

TEKNOLOGI

LAPORAN AKHIR
PENELITIAN HIBAH BERSAING



INTENSIFIKASI PROSES INOVATIF UNTUK PRODUKSI GULA
KRISTAL GLUKOSA DARI TEPUNG UBI KAYU SEBAGAI
PEMANIS DAN MINUMAN TRADISIONAL

UPT-PUSTAK-UNDIP

No. Daft: 618/KJ/LEMLIT/CI

Tgl. 6-3-2009

TIM PENELITI:

Ir. Budiyo, MSi (Ketua)
Ir. Hargono, MT (Anggota)

Dibiayai oleh Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan Nasional,
sesuai dengan Surat Perjanjian Pelaksanaan Hibah Penugasan Penelitian Desentralisasi
Tahun Anggaran 2008, Nomor 321/SP2H/PP/DP2M/III/2008 tanggal 5 Maret 2008

PERGURUAN TINGGI
Universitas Diponegoro Semarang
NOPEMBER 2008

UPT PERPUSTAKAAN UNDIP

HALAMAN PENGESAHAN

1. Judul : Intensifikasi Proses Inovatif untuk Produksi Gula Kristal Glukosa dari Tepung Ubi Kayu sebagai Pemanis Makanan dan Minuman Tradisional

2. Ketua Peneliti

a. Nama : Ir. Budiyo, MSi
b. Jenis Kelamin : Laki-Laki
c. NIP : 131 932 058
d. Jabatan Struktural : -
e. Jabatan Fungsional : Lektor Kepala
f. Bidang Keahlian : Teknologi Membran
g. Fakultas/Jurusan : Teknik/Teknik Kimia
h. Perguruan Tinggi : Universitas Diponegoro Semarang
i. Tim Peneliti

No.	Nama dan Gelar Akademik	Bidang Keahlian	Fakultas / Jurusan	Perguruan Tinggi
1.	Ir. Hargono, MT	Perancangan Alat Proses	Tek. Kimia Undip	Universitas Diponegoro

3. Pendanaan dan jangka waktu penelitian

a. Jangka waktu penelitian yang diusulkan : 2 (dua) tahun
b. Biaya total yang diusulkan : Rp. 99.200.000,-
c. Biaya yang disetujui tahun kesatu : Rp. 35.000.000,-

Semarang, 24 Oktober 2008

Menyetujui :
Sekretaris Puslit Pengembangan Teknologi

Dr. Ir. Seno Johari, MSc
NIP. 131 619 356

Ketua Peneliti,

Ir. Budiyo, MSi
NIP. 131 932 058



Mengetahui :
Ketua Lembaga Penelitian

Prof. Dra. Hj. Indah Susilowati, MSc. Ph.D
NIP. 131 764 487

ABSTRAK

Indonesia merupakan negara penghasil ubi kayu (singkong) ketiga terbesar di dunia dengan jumlah produksi lebih dari 17 juta ton per tahun. Selain ubi kayu, beberapa sumber pati yang sangat potensial antara lain sagu, ganyong, ubi jalar dan jagung. Melalui proses hidrolisis dua tahap, pati dapat dikonversi menjadi glukosa, baik dalam bentuk larutan kental (dikenal sebagai sirup glukosa) maupun dalam bentuk kristal (disebut sebagai dekstrosa monohidrat (DMH)). Produk ini banyak digunakan sebagai pemanis dalam industri makanan, minuman dan permen, sebagai filler dalam industri farmasi, sebagai media fermentasi untuk produksi etanol atau asam sitrat, dan sebagai bahan baku untuk produksi fruktosa dan sorbitol. Produk ini juga dapat dijadikan alternatif untuk pemanis makanan dan minuman tradisional yang selama ini biasa menggunakan gula tebu (gula pasir) atau gula merah.

Konversi pati menjadi gula kristal glukosa melibatkan empat tahap proses, yaitu (i) likuifaksi, (ii) sakarifikasi, (iii) pemurnian dan evaporasi, (iv) kristalisasi dan pengeringan. Meskipun telah banyak skema proses yang dipatenkan, antara lain U.S. Paten No. 3,897,305; U.S. Paten No. 4,734,364; U.S. Paten No. 6,287,826; U.S. Paten No. 4,059,460; U.S. Paten No. 4,297,146; U.S. Paten No. 4,342,603; U.S. Paten No. 6,527,868, namun dalam prakteknya di industri, konversi pati menjadi glukosa masih dilakukan dengan konsentrasi pati 30–35%. Kelemahan mendasar dari skema proses produksi seperti ini adalah (i) beban evaporasi sangat tinggi karena jumlah air yang harus diuapkan mencapai 1,7 ton per ton produk, (ii) enzim hanya sekali pakai karena tidak ada sistem *recovery*, dan (iii) produktivitas rendah karena waktu tinggal reaksi selama 72 jam. Dengan skema produksi seperti ini, sekitar 10–15% dari total biaya produksi digunakan untuk penyediaan enzim dan 25–30% untuk biaya energi evaporasi.

Riset ini bertujuan untuk mengembangkan intensifikasi proses inovatif dalam produksi gula kristal glukosa dari tepung ubi kayu. Inovasi dan kebaruan utama dari skema proses yang dikembangkan ini adalah bahwa hidrolisis pati dilakukan pada konsentrasi substrat di atas 50% dalam Reaktor Enzimatik Hibrida (REH). Model teoritis dan simulasi dilakukan untuk mengkaji pengaruh berbagai parameter operasi seperti waktu tinggal, konsentrasi substrat, dan konsentrasi enzim terhadap laju produksi glukosa dan tingkat konversi. Dari kajian distribusi waktu tinggal diperoleh bahwa REH dapat dimodelkan dengan sebuah reaktor kontinyu berpengaduk sederhana. Dengan menggunakan analisis Lineweaver-Burk, diperoleh konstanta Michaelis-Menten (K_m) dan konstanta laju produksi glukosa (k_2) masing-masing 552 (g/l) dan 4.04 (menit^{-1}). Model teoritis dapat digunakan untuk memperkirakan kinerja REH dengan baik bila laju reaksi kondensasi lebih kecil dari pada laju produksi glukosa. Dari simulasi numerik lebih lanjut menegaskan bahwa waktu tinggal yang diperlukan untuk mencapai kandungan glukosa 97 % dengan menaikkan konsentrasi enzim glukamilase menurut persamaan $\tau = 84.35E^{-1}$. Di samping itu, produktivitas REH sekitar 3,5 kali produktivitas REH konvensional bila konsentrasi glukamilase sebesar 2,4 g/L.

ABSTRACT

Indonesia is the third biggest country in the world produced cassava with the production over than 17 million ton per year. In addition, Indonesia is also as a producer of sagu, ganyong, ubi jalar dan jagung. Via the dual stage hydrolysis, starch able to be converted to glucose either in the viscous state (in general called glucose syrup) or crystal state (termed as dextrose monohydrat, DMH). These products usual to be used as sweetener in food, drink, and candy industry, as a filler in pharmacy industry, as fermentation media for producing ethanol and citric acid as well as feed for producing fructose and sorbythol. Furthermore, these products also be used as alternative of traditional foods and drink sweetener as sugar beet substitution as well as red sugar.

Basically, starch conversion to glucose crystal involve 4 (four) stage processes i.e (i) liquifaction, (ii) sacharification, (iii) purification and evaporation, (iv) crystallization and drying. Although several patent about starch conversion has been patented, i.e. U.S. Paten No. 3,897,305; U.S. Paten No. 4,734,364; U.S. Paten No. 6,287,826; U.S. Paten No. 4,059,460; U.S. Paten No. 4,297,146; U.S Paten No. 4,342,603; U.S. Paten No. 6,527,868, but in industrial case, starch conversion to glucose still done with starch concentration 30–35%. The basic weakness of process schematic before are (i) very high evaporation load because water evaporated until 1,7 ton per ton product, (ii) unrecoverable enzym used, and (iii) low productivity due to residence time as long as 72 hours. About 10–15% of total production cost used as enzyme supply and 25–30% for evaporation energy are needed for processes developed before.

The objective of this work is to develop a novel process scheme for glucose production from cassava starch at high dry solid using enzymatic membrane bioreactor (EMBr). Theoretical modeling and simulation were conducted to asses the effect of various operating parameters such as residence time, substrate concentration and enzyme concentration on both glucose production rate and conversion degree. A residence time distribution study confirms that the EMBr can be modeled as a simple continuous stirred tank reactor (CSTR). Using Lineweaver-Burk analysis; the Michaelis-Menten constant (K_m) and glucose production rate constant (k_2) are 552 (g/l) and 4.04 (min^{-1}), respectively. The theoretical model is able to predict the EMBr performance successfully when the condensation reaction rates are much lower than the glucose production rate. Further numerical simulation results confirm that residence time to achieve the glucose content of 97% decreases by the increase of glucoamylase concentration according to this relationship, $\tau = 84.35E^{-1}$. In addition, productivity of the EMBr is about 3.5 times productivity of the conventional batch reactor when glucoamylase concentration is 2.4 g/l (this is correspond to 17 times that of conventional batch reactor).

DAFTAR ISI

	Halaman
Halaman Pengesahan	i
Abstrak	ii
Daftar Isi	iv
BAB I PENDAHULUAN	1
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Gula Kristal Glukosa	3
2.2. Pati Tepung Ubi Kayu	4
2.3. Enzim-Enzim dalam Hidrolisis Pati	7
2.4. Kinetika Hidrolisis Pati secara Enzimatik	10
2.5. Klarifikasi Larutan Gula	11
BAB III TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN	14
BAB IV METODE PENELITIAN	
4.1. <i>Roadmap</i> Penelitian	15
4.2. Rancangan Penelitian	17
4.5. Langkah Penelitian	17
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN	24
BAB VI. KESIMPULAN DAN SARAN	31
DAFTAR PUSTAKA	32
Lampiran A Data hasil pengamatan	35
Lampiran B Biografi/Daftar Riwayat Hidup Peneliti	56

BAB I PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara penghasil ubi kayu (singkong) ketiga terbesar di dunia dengan jumlah produksi lebih dari 17 juta ton per tahun [1]. Selain ubi kayu, beberapa sumber pati yang sangat potensial antara lain sagu, gayong, ubi jalar dan jagung. Melalui proses hidrolisis dua tahap, pati dapat dikonversi menjadi glukosa, baik dalam bentuk larutan kental (dikenal sebagai sirup glukosa) maupun dalam bentuk kristal (disebut sebagai dekstrosa monohidrat (DMH)). Produk ini banyak digunakan sebagai pemanis dalam industri makanan, minuman dan permen, sebagai filler dalam industri farmasi, sebagai media fermentasi untuk produksi etanol atau asam sitrat, dan sebagai bahan baku untuk produksi fruktosa dan sorbitol [2]. Produk ini juga dapat dijadikan alternatif untuk pemanis makanan dan minuman tradisional yang selama ini biasa menggunakan gula tebu (gula pasir) atau gula merah. Diversifikasi produk turunan ubi kayu ini akan memberikan implikasi besar untuk meningkat kesejahteraan petani singkong karena tidak lagi menjadi komoditi yang terabaikan dan meningkatkan ketahanan gula nasional.

Dibandingkan dengan pati jagung atau kentang, pati ubi kayu memiliki beberapa keunggulan antara lain kandungan pati lebih tinggi (>90%, basis kering), kandungan protein dan mineral lebih rendah [3], temperatur gelatinisasi lebih rendah, dan kelarutan amilosa lebih tinggi [4]. Sifat-sifat tersebut sangat penting terutama dalam kaitannya dengan proses hidrolisis enzimatis dan proses permurnian dalam produksi gula kristal glukosa dari tapioka. Namun demikian, skema proses yang dikembangkan ini dapat diaplikasikan untuk jenis tepung yang lain seperti tepung jagung, sagu dan gayong.

Produksi gula kristal glukosa dalam skala industri melibatkan tiga tahap proses, yaitu likuifaksi, sakarifikasi, dan proses hilir (*down-stream processing*). Meskipun telah banyak skema proses yang dipatenkan, antara lain U.S. Paten No. 3,897,305 [3]; U.S. Paten No. 4,734,364 [4]; U.S. Paten No. 6,287,826 [5]; U.S. Paten No. 4,059,460 [6]; U.S. Paten No. 4,297,146 [7]; U.S. Paten No. 4,342,603 [8]; U.S. Patent No. 6,287,826 [9]; U.S. Paten No. 6,527,868 [10], namun dalam

prakteknya di industri, konversi pati menjadi glukosa masih dilakukan dengan konsentrasi substrat 30–35%. Kelemahan mendasar dari skema proses produksi seperti ini adalah (i) beban evaporasi sangat tinggi karena konsentrasi pati hanya sekitar 30% berat, (ii) enzim hanya sekali pakai, dan (iii) produktivitas rendah rendah karena waktu tinggal reaksi selama 72 jam. Dengan skema produksi seperti ini, sekitar 10–15% dari total biaya produksi digunakan untuk penyediaan enzim dan 25–30% untuk biaya energi evaporasi. Untuk itu, perlu dikembangkan skema proses baru yang memungkinkan konversi pati tapioka pada konsentrasi substrat tinggi secara kontinu.

BAB II STUDI PUSTAKA

2.1. Gula Kristal Glukosa

Berbagai kelebihan sifat nutrisi yang dimiliki oleh gula kristal glukosa menjadikannya sebagai ingredien berharga dalam banyak aplikasi pangan. Glukosa termasuk gula yang paling mudah terfermentasi dan media yang sangat baik untuk membiakkan ragi roti. Dalam kondisi panas, glukosa mudah bereaksi dengan protein untuk menghasilkan tekstur warna dan aroma yang khas dan juga slicing strength terhadap roti. Untuk minuman, glukosa berfungsi sebagai pemanis dan meningkatkan tekanan osmotik. Dalam pembuatan agar, jeli, dan juice buah, glukosa dapat meningkatkan aroma, rasa manis, dan tekstur. Untuk permen, glukosa kristal berfungsi untuk memberikan rasa manis, rasa lembut, dan pengendali kristalisasi. Dalam bidang farmasi, glukosa diformulasi dengan vitamin dan mineral. Glukosa kristal juga digunakan untuk tableting (garam tablet) dan sebagai bahan baku fermentasi untuk sintesis biokimia antibiotik (Pencillin, Streptomycin Etc.) dan Vitamin C Via Sorbitol.

Semua aplikasi di atas membutuhkan gula kristal glukosa dengan spesifikasi yang sangat ketat. Dengan spesifikasi sebagai berikut, dalam perdagangan internasional gula kristal glukosa disebut Dextrose monohydrate (Dmh).

