di fasa gas dengan persamaan neraca massa [Heymes, et.al., 2006]:

$$C_{AL} \cdot V_L = Q_G \cdot \int (C_{G,i} - C_{G,o}) \cdot dt \quad (II)$$

dengan Q_G = laju aliran gas

V_L = volume cairan penyerap total

$C_{G,i}$ dan $C_{G,o}$ = konsentrasi uap toluen dalam aliran gas yang masuk dan keluar

Hukum Henry digunakan untuk mendapatkan hubungan antara konsentrasi kesetimbangan solut difasa gas terhadap konsentrasi solut di fasa cair. Secara sederhana konstanta Henry dapat dihitung dengan persamaan :

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

Koefisien pindah massa dan konstanta Henry juga dihitung dari data percobaan dengan persamaan berikut:

$$C_{AL} = \left(\frac{1}{H} + \frac{Q}{K_{La}} \right) C_L - \frac{Q}{K_{La}} C_{G,i,in} \quad (IV)$$

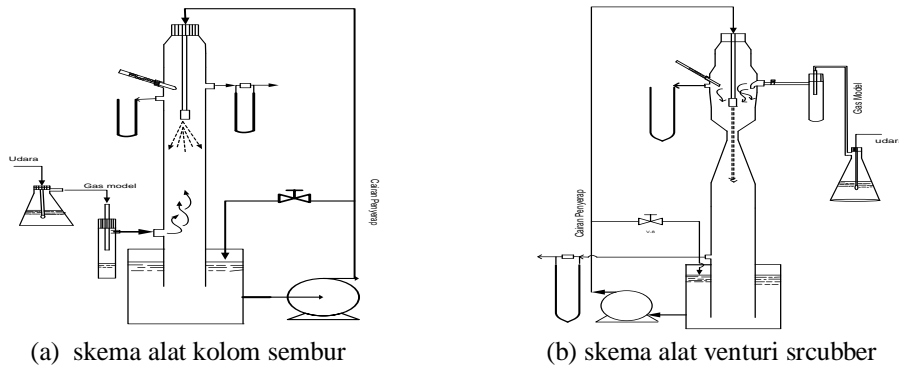
$$\text{Gradien} = \frac{1}{H} + \frac{Q}{K_{La}} \quad ; \quad \text{Intersep} = - \frac{Q}{K_{La}} C_{G,i,in}$$

3. Metodologi

Penelitian ini merupakan pengembangan dari sistem pembersih gas produser, dengan menggunakan toluen dalam udara sebagai model gas produser sedangkan air, campuran minyak dan minyak digunakan sebagai solven. Absorpsi toluen dihitung dengan mengambil sampel menggunakan *syring* gas dari aliran gas masuk dan keluar kolom sembur dan kolom venturi yang kemudian dianalisa dengan GC-FID.

Penelitian dilakukan dalam skala laboratorium menggunakan kolom sembur dan kolom venturi dengan variasi suhu solven, laju alir solven dan laju alir gas masuk dalam kolom. Toluene diuapkan dengan mengalirkan udara dari kompresor yang mempunyai laju alir 99 L/menit; tekanan udara kompresor 7 kg/cm² dialirkan kedalam botol umpan toluen. Gas model kemudian diumpankan kedalam kolom dan mengalir secara *counter current* (kolom sembur) dan *co-current* (kolom venturi) terhadap solven. Solven diumpankan kedalam kolom melalui nozel (diameter 1 mm) dengan menggunakan pompa *centrifugal*.

Solven yang dipakai kolom sembur dan kolom venturi berupa air, campuran (air + 5% -v minyak) dan minyak murni yang diumpankan ke dalam tangki dengan kapasitas 6500 ml dan 5000 ml. Laju alir solven masuk pada kolom sembur solven 0,148 L/menit dan 0,116 L/menit dan laju alir gas masuk 0.314 L/menit dan 0.343 L/menit pada suhu 30 °C dan 40 °C. Pada kolom venturi laju solven masuk 4,26L/menit dan 5,909 L/menit, dengan laju alir gas masuk 0,944 L/menit dan 1,187L/menit.



