

HIBAH BERSAING



LAPORAN KEGIATAN

**Pengembangan Bioreaktor Hollow Fiber
untuk Produksi Gula Cair Fruktosa**

Oleh:

**Ir. Budiyo, Msi
I Nyoman Widiasta, ST, MT
Suherman, ST, MT**

Dibiayai oleh Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan Nasional sesuai dengan Surat Perjanjian Pelaksanaan Pekerjaan Penelitian Nomor 031/SPPP/PP/DP3M/IV/2005 tanggal 11 April 2005.

**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS DIPONEGORO
NOVEMBER, 2005**

UPT-PUSTAK-UNDIP

No. Daft: 647/KI/MT/G

**LEMBAR IDENTITAS DAN HALAMAN PENGESAHAN
LAPORAN AKHIR HASIL PENELITIAN HIBAH BERSAING**

A. Judul : Pengembangan Bioreaktor Hollow Fiber untuk
Produksi Gula Cair Fruktosa

B. Ketua Peneliti

- a. Nama Lengkap dan Gelar : Ir. Budiyo, MSi
- b. Jenis Kelamin : Laki-Laki
- c. Pangkat/Golongan/ NIP : Lektor Kepala /IV-A / 131 932 058
- d. Bidang Keahlian : Teknologi Membran
- e. Fakultas/Jurusan/ : Teknik / Teknik Kimia
- f. Perguruan Tinggi : Universitas Diponegoro Semarang

C. Tim Peneliti

NAMA	BIDANG KEAHLIAN	FAKULTAS/JUR.	PERGURUAN TINGGI
1. I Nyoman Widiasa, ST, MT	Teknologi Membran	Teknik/Teknik Kimia	Univ. Diponegoro
2. Suherman, ST., MT	Komputasi Proses Kimia	Teknik/Teknik Kimia	Univ. Diponegoro
3. Darto	Instrumentasi	Teknik/Teknik Kimia	Univ. Diponegoro
4. Sungkowo	Teknisi	Teknik/Teknik Kimia	Univ. Diponegoro

D. Pendanaan dan jangka waktu penelitian

- Jangka waktu penelitian yang diusulkan : 2 tahun
- Biaya total yang diusulkan : Rp. 74.700.000
- Biaya yang disetujui tahun 2005 : Rp. 35.000.000

Semarang, 11 November 2005

Mengetahui :

Dekan Fakultas Teknik

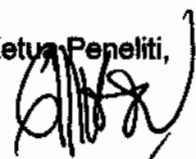


(Ir. Hj. Sri Eko Wahyuni, MSi)

NIP. 130 898 920



Ketua Peneliti,



(Ir. Budiyo, MSi)

NIP. 131 932 058

Menyetujui :

Ketua Lembaga Penelitian

(Prof. Dr. dr. IGN Riwanto)

NIP. 131 932 058



SISTEMATIKA LAPORAN AKHIR HASIL PENELITIAN HIBAH BERSAING

	Halaman
LEMBAR IDENTITAS DAN PENGESAHAN	ii
RINGKASAN DAN SUMMARY	iv
PRAKATA	v
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR/ILUSTRASI	vii
DAFTAR LAMPIRAN	viii
I. PENDAHULUAN	1
II. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN	4
III. TINJAUAN PUSTAKA	5
IV. METODE PENELITIAN	19
V. HASIL DAN PEMBAHASAN	22
VI. KESIMPULAN DAN SARAN	38
VII. RENCANA/PENELITIAN TAHAP SELANJUTNYA	39
A. Tujuan Khusus	
B. Metode	
C. Jadwal Kerja	
DAFTAR PUSTAKA	42
LAMPIRAN	45

RINGKASAN DAN SUMMARY

Sirup fruktosa mempunyai potensi pasar yang sangat potensial di Indonesia mengingat jumlah impor produk ini masih tinggi. Seperti dimuat dalam harian Kompas (7 Juni 1999) bahwa pada tahun 1997, jumlah impor gula mencapai 1,5 juta ton. Sirup fruktosa banyak digunakan sebagai pengganti gula sukrosa dan gula inversi industri makanan dan minuman untuk memberikan rasa manis, aroma, dan menurunkan kandungan kalori. Keterbatasan teknik yang digunakan untuk memproduksi sirup fruktosa saat ini adalah tingkat konversi dan selektivitas yang dapat dicapai masih relatif rendah (42%).