- White Or Creame Coloured Crystalline Or Granular Powder, Odorless, Sweet In Test
- Acidity For 5 Gm As MI Of 0.1n NAOH 0.21 MI Max
- Arsenic 1.0 Ppm Max
- Chloride 200 Ppm Max
- Clarity Clear Solution
- Copper 10.0 Max
- Glucose (On Ds) 99.50 % Min
- Heavy Metal 5 Ppm Max

- Lead 0.5 Ppm Max
- Loss On Drying 9.5% Max
- Less Soluble Sugars And Dextrins Passes The Taste
- Ph (10 % W.V.) 7.5 - 9.5
- Sulphate 25 Ppm Max
- Sulphated Ash (On Ds) 0.05% Max
- Specific Rotation 10% W/V At 25oc +52.5 To +53.0

Untuk makanan dan minuman tradisional, parameter yang mutlak perlu diperhatikan adalah kandungan logam berat dan pH. Oleh karena itu, larutan glukosa hasil klarifikasi dapat langsung dipekatkan dan dikristal tanpa perlu adanya proses *decolourization*.

2.2. Pati Tepung Ubi Kayu

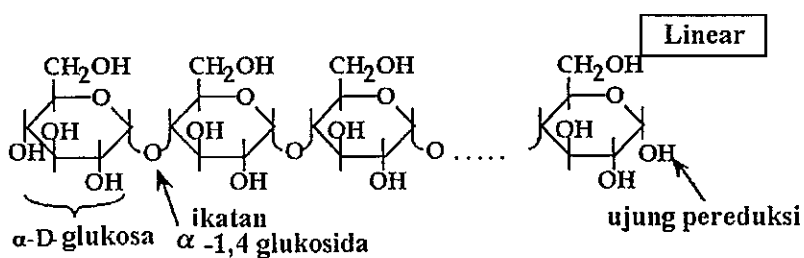
Pati merupakan cadangan karbohidrat pada tumbuhan, berbentuk granula (butiran) dengan ukuran dan karakteristik fisik yang spesifik untuk setiap spesies tumbuhan. Perbedaan yang paling utama antara setiap jenis pati adalah perbandingan komposisi amilosa terhadap amilopektin. Seperti ditunjukkan pada Tabel 2.1, pati tapioka mempunyai kandungan amilosa paling rendah yaitu sekitar 17%. Pustaka lain menampilkan bahwa pati jagung yang berasal dari *waxy maize* hanya mengandung sekitar 2% amilosa tetapi yang berasal dari *amylomaize* mengandung sekitar 80% amilosa [14]. Amilosa terbentuk dari ikatan α -1,4 glukosida dengan berat molekul sekitar 250.000 g/mol, sedangkan amilopektin terbentuk dari ikatan α -1,4 glukosida dan α -1,4 glukosida dengan berat molekul sekitar 50 sampai 500 juta g/mol [15]. Perbedaan struktur molekul antara amilosa dan amilopektin ditunjukkan pada Gambar 2.1. Meskipun memiliki struktur ikatan yang berbeda, amilosa dan amilopektin sama-sama tersusun dari monomer-monomer glukosa.

Tabel 2.1. Kandungan amilosa dan ukuran granula untuk beberapa jenis pati [16]

Sumber pati	Kandungan	Rentang ukuran	Ukuran rata-
-------------	-----------	----------------	--------------

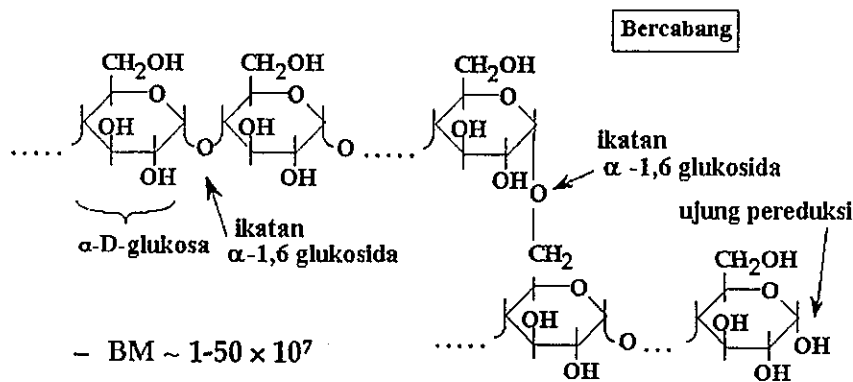
	amilosa (%)	granula (μm)	rata (μm)
Ubi kayu	17	3–30	14
Jagung amilosa tinggi	70	4–40	6
Jagung	28	5–25	14
Gandum	26	3–35	7 dan 20
Ubi jalar	18	4–40	19
Ararut	21	9–40	23
Sagu	26	15–50	33
Kentang	26	10–100	36

Granula pati mempunyai kapasitas penyerapan air dingin yang terbatas secara *reversibel*, tetapi hidrasi lanjut dimungkinkan dengan peningkatan temperatur. Proses pembengkakan (*swelling*) molekul pati secara *irreversibel* karena masuknya molekul air ke dalam struktur molekulnya disebut dengan gelatinisasi. Seperti ditunjukkan pada Tabel 2.2, rentang temperatur gelatinisasi bervariasi untuk setiap jenis pati. Temperatur gelatinisasi pati tapioka adalah 58,5–70°C [17]. Perlu ditekankan bahwa proses hidrolisis berlangsung jauh lebih cepat jika dilakukan pada temperatur di atas temperatur gelatinisasinya. Oleh karena itu, tahapan gelatinisasi ini sangat menentukan keberhasilan hidrolisis pati secara enzimatik. Selain temperatur, rasio air dan pati minimum harus terpenuhi untuk memperoleh gelatinisasi sempurna. Amilosa dan amilopektin mempunyai struktur gel yang sama, yaitu *double helix*.



BM $\sim 10^6$

(a) Struktur ikatan molekul amilosa



Gambar 2.1. Perbandingan struktur molekul antara amilosa dan amilopektin [15]

Pati tapioka yang ada di pasaran umumnya masih mengandung sejumlah komponen nonkarbohidrat dalam jumlah minor. Komponen-komponen minor tersebut, yang sering dipandang sebagai pengotor, berasal dari ubi kayu dan kadang-kadang juga berasal dari bahan kimia yang digunakan dalam proses produksinya. Dalam kaitannya dengan hidrolisis enzimatik pati tapioka, keberadaan komponen minor ini tidak diinginkan terutama lemak dan protein karena dapat membentuk busa yang mengganggu proses konversi.

Komponen-komponen minor yang umum terdapat dalam pati tapioka ditunjukkan pada Tabel 2.3. Seperti terlihat pada tabel tersebut, komponen-komponen minor tersebut kurang dari 1%. Karena tidak terhidrolisis, komponen protein, lemak dan serat akan menjadi padatan tersuspensi (*mud*) dalam hidrolisat hasil hidrolisis. Meskipun jumlahnya relatif sedikit, *mud* ini merupakan beban utama dalam tahap klarifikasi. *Mud* ini menyebabkan penyumbatan (*blocking*) pada proses filtrasi. Dalam sistem filtrasi konvensional yang menggunakan filter press, banyak dibutuhkan precoat, biasa diatomite earth, untuk mencegah kompaksi gel di permukaan filter media. Precoat ini hanya sekali pakai dan dibuang sebagai limbah padat.

Tabel 2.2. Karakteristik gelatinisasi beberapa jenis pati [17].

Jenis pati	Rentang	Swelling power	Kelarutan (%)
------------	---------	----------------	---------------

	temperatur gelatinisasi (°C)	pada temperatur 95 °C	pada temperatur 95 °C
Tapioka	58,5-70	71	48
Jagung amilosa tinggi	-	6	12
Jagung	62-72	24	25
Gandum	52-63	21	41
Ubi jalar	-	46	18
Ararut	-	54	28
Sagu	-	97	39
Kentang	56-66	> 1000	82

Tabel 2.3. Komposisi tepung tapioka [18]

Komponen	% (berat)
Air	12,27
Protein	0,11
Lemak	0,07
Serat	0,12
Abu	0,25

2.3. Enzim-Enzim dalam Hidrolisis Pati

Pemecahan ikatan antar monomer dari molekul pati dapat menggunakan katalis asam atau enzim. Dibandingkan dengan proses asam, proses enzimatik tidak membutuhkan material peralatan yang spesifik (tahan korosi dan tekanan), tidak menimbulkan peningkatan warna dan kandungan garam yang drastis, memerlukan energi lebih sedikit, reaksi samping lebih sedikit, menghasilkan konversi lebih tinggi, dan proses relatif lebih mudah dikendalikan. Oleh karena itu, hampir semua industri yang memproduksi maltodekstrin, maltosa atau glukosa dari pati saat ini menggunakan proses enzimatik.

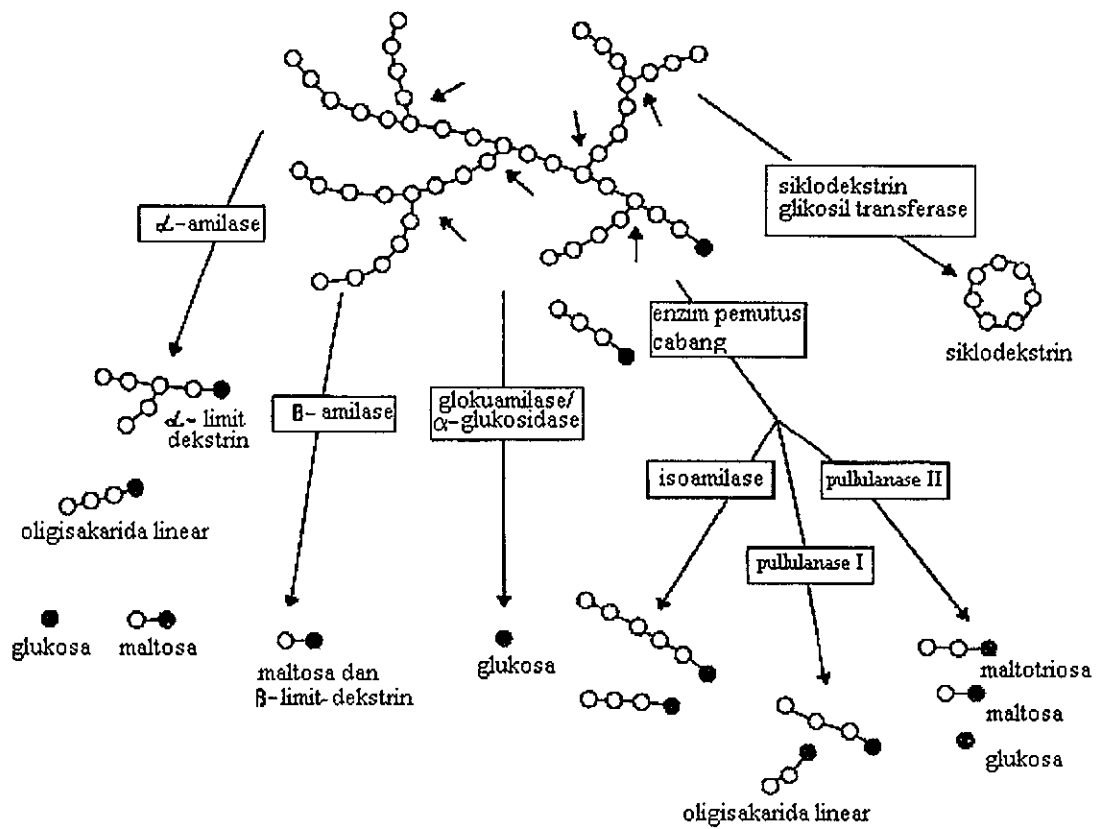
Enzim-enzim yang mampu mengkatalisis proses hidrolisis dapat diperoleh dari tumbuhan, hewan, dan mikroorganisme. Enzim-enzim ini dapat dikelompokkan menurut pola aksinya, yaitu α -amilase, β -amilase, glukamilase, pullulanase, dan sebagainya. Perlu diperhatikan bahwa nomenklatur enzim agak membingungkan karena *EC number* (penamaan enzim menurut komisi enzim) yang sama kadang-kadang digunakan untuk enzim-enzim yang mempunyai aktivitas katalitik berbeda (Tabel 2.4). Sebagai contoh, α -amilase hanya memiliki *EC number* 3.2.1.1 meskipun enzim ini dapat dikelompokkan sebagai amilase likuifaksi atau amilase sakarifikasi.

Tabel 2.4. Enzim-enzim untuk hidrolisis pati [14]

Enzim	<i>EC number</i>	Sumber	Aksi
α -amilase	3.2.1.1	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	Hanya ikatan α -1,4-glukosida yang diputus menjadi α -limit-dekstrin dan dominan terdiri dari maltosa (DP2), DP3, DP6, dan DP7
		<i>B. licheniformis</i>	Hanya ikatan α -1,4-glukosida yang diputus menjadi α -limit-dekstrin dan dominan terdiri dari maltosa (DP2), DP3, DP4, dan DP5
		<i>Aspergillus oryzae</i> , <i>A. niger</i>	Hanya ikatan α -1,4-glukosida yang diputus menjadi α -limit-dekstrin dan dominan terdiri dari maltosa (DP2) dan DP3
α -amilase sakarifikasi	3.2.1.1	<i>B. subtilis</i> (<i>amylosacchariticus</i>)	Hanya ikatan α -1,4-glukosida yang diputus menjadi α -limit-dekstrin dan dominan terdiri dari maltosa (DP2), DP3, DP4, dan glukosa (bisa mencapai 50%)
β -amilase	3.2.1.2	<i>Malted barley</i>	Hanya ikatan α -1,4 glukosida dari ujung nonpereduksi yang diputus menjadi β -limit-dekstrin dan β -maltosa
Glukoamilase	3.2.1.3	<i>A. niger</i>	Memutus ikatan α -1,4 dan α -1,6 glukosida dari ujung nonpereduksi, menjadi β -glukosa
Pullulanase	3.2.1.4	<i>B. acidopullulyticus</i>	Hanya ikatan α -1,6 yang diputus, menghasilkan maltodekstrin rantai lurus

Produk-produk yang akan terbentuk dalam hidrolisis pati ditunjukkan pada Gambar 2.2. Jelas terlihat bahwa mekanisme pemutusan ikatan glukosida yang

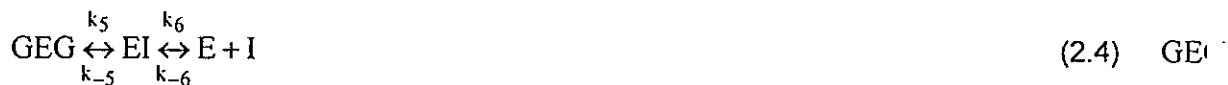
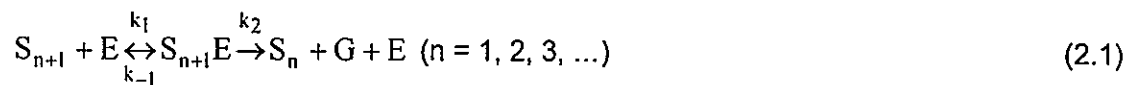
terjadi bergantung pada jenis enzim yang digunakan. Meskipun glukosa dapat dihasilkan dengan hanya menggunakan α -amilase atau glukoamilase, kombinasi antara kedua enzim ini akan lebih menguntungkan secara ekonomis. Pada tahap likuifaksi, pati terhidrolisis parsial menjadi α -limit-dekstrin (maltodekstrin) oleh α -amilase termofilik. Karena likuifaksi dilakukan pada temperatur 90–110°C, pemutusan ikatan α -1,4 glukosida berlangsung sangat cepat. Selain menurunkan viskositas larutan secara drastis, tahap likuifaksi ini akan meningkatkan jumlah molekul substrat untuk glukoamilase yang akan mengkonversi maltodekstrin menjadi glukosa. Dengan demikian, laju pembentukan glukosa dalam tahap sakarifikasi juga meningkat.