(a) skema alat kolom sembur

(b) skema alat venturi scrubber

Gambar 1. Skema alat percobaan

4. Hasil dan Pembahasan

Variabel penelitian secara keseluruhan dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2;

Tabel 1. Variabel percobaan absorpsi toluen dengan solven air

Keterangan	Kolom Sembur								Venturi Scrubber					
	30				40				30	35	40			
Jenis Cairan Penyerap	Air								Air	Air	Air			
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S7	V1	V2	V3	V4	V5	V6
Laju alir gas masuk (L/menit)	0,314	0,343	0,314	0,343	0,314	0,343	0,314	0,343	0,944	1,187	0,944	1,187	0,944	1,187
Laju alir cairan masuk (L/menit)	0,148	0,148	0,116	0,116	0,148	0,148	0,116	0,116	5,909	5,909	5,909	5,909	5,909	5,909
Konsentrasi toluen (mg/L) ; Cg,in	0,001	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,010	0,009	0,012	0,011	0,011	0,012	0,011	0,013
Konsentrasi toluen (mg/L); Cg,out	0,007	0,007	0,007	0,007	0,009	0,009	0,009	0,008	0,011	0,010	0,010	0,010	0,010	0,014
Jumlah cairan penyerap d tangki	6200 ml								6500 ml					

Tabel 2. Variabel percobaan absorpsi toluen dengan solven 5%-v minyak dalam air dan minyak

Keterangan	Kolom Sembur				Venturi Scrubber			
	Air + 5% minyak		Air + 5% minyak		Minyak 100%		Minyak 100%	
Jenis Cairan Penyerap	Air + 5% minyak		Air + 5% minyak		Minyak 100%		Minyak 100%	
Temperatur (°C)	35		40		35		45	
	S8	S9	S10	S11	V7	V8	V9	V10
Laju alir gas masuk (L/menit);	0,314	0,343	0,314	0,343	0,944	1,187	0,944	1,187
Laju alir cairan masuk (L/menit):	0,148	0,148	0,148	0,148	4,260	4,260	4,260	4,260
Konsentrasi toluen (mg/L) ;	0,012	0,004	0,004	0,045	0,015	0,015	0,015	0,01
Konsentrasi toluene (mg/L) ;	0,003	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Diameter Kolom	50 mm				50 mm			
Diameter nozel	1 mm				1 mm			
Tinggi Kolom	1030 mm				1060 mm			
Tinggi Kontak udara toluen	550 mm				550 mm			
Jumlah penyerap	6200 ml				5000 ml			
Arah aliran	Counter Current				Co-Current			

Table 3. Hasil kesetimbangan massa dan konstanta Henry pada kolom sembur dengan solven air

Temperatur	Laju alir (L/menit)		K_{La} (mg/menit)	K_{Ga} (mg/menit)	H	1/H
	Gas masuk	Solven				
30 °C	0,314	0,148	0,023	0,385	0,061	17
40 °C	0,314	0,148	0,031	0,223	0,138	7
30 °C	0,343	0,148	0,004	0,176	0,023	43
40 °C	0,343	0,148	0,052	0,288	0,129	7
30 °C	0,314	0,116	0,022	0,237	0,092	11
40 °C	0,314	0,116	0,032	0,281	0,113	9
30 °C	0,343	0,116	0,014	0,216	0,064	16
40 °C	0,343	0,116	0,031	0,227	0,138	7

Table 4. Hasil kesetimbangan massa dan konstanta Henry pada kolom sembur dengan solven air + 5%-v minyak

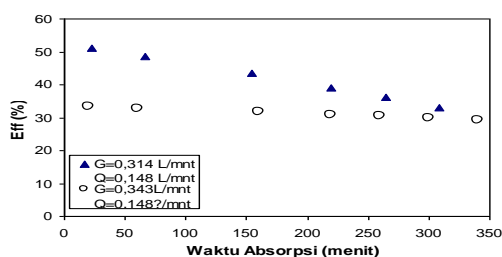
Tempertur	Laju alir (L/menit)		K_{La} (mg/menit)	K_{Ga} (mg/menit)	H	1/H
	Gas masuk	Solven				
30 °C	0,314	0,148	0,051	3,083	0,016	61
40 °C	0,343	0,148	0,015	1,653	0,009	112

Table 5. Hasil kesetimbangan massa dan konstanta Henry pada kolom venturi dengan solven air

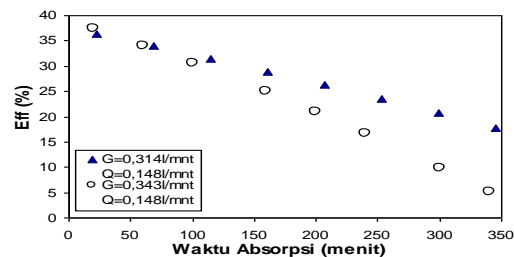
Temperatur	Laju alir (L/menit)		K_{La} (mg/menit)	K_{Ga} (mg/menit)	H	1/H
	Gas masuk	Solven				
30 °C	0,944	5,909	0,047	0,748	0,063	16
40 °C	0,944	5,799	0,036	0,580	0,063	16
30 °C	1,187	5,909	0,059	0,927	0,064	16
40 °C	1,187	5,799	0,091	0,794	0,115	9

Table 6. Hasil kesetimbangan massa dan konstanta Henry pada kolom venturi dengan solven minyak

