

660.284245

BUC

p 9

DOSEN MUDA



LAPORAN KEGIATAN

PEMODELAN DUA DIMENSI DAN EKSPERIMENTAL PENGOLAHAN EMISI GAS BUANG DENGAN KONTAKTOR MEMBRAN

Oleh :

Luqman Buchori, ST, MT
Nita Aryanti, ST, MT
Dyah Hesti Wardhani, ST, MT

Dibiayai Oleh Proyek Peningkatan Penelitian pendidikan tinggi Direktorat
Jenderal Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan nasional, sesuai
dengan Surat Perjanjian Pelaksanaan Penelitian Dosen muda, Studi Kajian
Wanita dan Sosial Keagamaan
Nomor: 103/P4T/DPPM/DM,SKW,SOSAG/III/2004 tanggal 25 Maret 2004

FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS DIPONEGORO
Oktober, 2004

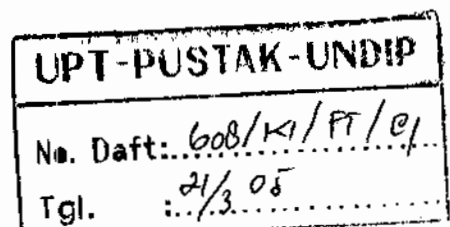
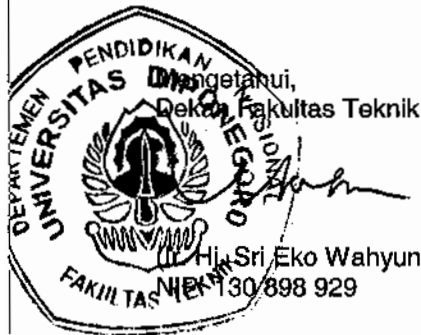
**LEMBAR IDENTITAS DAN PENGESAHAN LAPORAN AKHIR
HASIL PENELITIAN DOSEN MUDA**

1. a. Judul Penelitian :
PEMODELAN DUA DIMENSI DAN EKSPERIMENTAL PENGOLAHAN EMISI GAS
BUANG DENGAN KONTAKTOR MEMBRAN
- b. Kategori Penelitian : I / II / III
2. Ketua Peneliti
- | | |
|-------------------------------------|---|
| a. Nama Lengkap dan Gelar | : Luqman Buchori, ST, MT |
| b. Jenis Kelamin | : L / P |
| c. Pangkat/Golongan/NIP | : Penata Muda Tk. I / III B / 132164109 |
| d. Jabatan Fungsional | : Asisten Ahli |
| e. Fakultas/Jurusan | : Teknik/Teknik Kimia |
| f. Univ/Inst/Akademi/Sekolah Tinggi | : Universitas Diponegoro |
| g. Bidang Ilmu yang Diteliti | : Teknologi Membran |
3. Jumlah Tim Peneliti : 2 orang
4. Lokasi Penelitian : Laboratorium Proses Universitas Diponegoro
5. Jangka Waktu Penelitian : 9 bulan
6. Biaya yang diperlukan : Rp. 6.000.000,-
(Enam Juta Rupiah)

Semarang, Oktober 2004

Ketua Tim Peneliti Pengusul,

(Luqman Buchori, ST, MT)
NIP. 132 164 109



RINGKASAN DAN SUMMARY

PEMODELAN DUA DIMENSI DAN EKSPERIMENTAL PENGOLAHAN EMISI GAS BUANG DENGAN KONTAKTOR MEMBRAN

L. Buchori, N. Aryanti dan D. H. Wardhani

Tahun Penulisan Laporan : 2004, Jumlah Halaman: 35

Kandungan SO_2 dan NO_2 pada gas buang dapat menimbulkan masalah pada lingkungan. Sementara itu proses-proses konvensional yang diterapkan selama ini masih mempunyai kelemahan-kelemahan yang mengurangi kinerja proses pengolahan gas buang tersebut. Dalam penelitian ini akan dikembangkan metode berbasis membran untuk mengatasi kelemahan-kelemahan proses konvensional. Untuk mengetahui fenomena yang terjadi di dalam membran, perlu dilakukan penelitian yang bersifat mikroskopis. Namun penelitian mikroskopis memerlukan peralatan yang sangat rumit dan harganya mahal. Berdasarkan pada keterbatasan ini, diperlukan suatu pemodelan kontaktor membran yang dapat menjelaskan fenomena dalam kontaktor membran. Penelitian ini akan difokuskan pada pemodelan kontaktor membran yang lebih komprehensif yaitu pemodelan dua dimensi dan eksperimen. Eksperimen diperlukan untuk validasi hasil pemodelan yang dilakukan.