Gambar 2.2. Mekanisme konversi pati secara enzimatik [19]

2.4. Kinetika Hidrolisis Pati Secara Enzimatik

Pemecahan rantai ikatan molekul pati secara enzimatik melibatkan dua tipe enzim: (a) endoenzim, yang memecah satu molekul substrat secara acak menjadi dua molekul yang lebih kecil, dan (b) eksoenzim, yang memutus monomer atau dimer dari ujung nonpereduksi molekul substrat [12]. Karena mekanisme reaksi yang terjadi sangat berbeda, pendekatan yang dilakukan dalam perumusan model kinetika untuk kedua jenis enzim tersebut juga berbeda. Penyederhanaan perlu dilakukan karena berat molekul pati atau konsentrasi molarnya tidak dapat diketahui secara pasti. Dengan menyempurnakan model kinetika yang dikembangkan oleh Kusunoki dkk [20], Shiraishi dkk [13] mengusulkan model skema reaksi yang memperhitungkan pengaruh reaksi kondensasi glukosa menjadi maltosa atau isomaltosa, sebagai berikut:



Dalam hal ini, E, S, G, M, dan I masing-masing menyatakan enzim, substrat (pati), dekstroza (glukosa), maltosa, dan isomaltosa. Dengan mekanisme reaksi seperti di atas dapat dirumuskan model kinetika berikut:

$$R_S = -\frac{dS}{dt} = \frac{V_S S / K_S}{1,1H} \quad (2.6)$$

$$R_I = \frac{dI}{dt} = \frac{V_I (G^2 K_{GI} - I) / K_I}{1,05H} \quad (2.7)$$

$$R_M = \frac{dM}{dt} = \frac{V_M (G^2 K_{GM} - M) / K_M}{1,05H} \quad (2.8)$$

$$R_G = 1,1(R_S) - 1,05(R_M + R_I) \quad (2.9)$$

$$H = 1 + \frac{S}{K_S} + \frac{G}{K_3} + \frac{G^2}{K_3 K_4} + \frac{I}{K_I} + \frac{M}{K_M} \quad (2.10)$$

$$K_{GI} = \frac{K_I V_5}{K_3 K_4 V_I} = \frac{I_e}{G_e^2} \quad (2.11) \quad K_{GI}$$

$V_S = k_1 E$, $V_5 = k_5 E$, $V_7 = k_7 E$, $V_M = k_7 E$, $V_I = k_5 E$, $K_S = k_{-1}/k_1$, $K_3 = k_{-3}/k_3$, $K_4 = k_{-4}/k_4$, $K_I = k_{-6}/k_6$, $K_M = k_{-8}/k_8$. Parameter kinetika dalam persamaan (2.6) berubah secara linear sebagai fungsi dari fraksi berat substrat yang belum terkonversi, sebagai berikut:

$$V_S = V_{S0} \text{ dan } K_S = K_{S0} \text{ untuk } S/S_0 \geq 0,7 \quad (2.13)$$

$$V_S = V_{S0} [1 - p(0,7 - S/S_0)] \text{ dan } K_S = K_{S0} [1 + q(0,7 - S/S_0)] \\ \Rightarrow S/S_0 < 0,7 \quad (2.14)$$

$$V_S = V_M \text{ dan } K_S = K_M \text{ untuk } S/S_0 = 0 \quad (2.15)$$

Jadi, p dan q pada persamaan (2.14) dapat diperoleh dari persamaan berikut:

$$p = \frac{1 - V_M / V_{S0}}{0,7} \text{ dan } q = \frac{K_M / K_{S0} - 1}{0,7} \quad (2.16)$$

Seperti telah disampaikan sebelumnya bahwa keberadaan komponen minor seperti protein dan lemak akan berpengaruh terhadap hidrolisis pati. Wansuksri dkk [21] melakukan studi tentang pengaruh protein terhadap hidrolisis pati beras menjadi glukosa. Selama likuifaksi pati dengan α -amilase, penyisihan protein mengakibatkan penurunan laju hidrolisis awal. α -amilase ini juga memiliki afinitas lebih tinggi untuk substrat yang mengandung jumlah protein lebih banyak. Sebaliknya, keberadaan protein pati beras menghasilkan pengaruh negatif terhadap aktivitas enzim glukamilase. Hasil ini menunjukkan bahwa protein yang ada dalam pati dapat berfungsi sebagai aktivator atau inhibitor dalam hidrolisis pati, bergantung pada tipe enzimnya.

2.5. Klarifikasi Larutan Gula

Seperti halnya jenis pati yang lain, pati tapioka mengandung berbagai berbagai pengotor seperti lemak (0,07%), protein (0,11%), serat (0,12%), dan abu (0,25%) [18]. Oleh karena itu, larutan gula hasil hidrolisis tepung tapioka perlu diklarifikasi untuk menghilangkan padatan tersuspensi, lemak, protein, dan pengotor lainnya. Untuk industri besar, klarifikasi ini dilakukan dengan *rotary vacuum precoat filters* (RVPF) dan *diatomaceous earth* sebagai *filter-aid* [22-24]. Proses klarifikasi ini akan lebih efisien jika menggunakan membran keramik [25]. Sayangnya, unit membran keramik membutuhkan modal yang besar sehingga tampaknya sulit diterapkan untuk industri kecil.

Belakangan ini, kelayakan teknis proses ultrafiltrasi yang menggunakan membran polimer untuk perbaikan proses dalam industri gula telah banyak diinvestigasi. Karena harganya jauh lebih murah, membran polimer lebih kompetitif dibandingkan dengan membran keramik. Banyak studi aplikasi membran polimer untuk klarifikasi larutan gula, antara lain untuk larutan gula tebu dan *beet sugar* [26-32]. Berdasarkan hasil kajian ini, diyakini bahwa sistem ultrafiltrasi yang menggunakan membran polimer juga prospektif untuk klarifikasi larutan gula hasil proses hidrolisis tepung ubi kayu (tapioka).

Salah satu faktor yang membatasi penggunaan teknologi ultrafiltrasi untuk klarifikasi larutan gula adalah *fouling* membran. *Fouling* adalah perubahan morfologi membran secara *irreversibel* yang disebabkan oleh interaksi fisik dan/atau kimia spesifik antara membran dan berbagai komponen yang ada dalam aliran proses [33]. Peristiwa *fouling* membran dicirikan oleh penurunan fluks (kecepatan filtrasi) secara *irreversibel* selama operasi jika semua parameter operasi, seperti beda tekanan antara dua sisi membran (*transmembrane pressure*, TMP), laju alir, temperatur, dan konsentrasi dijaga konstan [34]. Fluks permeat jauh lebih rendah dibandingkan dengan fluks air murni juga dapat disebabkan oleh perubahan karakteristik membran, perubahan karakteristik larutan umpan, dan polarisasi konsentrasi [35]. Perubahan karakteristik membran terjadi sebagai akibat dari kompaksi atau degradasi kimia. Sementara itu, penurunan fluks karena *fouling* membran dapat ditimbulkan oleh mekanisme adsorpsi solut atau partikel, pembentukan lapisan gel, dan penyumbatan pori-pori membran. Menurut Nagata

dkk [36], fenomena *fouling* membran selama filtrasi larutan yang mengandung makromolekul terlarut seperti protein dan partikel tersuspensi dimulai dengan terjadinya adsorpsi makromolekul, deposisi partikel, *sublayers rearrangement*, dan pengaruh viskositas larutan. Oleh karena itu, pemahaman tentang mekanisme *fouling* membran dan tingkat kontribusinya terhadap tahanan filtrasi sangat penting dalam aplikasi ini.

BAB III

TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

3.1. Tujuan

Riset ini bertujuan untuk mengembangkan intensifikasi proses inovatif dalam produksi gula kristal glukosa dari tepung ubi kayu. Inovasi dan kebaruan utama dari skema proses yang dikembangkan ini adalah bahwa hidrolisis pati dilakukan pada konsentrasi substrat di atas 50% dalam Reaktor Enzimatik Hibrida (REH). Untuk mencapai hasil kemajuan riset yang signifikan dalam setiap tahunnya, riset ini dibagi menjadi 2 tujuan khusus sebagai berikut:

1. Menentukan pengaruh parameter operasi seperti konsentrasi substrat, rasio konsentrasi enzim dan substrat, waktu tinggal reaksi, dan keberadaan *mud* terhadap kinerja REH melalui uji eksperimental dengan kapasitas 5 kg per hari.
2. Mengembangkan pemodelan teoritik dan simulasi numerik pengaruh parameter intrinsik terhadap karakteristik proses konversi pada konsentrasi substrat di atas 50%.

3.2 Manfaat Penelitian

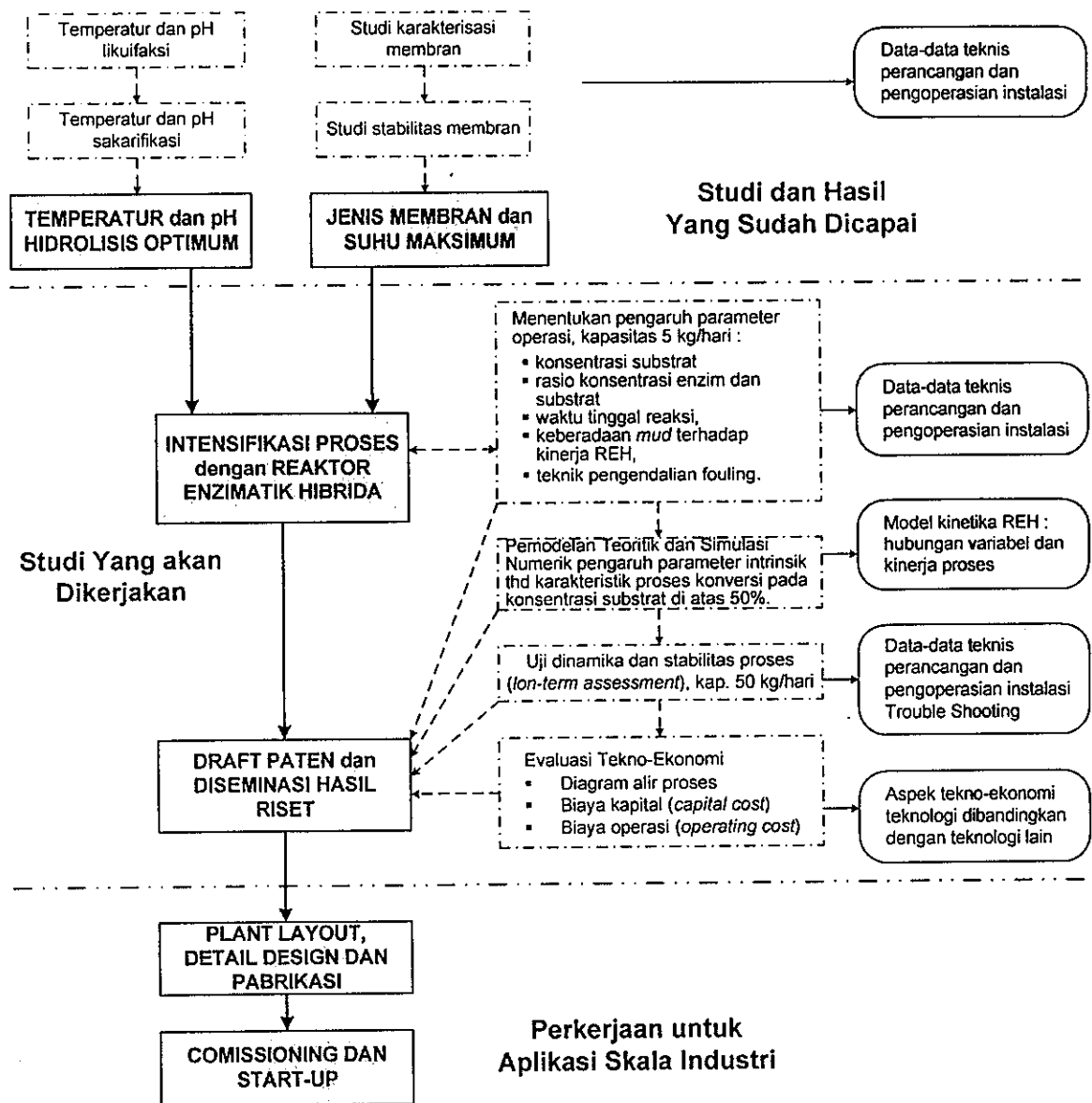
Objek penelitian ini adalah gula kristal glukosa yang diproduksi dari tepung ubi kayu. Produk penelitian dapat dijadikan alternatif untuk pemanis makanan dan minuman tradisional yang selama ini biasa menggunakan gula tebu (gula pasir) atau gula merah. Inovasi dan kebaruan utama dari riset ini adalah bahwa konversi tepung ubi kayu dilakukan pada konsentrasi substrat diatas 50% melalui intensifikasi proses dalam Reaktor Enzimatik Hibrida (REH). Intensifikasi proses inovatif ini diharapkan tidak hanya mampu menghemat kebutuhan energi sampai 80%, tetapi juga mampu menghemat kebutuhan enzim sampai 50% dan meningkatkan produktivitas sekitar 17%.