Temperatur	Laju alir (L/menit)		K_{La} (mg/menit)	K_{Ga} (mg/menit)	H	1/H
	Gas masuk	Solven				
35 °C	0,944	4,260	0,013	35,616	0,0004	2660
40 °C	0,944	4,260	0,004	21,847	0,0002	6126
35 °C	1,187	4,260	0,013	22,773	0,0006	1703
40 °C	1,187	4,260	0,011	12,731	0,0005	2160

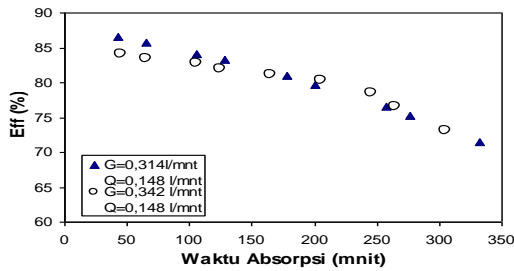


(a) Laju alir $Q = 0,148$ l/menit $T = 30^\circ C$

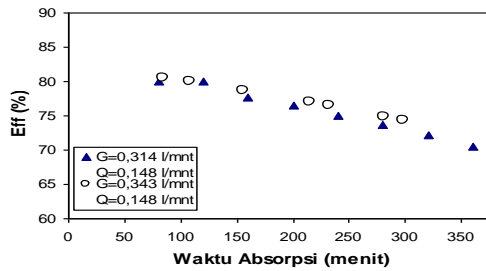


(b) Laju alir $Q = 0,148$ l/menit $T = 40^\circ C$

Gambar 3. Efisiensi absorpsi toluen dengan solven air pada kolom sembur

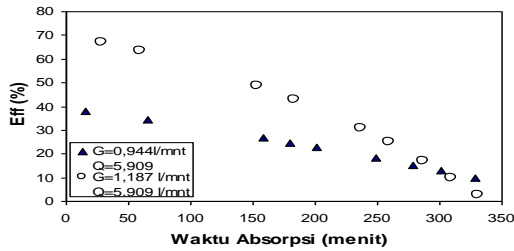


(c) Laju alir $Q = 0,148$ l/menit $T = 35^{\circ}\text{C}$

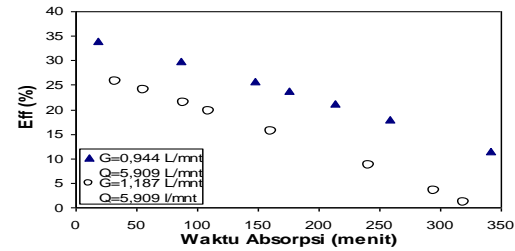


(d) Laju alir $Q = 0,148$ l/menit $T = 40^{\circ}\text{C}$

Gambar 4. Efisiensi absorpsi toluen dengan solven air+5%-vminyak pada kolom sembur

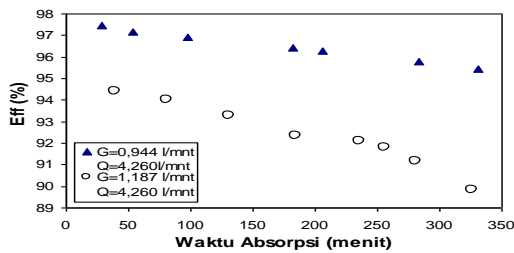


(e) Laju alir $Q = 5,909$ l/menit $T = 35^{\circ}\text{C}$

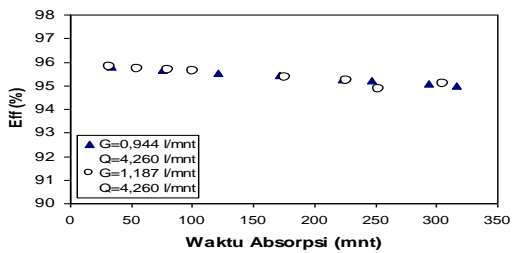


(f) Laju alir $Q = 5,909$ l/menit $T = 40^{\circ}\text{C}$

Gambar 5. Efisiensi absorpsi toluen dengan solven air pada kolom venturi



(g) Laju alir $Q = 5,909$ l/menit $T = 35^{\circ}\text{C}$



(h) Laju alir $Q = 5,909$ l/menit $T = 40^{\circ}\text{C}$

Gambar 6. Efisiensi absorpsi toluen dengan solven minyak pada kolom venture

Tabel 7. Efisiensi Absorpsi toluen pada kolom sembur

No	Laju Alir (L/menit)		Efisiensi absorpsi			
	Gas	Solven	Solven air		Solven air + 5% -v minyak	
			T = 30°C	T = 40°C	T = 35°C	T = 40°C
1	0,314	0,148	33,01 %	17,72 %	71,50 %	70,51 %
2	0,343	0,148	29,52 %	7,57 %	73,16 %	72,76 %