Secara umum tujuan penelitian ini adalah mengembangkan metode berbasis membran menggunakan kontaktor membran untuk pengolahan gas buang. Secara khusus, tujuan penelitian ini adalah menyusun suatu model dua dimensi kontaktor membran untuk pengolahan gas buang, menentukan profil distribusi aliran sepanjang fiber, menentukan profil distribusi konsentrasi sepanjang fiber, menentukan panjang fiber efektif yang digunakan sebagai kontaktor membran dan desain modul membran yang sesuai untuk kontaktor membran.

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahap yaitu : penentuan koefisien perpindahan massa, penyusunan model kontaktor membran, penyelesaian model kontaktor membran, eksperimen dan analisis hasil dan simulasi. Koefisien perpindahan massa dihitung dengan mempertimbangkan tahanan pada fasa gas, fasa cair dan tahanan pada membran. Penyelesaian model dilakukan dengan metode numerik. Eksperimen dan analisis hasil digunakan sebagai validasi model.

Dari hasil pemodelan perpindahan massa dapat disimpulkan bahwa pada kondisi percobaan (Temperatur 27°C , tekanan 0,89 bar) *ordinary molecular diffusion* dan difusi Knudsen harus diperhitungkan. Pemodelan perpindahan massa menggunakan korelasi Semmens menunjukkan adanya kesesuaian dengan

hasil percobaan. Secara umum, peningkatan laju alir gas akan meningkatkan besarnya fluks permeasi SO_2 . Pada rentang konsentrasi sorben 0,15N- 0,39N, hambatan akibat reaksi pada fasa cair dapat diabaikan dan ada batasan maksimal fluks yang dapat dicapai.

Pemodelan dua dimensi terhadap kontaktor membran menunjukkan bahwa pemodelan kontaktor membran dengan asumsi membran dianggap sebagai silinder porous lebih sesuai dengan pendekatan model Brinkman-Darcy. Dari hasil pemodelan tersebut dapat ditentukan panjang fiber yang efektif untuk kondisi penelitian ini yaitu dengan fiber sepanjang 0.19 m.

TWO DIMENSIONAL MODEL AND EXPERIMENTAL OF FLUE GAS CLEANING BY MEMBRANE CONTACTOR

L. Buchori, N. Aryanti dan D. H. Wardhani

Year : 2004, Number of page: 35

SO_2 and NO_2 content of flue gas is the main source of environmental problems. Meanwhile, the application of conventional processes have several limitations that reduce the flue gas cleaning performance. In this research, membrane based process to solve conventional process limitations was developed. In order to understand the phenomena inside membrane, the microscopic research should be conducted. However, the microscopic research require sophisticated instrumentation and high cost. Based on this limitation, modeling of membrane contactor is necessary in order to understand the membrane phenomena. This research focused on more comprehensive model that is two dimensional model and experimental. The experiment is required to validate the model prediction.

In general, the aim of the research is to develop membrane based process using a membrane contactor for flue gas cleaning. Specifically, the objective of the research are to arrange a two dimensional model of membrane contactor for flue gas cleaning, to consider profile of velocity distribution along fiber length, profile of concentration distribution along fiber length, effective fiber length and module design of membrane contactor.

The research was divided into several steps, that are the consideration of mass transfer coefficient, the arrangement of membrane contactor models, the solution of membrane contactor models, experiments and analysis, and simulation. Mass transfer coefficient was calculated by considering resistance at gas phase, liquid phase and

membrane. The solution of model was carried out using numerical method. Experiment and analysis was used in order to validate the model.

From the mass transfer model, it is concluded that at Temperature of 27°C and pressure of 0.89 bar, both ordinary molecular diffusion and Knudsen diffusion must be considered. Mass transfer model by Semmens correlation shown the suitable result compared to the experiment. In general, the increase of gas flow rate result on the higher flux of SO₂. At sorben concentration from 0.15 N to 0.39 N, resistance due to liquid phase reaction could be neglected. In addition, there was a limitation of maximum flux obtained.

Two dimensional model of membrane contactor shown that model based on membrane as a porous cylinder was more suitable with Brinkman-Darcy Model approximation. Furthermore, it was concluded that the effective fiber length is 0.19 m.

PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Allah swt atas terselesaikannya penulisan laporan penelitian Dosen Muda ini. Penelitian ini berjudul "Pemodelan Dua Dimensi dan Eksperimental Pengolahan Emisi Gas Buang dengan Kontaktor Membran."

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Departemen pendidikan Nasional yang telah membiayai penelitian ini dan semua pihak yang membantu pelaksanaan penelitian ini.