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan skema proses produksi fruktosa berbasis pada bioreaktor hollow fiber. Kebaruan dari bioreaktor ini adalah reaksi enzimatik dan proses pemisahan terjadi di dalam satu unit operasi. Dengan cara demikian, produktivitas dan selektivitas yang tinggi bisa dicapai. Aplikasi enzim teramobilisasi pada struktur pori asimetrik membran hollow fiber untuk produksi fruktosa, ada tiga faktor utama yang perlu diperhatikan, yaitu (i) jumlah unit aktivitas katalitik enzim per satuan luas membran yang optimal (tingkat pembebanan dan distribusi enzim), (ii) kemudahan kontak substrat dengan enzim, dan (iii) kemudahan pemisahan produk dari campuran reaksi. Untuk mendapatkan pemahaman yang fundamental tentang kinerja bioreaktor membran hollow fiber dalam aplikasi ini, secara umum cakupan penelitian ini dibagi menjadi empat tahapan, yaitu: (a) karakterisasi membran dan enzim yang digunakan, (b) amobilisasi enzim pada struktur asimetrik membran, (c) reaksi enzimatik menggunakan enzim teramobilisasi, (d) pengembangan model matematik yang menggambarkan mekanisme amobilisasi enzim dan kinetika reaksi bioreaktor membran *hollow fiber*. Penelitian tahun pertama di fokuskan pada kajian desain dan pabrikasi modul membran jenis hollow fiber dan plate- and frame tipe aliran cross-flow telah di lakukan. Pada tahap ini juga empat jenis membran (dua membran hollow fiber dan dua membran datar) yang terbuat dari material polimer di pelajari karakteristiknya khususnya tentang ukuran pori dan permeabilitasnya. Studi selanjutnya adalah mengkaji stabilitas membran pada kisaran temperatur 30 - 80 °C dan pH pada kisaran 4 - 11 sesuai dengan rentang temperatur kondisi reaksi. Pengembangan model transfer uap dan optimasi proses juga di kaji pada tahap ini.

Dari hasil-hasil tahun pertama ini dapat disimpulkan bahwa:

- Data permeabilitas suatu membran dapat mencerminkan besarnya tahanan perpindahan massa dari membran tersebut.
- Besarnya permeabilitas membran sangat bergantung pada karakteristik membran, seperti hidrofilitas, ukuran pori, distribusi ukuran pori, porositas, ketebalan, dan tortuositas pori.
- Konfigurasi hollow fiber mempunyai kestabilan mekanik yang lebih baik dibandingkan dengan konfigurasi plate-and-frame.
- Hasil studi distribusi waktu tinggal menunjukkan bahwa BME yang digunakan dapat dimodelkan sebagai reaktor tangki ideal kontinu (CSTR).

PRAKATA

Gula cair fruktosa mempunyai potensi pasar yang sangat potensial di Indonesia mengingat jumlah impor produk ini masih tinggi. Gula cair fruktosa banyak digunakan sebagai pengganti gula sukrosa dan gula inversi industri makanan dan minuman untuk memberikan rasa manis, aroma, dan menurunkan kandungan kalori. Bioreaktor Hollow Fiber merupakan alternative pemecahan dari permasalahan ini untuk produksi gula cair fruktosa.

Pada penelitian ini, sasaran yang telah tercapai meliputi: (a) karakterisasi membran hollow fiber, (b) studi stabilitas membran, (c) desain modul hollow fiber, (d) pengembangan model transfer uap, dan (e) optimasi parameter operasi.

Kami menyadari bahwa hasil yang diperoleh pada tahun pertama masih belum cukup untuk dijadikan acuan aplikasi skala komersial. Sehingga penelitian ini sangat perlu dilanjutkan di tahun kedua yang meliputi uji prototipe untuk bioreaktor hollow fiber, sehingga nantinya di dapatkan data-data empiris yang dapat digunakan untuk perancangan sistem skala pilot.

Akhir kata, ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kami sampaikan kepada:

- Direktorat Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan Nasional
- Lembaga Penelitian UNDIP
- Jurusan Teknik Kimia UNDIP

Atas segala bantuan dan dukungan yang diberikan selama pelaksanaan penelitian ini.