Tabel 8. Efisiensi Absorpsi toluen pada kolom venturi

No	Laju Alir (L/menit)		Efisiensi absorpsi		
	Gas	Solven	Solven air		
			T = 30°C	T = 35°C	T = 40°C
1	0,944	5,909	10,00 %	11,02 %	13,36 %
2	1,187	5,909	2,85 %	6,92 %	1,31 %
			Solven Minyak		
			T = 35°C	T = 40°C	
3	0,944	4,260	95,43 %	95,00 %	
4	1,187	4,260	91,16 %	95,07 %	

Dari data percobaan yang disajikan pada Gambar 3 dan Gambar 4 pada kolom sembur, nampak bahwa dengan penambahan minyak dalam solven air dapat meningkatkan efisiensi absorpsi. Penambahan 5% -v minyak pada solven air, efisiensi absorpsi dapat mencapai 73%, lebih besar dibandingkan dengan hanya solven air berkisar 33%, seperti terlihat pada Tabel 7.

Pada Gambar 5 dan Gambar 6, penggunaan solven minyak dapat menyerap toluen lebih baik dari pada solven air. Efisiensi absorpsi toluen dengan solven minyak pada kolom venturi dapat mencapai 95%, lebih baik daripada solven air yang hanya 13%, seperti terlihat pada Tabel 8. Besar kapasitas absorpsi toluen direpresentasikan dengan nilai konstanta Henry ($1/H$), seperti dipaparkan pada tabel 3 sampai Tabel 6.

Perbedaan kapasitas absorpsi antara minyak dan air disebabkan oleh sifat fisik dan sifat kimia yang berbeda. Minyak bersifat *non-polar*, sedangkan air bersifat *polar*. Penambahan minyak dalam air akan mempengaruhi sifat kepolaran dari air, disamping dapat meningkatkan viskositas solven. Viskositas solven yang tinggi akan menurunkan perpindahan massa toluen dalam solven, yang ditunjukkan dengan menurunnya K_{La} dan K_{Ga} seperti terlihat pada Tabel 4.

Koefisien pindah massa di fasa cair lebih rendah dibandingkan koefisien perpindahan massa di fasa gas (lihat Tabel 4, Tabel 5, dan Tabel 6). Fenomena ini biasanya terjadi pada proses absorpsi gas yang sukar larut dalam solven termasuk toluen dalam percobaan ini.

Peningkatan laju alir solven, laju alir gas, dan suhu solven, menyebabkan nilai koefisien pindah massa fasa cair (K_{La}) dan koefisien pindah massa fasa gas (K_{Ga}) cenderung menurun. Hal tersebut diduga karena penurunan waktu kontak antara gas dan solven, serta memperbesar *droplet* minyak yang menyebabkan tahanan massa antarmuka meningkat. Kapasitas absorpsi menjadi menurun yang direpresentasikan oleh nilai-nilai konstanta Henry, seperti terlihat pada Tabel 6.

5. Kesimpulan

Minyak dapat digunakan sebagai solven penyerap tar pada sistem pembersih gas produser gasifikasi biomassa. Penambahan minyak dalam solven air dapat meningkatkan efisiensi dan kapasitas absorpsi, sehingga dimungkinkan pemilihan kolom sembur sebagai unit pembersih tar pada gasifikasi biomassa.

Ucapan Terima kasih

Penelitian ini merupakan salah satu bagian dari proyek *Pengembangan Technology Gasifikasi Biomassa Ramah Lingkungan* yang didanai oleh *Tanoto Professorship Award*.

Daftar Pustaka

- EPA-CICA Fact Sheet. (1995). " *Air Pollution Technology Fact Sheet*".
- Heymes,F., Demoustier,P.M., Charbit,F.,Fanlo,J.L., dan Moulin,P. (2006). " *A New Efficient absorption Liquid to Treat Exhaust Air Loaded with Toluene*". Chemical Engineering Journal.
- Pulley,R.A., (1997). " *Modelling the Performance of Venturi Scrubber*". Chemical Engineering Journal
- Suharto, dan Herri Susanto,. (2010). " *Penentuan Effisiensi Penyerapan Kolom Sembur Untuk Penyisihan Toluene Sebagai Model Tar Dari Aliran Gas*". Seminar Nasional Pengembangan Riset dan Teknologi di Bidang Industri ke-16, FT-UGM, Yogyakarta.
- Susanto, Herri,. (1999). " *Teknologi Gasifikasi Salah Satu Krisis Energi*". Departemen Teknik Kimia,FTI-ITB,Bandung.
- Wusana Agung Nugroho, dan Herri Susanto,. (2009). " *Transfer Massa Gas-Cair Pada Absorpsi Komponen Tar dalam Minyak*". Seminar Nasional Teknik Kimia Indonesia.