Kritik dan saran untuk perbaikan laporan ini sangat diharapkan. Akhir kata semoga penelitian ini bermanfaat bagi yang membutuhkan.

Peneliti

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
RINGKASAN DAN SUMMARY	ii
PRAKATA	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
I. PENDAHULUAN	1
II. TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1. Konsep Kontaktor Membran	3
2.2. Pemilihan Membran	7
2.3. Pemilihan Sorben	8
2.4. Modul <i>Hollow Fiber</i>	9
III. METODE PENELITIAN	11
3.1. Penyusunan Model Kontaktor Membran	11
3.2. Penyelesaian Persamaan Model Dua Dimensi	15
3.3. Eksperimen dan analisis hasil	17
3.4. Simulasi	18
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	19
4.1. Pemodelan Perpindahan Massa	19
4.2. Pemodelan Kontaktor Membran	23
4.3. Penentuan Panjang Fiber Efektif	29
V. KESIMPULAN DAN SARAN	32
5.1. Kesimpulan	32
5.2. Saran	32
DAFTAR PUSTAKA	33
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1.1. Komposisi Gas Buang	1
Tabel 4.1. Persamaan korelasi pada membrane <i>hollow fiber</i>	20
Tabel 4.2. Harga Koefisien Perpindahan Massa pada Fase Gas	20
Tabel 4.3. Parameter yang Digunakan dalam Pemodelan	23
Tabel 4.4. Spesifikasi membrane yang digunakan oleh Pangrle, dkk	24
Tabel 4.5. Perbandingan Kontaktor Hollow Fiber dan packed Column	30
Tabel 4.6. Analisis dimensi kontaktor untuk scrubber konvensional dan Kontaktor Membran	31

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Daerah Perpindahan Massa dan Tahanan pada Kontaktor Membran	3
Gambar 2.2. Modul <i>hollow fiber</i>	10
Gambar 3.1. Skema Pembagian saerah komputasi pada satu <i>fiber</i>	15
Gambar 3.2. Rangkaian Alat Penelitian	17
Gambar 3.3. Skematik Metodologi Penellitian	18
Gambar 4.1. Grafik Pengaruh Laju Alir Gas Terhadap Fluks	21
Gambar 4.2. Grafik Pengaruh Konsentrasi Sorben terhadap Fluks	21
Gambar 4.3. Pengaruh Laju Alir Sorben Terhadap Fluks	22
Gambar 4.4. Perbandingan antara Data eksperimen dan Model Menggunakan Pendekatan Persamaan Brinkman-Darcy	24
Gambar 4.5. Prediksi profil aliran arah aksial dengan model aliran Darcy dan Brinkman-Darcy pada $z = 0,25$ m, $U_0 = 0,008$ m/s	25
Gambar 4.6. Prediksi kecepatan aliran arah radial menggunakan model Brinkman-Darcy dan Darcy pada $z = 0,25$ m, $U_0 = 0,008$ m/s	25
Gambar 4.7. Perbandingan antara model dan eksperimen untuk berbagai variasi gas pada bagian lumen, $z=0,25$ m dengan konsentrasi sorben 0,256 mol/L	26
Gambar 4.8. Prediksi Prodil Konsentrasi pada arah radial menggunakan model Aliran Darcy dengan $U_0 = 0,8$ m/s	27
Gambar 4.9. Prediksi Profil Konsentrasi pada arah radial menggunakan model Aliran Brinkman-Darcy dengan $U_0 = 0,8$ m/s	27
Gambar 4.10. Prediksi Profil Konsentrasi pada arah aksial menggunakan model aliran Darcy pada $U_0 = 0,8$ m/s	28
Gambar 4.11. Prediksi Profil Konsentrasi pada arah aksial menggunakan Model aliran Brinkman-Darcy pada $U_0 = 0,8$ m/s	28

DAFTAR LAMPIRAN

1. Personalia Penelitian
2. Gambar desain modul Hollow Fiber
3. Pemrograman Komputer

I. PENDAHULUAN

Sebagian besar produksi energi dunia, kurang lebih 89%, diperoleh dari pembakaran bahan bakar fosil seperti minyak, batubara dan gas alam. Proses pembakaran ini menghasilkan gas buang yang sangat mencemari udara. Gas hasil pembakaran yang menjadi sumber polusi udara terutama adalah karbon dioksida (CO_2), karbon monoksida (CO), hidrokarbon (HC), oksida nitrogen (NO_x), oksida belerang (SO_x) dan partikulat. Komposisi gas buang dapat dilihat pada Tabel 1.1 berikut ini.