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1. Roadmap Penelitian

Untuk mendapatkan suatu tahapan riset yang runtut dengan hasil/kemajuan yang ditargetkan dari setiap tahap kegiatan, desain dan keterkaitan masing-masing tahap kegiatan ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Desain riset dan keterkaitan antar masing-masing tahap kegiatan

4.2. Rancangan Penelitian

Secara rinci, riset terdiri dari 2 kegiatan sebagai berikut :

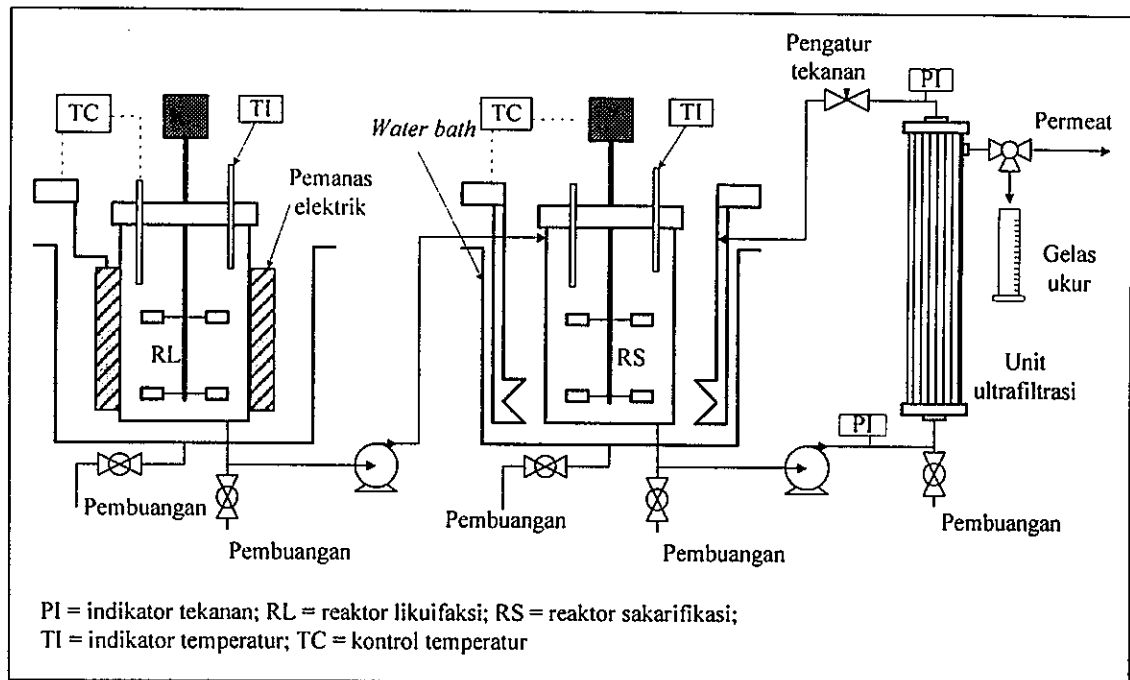
1. Uji eksperimental dengan kapasitas 5 kg per hari untuk menentukan pengaruh parameter operasi seperti konsentrasi substrat, rasio konsentrasi enzim dan substrat, waktu tinggal reaksi, dan keberadaan *mud* terhadap kinerja REH dan teknik pengendalian fouling.
2. Pengembangan model teoritik dan simulasi numerik pengaruh parameter intrinsik terhadap karakteristik proses konversi pada konsentrasi substrat di atas 50%.

4.3. Langkah Penelitian

A. Uji eksperimental dengan kapasitas 5 kg per hari

A.1. Prototipe

Skematik prototipe REH kapasitas 5 kg/hari yang akan dibuat untuk tahap ini ditunjukkan pada Gambar 3.2. Prototipe REH ini terdiri dari tiga bagian utama, yaitu reaktor likuifaksi, reaktor sakarifikasi dan unit klarifikasi. Untuk mengatasi masalah korosi dan glukosa *food grade*, prototipe ini akan dibuat dari material stainless steel. Membran polisulfon dengan molecular weight cut-off (MWCO) 20.000 dalton digunakan sebagai unit klarifikasi.



Gambar 3.2. Diagram skematik prototipe REH untuk konversi pati tapioka menjadi glukosa

A.2. Bahan

Untuk menjaga konsistensi hasil penelitian dan dapat dibandingkan dengan proses skala industri, studi ini menggunakan pati tapioka komersial yang ada di pasaran, α -amilase (EC.3.2.1.1; Termamyl 120L), dan glukoamilase (EC.3.2.1.3; AMG E). Enzim glukoamilase sering juga disebut sebagai amiloglukosidase atau ekso-1,4 α -glukosidase. Termamyl 120L dan AMG E adalah produk *Novo Nordisk Co*. Baik tepung tapioka maupun kedua jenis enzim tersebut diperoleh dari PT. Raya Sugarindo Inti. Bahan-bahan kimia lain yang digunakan untuk analisis mempunyai kualitas analitis dari Sigma dan Merck, sedangkan bahan kimia untuk pengaturan kondisi larutan dan pencucian membran mempunyai kualitas teknis.

A.3. Metode likuifaksi dan sakarifikasi

Dalam tahap likuifaksi ini, penyiapan bubur pati dilakukan dalam tiga tahap untuk mencapai konsentrasi produk akhir lebih dari 50%. Pada tahap I, 60 liter air demin dicampur dengan 30 kg tepung tapioka. Bubur pati ini ditambahkan dengan kristal CaCl_2 sebanyak 3,6 gram dan kemudian dikondisikan sehingga mencapai pH 6,5. Setelah itu, 60 ml α -amilase ditambahkan dan dilanjutkan dengan proses likuifaksi pada temperatur 105°C selama 5 menit (gelatinisasi) dan temperatur 90°C selama 2 jam (hidrolisis parsial). Hasil likuifaksi tahap I didinginkan sampai temperatur $60\text{--}65^\circ\text{C}$ dan ditambahkan lagi dengan 30 kg tepung tapioka. Campuran ini dilikuifaksi kembali pada temperatur 105°C selama 5 menit (pembentukan gelatin) dan temperatur 90°C selama 2 jam (hidrolisis parsial). Hasil likuifaksi tahap II didinginkan sampai temperaturnya $60\text{--}65^\circ\text{C}$ dan ditambahkan lagi dengan 2,0 kg tepung tapioka. Campuran ini dilikuifaksi kembali pada temperatur 105°C selama 5 menit dan temperatur 90°C selama 2 jam. Secara keseluruhan, jumlah tepung tapioka yang ditambahkan ke dalam 60 liter air adalah 80 kg.

Metode likuifaksi yang kedua adalah kombinasi proses termal dan enzimatik. Bubur pati dengan konsentrasi diatas 50% diekstrusi pada temperatur 140°C , kemudian hasilnya dilikuifkasi lebih lanjut dengan enzim α -amilase pada temperatur 90°C selama 2 jam.

Sakarifikasi dilakukan secara curah pada temperatur $\pm 57^\circ\text{C}$ dan pH $\pm 4,6$. Untuk tahap ini, konsentrasi glukoamilase yang digunakan adalah 2 - 10 liter per ton tapioka. Sakarifikasi dilakukan dengan waktu tinggal 6 - 10 jam. Perkembangan tingkat konversi yang dinyatakan berdasarkan konsentrasi glukosa dalam produk akan diukur setiap interval waktu 10 menit.

A.4. Analisis Produk Hidrolisis

Konsentrasi glukosa, maltosa, dan oligosakarida diukur dengan kromatografi cair kinerja tinggi (Knauer HPLC) yang menggunakan kolom metacarb 67 C, detektor RI 2000, fasa bergerak air, laju alir 0,5 ml/menit, temperatur 90°C , dan tekanan 725 psig. Derajat *brix* larutan diukur dengan refraktometer. DE (*dextrose equivalent*), yaitu persentase dari ikatan glikosidik

yang telah terhidrolisis, ditentukan secara analitis dengan menggunakan persamaan berikut:

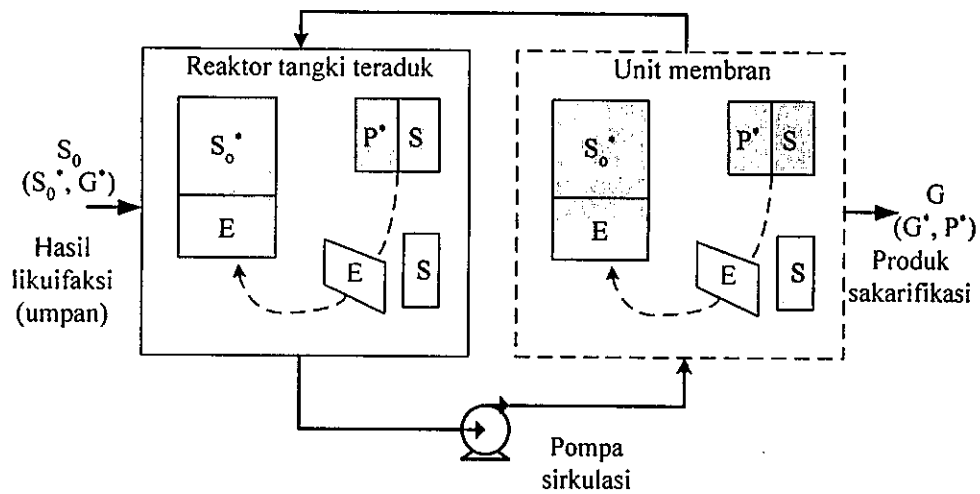
$$D E = \left(\frac{\text{gula pereduksi, dinyatakan sebagai glukosa}}{\text{karbohidrat total}} \right) \quad (3.1) \quad \text{Seb}$$

sebanyak 1 ml dan ditambahkan 1 ml reagensia alkalis, kemudian dimasukkan ke dalam air mendidih. Setelah tepat 20 menit, campuran tersebut diangkat dan dimasukkan ke dalam air dingin. Kemudian ditambahkan 1 ml reagen warna arsenomolibdat, diaduk sampai homogen, dan ditambahkan 7 ml air distilasi. Serapan cahaya dibaca pada panjang gelombang 650 nm

B. Pengembangan model teoritik dan simulasi numerik

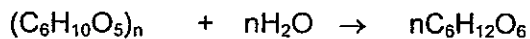
Gambar 3.3 merupakan diagram skematik urutan reaksi sakarifikasi hasil likuifaksi dalam sebuah REH dengan mode operasi resirkulasi. Umpan yang masuk ke dalam REH terdiri dari dua fraksi: pati terlikuifaksi (S_0^*) yang dapat dihidrolisis lebih lanjut menjadi glukosa dan sejumlah kecil glukosa yang terbentuk pada tahap likuifaksi (G^*). Dapat dipastikan bahwa kandungan glukosa dalam larutan hasil likuifaksi sangat kecil dibandingkan dengan kandungan glukosa dalam produk yang keluar dari REH. Oleh karena itu, kandungan glukosa yang masuk ke REH dapat diabaikan.

Secara sederhana, proses hidrolisis pati yang terjadi dalam sebuah REH dapat dijelaskan sebagai berikut. Ketika berada dalam REH, substrat (S_0^*) akan bergabung dengan enzim (E) menjadi senyawa kompleks enzim-substrat. Senyawa kompleks ini bereaksi dan pecah kembali menjadi enzim bebas (E), produk (P^*), dan substrat (S). Enzim dalam bentuk bebas maupun kompleks ditahan dalam sistem REH oleh membran. Sebaliknya, produk (P^*) dan substrat yang tidak terhidrolisis (S) keluar dari sistem REH melalui membran.



Gambar 3.3. Ilustrasi interaksi yang terjadi antara substrat, enzim, dan produk dalam REH

Hidrolisis pati menjadi glukosa menghasilkan peningkatan konsentrasi padatan total dengan faktor 1,11 sesuai dengan persamaan reaksi berikut:



Hal ini merupakan hasil dari penambahan satu molekul air kepada setiap molekul glukosa yang dihasilkan oleh reaksi hidrolisis. Konversi pati menjadi glukosa hingga 100% tidak pernah tercapai karena sebagian glukosa terkonversi kembali menjadi maltosa dan isomaltosa. Akibatnya, permeat (aliran produk sakarifikasi) yang keluar dari REH selalu mengandung disakarida dalam jumlah kecil. Konsentrasi disakarida dalam produk akhir hidrolisis bergantung pada aktivitas (konsentrasi) enzim, waktu tinggal, dan rasio konsentrasi substrat-enzim.

REH dapat dimodelkan sebagai reaktor tangki ideal kontinu (CSTR). Dengan pendekatan ini, konsentrasi produk yang ada dalam bioreaktor dianggap sama dengan konsentrasi produk yang keluar dari bioreaktor. Sementara itu, konsentrasi substrat (pati) sisa yang keluar dari REH dapat diprediksi secara tidak langsung berdasarkan pada hubungan antara S_0 , S_0^* , G , P^* , G^* , dan tingkat konversi X . Tingkat konversi substrat dalam REH didefinisikan sebagai:

$$X = \frac{G - G^*}{1,11(S_0 - G^*)} \quad (3.2)$$

Dalam persamaan ini, G adalah konsentrasi glukosa yang keluar dari REH, G^* adalah konsentrasi glukosa yang masuk REH, dan S_0 adalah konsentrasi padatan total (S_0^* dan G^*) yang masuk REH. Nilai 1,11 merupakan faktor koreksi yang diperlukan untuk menghitung peningkatan padatan total selama hidrolisis seperti diuraikan di atas. Berdasarkan Gambar 6, dapat disusun korelasi-korelasi matematika sebagai berikut:

$$S_0^* = S_0 - G^* \approx S_0 \quad (3.3)$$

$$P^* = G - G^* \approx G \quad (3.4)$$

$$S = S_0^* - \frac{P^*}{1,11} \approx S_0 - \frac{G}{1,11} \quad (3.5)$$

Dalam persamaan ini, P^* adalah glukosa yang terbentuk dari reaksi hidrolisis dalam REH. Karena konsentrasi glukosa dalam aliran umpan sangat kecil, konsentrasi pati sisa (S) yang keluar dari bioreaktor dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$S = S_0^*(1 - X) \quad (3.6)$$

Persamaan (3.6) menghubungkan konsentrasi substrat sisa dalam aliran produk akhir hidrolisis dengan konsentrasi substrat masuk REH dan tingkat konversi.

