

660. 284245
Per
P 4

**LAPORAN AKHIR HASIL PENELITIAN
HIBAH PENELITIAN KERJASAMA ANTAR PERGURUAN TINGGI
(HIBAH PEKERTI)**

TAHUN ANGGARAN 2003/2004



**PENGEMBANGAN KONTAKTOR MEMBRAN
HOLLOW FIBER UNTUK PENGENDALIAN
EMISI GAS BUANG**

Tim Peneliti Pengusul :

**Nita Aryanti, ST,MT
Ir. Budiyo, M.Si
Heru Susanto, ST,MT**

UPT-PUSTAK-UNDIP

No. Daft.: 388 /KI/UMUT/01

Tgl. : 10 Maret 2004

**Dibiayai oleh Proyek Pengkajian dan Penelitian Ilmu Pengetahuan dan Teknologi
Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan Nasional
Sesuai dengan Surat Perjanjian Pelaksanaan Penelitian Hibah Pekerti Nomor:
311/P4T/DPPM/PHP/IV/2003 tanggal 25 (Dua puluh lima) bulan April tahun 2003**

**Perguruan Tinggi Pengusul
Lembaga Penelitian Universitas Diponegoro
November 2003**

**LEMBAR IDENTITAS DAN PENGESAHAN
LAPORAN AKHIR HASIL PENELITIAN HIBAH PEKERTI**

A. Judul Penelitian:

**PENGEMBANGAN KONTAKTOR MEMBRAN HOLLOW FIBER UNTUK
PENGENDALIAN EMISI GAS BUANG**

B. Ketua Tim Peneliti Pengusul (TPP)

- a. Nama Lengkap dan Gelar : Nita Aryanti, ST, MT
- b. Jenis Kelamin : L / P
- c. Pangkat/ Golongan/ NIP : Penata Muda/ IIIA/132 258 045
- d. Bidang Keahlian : Komputasi Proses Membran
- e. Fakultas/ Jurusan : Teknik / Teknik Kimia
- f. Perguruan Tinggi : Universitas Diponegoro

Ketua Tim Peneliti Mitra (TPM)

- a. Nama Lengkap dan Gelar : Dr. Ir. I Gede Wenten, MSc.
- b. Jenis Kelamin : L / P
- c. Pangkat/ Golongan/ NIP : Penata / IIIC/132 149 432
- d. Bidang Keahlian : Teknologi Membran
- e. Fakultas/ Jurusan : Teknologi Industri/ Teknik Kimia
- f. Perguruan Tinggi : Institut Teknologi Bandung

C. Tim Peneliti

NAMA	BIDANG KEAHLIAN	FAKULTAS/ JURUSAN	PERGURUAN TINGGI
1. Heru Susanto, ST, MT	Teknologi Membran	Teknik / Teknik Kimia	Universitas Diponegoro
2. Ir. Budiyo, MSi	Pengolahan Limbah	Teknik / Teknik Kimia	Universitas Diponegoro
3. Dr. Ir. Mubiar Purwasmita	Hidrodinamika Fluida	Teknologi Industri/ Teknik Kimia	Institut Teknologi Bandung

D. Pendanaan dan Jangka Waktu Penelitian

- Jangka Waktu Penelitian yang diusulkan : 2 tahun
- Biaya total yang diusulkan : Rp 150.831.750,00
- Biaya yang disetujui tahun I : Rp. 69.000.000,-

Semarang, 7 November 2003

Ketua Tim Peneliti Pengusul,



(Nita Aryanti, ST, MT)
NIP. 132 258 045



RINGKASAN

Sebagian besar produksi energi dunia, kurang lebih 89%, diperoleh dari pembakaran bahan bakar fosil seperti minyak, batubara dan gas alam. Pembakaran bahan bakar tersebut merupakan sumber utama timbulnya persoalan lingkungan seperti hujan asam, kabut fotokimia, dan perusakan ozon. Teknik yang sering digunakan untuk pengolahan gas buang khususnya SO_2 adalah adsorpsi dan scrubbing. Teknik-teknik ini 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*. Untuk mengatasi masalah tersebut, dikembangkan suatu proses berbasis membran menggunakan kontaktor membran untuk pengendalian emisi gas buang.