Tabel 1.1 Komposisi Gas Buang

Komponen	% Volume	
	Pembakaran Minyak (4 % S)	Pembakaran Batu bara (3 % S)
SO_2	0.245	0.245
SO_3	0.005	0.005
O_2	1.0	3.0
CO_2	13.0	15.0
H_2O	10.0	7.0
N_2	76.0	75.0

Selain dari sisi kimiawinya, gas buang hasil pembakaran juga mengakibatkan polusi dari panas yang diemisikan karena temperatur gas buang umumnya berkisar antara 95-115°C. Pembakaran bahan bakar tersebut merupakan sumber utama timbulnya persoalan lingkungan seperti hujan asam, kabut fotokimia, dan perusakan ozon. Untuk mengatasi masalah ini, pemerintah telah mengeluarkan berbagai peraturan standar emisi gas buang, diantaranya Kep-02/MENKLH/I/1998 tentang baku mutu udara ambien dan Kep-13/MENLH/3/1995 tentang baku mutu emisi SO_2 .

Selama ini teknik yang sering digunakan untuk pengolahan gas buang khususnya SO_2 adalah adsorpsi dan *scrubbing*. Pemisahan terjadi melalui fenomena fisik dan dapat dipercepat dengan reaksi menggunakan pelarut tertentu atau dengan tekanan tinggi. Beberapa proses pengolahan gas buang konvensional adalah proses Wellman-Lord dan proses Sitrat. Proses Wellman-Lord pada intinya merupakan proses penyerapan oleh larutan cair Natrium sulfit yang diikuti oleh tahap-tahap regenerasi termal dimana dihasilkan SO_2 dengan konsentrasi tinggi. Sedangkan pada Proses Sitrat, penggunaan Natrium Sulfit diganti dengan Natrium sitrat.

Teknik-teknik tersebut umumnya memerlukan ruang yang besar untuk pengoperasiannya dan biaya investasi yang tinggi. Selain itu penerapan teknik ini juga dibatasi oleh masalah-masalah teknis seperti *loading*, *flooding* dan *entrainment* (Ho, 1992; Mulder, 1996). Proses menggunakan membran dianggap sebagai alternatif yang menarik untuk mengurangi kadar SO_x dan NO_x pada gas buang.

Penggunaan membran untuk proses pembersihan gas buang diawali dengan pemakaian membran mikroporous sebagai alat kontak. Zang dan Cussler (Zhang, 1985) menggunakan membran *hollow fiber* hidrofobik untuk memisahkan zat terlarut yang mudah menguap dari larutan. Dalam penelitian tersebut dipelajari perpindahan massa cair-gas dengan reaksi kimia pada modul *hollow fiber* menggunakan membran mikroporous hidrofobik. Disamping itu, membran mikroporous dapat digunakan sebagai kontaktor gas-cair untuk memisahkan suatu komponen gas dari fasa gasnya. Proses membran seperti ini disebut dengan kontaktor membran. Beberapa peneliti juga telah menggunakan kontaktor membran untuk penyerapan CO_2 dengan larutan Sodium hidroksida (Kreulan, 1993 ; Rangwala, 1996) dan penyerapan SO_2 dalam larutan Sodium sitrat (Iversen, 1997).

Keuntungan utama dalam penggunaan kontaktor membran adalah berkurangnya volume kontaktor yang digunakan dan juga menyebabkan berkurangnya investasi dan biaya operasi. Selain itu, operasi dari kontaktor membran dapat dengan mudah diadaptasi dan diubah ke kondisi pabrik.

Dalam penelitian ini akan dikembangkan metode berbasis membran untuk pengolahan gas buang menggunakan kontaktor membran. Prinsip kontaktor membran adalah meletakkan membran mikroporous hidrofobik di antara fasa gas dan fasa cair yang dapat menyerap komponen dari fasa gas. Untuk mengetahui fenomena yang terjadi di dalam membran, perlu dilakukan penelitian yang bersifat mikroskopis. Namun penelitian mikroskopis memerlukan peralatan yang sangat rumit dan harganya mahal. Berdasarkan pada keterbatasan ini, diperlukan suatu pemodelan kontaktor membran yang dapat menjelaskan fenomena dalam kontaktor membran. Beberapa peneliti telah melakukan pemodelan kontaktor membran (Kreulan, 1993; Poddar, 1996; Qin, 1997; Roger, 1997; Kaldis, 1998; Viegas, 1998; Coker, 1998). Namun, penelitian ini masih terbatas untuk perpindahan massa dan pemodelan satu dimensi.

Penelitian ini akan difokuskan pada pemodelan kontaktor membran yang lebih komprehensif yaitu pemodelan dua dimensi dan eksperimen. Eksperimen diperlukan untuk validasi hasil pemodelan yang dilakukan.