Pada kondisi tunak, neraca massa untuk sistem CSTR dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$F_{S,in} - F_{S,out} = R_s V_r \quad (3.7)$$

Dalam persamaan ini, R_s adalah laju konversi substrat dan V_r adalah volume bioreaktor. Laju alir $F_{S,in}$ dan $F_{S,out}$ dapat juga dituliskan dalam bentuk tingkat konversi:

$$F_{S,in} = F_{S0}(1 - X_{S,in}) = C_{S0} U_0 (1 - X_{S,in}) \quad (3.8)$$

$$F_{S,out} = F_{S0}(1 - X_{S,out}) = C_{S0} U_0 (1 - X_{S,out}) \quad (3.9)$$

Dalam hubungan ini, F_{S0} adalah laju alir substrat untuk tingkat konversi sama dengan nol; C_{S0} adalah konsentrasi substrat pada tingkat konversi nol; U_0

adalah laju alir volumetrik; serta $X_{S,in}$ dan $X_{S,out}$ adalah tingkat konversi substrat dalam aliran masuk dan keluar bioreaktor. Substitusi persamaan (3.8) dan (3.9) ke persamaan (3.7) menghasilkan:

$$R_S = \frac{C_{S0} U_0 (X_{S,out} - X_{S,in})}{V_r} \quad (3.10)$$

Untuk hidrolisis pati tapioka dalam REH, persamaan-persamaan berikut ini dapat disubstitusikan ke persamaan (3.10):

$$C_{S0} = S_0^* \approx S_0 \quad (3.11)$$

$$U_0 = Q_P \quad (3.12)$$

$$(X_{S,out} - X_{S,in}) = X = \frac{P^*}{1,11(S_0^*)} \approx \frac{P}{1,11(S_0)} \quad (3.13)$$

Dalam hubungan ini, Q_P adalah laju alir volumetrik permeat. Substitusi persamaan (3.11) – (3.13) ke persamaan (3.10) akan memberikan neraca massa untuk REH sebagai berikut:

$$R_S = \frac{S_0 Q_P X}{V_r} = \frac{P Q_P}{1,11(V_r)} \quad (3.14)$$

$$R_G = 1,11(R_S) \quad (3.15)$$

Jika ekspresi laju reaksi produksi glukosa disederhanakan sebagai persamaan Michaelis-Menten:

$$R_G = \frac{V_{max} S}{K_m + S} = \frac{k_2 E S}{K_m + S} \quad (3.16)$$

maka kombinasi persamaan (3.16) dan (3.14) menghasilkan:

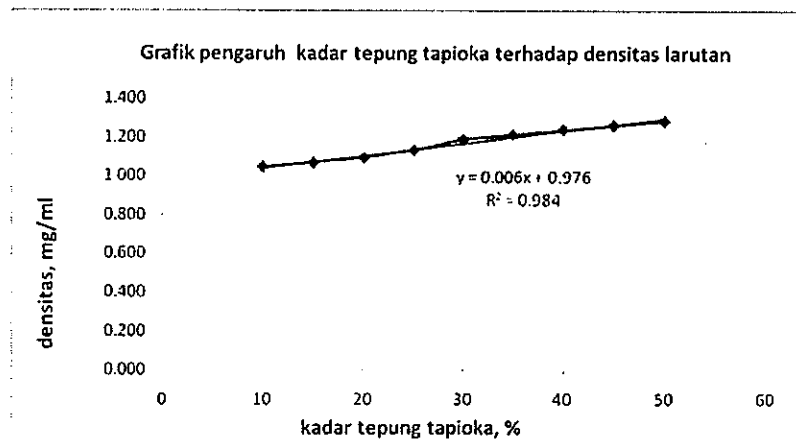
$$1,11X + \frac{1,11X}{S_0(1-X)} K_m = k_2 \left(\frac{E}{S_0} \right) \left(\frac{V_r}{Q_P} \right) \quad (3.17)$$

Persamaan (3.17) memerlukan dua parameter intrinsik yang harus ditentukan secara eksperimental, yaitu konstanta Michaelis-Menten (K_m) dan konstanta laju reaksi (k_2).

BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Studi pendahuluan pengaruh kadar tepung tapioka terhadap densitas larutan

Pengaruh kadar tepung tapioka terhadap densitas larutan dikaji dengan membuat variasi kadar tepung tapioka antara 10 hingga 50 %. Hasil pengamatan densitas larutan pada berbagai kadar tepung tapioka tersaji pada Gambar 5.1



Gambar 5.1. pengaruh kadar tepung tapioka terhadap densitas larutan

Gambar 5.1 menunjukkan bahwa densitas larutan merupakan fungsi linear dari konsentrasi tepung tapioka dengan persamaan $Y=0,006X + 0,976$ dan $R^2 = 0,984$.

2. Pengaruh kadar tepung tapioka terhadap konversi

Pengaruh kadar tepung tapioka terhadap konversi dikaji dengan mengamati kadar glukosa dari larutan pada berbagai kadar tepung tapioka. Pada studi ini, kadar tepung tapioka bervariasi antara 5 hingga 40 %. Hasil pengamatan kadar glukosa pada berbagai kadar tapioka selengkapnya tersaji pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1. Hasil pengamatan kadar glukosa pada berbagai kadar tapioka

Kadar	
-------	--

tapioka, %	Kadar Glukosa, %
5	30
10	50
15	60
20	30
25	20
30	18
35	16
40	15

Dari Tabel 5.1 bisa dilihat bahwa kadar tapioka 15 % memberikan konversi tapioka paling besar.

3. Studi konversi pada konsentrasi pati di atas 50%

Kadar gula yang dinyatakan sebagai dektrosa ekuivalen hasil hidrolisis pati tapioka baik yang dilakukan dengan menggunakan α -amilase maupun α -amilase dan glukoamilase bertahap disajikan pada Tabel 1. Seperti terlihat pada tabel tersebut bahwa hidrolisis dengan α -amilase pada temperatur 80°C selama 2 jam menghasilkan produk dengan kandungan gula pereduksi berkisar antara 7,6 sampai 8,0 dektrosa ekuivalen. Proses sakarifikasi lebih lanjut dengan glukoamilase selama 1 jam memberikan peningkatan kadar gula pereduksi menjadi sekitar 12,0 dektrosa ekuivalen.

Tabel 5.2. Dektrosa ekuivalen hasil hidrolisis pati tapioka

Penambahan enzim	Dektrosa ekuivalen		
	Percobaan 1	Percobaan 2	Percobaan 3
α -amilase	7,6	7,6	8,0
α -amilase dan glukoamilase	12,0	12,0	12,1

Agar bisa dilakukan proses konversi pada konsentrasi pati 50%, maka telah dikembangkan empat metode likuifaksi dengan hasil sebagai mana disajikan pada Tabel 5.3.

Tabel 5.3. Penggunaan metode likuifaksi

No.	Fokus studi	Hasil
1	Likuifaksi satu tahap dengan konsentrasi pati tapioka 50% pada temperatur $105\pm 3^{\circ}\text{C}$ selama 5 menit dan dilanjutkan dengan temperatur $90\pm 3^{\circ}\text{C}$ selama 2 jam.	<ul style="list-style-type: none"> Viskositas campuran sangat tinggi sehingga enzim tidak dapat bekerja secara optimal meskipun konsentrasi enzim dan waktu tinggalnya ditingkatkan.
2	Likuifaksi dilakukan dengan konsentrasi pati awal 30% pada temperatur $105\pm 3^{\circ}\text{C}$ selama 5 menit dan dilanjutkan dengan temperatur $90\pm 3^{\circ}\text{C}$ selama 2 jam. Selanjutnya, tepung tapioka ditambahkan ke dalam campuran tanpa adanya pendinginan untuk mencapai konsentrasi 50%.	<ul style="list-style-type: none"> Gelatinisasi pada bagian permukaan granula pati sangat cepat sehingga gel yang terbentuk pada permukaan ini menghalangi perpindahan air ke bagian dalam granula pati. Jadi, likuifaksi tidak berjalan sempurna.
3	Likuifaksi dilakukan pada temperatur 65°C untuk menghindari gelatinisasi lokal di permukaan granula pati. Setelah konsentrasi 50% tercapai, temperatur dinaikkan menjadi $105\pm 3^{\circ}\text{C}$ dan dijaga selama 5 menit. Lebih lanjut, campuran dikondisikan pada temperatur $90\pm 3^{\circ}\text{C}$ selama 2 jam.	<ul style="list-style-type: none"> Hasil likuifaksi mempunyai DE yang relatif konstan, yaitu sekitar 13 sampai konsentrasi pati 40%. Hasil likuifaksi ini juga mempunyai distribusi sakarida yang baik. Sayangnya, laju likuifaksi dengan metode ini sangat lambat karena temperaturnya rendah.
4	Sakarifikasi dilakukan pada temperatur $57\pm 3^{\circ}\text{C}$ dan $\text{pH} \pm 4,6$	<ul style="list-style-type: none"> Sakarifikasi hasil likuifaksi dapat menghasilkan produk dengan DE ~ 97
<p>Berdasarkan hasil studi ini, dapat disimpulkan :</p> <ul style="list-style-type: none"> Likuifaksi optimum dilakukan pada temperatur $\pm 105^{\circ}\text{C}$ selama 5 menit dan dilanjutkan dengan temperatur $\pm 90^{\circ}\text{C}$ selama 2 jam pada $\text{pH} \pm 6,5$. Sakarifikasi optimum dilakukan pada temperatur $57\pm 3^{\circ}\text{C}$ dan $\text{pH} \pm 4,6$ 		

4. Studi pemilihan membran

Studi kemampuan membran terhadap pemisahan enzim glukoamilase (enzim sakarifikasi) dikaji dengan cara memisahkan larutan enzim menggunakan membran dengan

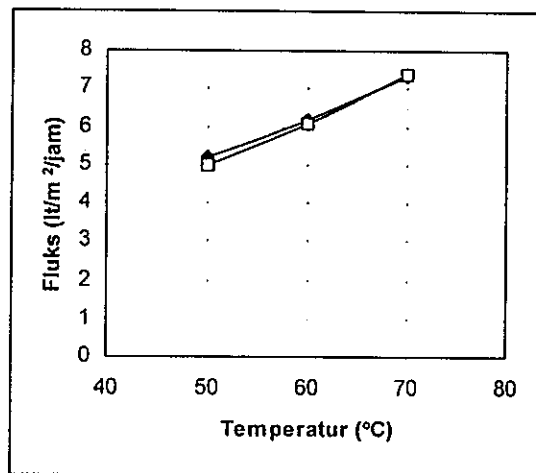
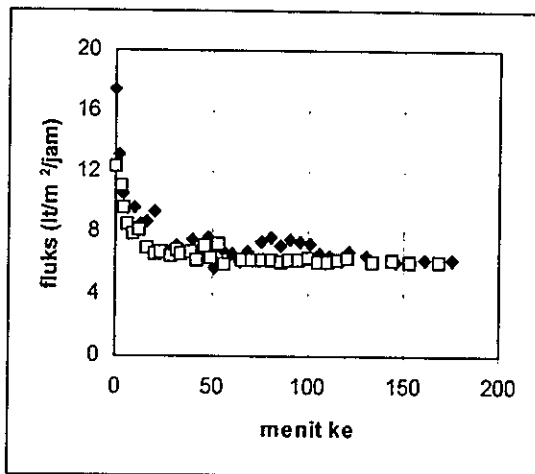
berbagai pori. Pada studi, membran yang digunakan masing-masing mempunyai diameter pori 0,22 μm ; 0,2 μm ; 100.000 Da ; dan 10.000 Da. Hasil penelitian menunjukkan bahwa membran 0,22 μm dan 0,2 μm menghasilkan fluks > 100 LMH, tetapi pengutipan enzim < 10%. Membran 100.000 Da menghasilkan fluks ~ 30 LMH, pengutipan enzim > 95%. Membran 20.000 Da menghasilkan fluks ~ 10 LMH, pengutipan enzim ~ 100%. Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa membran yang terbaik adalah membran 20.000 Da konfigurasi hollow fiber.

5. Dinamika laju filtrasi

Gambar 5.2 menunjukkan kecenderungan penurunan laju filtrasi hasil hidrolisis pati tapioka terhadap waktu pada temperatur 50°C dan tekanan 1.5 psi. Seperti terlihat pada gambar tersebut bahwa penurunan laju filtrasi sangat drastis pada menit-menit awal. Selama 175 menit operasi keadaan tunak belum tercapai. Namun, laju filtrasi konstan semu diperkirakan masing-masing produk hidrolisis sebesar 5 lt/jam/m^2 .

6. Pengaruh temperatur

Gambar 5.3 menunjukkan pengaruh temperatur umpan terhadap laju filtrasi. Temperatur divariasikan masing-masing 50, 60, dan 70°C. Diperoleh bahwa peningkatan temperatur sebesar 10°C dapat meningkatkan fluks sebesar 1 $\text{lt/m}^2/\text{jam}$. Untuk meningkatkan temperatur umpan yang lebih tinggi filtrasi perlu menggunakan membran keramik.



Gambar 5.2. Dinamika fluks permeat terhadap fluks

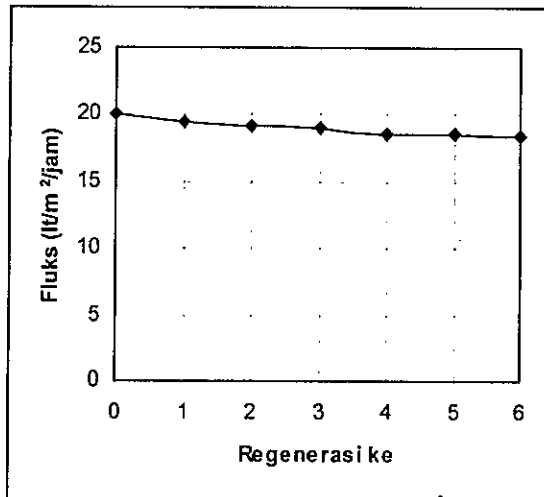
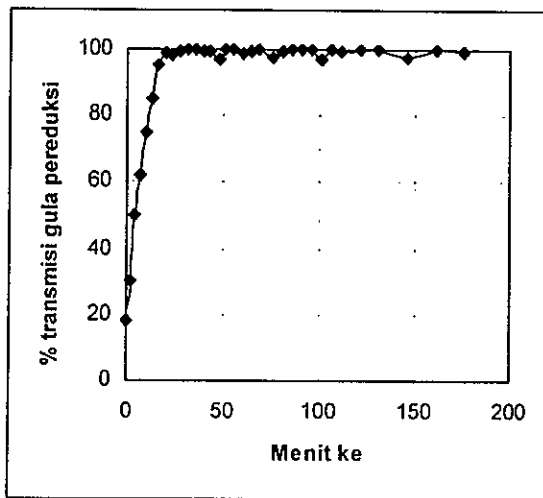
Gambar 5.3. Pengaruh temperatur terhadap fluks

7. Rejeksi gula pereduksi

Gambar 4 menunjukkan perubahan rejeksi gula pereduksi selama proses filtrasi. Hasil menunjukkan bahwa transmisi gula mencapai 100%. Ukuran molekul glukosa, maltosa maupun gula pereduksi lain yang mungkin terbentuk tidak menyebabkan terjadinya fouling pada membran. Interaksi kimia spesifik antara gula dengan membran juga tidak terjadi. Jelas bahwa seluruh gula yang dihasilkan dari proses hidrolisis akan dapat diperoleh sebagai produk.