Secara umum tujuan penelitian ini adalah meningkatkan kinerja kontaktor membran untuk pengendalian emisi gas buang melalui desain dan fabrikasi modul membran hollow fiber transversal. Secara khusus, tujuan penelitian tahun pertama adalah studi karakterisasi membran, studi stabilitas membran, pemodelan peristiwa perpindahan pada kontaktor membran dan pembuatan prototipe kontaktor membran longitudinal untuk pengendalian emisi gas buang. Studi karakterisasi membran meliputi ukuran pori, porositas, distribusi pori. Untuk mengetahui ukuran pori dan porositas digunakan metode bubble point, untuk mengetahui distribusi pori digunakan kombinasi metode bubble point dan metode permeabilitas dan untuk mengetahui geometri pori digunakan *Scanning Electron Microscopy*. Studi stabilitas membran dilakukan untuk mengetahui stabilitas membran terhadap bahan kimia, pH, temperatur dan gaya mekanik. Studi karakterisasi dan stabilitas membran dilakukan untuk dua jenis membran komersial Polipropilen dan Polietersulfon. Pemodelan kontaktor membran dilakukan dengan menyusun persamaan dua dimensi momentum dan konsentrasi. Hollow fiber dimodelkan sebagai silinder dengan dinding porous dengan pendekatan model Darcy dan Brinkman-Darcy. Penyelesaian model dilakukan secara numerik menggunakan Metode Volume Hingga.

Hasil yang diperoleh untuk karakterisasi membran menunjukkan bahwa ukuran pori, distribusi pori, maupun geometri pori untuk Polietersulfon (PES) dan Polipropilen (PP) memenuhi kriteria untuk digunakan sebagai kontaktor membran. Pengujian stabilitas terhadap kedua jenis membran menunjukkan bahwa kedua jenis membran menunjukkan ketahanan yang baik terhadap bahan kimia dan pH. Kedua jenis membran juga mempunyai tekanan maksimum yang diperbolehkan sebesar 3 bar. Sedangkan pengujian ketahanan terhadap temperatur menunjukkan bahwa membran Polipropilen mempunyai ketahanan temperatur yang lebih tinggi dibandingkan dengan Polietersulfon.

Hasil yang diperoleh adalah profil distribusi aliran dan profil distribusi konsentrasi. Dari validasi yang dilakukan diperoleh hasil bahwa model Brinkman-Darcy lebih sesuai untuk pendekatan kontaktor membran *hollow fiber*.

Dari hasil perbandingan antara kontaktor membran dengan scrubber konvensional, dapat diketahui bahwa kontaktor membran lebih efektif dalam pengurangan volume scrubber konvensional. Penggunaan kontaktor membran akan mengurangi volume alat sampai 27 kali lebih kecil.

SUMMARY

Most of world energy production, approximately of 89 % is produced from fossil fuel combustion such as oil, coal and natural gas. Combustion of these fossil fuel are main sources of environmental problems i.e. acid rain, photochemical smog and ozone depletion. Techniques to remove flue gas especially for SO_2 are absorption and stripping. These conventional techniques have huge space requirement and high investment cost. Moreover, conventional scrubber is limited with loading, flooding and entrainment limitation. To cope with the disadvantages, a new technology based on membrane process called membrane contactor has been developed.

The objectives of the research is to improve performance of membrane contactor for flue gas cleaning through design and fabrication of transversal hollow fiber membran module. The first year aim of the research are to study membrane characterization, membrane stability and modeling of membrane contactor. The study of membrane characterization covers pore diameter, porosity, pore structure and pore distribution. In order to obtain membrane characterization, bubble point method, combination of bubble point and permeability and Scanning Electron Microscopy have been used to determine pore diameter, porosity, pore structure and pore distribution, respectively. Study of membrane stability was conducted to understand membran stability toward pH, chemicals, temperature as well as mechanical force. Study of characterization and stability were carried out using two kinds of commercial membranes, Polypropylene (PP) and Polyetersulfone (PES). Modeling of membrane contactor was performed to predict velocity and concentration profile. Models were expressed by arranging momentum and mass transfer equations and considering a hollow fiber as cylindrical having porous media determined by Darcy and Brinkman-Darcy model. The equations were solved numerically using Finite Volume Method.

