

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



**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

Dibiayai oleh Proyek Peningkatan Penelitian Pendidikan Tinggi, Direktrat Jenderal Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan Nasional, sesuai dengan Surat Perjanjian Pelaksanaan Penelitian Hibah Tim Pascasarjana (HTPP) Lanjutan 1/2 dan Penelitian Kerjasama Antar Perguruan Tinggi (Hibah Pekerti) Lanjutan 1/2, Nomor : 064/P4T/DPPM/HPTP,PHP/III/2004 tanggal 1 Maret 2004

**Perguruan Tinggi Pengusul
Lembaga Penelitian Universitas Diponegoro
Oktober 2004**

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 / III A / 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 / III C / 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 Purwasasmita	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. 144.000.000,-
 Biaya yang disetujui tahun II : Rp. 75.000.000,-

Semarang, Oktober 2004

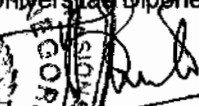
Ketua Tim Peneliti Pengusul,


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

Mengetahui,
 Pembantu Dekan I Fakultas Teknik


 Pranto Samto A., Dipl.HE, MT)
 NIP. 132 258 045

Menyetujui,
 Ketua Lembaga Penelitian
 Universitas Diponegoro


 (Prof. Dr. Ign. Riwanto)
 NIP. 130 529 454

RINGKASAN

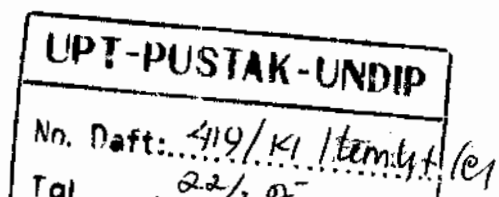
Sebagian besar produksi energi dunia, kurang lebih 89%, diperoleh dari pembakaran bahan bakar fosil seperti minyak, batubara dan gas alam. Pembakaran bahan bakar tersebut merupakan sumber utama timbulnya persoalan lingkungan seperti hujan asam, kabut fotokimia, dan perusakan ozon. Teknik yang sering 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 disain dan pabrikan modul membran hollow fiber transversal. Secara khusus, penelitian tahun kedua ini bertujuan untuk membandingkan kinerja modul longitudinal dengan modul transversal untuk pengendalian emisi gas buang. Selain itu, juga dilakukan studi pengaruh parameter proses terhadap kontaktor membran.

Modul transversal didesain dengan prinsip mengalirkan umpan tegak lurus fiber sehingga diperoleh turbulensi yang lebih besar. Perbandingan kinerja modul transversal dan longitudinal dilakukan baik secara teoritik (simulasi) maupun secara eksperimental. Parameter proses yang akan diuji kinerjanya adalah laju alir gas, laju alir sorben, konsentrasi sorben dan temperatur gas. Kinerja modul ditentukan dari fluks yang diperoleh.

Simulasi dan eksperimental perbandingan kinerja modul longitudinal dan transversal menunjukkan bahwa fluks yang diperoleh modul transversal lebih tinggi daripada modul longitudinal. Hal ini disebabkan oleh turbulensi pada modul transversal lebih besar daripada modul longitudinal. Peningkatan turbulensi pada modul transversal diikuti oleh peningkatan *pressure drop*, dimana *pressure drop* pada modul transversal lebih besar daripada modul longitudinal. Lebih lanjut, fluks SO_2 untuk kasus dimana sorben dialirkan pada modul transversal lebih tinggi daripada kasus dimana sorben dialirkan pada modul longitudinal. Akan tetapi kedua modul tersebut mempunyai kinerja yang cenderung sama pada laju alir sorben tinggi.

Studi pengaruh temperatur terhadap kontaktor membran juga menunjukkan bahwa fluks dan koefisien perpindahan massa keseluruhan meningkat seiring dengan naiknya temperatur. Parameter lain yang cukup berpengaruh adalah kecepatan gas dan kecepatan cairan dimana kenaikan kecepatan gas dan cairan dapat meningkatkan fluks secara signifikan.



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. Specifically, the second year research is aimed in order to compare the performance of longitudinal module and transversal module for flue gas cleaning. Furthermore, the study of process parameter was also been conducted.

Transversal module was designed by considering the principle of feed flowing direction. The feed was flowed perpendicular into fiber to obtain higher turbulence. The comparison of longitudinal and transversal module was carried out both by simulation and experiment. The process parameter tested are gas flow rate, sorbent flow rate, sorbent concentration and gas temperature, respectively. Module performance was considered by calculating obtained flux.