Semarang, 11 November 2005

Tim Peneliti

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Kandungan amilosa dan ukuran granula untuk beberapa jenis pati	5
Tabel 3.2. Karakteristik gelatinisasi beberapa jenis pati	7
Tabel 3.3. Komposisi tepung tapioka	7
Tabel 3.4. Enzim-enzim untuk hidrolisis pati	10
Tabel 5.1. Data permeabilitas membran	27
Tabel 5.2. Hasil uji kuat tekan dan kuat tarik	29

DAFTAR GAMBAR/ILUSTRASI

Gambar 3.1.	Perbandingan struktur molekul antara amilosa dan amilopektin	6
Gambar 3.2.	Mekanisme konversi pati secara enzimatik	11
Gambar 3.3.	Konfigurasi bioreaktor membran <i>hollow fiber</i> dengan enzim terimobilisasi	17
Gambar 4.1	Keterkaitan antara subtopik-subtopik dalam penelitian	19
Gambar 4.2.	Skematik sistem bioreaktor hollow fiber	21
Gambar 5.1.	Modul plate-and-frame	22
Gambar 5.2.	Bagian atas modul plate-and-frame	22
Gambar 5.3.	Bagian bawah modul plate-and-frame	23
Gambar 5.4.	Oring karet modul plate-and-frame	23
Gambar 5.5.	Support membran modul plate-and-frame	24
Gambar 5.6.	Membran modul plate-and-frame	24
Gambar 5.7.	Alat karakterisasi modul plate-and-frame	25
Gambar 5.8.	Alat karakterisasi modul hollow fiber	25
Gambar 5.9.	Fluks air murni versus TMP (ΔP) untuk empat jenis membran	26
Gambar 5.10.	Karakteristik rejeksi enzim dengan membran M1 dan M2	28
Gambar 5.11.	Pengaruh pH larutan umpan terhadap stabilitas membran yang diukur	28
Gambar 5.12.	Pengaruh temperatur larutan umpan terhadap stabilitas membran yang diukur berdasarkan perubahan fluks permeat	29
Gambar 5.13.	Diagram skematik bioreaktor membran enzimatik	30
Gambar 5.14.	Foto bioreaktor membran enzimatik skala laboratorium	31
Gambar 5.15.	Distribusi waktu tinggal dalam bioreaktor membran enzimatik	32
Gambar 5.16.	Ilustrasi interaksi yang terjadi antara substrat, enzim, dan produ dalam sebuah bioreaktor membran enzimatik.	32
Gambar 5.17.	Fluks permeat sebagai fungsi waktu pada tahap amobilisasi mode operasi aliran silang	35
Gambar 5.18.	Permeabilitas air setelah amobilisasi enzim	35
Gambar 5.19.	Perbandingan fluks air (A = awal, B= sesudah amobilisasi, C = sesudah pencucian eksternal pori)	36
Gambar 5.20.	Perbandingan permeabilitas air sebelum (A) dan sesudah adsorpsi enzim (B)	37

DAFTAR LAMPIRAN

A. Rencana Anggaran Penelitian	45
B. Data Eksperimental	49
A. Program Komputasi	57

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Peningkatan jumlah impor gula sebagai akibat dari makin terperosoknya pabrik gula di Indonesia saat ini menunjukkan bahwa produk gula cair fruktosa mempunyai prospek pasar yang sangat potensial. Fruktosa adalah salah satu jenis gula yang memiliki tingkat kemanisan sekitar 1,5 kali kemanisan gula kristal sukrosa. Produk ini dapat dibuat dari berbagai jenis hasil pertanian di Indonesia, seperti jagung, ubi kayu, ubi jalar, inulin, dsb. Selain untuk konsumsi langsung, ketersediaan gula fruktosa yang mencukupi juga akan mendukung berbagai jenis industri yang lain khususnya industri makanan dan minuman.

Berkembangnya masalah lingkungan dan meningkatnya konsumsi energi belakangan ini menjadikan teknik-teknik reaksi dan pemisahan konvensional (sentrifugasi, pengendapan secara kimiawi, dan evaporasi hampa) tidak efisien. Oleh karena itu, pengembangan industri pada masa mendatang akan dicirikan oleh suatu pemanfaatan material yang lebih rasional, menggunakan proses-proses dengan konsumsi energi rendah, dan dengan teknik-teknik pemisahan yang tidak destruktif yang memungkinkan pendaurulangan (*recycle*) dan pemanfaatan kembali (*reuse*) suatu material. Perkembangan yang pesat dalam bidang teknologi membran belakangan ini terutama didasari oleh kesadaran akan besarnya potensi teknologi ini untuk memberikan solusi terhadap masalah di atas.