8. Regenerasi membran

Dalam operasi membran, regenerasi perlu dilakukan setiap periode tertentu karena terjadi fouling. Regenerasi dilakukan dengan larutan NaOH 1% pada temperatur 60°C. Gambar 5 menunjukkan kinerja membran setelah proses regenerasi yang diukur berdasarkan pengembalian permeabilitas. Permeabilitas membran setelah regenerasi dapat mencapai lebih dari 90%.



Gambar 5.4. Dinamika transmisi gula pereduksi membran Gambar 5.5. Regenerasi membran

BAB VI

KESIMPULAN

Pada studi sakarikasi tepung tapioka, densitas larutan merupakan fungsi linear dari konsentrasi tepung tapioka dengan persamaan $Y=0,006X + 0,976$ dan $R^2 = 0,984$. Konversi tapioka paling besar diperoleh pada kadar tapioka 15 %. Likuifaksi optimum dilakukan pada temperatur $\pm 105^\circ\text{C}$ selama 5 menit dengan temperatur $\pm 90^\circ\text{C}$ selama 2 jam pada pH $\pm 6,5$. Sedangkan sakarifikasi optimum dilakukan pada temperatur $57\pm 3^\circ\text{C}$ dan pH $\pm 4,6$. Membran yang terbaik adalah membran 20.000 Da konfigurasi hollow fiber.

Studi tentang kelayakan proses membran dalam sakarifikasi pati tapioka telah dilakukan menggunakan membran hollow fiber dengan ukuran pori $0,2\ \mu\text{m}$, tebal $0,2\ \text{mm}$, diameter dalam $1,5\ \text{mm}$, dan luas membran efektif $50\ \text{cm}^2$. Hidrolisis pati tapioka di dalam reaktor curah dilakukan dengan konsentrasi pati 300 gram per liter. Hasil hidrolisis menunjukkan bahwa hidrolisis dengan α -amilase menghasilkan produk dengan kandungan gula pereduksi berkisar antara 7,6 sampai 8,0 dektrosa ekuivalen. Proses sakarifikasi lebih lanjut dengan glukamilase selama 1 jam memberikan peningkatan kadar gula pereduksi menjadi sekitar 12,0 dektrosa ekuivalen. Komposisi gula pereduksi tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap laju filtrasi dimana laju filtrasi instan semu diperoleh sebesar $5\ \text{lt/jam/m}^2$. Lebih lanjut, peningkatan temperatur sebesar 10°C dapat meningkatkan fluks sebesar $1\ \text{lt/m}^2/\text{jam}$. Hasil yang diperoleh juga menunjukkan bahwa transmisi gula mencapai 100%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Statistik Industri Besar dan Sedang Tahun 2004, Volume III, BPS, (2004)
- [2]. Prancoast, H.M., W.R. Junk (1980), *Handbook of Sugars*, 2nd ed., Avi Publishing Company, Inc., Westport, Connecticut.
- [3]. Hurst, T.L., Process for producing dextrose, U.S. Patent No. 3,897,305 (1975)
- [4]. Line, W.F., V.K. Chicoye, R.J. Mizerak, Producing of dextrose and maltose syrups using an enzyme derived from rice, U.S. Patent No. 4,734,364 (1988)
- [5]. Schollmeier, C.F., R.S. Leiser, Solid anhydrous dextrose, U.S. Patent No. 4,059,460 (1977)
- [6]. Mise, Y., E. Tosimura, Method for the production of powdered dextrose, U.S. Patent No. 4,297,146 (1981)
- [7]. Daniels, M.J., Crystalline glucose and process for its production, U.S. Patent No. 4,342,603 (1982)
- [8]. Edwards, L.W., Process for continuous crystallization of alpha monohydrate dextrose utilizing high agitation, U.S. Patent No. 4,357,172 (1982)
- [9]. Norman, B.E., H.V. Hendriksen, Enzymatic preparation of glucose syrup from starch, U.S. Patent No. 6,287,826 (2001)
- [10]. U.S. Patent No. 6,527,868
- [11]. Van der Veen, M.E., S. Veelaert, A.J. Van der Goot, R.M. Boom, Starch hydrolysis under low water conditions: A conceptual process design, *J. Food Engineering*, 75, 178 – 186, 2006
- [12]. Fuji, M., Y. Kawamura, Synergistic action of α -amylase and glucoamylase on hydrolysis of starch, *Biotechnol. Bioeng.*, 27, 260 – 265, (1985).
- [13]. Shiraishi, F., K. Kawakami, K. Kusukoni, Kinetics of condensation of glucose into maltose and isomaltose in hydrolysis of starch by glucoamylase, *Biotechnol. Bioeng.*, 27, 498 – 502, (1985).
- [14]. Anonim, (2002), The use of enzymes in starch hydrolysis, <http://www.sbu.ac.uk/biology/enztech/starch.html>, 26 Januari.
- [15]. Anonim, (2002), Types of macromolecules, <http://trc.ucdavis.edu/srdungan/fst100a/15polysacc/sld001.htm>, 26 Januari.
- [16]. Anonim, (2003), Starch, <http://www.starch.dk/isi/starch/starch.htm>, 28 Juli.
- [17]. Leach, H.W., (1965), Gelatinization of starch, dalam *Starch: Chemistry and Technology*, Bab 12, Whisler R.L., E.F. Paschall, Editor, Academic Press Inc., New York, 289 – 307.

- [18]. Pongsawatmanit, R., P. Thanasukam, S. Ikeda, (2002), Effect of sucrose on RVA viscosity parameters, water activity and freezable water fraction of cassava starch suspensions, *ScienceAsia*, **28**, 129 – 134.
- [19]. Horvathova, V., J. Janecek, E. Sturdik, (2000), Amylolytic enzymes: their specifics, origins and properties, *Biologia, Bratislava*, **55**, 605 – 615.
- [20]. Kusunoki, K., K. Kawakami, F. Shiraishi, K. Kato, M. Kai, (1982), A Kinetic expression for hydrolysis of soluble starch by glucoamylase, *Biotechnol. Bioeng.*, **24**, 347 – 354.
- [21]. Wansukri R., S. Chotineeranat, K. Piyachomkwan, K. Sriroth, (1999), Protein in rice flour and its effect on rice starch hydrolysis, presented in 5th Asia-Pacific Biochemical Engineering Conference 1999 and 11th Annual Meeting of the Thai Society for Biotechnology, 15 – 18 November 1999, Thailand
- [22]. Simms, R.L., (1985), The Technology of Corn Wet Milling, in Starch Conversion Technology, G.M.A. van Beynum and J.A. Roels (Eds.), Marcel Dekker, New York pp. 47 – 72.
- [23]. Basso, A.J., (1982), Vacuum Filtration Using Filteraids, *Chemical Engineering*, **89**, 159 – 160, 162.
- [24]. Kuske E.A., D.L. Bonnett, (1977), Versatile Filteraid Helps Assure Precise Quality for Corn Syrups, *Food Engineering*, **49**, 92, 94.
- [25]. Singh, N., M. Cheryan, (1998), Process design and economic analysis of a ceramic membrane system for microfiltration of corn starch hydrolysate, *J. Food Eng.*, **38**, 57 – 67.
- [26]. Madsen, R.F., (1973), Application of ultrafiltration and reverse osmosis to cane juice, *Int. Sugar J.*, **75**, 163 – 167.
- [27]. Kishihara, S., Fujii, S., Komoto, M., (1981), Ultrafiltration of cane sugar: Influence of flux and quality of permeate, *Int. Sugar J.*, **83**, 35 – 39.
- [28]. Nielsen, W.K., Kristensen, S., Madsen, R.F., (1982), Prospect and possibilities in application of membrane filtration systems within the beet and the cane sugar industry, *Sugar Technology Review*, **9**, 59 -11.7
- [29]. Kishihara, S., Fujii, S., Komoto, M., (1983), Improvement of flux in ultrafiltration of cane juice, *Int. Sugar J.*, **85**, 99 – 102.
- [30]. Bahrumsyah, Purwasasmita, M., Wenten, I G., (1999), Ultrafiltrasi untuk klarifikasi nira tebu: transmisi sukrosa pada berbagai kondisi operasi, Proc. National Seminar on Chem. Eng., Institut teknologi Bandung, V157 – V163
- [31]. Wenten, I G., Susanto, H., Purwasasmita, M., (2000), Ultrafiltrasi sebagai alternatif peningkatan efisiensi proses klarifikasi pada industri gula, *J. Reaktor*, **4**, 22 – 28.
- [32]. J. Gyura, Z. Šereš, G. Vatai, E.B. Molnár, (2002), Separation of non-sucrose compounds from the syrup of sugar-beet processing by ultra- and nanofiltration using polymer membranes, *Desalination*, **148**, 49 – 56.
- [33]. Zeman, L.J., Sydney, A.L., (1996), Microfiltration and Ultrafiltration: Principles and Applications, 1st ed., Marcel Dekker Inc., New York, pp. 397.

- [34]. Singh, N., M. Cheryan, (1997), Fouling of a ceramic microfiltration membrane by corn starch hydrolysate, *J. Membr. Sci.*, 135, 195 – 2002.
- [35]. Cheryan, M., *Ultrafiltration and Microfiltration Handbook*, (1998), Technomic Publishing Company, Inc., Lancaster, 259 – 26.
- [36]. N. Nagata, K. Herouvis, D.M. Dziejwski, G. Belfort, (1989), Cross-flow membrane microfiltration of a bacterial fermentation broth, *Biotechnol. Bioeng.*, 44, 161 – 181.
- [37]. Somogyi, M. (1951), Notes on Sugar Determination, *J. Biol. Chem.*, 195, 19 – 23.

Lampiran-Lampiran

CARA KERJA DAN DATA HASIL ANALISA

1. Pembuatan Reagen

- Pembuatan larutan gula standar
Larutan gula standar dibuat dengan cara melarutkan 2,5 gr glukosa anhidrid dalam 1000 ml air suling.
- Pembuatan larutan Fehling
 - a. Fehling A
Dibuat dengan melarutkan 34,639 gram $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ dalam 500,1 air suling. Zat padat yang tidak larut disaring.
 - b. Fehling B
Dibuat dengan melarutkan 172 gr kalium tatarat ($\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) dan 50 gr NaOH dalam air suling sampai volumenya menjadi 500ml, lalu dibiarkan selama 2 hari. Selanjutnya larutan di saring.
- Standarisasi Larutan Fehling
Larutan Fehling A sebanyak 5 ml dan Fehling B sebanyak 5 ml dicampur, ditambah 15 ml glukosa standar dari buret. Campuran dididihkan selama 2 menit, kemudian dalam keadaan mendidih, penetesan larutan glukosa dilanjutkan sampai warna biru hampir hilang. Setelah itu campuran ditambah 2-4 tetes indikator MB, kemudian dititrasi sampai warna merah. Volume glukosa titrasi dicatat (F)
- Penentuan Gula reduksi
Sampel hasil hidrolisis yang sudah dingin disaring dan diambil 5 ml kemudian diencerkan menjadi 100 ml. Hasil pengenceran diambil 5 ml dimasukkan dalam Erlenmeyer lalu ditambah 5 ml Fehling A, 5 ml Fehling B dan glukosa standar 15 ml. Kemudian campuran dipanaskan sampai titik ekuivalen (warna biru hampir hilang). Kemudian ditambahkan 2-3 tetes indikator MB, dan dititrasi lagi sampai warna merah.

Catat volume larutan glukosa standar yang diperlukan (M)

$$\text{Kadar glukosa} = \frac{(F - M) \cdot N \cdot \frac{500}{5} \cdot 100/5}{10} \times 100\%$$

F = glukosa standar yang diperlukan untuk standarisasi Fehling

M = glukosa standar yang diperlukan untuk menitrasi 5 ml larutan hasil

N = normalitas larutan glukosa standart = 0,0025 gr/ml

I. Standarisasi Larutan Fehling

Kebutuhan glukosa standar \rightarrow (F) = 30 ml

Analisa kadar glukosa (M) \rightarrow 18 ml

II. Standarisasi Larutan Fehling

$$F = 30.5 \text{ ml}$$

$$M = 17 \text{ ml}$$

III. $F = 30 \text{ ml}$

$$M = 17,9 \text{ ml}$$

IV. $F = 31 \text{ ml}$

$$M = 18 \text{ ml}$$

Bahan : Tepung 505 kg

Air = 8 L

$\text{CaCl}_2 = 1,9845$

- Setelah penambahan α amylase = 5.5 ml

Volume titrasi = 14 ml

- Setelah penambahan glukosa amylase = 3,3 ml

± 15 jam

Mengambil sampel \rightarrow 5 ml kemudian diencerkan \rightarrow 500 ml. Sampel hasil pengenceran diambil 5 ml kemudian ditambah 5 ml Fehling A dan 5 ml Fehling B, kemudian dipanaskan 70°C . Kemudian dititrasi sampai warna biru hampir hilang (titik ekuivalen) lalu ditambah 2-3 tetes MB, dititrasi lagi sampai warna merah.