The characterization results show that pore diameter, porosity, pore distribution and pore geometry for Polypropylene (PP) and Polyetersulfone membrane are suitable for membrane contactor criteria. The stability testing of PP and PES result on good chemical stability and pH. In addition, both of membranes have maximum pressure of 3 bars. However, Polypropylene membrane has higher temperature stability than Polyetersulfone. The results of modeling membrane contactor show that Brinkman-Darcy Porous Medium Model has a good agreement with experimental data for both velocity and concentration profile. According to the comparison of membrane contactor and conventional scrubber, it was clearly shown that membrane contactor could reduce contactor volume of 27 times lower than the conventional one.

PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah SWT, atas terselesaikannya penulisan laporan penelitian iHibah Pekerti ni. Penelitian ini berjudul "**Pengembangan Kontaktor Membran Hollow Fiber untuk Pengendalian Emisi Gas Buang**". Secara umum penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan kinerja kontaktor membran hollow fiber melalui desain dan fabrikasi modul membran transversal.

Ucapan terimakasih disampaikan pada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan Nasional yang telah membiaya 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
Lembar Identitas dan Pengesahan	ii
Ringkasan	iii
Summary	v
Prakata	vi
Daftar Tabel	viii
Daftar Gambar	ix
Daftar Lampiran	x
I. PENDAHULUAN	1
II. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN	3
III. TINJAUAN PUSTAKA	4
IV. METODOLOGI PENELITIAN	14
V. HASIL DAN PEMBAHASAN	23
VII. KESIMPULAN DAN SARAN	38
VIII. RENCANA/ PENELITIAN TAHAP SELANJUTNYA	39
A. TUJUAN KHUSUS	39
B. METODE	39
C. JADWAL KERJA	40
DAFTAR PUSTAKA	42
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 5.1. Karakteristik Membran	23
Tabel 5.2. Kestabilan Membran Polipropilen	28
Tabel 5.3. Hasil pengujian stabilitas membran terhadap temperatur	28
Tabel 5.4. Hasil Pengujian Stabilitas Membran Terhadap Tekanan	29
Tabel 5.5. Parameter yang Digunakan dalam Pemodelan	30
Table 5.6. Spesifikasi membran yang digunakan oleh Pangrle, dkk.	31
Tabel 5.7. Perbandingan Kontaktor Membran Hollow Fiber dan Packed Column	36
Tabel 5.8. Analisis dimensi Kontaktor untuk scrubber konvensional dan Kontaktor Membran	37
Tabel 7.1. Jadwal Kerja Tahun Kedua	41

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 3.1. Modul Hollow Fiber	12
Gambar 4.1 Skematik Metodologi Penelitian	14
Gambar 4.2. Prinsip Metode Bubble Point	16
Gambar 4.3 Alat Karakterisasi Hasil Pengembangan	17
Gambar 4.4. Skema Pembagian daerah komputasi pada satu <i>fiber</i>	20
Gambar 4.5. Rancangan Prototipe Kontakor Membran untuk Pengendalian Emisi Gas Buang	22
Gambar 5.1. Hubungan tekanan terhadap radius pori	24
Gambar 5.2 Pengaruh Tekanan Terhadap Radius Pori dengan Tegangan Permukaan yang Berbeda	24
Gambar 5.3. Hubungan permeabilitas terhadap radius pori untuk tegangan permukaan yang berbeda.	25
Gambar 5.4. Distribusi pori terhadap radius pori untuk permeabilitas yang berbeda	25
Gambar 5.5 Distribusi Jumlah pori Terhadap Radius Pori	26
Gambar 5.6 Hasil SEM dengan Perbesaran 3500 x	26
Gambar 5.7 Hubungan Antara k_g , k_m dan k_l pada berbagai variasi temperatur	29
Gambar 5.8 Perbandingan antara Data eksperimen dan Model Menggunakan Pendekatan Persamaan Brinkman-Darcy	31
Gambar 5.9 Prediksi profil aliran arah aksial dengan model aliran Darcy dan Brinkman-Darcy pada $z = 0.25$ m, $U_0 = 0.008$ m/s	32
Gambar 5.10 Prediksi kecepatan aliran arah radial menggunakan model Brinkman-Darcy and Darcy pada $z = 0.25$ m, $U_0 = 0.008$ m/s	32
Gambar 5.11. Perbandingan antara model dan eksperimen untuk berbagai variasi gas pada bagian lumen, $z = 0.25$ m dengan konsentrasi sorben 0.256 mol/L	33
Gambar 5.12 Prediksi Profil Konsentrasi pada arah radial menggunakan model aliran Darcy dengan $U_0 = 0.8$ m/s	34
Gambar 5.13 Prediksi Profil Konsentrasi pada arah radial menggunakan model aliran Brinkman-Darcy dengan $U_0 = 0.8$ m/s	34
Gambar 5.14 Prediksi Profil Konsentrasi pada arah aksial menggunakan Model aliran Darcy pada $U_0 = 0.8$ m/s	35
Gambar 5.15 Prediksi Profil Konsentrasi pada arah aksial menggunakan Model aliran Brinkman-Darcy pada $U_0 = 0.8$ m/s	35