Pemanfaatan *hollow fiber* sebagai bioreaktor dan separator memberikan beberapa keunggulan. Bioreaktor hollow fiber memiliki rasio luas terhadap volume sangat tinggi. Sistem ini juga memungkinkan untuk menyisihkan satu atau lebih jenis produk secara kontinu sehingga sangat sesuai untuk kasus yang melibatkan inhibisi produk. Selain itu, sistem ini dapat menggantikan teknik amobilisasi yang menggunakan bahan-bahan seperti karaginan, alginat, dan sebagainya, yang pada akhirnya menimbulkan masalah baru terhadap lingkungan. Oleh karena itu, penelitian secara mendasar dan komprehensif sangat diperlukan dalam pengembangan bioreaktor hollow fiber yang diharapkan menjadi bioreaktor alternatif untuk konversi secara enzimatik khususnya yang melibatkan substrat dan produk dengan berat molekul hampir sama.

Dalam pengembangan reaksi enzimatik, pemahaman tentang kinetika reaksi dan model reaktor sangat penting. Pemahaman tentang hal tersebut tidak hanya untuk analisis data percobaan, tetapi juga untuk perancangan dan pengoperasian proses. Oleh karena itu, cakupan penelitian ini meliputi aspek kinetika dan aspek hidrodinamika. Beberapa

pendekatan yang digunakan akan menghasilkan model dengan tingkat kerumitan yang berbeda pula.

Aplikasi enzim teramobilisasi pada struktur pori asimetrik membran hollow fiber untuk produksi fruktosa, ada tiga faktor utama yang perlu diperhatikan, yaitu (i) jumlah unit aktivitas katalitik enzim per satuan luas membran yang optimal (tingkat pembebanan dan distribusi enzim), (ii) kemudahan kontak substrat dengan enzim, dan (iii) kemudahan pemisahan produk dari campuran reaksi. Untuk mendapatkan pemahaman yang fundamental tentang kinerja bioreaktor membran hollow fiber dalam aplikasi ini, secara umum cakupan penelitian ini akan dibagi menjadi empat tahapan, yaitu: (a) karakterisasi membran dan enzim yang digunakan, (b) amobilisasi enzim pada struktur asimetrik membran, (c) reaksi enzimatik menggunakan enzim teramobilisasi, (d) pengembangan model matematik yang menggambarkan mekanisme amobilisasi enzim dan kinetika reaksi bioreaktor membran *hollow fiber*.

1.2 Subyek Penelitian

Subyek penelitian ini adalah bioreaktor hollow fiber (BHF), yang diaplikasikan untuk pembuatan gula cair fruktosa secara enzimatik. Kebaruan dari bioreaktor ini adalah reaksi enzimatik dan proses pemisahan terjadi di dalam satu unit operasi. Dengan cara demikian, produktivitas dan selektivitas yang tinggi bisa dicapai. Aplikasi enzim teramobilisasi pada struktur pori asimetrik membran hollow fiber untuk produksi fruktosa, ada tiga faktor utama yang perlu diperhatikan, yaitu (i) jumlah unit aktivitas katalitik enzim per satuan luas membran yang optimal (tingkat pembebanan dan distribusi enzim), (ii) kemudahan kontak substrat dengan enzim, dan (iii) kemudahan pemisahan produk dari campuran reaksi. Untuk mendapatkan pemahaman yang fundamental tentang kinerja bioreaktor membran hollow fiber dalam aplikasi ini, secara umum cakupan penelitian ini akan dibagi menjadi empat tahapan, yaitu: (a) karakterisasi membran dan enzim yang digunakan, (b) amobilisasi enzim pada struktur asimetrik membran, (c) reaksi enzimatik menggunakan enzim teramobilisasi, (d) pengembangan model matematik yang menggambarkan mekanisme amobilisasi enzim dan kinetika reaksi bioreaktor membran *hollow fiber*.

1.3 Target Penelitian

Target dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Data-data teknis (data fisik dan kimia) untuk perancangan proses
2. Model matematik yang menggambarkan fundamental bioreaktor hollow fiber

3. Prototipe bioreaktor hollow fiber dengan kapasitas 10 liter per hari yang mampu memberikan tingkat konversi di atas 42%.
4. Publikasi nasional
5. Satu draf usulan paten