The simulation and experiment of performance comparison shown that obtained flux of transversal module was higher than longitudinal module. This due to higher turbulence of transversal module. The increase of turbulence in transversal module was followed by the increase of pressure drop, which the transversal pressure drop was higher than longitudinal pressure drop. However, in the condition of high sorbent flow rate, both transversal and longitudinal result on a similar performance.

The study of temperature effect on membrane contactor shown that flux and overall mass transfer coefficient increase with the increase of temperature. Another significant parameter is gas and liquid flow rate. Higher gas flow rate and sorbent flow rate increased flux significantly.

PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah SWT, atas terselesaikannya penulisan laporan penelitian Tahun kedua Hibah Pekerti ini. 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	15
V. HASIL DAN PEMBAHASAN	20
VII. KESIMPULAN DAN SARAN	34
DAFTAR PUSTAKA	35
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
1. Gambar 3.1. Daerah Perpindahan Massa dan tahanan pada kontaktor membran	4
2. Gambar 3.2. Modul Hollow Fiber	11
3. Gambar 3.3. Desain Modul Hollow Fiber Berdasarkan Posisi masuknya umpan	11
4. Gambar 3.4. Modul Aliran transversal	13
5. Gambar 3.5. Pola Aliran dalam Modul transversal	14
6. Gambar 4.1 Skematik Metodologi Penelitian	15
7. Gambar 4.2. Skematik Rangkaian Alat Percobaan	17
8. Gambar 5.1. Modul Transversal yang telah dibuat	19
9. Gambar 5.2 Perbandingan antara modul transversal dan longitudinal terhadap NRe pada berbagai laju alir gas dan cairan	21
10. Gambar 5.3. Perbandingan antara modul transversal dan longitudinal terhadap Pressure drop pada berbagai laju alir gas dan cairan	22
11. Gambar 5.4. Pengaruh laju alir terhadap fluks untuk modul transversal dan longitudinal	23
12. Gambar 5.5 Fluks SO ₂ aliran ekstralumen	24
13. Gambar 5.6 Fluks SO ₂ aliran intralumen	24
14. Gambar 5.7 Fluks modul transversal untuk kecepatan gas maksimum an minimum	25
15. Gambar 5.8 Fluks modul longitudinal untuk kecepatan gas maksimum dan minimum	25
16. Gambar 5.9 Fluks SO ₂ untuk aliran sorben intralumen	26
17. Gambar 5.10 Fluks SO ₂ untuk aliran sorben ekstralumen	27
18. Gambar 5.11. Fluks modul transversal dan longitudinal pada laju alir cairan maksimum dan minimum	28
19. Gambar 5.12 Grafik fluks vs waktu pada berbagai variasi temperatur	28
20. Gambar 5.13 Pengaruh temperatur terhadap fluks dan koefisien perpindahan massa overall	30
21. Gambar 5.14 Perbandingan koefisien perpindahan massa overall percobaan dan simulasi	31
22. Gambar 5.15 Pengaruh temperatur terhadap fluks pada berbagai laju alir sorben	32
23. Gambar 5.16 Simulasi pengaruh temperatur terhadap koefisien perpindahan massa pada fasa gas, membran dan fasa cair	33

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Rancangan Modul Transversal	L - 1
Lampiran 2. Publikasi di Seminar Nasional Rekayasa Kimia dan Proses, Juli 2004 dengan judul " Pengaruh Parameter Proses Terhadap Kontaktor Membran "	L - 2
Lampiran 3. Publikasi di Seminar Nasional Rekayasa Kimia dan Proses, Juli 2004 dengan judul " Kontaktor Membran Hollow Fiber untuk Penyerapan CO ₂ ".	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 $95\text{-}115^\circ\text{C}$. 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/II/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, pabrikasi 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.

II. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN TAHUN KE-2

2.1. Tujuan Penelitian Tahun Kedua

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 ini adalah :

1. Perancangan dan pabriaksi modul membran transversal
2. Studi pengaruh parameter proses terhadap laju transfer massa dan hilang tekan

2.2. Manfaat Penelitian Tahun Kedua

Manfaat penelitian tahun kedua adalah :

1. Mendesain dan membuat modul membran transversal untuk pengendalian emisi gas buang
2. Mengetahui perbandingan kinerja modul longitudinal dan modul transversal untuk pengendalian emisi gas buang
3. Mengetahui pengaruh laju alir gas, laju alir sorben, konsentrasi sorben dan temperatur gas terhadap kinerja kontaktor membran.