Kebutuhan titrasi = 9.5 ml

$$= 12 \text{ ml}$$

$$= 13 \text{ ml}$$

$$= 12 \text{ ml}$$

- Standarisasi larutan Fehling M = 25.4 ml

Titration Produk F

I 14 ml

III 13 ml

V 15 ml

II 14.5 ml

IV 14.9 ml

VI 15.5 ml

M = 27 ml

F = I 13,2 ml

III 13,4 ml

V -

II 13,7 ml

IV -

VI -

F = I 16 ml II 15,8 ml

III 15,4 ml

M = 24,3 ml

PENGUKURAN DENSITAS

Kadar air tepung = 12 % basis 100 ml air (A)

$$1. \quad 10\% \quad \frac{x - 0,88}{x + A} = 0,1 \rightarrow 0,88X = 0,1X + (0,1 \cdot 100)$$

$$0,78X = 10$$

$$X = 12,82 \text{ gr}$$

$$2. \quad 15\% \quad \frac{x - 0,88}{x + A} = 0,15 \rightarrow 0,88X = 0,15X + 15$$

$$0,73X = 15$$

$$X = 20,55 \text{ gr}$$

$$\begin{aligned}
 3. \quad 20\% \quad \frac{x-0,88}{x+4} = 0,2 \quad \rightarrow \quad & 0,88X = 0,2X + 20 \\
 & 0,68X = 20 \\
 & X = 29,41 \text{ gr} \\
 4. \quad 25\% \quad \frac{x \cdot 0,88}{x+100} = 0,25 \rightarrow & 0,88X = 0,25X + 25 \\
 & 0,63X = 0,25 \\
 & X = 39,68 \text{ gr} \\
 5. \quad 30\% \quad \frac{x \cdot 0,88}{x+100} = 0,3 \quad \rightarrow & 0,88X = 0,3X + 30 \\
 & 0,58X = 30 \\
 & X = 51,73 \text{ gr} \\
 6. \quad 35\% \quad \frac{x \cdot 0,88}{x+100} = 0,35 \rightarrow & 0,88X = 0,35X + 35 \\
 & X = 66,04 \text{ gr} \\
 7. \quad 40\% \quad \frac{x \cdot 0,88}{x+100} = 0,4 \quad \rightarrow & 0,88X = 0,4X + 40 \\
 & X = 83,33 \text{ gr} \\
 8. \quad 45\% \quad \frac{x \cdot 0,88}{x+100} = 0,45 \rightarrow & 0,88X = 0,45X + 45 \\
 & X = 104,65 \text{ gr} \\
 9. \quad 50\% \quad \frac{x \cdot 0,88}{x+100} = 0,5 \quad \rightarrow & X = 131,58 \text{ gr}
 \end{aligned}$$

PENGUKURAN DENSITAS

Kalibrasi Picnometer

W picno kosong = 20,74 gr

W picno + air = 40,90 gr

ρ H₂O pada 30 °C = 0,995341 gr/ml

$$\text{Volume picnometer} = \frac{40,90 - 20,74}{0,995341} = 20,254 \text{ ml}$$

Menghitung densitas larutan tepung

%	Wpicno + larutan	ρ
10	41,86	1,043
15	42,32	1,065
20	42,86	1,092
25	43,64	1,131
30	44,79	1,187

35	45,29	1,212
40	45,81	1,238
45	46,26	1,260
50	46,73	1,283

$$\text{Rumus density} = \frac{(w \text{ picno} + \text{lrutan}) - w \text{ berat picno kosong}}{V \text{ picno}}$$

PERHITUNGAN KEBUTUHAN ENZIM α - AMILASE

Kebutuhan enzim dalam 1 ton tepung = 500 ml

500 ml / 1 ton tepung, 0,5 ml/ 1kg tepung, 0,5 ml/ 1000gr tepung

1. Untuk 12,82 gr tepung

$$\frac{0,5}{1000} \times 12,82 = \frac{6,41}{1000} = \frac{0,641}{100 \text{ gr}} \rightarrow \text{pengenceran enzim 100 ml}$$

2. Untuk 20,55 gr tepung

$$\frac{0,5}{1000} \times 20,55 = \frac{10,275}{1000} = \frac{1,0275}{100}$$

3. Untuk 29,41 gr tepung

$$\frac{0,5}{1000} \times 29,41 = \frac{14,705}{1000} = \frac{1,4705}{100}$$

4. Untuk 39,68 gr tepung

$$\frac{0,5}{1000} \times 39,68 = \frac{19,84}{1000} = \frac{1,984}{100}$$

5. Untuk 51,73 gr tepung

$$\frac{0,5}{1000} \times 51,73 = \frac{25,865}{1000} = \frac{2,5865}{100}$$

6. Untuk 66,04 gr tepung

$$\frac{0,5}{1000} \times 66,04 = \frac{33,02}{1000} = \frac{3,302}{100}$$

7. Untuk 83,33 gr tepung

$$\frac{0,5}{1000} \times 83,33 = \frac{41,665}{1000} = \frac{4,1665}{100}$$

8. Untuk 104,65 gr tepung

$$\frac{0,5}{1000} \times 104,65 = \frac{52,325}{1000} = \frac{5,2325}{100}$$

9. Untuk 131,58 gr tepung

$$\frac{0,5}{1000} \times 131,58 = \frac{65,79}{1000} = \frac{6,579}{100}$$

VOLUME TITRASI

Pengenceran sample 100 ml (5 → 100)

1. 10 % = 25,6 ml
2. 15 % = 24,5 ml
3. 20 % = 23 ml
4. 25 % = 22 ml
5. 30 % = 23,8 ml
6. 35 % = 22,3 ml
7. 40 % = 22,3 ml
8. 45 % = -
9. 50 % = -

STANDARISASI FEHLING → 30 ML

%	Wlarutan + picno	F Titration
10	41,19 gr	21,8 ml
15	41,62 gr	21,2 ml
20	42,13 gr	20,5 ml
25	42,92 gr	20,1 ml
30	43,83 gr	19,4 ml
35	44,64 gr	18,7 ml
40	45,12 gr	18,5 ml
45	-	18,2 ml
50	-	18,4 ml

Konsentrasi 30 %

Panaskan dalam microwave → 2 mnt

Panaskan pada kompor → 1 jam

Ambil 5 ml sampel untuk analisa → 19 ml (F)

Panaskan lagi → 1 jam

Ambil 5 ml sampel untuk dianalisa → 18,6 ml (F)

30%

1. Sebelum dipanaskan

- Menghitung densitas (ρ)

$$\rho = 1,187 \text{ gr/ml}$$

- Menghitung viscositas (μ)

$$\begin{aligned} \mu \text{ air (31}^\circ\text{C)} &= 0,8239 & t \text{ slurry} &= 3,4 \text{ detik} \\ t \text{ air} &= 1,6 \text{ detik} & C_p &= 0,008284 \text{ gr/cc det} \\ \rho \text{ air} &= 0,995341 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu \text{ slurry} &= \frac{t_{\text{slurry}} \times \rho_{\text{slurry}}}{t_{\text{air}} \times \rho_{\text{air}}} \times \mu_{\text{air}} \\ \mu \text{ slurry} &= \frac{3,4 \times 1,187}{1,6 \times 0,995341} \times 0,008284 \text{ gr/cc det} \\ &= 0,02099 \text{ gr/cc det} \end{aligned}$$

2. Setelah dipanaskan dalam microwave selama 3 menit

- Menghitung densitas
Berat picno + slurry = 45,81 gr
$$\rho = \frac{45,81 - 20,74}{20,254} = 1,2377 \text{ gr/ml}$$
- Menghitung viscositas
 $t \text{ slurry} = 30,14 \text{ detik}$
$$\mu \text{ slurry} = \frac{30,14 \times 1,2377}{1,6 \times 0,995341} \times 0,008284 \text{ gr/cc det}$$

 $= 0,19404 \text{ gr/cc det}$
- Analisa sampel
Ambil 5 ml kemudian encerkan sampai vol vol 100 ml
Ambil 5 ml yang telah diencerkan kemudian analisa
Volume titran = 19,1 ml

3. Tambahkan tepung sampai kadar 50%, kemudian panaskan dalam microwave selama 3 menit

- Menghitung densitas
Berat picno + slurry = 44,97 gr
$$\rho = \frac{44,97 - 20,74}{20,254} = 1,196 \text{ gr/ml}$$
- Menghitung viscositas
 $t \text{ slurry} = 38,12 \text{ detik}$
$$\mu \text{ slurry} = \frac{38,12 \times 1,196}{1,6 \times 0,995341} \times 0,008284 \text{ gr/cc det}$$

 $= 0,2375 \text{ gr/cc det}$

- Analisa sampel
Volume titran = 18,6 ml

4. Panaskan 2 jam dengan kompor listrik

- Menghitung densitas
Berat picno + slurry = 44,95 gr
$$\rho = \frac{44,95 - 20,74}{20,254} = 1,195 \text{ gr/ml}$$
- Menghitung viscositas
t slurry = 32,12 detik
$$\mu \text{ slurry} = \frac{32,12 \times 1,195}{1,6 \times 0,995341} \times 0,008284 \text{ gr/cc det}$$

$$= 0,19966 \text{ gr/cc det}$$
- Analisa sampel
Volume titran = 17,9 ml

35%

$$\frac{x \times 0,88}{x + 60} = 0,35$$

$$0,88x = 0,35x + 21$$

$$0,53x = 21$$

$$x = 39,62 \text{ gram}$$

Kebutuhan enzim

$$\frac{0,5}{1000} \times 39,62 = 19,81/1000 = 1,981/100$$

1. Sebelum dipanaskan

- Menghitung densitas (ρ)
Berat picno + slurry = 45,29 gr
$$\rho = \frac{45,29 - 20,74}{20,254} = 1,212 \text{ gr/ml}$$
- Menghitung viscositas (μ)
t slurry = 4,2 detik
$$\mu \text{ slurry} = \frac{t_{\text{slurry}} \times \rho_{\text{slurry}}}{t_{\text{air}} \times \rho_{\text{air}}} \times \mu_{\text{air}}$$

$$\begin{aligned}\mu \text{ slurry} &= \frac{4,2 \times 1,212}{1,6 \times 0,995341} \times 0,008284 \text{ gr/cc det} \\ &= 0,026 \text{ gr/cc det}\end{aligned}$$

2. Setelah dipanaskan dalam microwave selama 3 menit

a. Menghitung densitas

$$\text{Berat picno + slurry} = 44,63 \text{ gr}$$

$$\rho = \frac{44,63 - 20,74}{20,254} = 1,179 \text{ gr/ml}$$

b. Menghitung viscositas

$$t \text{ slurry} = 30,35 \text{ detik}$$

$$\begin{aligned}\mu \text{ slurry} &= \frac{30,35 \times 1,179}{1,6 \times 0,995341} \times 0,008284 \text{ gr/cc det} \\ &= 0,1861 \text{ gr/cc det}\end{aligned}$$

c. Analisa sampel

Ambil 5 ml kemudian encerkan sampai vol vol 100 ml

Ambil 5 ml yang telah diencerkan kemudian analisa

Volume titran = 18,7 ml

3. Tambahkan tepung sampai kadar 50%, kemudian panaskan dalam microwave selama 3 menit

a. Menghitung densitas

$$\text{Berat picno + slurry} = 46,12 \text{ gr}$$

$$\rho = \frac{46,12 - 20,74}{20,254} = 1,253 \text{ gr/ml}$$

b. Menghitung viscositas

$$t \text{ slurry} = 36,23 \text{ detik}$$

$$\begin{aligned}\mu \text{ slurry} &= \frac{36,23 \times 1,253}{1,6 \times 0,995341} \times 0,008284 \text{ gr/cc det} \\ &= 0,23613 \text{ gr/cc det}\end{aligned}$$

c. Analisa sampel

Volume titran = 18,4 ml

4. Panaskan 2 jam dengan kompor listrik

a. Menghitung densitas

$$\text{Berat picno + slurry} = 44,98 \text{ gr}$$

$$\rho = \frac{44,98 - 20,74}{20,254} = 1,1968 \text{ gr/ml}$$

b. Menghitung viscositas

$$\begin{aligned}
 t \text{ slurry} &= 33,12 \text{ detik} \\
 \mu \text{ slurry} &= \frac{33,12 \times 1,1968}{1,6 \times 0,995341} \times 0,008284 \text{ gr/cc det} \\
 &= 0,2062 \text{ gr/cc det}
 \end{aligned}$$

- c. Analisa sampel
Volume titran = 17,9 ml

40%

$$\begin{aligned}
 \frac{x \times 0,88}{x + 60} &= 0,4 \\
 0,88x &= 0,4x + 24 \\
 0,48x &= 24 \\
 x &= 50 \text{ gram} \\
 40\% \longrightarrow 50\% &= 28,94 \text{ gr}
 \end{aligned}$$

Kebutuhan enzim

$$\frac{0,5}{1000} \times 50 = 25/1000 = 2,5/100$$

1. Sebelum dipanaskan

- Menghitung densitas (ρ)
Berat picno + slurry = 45,61 gr
$$\rho = \frac{45,61 - 20,74}{20,254} = 1,228 \text{ gr/ml}$$
- Menghitung viscositas (μ)

$$\begin{aligned}
 t \text{ slurry} &= 4,8 \text{ detik} \\
 \mu \text{ slurry} &= \frac{t_{\text{slurry}} \times \rho_{\text{slurry}}}{t_{\text{air}} \times \rho_{\text{air}}} \times \mu_{\text{air}} \\
 \mu \text{ slurry} &= \frac{4,8 \times 1,228}{1,6 \times 0,995341} \times 0,008284 \text{ gr/cc det} \\
 &= 0,307 \text{ gr/cc det}
 \end{aligned}$$

2. Setelah dipanaskan dalam microwave selama 3 menit

- a. Menghitung densitas
Berat picno + slurry = 44,70 gr
$$\rho = \frac{44,70 - 20,74}{20,254} = 1,183 \text{ gr/ml}$$

b. Menghitung viscositas

$$t \text{ slurry} = 32,21 \text{ detik}$$

$$\mu \text{ slurry} = \frac{32,21 \times 1,183}{1,6 \times 0,995341} \times 0,008284 \text{ gr/cc det}$$
$$= 0,1982 \text{ gr/cc det}$$

c. Analisa sampel

Ambil 5 ml kemudian encerkan sampai vol vol 100 ml

Ambil 5 ml yang telah diencerkan kemudian analisa

Volume titran = 18,4 ml

3. Tambahkan tepung sampai kadar 50%, kemudian panaskan dalam microwave selama 3 menit

a. Analisa sampel

Volume titran = 18,2 ml

30%

1. Sebelum dipanaskan

▪ Menghitung densitas (ρ)

$$\text{Berat picno + slurry} = 44,78 \text{ gr}$$

$$\text{Berat picno kosong} = 20,74 \text{ gr}$$

$$\text{Volum picno} = 20,254 \text{ ml}$$

$$\rho = \frac{44,78 - 20,74}{20,254} = 1,186 \text{ gr/ml}$$

▪ Menghitung viscositas (μ)

$$\mu \text{ air (31°C)} = 0,8239$$

$$t \text{ slurry} = 3,4 \text{ detik}$$

$$t \text{ air} = 1,6 \text{ detik}$$

$$Cp = 0,008284 \text{ gr/cc det}$$

$$\rho \text{ air} = 0,995341$$

$$\mu \text{ slurry} = \frac{t_{\text{slurry}} \times \rho_{\text{slurry}}}{t_{\text{air}} \times \rho_{\text{air}}} \times \mu_{\text{air}}$$

$$\mu \text{ slurry} = \frac{3,4 \times 1,186}{1,6 \times 0,995341} \times 0,008284 \text{ gr/cc det}$$
$$= 0,0297 \text{ gr/cc det}$$