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Publikasi di Jurnal Teknik Kimia Indonesia Indonesia Vol II No 1 Juni 2003	L - 1
Lampiran 2. Prototipe Kontaktor Membran untuk pengendalian Emisi Gas Buang yang telah Dibuat di Laboratorium Tim Peneliti Pengusul (TPP)	L - 2
Lampiran 3. Program Komputer Menggunakan Bahasa Pemrograman FORTRAN	L - 3

I. PENDAHULUAN

1.1. Pentingnya atau Keutamaan Rencana Penelitian

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. 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 persoalan ini, pemerintah 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 .

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. Teknik-teknik ini 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* [1,2]. Proses menggunakan membran dianggap sebagai alternatif yang menarik untuk mengurangi kadar SO_x dan NO_x pada gas buang. Keuntungan utama dalam penggunaan kontaktor membran adalah berkurangnya volume kontaktor yang digunakan dan juga menyebabkan berkurangnya investasi dan biaya operasi. Operasi dari kontaktor membran dapat dengan mudah diadaptasi dan diubah ke kondisi pabrik.

Penggunaan membran untuk proses pembersihan gas buang diawali dengan pemakaian membran mikroporous sebagai alat kontak. Zang dan Cussler (1985) [3] 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.

1.2. Lingkup Penelitian

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. Teknik-teknik ini 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* [1,2]. Proses menggunakan membran dianggap sebagai alternatif yang potensial untuk mengurangi kadar SO_x dan NO_x pada gas buang. Keuntungan utama dalam penggunaan kontaktor membran adalah berkurangnya volume kontaktor yang digunakan dan juga menyebabkan berkurangnya investasi dan biaya operasi. Lebih lanjut, operasi dari kontaktor membran dapat dengan mudah diadaptasi dan diubah ke kondisi pabrik. Pada penelitian ini untuk meningkatkan kinerja kontaktor membran akan dirancang dan dipabrikasi disain modul yang dapat meningkatkan koefisien perpindahan massa. Tipe modul membran yang akan dirancang dan dipabrikasi adalah modul transversal. Dengan menggunakan modul transversal aliran umpan akan tegak lurus terhadap fiber di dalam modul membran, sehingga peristiwa *channeling* dapat dihindari serta dapat meningkatkan turbulensi aliran.

Namun demikian, pabrikan modul hollow fiber transversal tidaklah mudah dan membutuhkan teknik dan peralatan yang komprehensif. Pada penelitian ini akan dilakukan studi pembuatan dan pengujian kinerja modul membran transversal. Lebih spesifik penelitian ini akan melakukan kajian fluks SO_2 dengan berbagai laju alir dari sorben dan gas dengan menggunakan modul transversal. Larutan sorben yang digunakan adalah Natrium sulfit.

1.3. Hasil yang Diharapkan

Beberapa penelitian mengenai penggunaan kontaktor membran untuk pengendalian emisi gas buang telah banyak dijumpai. Namun demikian penelitian-penelitian tersebut dilakukan dengan menggunakan konfigurasi modul membran longitudinal. Pada penelitian ini akan digunakan konfigurasi modul membran transversal. Dengan penggunaan modul jenis ini diharapkan kinerja kontaktor membran dapat ditingkatkan melalui peningkatan koefisien perpindahan massa. Selain itu, dengan modul transversal peristiwa *channeling* yang dapat menurunkan kinerja kontaktor membran dapat dihindari.