2. Setelah dipanaskan dalam microwave selama 3 menit

a. Menghitung densitas

$$\text{Berat picno + slurry} = 44,54 \text{ gr}$$

$$\rho = \frac{44,54 - 20,74}{20,254} = 1,175 \text{ gr/ml}$$

b. Menghitung viscositas

$$t \text{ slurry} = 30,12 \text{ detik}$$

$$\mu \text{ slurry} = \frac{30,12 \times 1,175}{1,6 \times 0,995341} \times 0,008284 \text{ gr/cc det}$$

$$= 0,184 \text{ gr/cc det}$$

c. Analisa sampel

Ambil 5 ml kemudian encerkan sampai vol vol 100 ml

Ambil 5 ml yang telah diencerkan kemudian analisa

Volume titran = 19,1 ml

3. Tambahkan tepung sampai kadar 50%, kemudian panaskan dalam microwave selama 3 menit

a. Menghitung densitas

$$\text{Berat picno + slurry} = 44,97 \text{ gr}$$

$$\rho = \frac{44,97 - 20,74}{20,254} = 1,196 \text{ gr/ml}$$

b. Menghitung viscositas

$$t \text{ slurry} = 38,12 \text{ detik}$$

$$\mu \text{ slurry} = \frac{38,12 \times 1,196}{1,6 \times 0,995341} \times 0,008284 \text{ gr/cc det}$$

$$= 0,2871 \text{ gr/cc det}$$

c. Analisa sampel

Volume titran = 18,7 ml

4. Panaskan 2 jam dengan kompor listrik

a. Menghitung densitas

$$\text{Berat picno + slurry} = 44,62 \text{ gr}$$

$$\rho = \frac{44,62 - 20,74}{20,254} = 1,179 \text{ gr/ml}$$

b. Menghitung viscositas

$$t \text{ slurry} = 34,11 \text{ detik}$$

$$\mu \text{ slurry} = \frac{34,11 \times 1,179}{1,6 \times 0,995341} \times 0,008284 \text{ gr/cc det}$$

$$= 0,2092 \text{ gr/cc det}$$

c. Analisa sampel

Volume titran = 18,2 ml

35%

1. Sebelum dipanaskan

- Menghitung densitas (ρ)

Berat picno + slurry = 44,90 gr

$$\rho = \frac{44,90 - 20,74}{20,254} = 1,193 \text{ gr/ml}$$

- Menghitung viscositas (μ)

t slurry = 3,7 detik

$$\mu \text{ slurry} = \frac{t_{\text{slurry}} \times \rho_{\text{slurry}}}{t_{\text{air}} \times \rho_{\text{air}}} \times \mu_{\text{air}}$$

$$\begin{aligned} \mu \text{ slurry} &= \frac{3,7 \times 1,193}{1,6 \times 0,995341} \times 0,008284 \text{ gr/cc det} \\ &= 0,023 \text{ gr/cc det} \end{aligned}$$

2. Setelah dipanaskan dalam microwave selama 3 menit

- a. Menghitung densitas

Berat picno + slurry = 44,66 gr

$$\rho = \frac{44,66 - 20,74}{20,254} = 1,181 \text{ gr/ml}$$

- b. Menghitung viscositas

t slurry = 32,17 detik

$$\begin{aligned} \mu \text{ slurry} &= \frac{32,17 \times 1,181}{1,6 \times 0,995341} \times 0,008284 \text{ gr/cc det} \\ &= 0,198 \text{ gr/cc det} \end{aligned}$$

- c. Analisa sampel

Ambil 5 ml kemudian encerkan sampai vol vol 100 ml

Ambil 5 ml yang telah diencerkan kemudian analisa

Volume titran = 18,8 ml

3. Tambahkan tepung sampai kadar 50%, kemudian panaskan dalam microwave selama 3 menit

- a. Menghitung densitas

Berat picno + slurry = 45,06gr

$$\rho = \frac{45,06 - 20,74}{20,254} = 1,201 \text{ gr/ml}$$

b. Menghitung viscositas

$$t \text{ slurry} = 38,14 \text{ detik}$$

$$\mu \text{ slurry} = \frac{38,14 \times 1,201}{1,6 \times 0,995341} \times 0,008284 \text{ gr/cc det}$$
$$= 0,238 \text{ gr/cc det}$$

c. Analisa sampel

Volume titran = 18,5 ml

4. Panaskan 2 jam dengan kompor listrik

a. Menghitung densitas

$$\text{Berat picno + slurry} = 44,70 \text{ gr}$$

$$\rho = \frac{44,70 - 20,74}{20,254} = 1,183 \text{ gr/ml}$$

b. Menghitung viscositas

$$t \text{ slurry} = 34,23 \text{ detik}$$

$$\mu \text{ slurry} = \frac{34,23 \times 1,183}{1,6 \times 0,995341} \times 0,008284 \text{ gr/cc det}$$
$$= 0,211 \text{ gr/cc det}$$

c. Analisa sampel

Volume titran = 18,10 ml

40%

1. Sebelum dipanaskan

▪ Menghitung densitas (ρ)

$$\text{Berat picno + slurry} = 44,98 \text{ gr}$$

$$\rho = \frac{44,98 - 20,74}{20,254} = 1,197 \text{ gr/ml}$$

▪ Menghitung viscositas (μ)

$$t \text{ slurry} = 3,9 \text{ detik}$$

$$\mu \text{ slurry} = \frac{t_{\text{slurry}} \times \rho_{\text{slurry}}}{t_{\text{air}} \times \rho_{\text{air}}} \times \mu_{\text{air}}$$

$$\mu \text{ slurry} = \frac{3,9 \times 1,197}{1,6 \times 0,995341} \times 0,008284 \text{ gr/cc det}$$

$$= 0,0243 \text{ gr/cc det}$$

2. Setelah dipanaskan dalam microwave selama 3 menit

- Menghitung densitas

$$\text{Berat picno + slurry} = 44,72 \text{ gr}$$

$$\rho = \frac{44,72 - 20,74}{20,254} = 1,184 \text{ gr/ml}$$

- Menghitung viscositas

$$t \text{ slurry} = 32,24 \text{ detik}$$

$$\mu \text{ slurry} = \frac{32,24 \times 1,184}{1,6 \times 0,995341} \times 0,008284 \text{ gr/cc det}$$

$$= 0,1986 \text{ gr/cc det}$$

- Analisa sampel

Ambil 5 ml kemudian encerkan sampai vol vol 100 ml

Ambil 5 ml yang telah diencerkan kemudian analisa

Volume titran = 18,4 ml

3. Tambahkan tepung sampai kadar 50%, kemudian panaskan dalam microwave selama 3 menit

- Menghitung densitas

$$\text{Berat picno + slurry} = 45,9 \text{ gr}$$

$$\rho = \frac{45,9 - 20,74}{20,254} = 1,24 \text{ gr/ml}$$

- Menghitung viscositas

$$t \text{ slurry} = 38,15 \text{ detik}$$

$$\mu \text{ slurry} = \frac{38,15 \times 1,24}{1,6 \times 0,995341} \times 0,008284 \text{ gr/cc det}$$

$$= 0,246 \text{ gr/cc det}$$

- Analisa sampel

Volume titran = 18,4 ml

4. Panaskan 2 jam dengan kompor listrik

- Menghitung densitas

$$\text{Berat picno + slurry} = 44,68 \text{ gr}$$

$$\rho = \frac{44,68 - 20,74}{20,254} = 1,182 \text{ gr/ml}$$

- Menghitung viscositas

$$\begin{aligned}
 t \text{ slurry} &= 34,25 \text{ detik} \\
 \mu \text{ slurry} &= \frac{34,25 \times 1,182}{1,6 \times 0,995341} \times 0,008284 \text{ gr/cc det} \\
 &= 0,211 \text{ gr/cc det}
 \end{aligned}$$

- Analisa sampel
Volume titran = 18,1 ml

%	Sebelum dipanaskan		Microwave 3 menit			+ 50% , microwave			Dipanaskan 2 jam		
	ρ	μ	ρ	μ	F	ρ	μ	F	ρ	μ	F
30	1,186	0,02097	1,175	0,184	19,1	1,196	0,237 1	18,7	1,179	0,209 2	18,2
35	1,193	0,023	1,181	0,198	18,8	1,201	0,238	18,5	1,183	0,211	18,1
40	1,197	0,0243	1,184	0,198 6	18,4	1,24	0,246	18,4	1,182	0,211	18,1

30%

1. Sebelum dipanaskan

- Menghitung densitas (ρ)

$$\text{Berat picno + slurry} = 44,73 \text{ gr}$$

$$\text{Berat picno kosong} = 20,74 \text{ gr}$$

$$\text{Volum picno} = 20,254 \text{ ml}$$

$$\rho = \frac{44,73 - 20,74}{20,254} = 1,184 \text{ gr/ml}$$

- Menghitung viscositas (μ)

$$\mu \text{ air (31°C)} = 0,8239$$

$$t \text{ slurry} = 3,3 \text{ detik}$$

$$t \text{ air} = 1,6 \text{ detik}$$

$$Cp = 0,008284 \text{ gr/cc det}$$

$$\rho \text{ air} = 0,995341$$

$$\mu \text{ slurry} = \frac{t \text{ slurry} \times \rho \text{ slurry}}{t \text{ air} \times \rho \text{ air}} \times \mu \text{ air}$$

$$\begin{aligned}
 \mu \text{ slurry} &= \frac{3,3 \times 1,184}{1,6 \times 0,995341} \times 0,008284 \text{ gr/cc det} \\
 &= 0,02032 \text{ gr/cc det}
 \end{aligned}$$

2. Setelah dipanaskan dalam microwave selama 3 menit

a. Menghitung densitas

$$\text{Berat picno + slurry} = 44,56 \text{ gr}$$

$$\rho = \frac{44,56 - 20,74}{20,254} = 1,176 \text{ gr/ml}$$

b. Menghitung viscositas

$$t \text{ slurry} = 30,16 \text{ detik}$$

$$\begin{aligned} \mu \text{ slurry} &= \frac{30,16 \times 1,176}{1,6 \times 0,995341} \times 0,008284 \text{ gr/cc det} \\ &= 0,184 \text{ gr/cc det} \end{aligned}$$

c. Analisa sampel

Ambil 5 ml kemudian encerkan sampai vol vol 100 ml

Ambil 5 ml yang telah diencerkan kemudian analisa

Volume titran = 19,4 ml

3. Tambahkan tepung sampai kadar 50%, kemudian panaskan dalam microwave selama 3 menit

a. Menghitung densitas

$$\text{Berat picno + slurry} = 44,95 \text{ gr}$$

$$\rho = \frac{44,95 - 20,74}{20,254} = 1,195 \text{ gr/ml}$$

b. Menghitung viscositas

$$t \text{ slurry} = 38,08 \text{ detik}$$

$$\begin{aligned} \mu \text{ slurry} &= \frac{38,08 \times 1,195}{1,6 \times 0,995341} \times 0,008284 \text{ gr/cc det} \\ &= 0,2367 \text{ gr/cc det} \end{aligned}$$

c. Analisa sampel

Volume titran = 18,8 ml

4. Panaskan 2 jam dengan kompor listrik

a. Menghitung densitas

$$\text{Berat picno + slurry} = 44,64 \text{ gr}$$

$$\rho = \frac{44,64 - 20,74}{20,254} = 1,179 \text{ gr/ml}$$

b. Menghitung viscositas

$$t \text{ slurry} = 34,08 \text{ detik}$$

$$\begin{aligned}\mu \text{ slurry} &= \frac{34,08 \times 1,179}{1,6 \times 0,995341} \times 0,008284 \text{ gr/cc det} \\ &= 0,2090 \text{ gr/cc det}\end{aligned}$$

- c. Analisa sampel
Volume titran = 18,2 ml

35%

1. Sebelum dipanaskan

- Menghitung densitas (ρ)

$$\text{Berat picno + slurry} = 44,87 \text{ gr}$$

$$\rho = \frac{44,87 - 20,74}{20,254} = 1,191 \text{ gr/ml}$$

- Menghitung viscositas (μ)

$$t \text{ slurry} = 3,6 \text{ detik}$$

$$\mu \text{ slurry} = \frac{t_{\text{slurry}} \times \rho_{\text{slurry}}}{t_{\text{air}} \times \rho_{\text{air}}} \times \mu_{\text{air}}$$

$$\begin{aligned} \mu \text{ slurry} &= \frac{3,6 \times 1,191}{1,6 \times 0,995341} \times 0,008284 \text{ gr/cc det} \\ &= 0,022 \text{ gr/cc det} \end{aligned}$$

2. Setelah dipanaskan dalam microwave selama 3 menit

a. Menghitung densitas

$$\text{Berat picno + slurry} = 44,66 \text{ gr}$$

$$\rho = \frac{44,66 - 20,74}{20,254} = 1,181 \text{ gr/ml}$$

b. Menghitung viscositas

$$t \text{ slurry} = 32,17 \text{ detik}$$

$$\begin{aligned} \mu \text{ slurry} &= \frac{32,17 \times 1,181}{1,6 \times 0,995341} \times 0,008284 \text{ gr/cc det} \\ &= 0,198 \text{ gr/cc det} \end{aligned}$$

c. Analisa sampel

Ambil 5 ml kemudian encerkan sampai vol vol 100 ml

Ambil 5 ml yang telah diencerkan kemudian analisa

Volume titran = 18,9 ml

3. Tambahkan tepung sampai kadar 50%, kemudian panaskan dalam microwave selama 3 menit

a. Menghitung densitas

$$\text{Berat picno + slurry} = 45,04 \text{ gr}$$

$$\rho = \frac{45,04 - 20,74}{20,254} = 1,201 \text{ gr/ml}$$

b. Menghitung viscositas

$$t \text{ slurry} = 38,12 \text{ detik}$$

$$\begin{aligned} \mu \text{ slurry} &= \frac{38,12 \times 1,201}{1,6 \times 0,995341} \times 0,008284 \text{ gr/cc det} \\ &= 0,238 \text{ gr/cc det} \end{aligned}$$

c. Analisa sampel

Volume titran = 18,5 ml

4. Panaskan 2 jam dengan kompor listrik

a. Menghitung densitas

$$\text{Berat picno + slurry} = 44,71 \text{ gr}$$

$$\rho = \frac{44,71 - 20,74}{20,254} = 1,183 \text{ gr/ml}$$

b. Menghitung viscositas

$$t \text{ slurry} = 34,20 \text{ detik}$$

$$\begin{aligned}\mu \text{ slurry} &= \frac{34,20 \times 1,183}{1,6 \times 0,995341} \times 0,008284 \text{ gr/cc det} \\ &= 0,210 \text{ gr/cc det}\end{aligned}$$

- c. Analisa sampel
Volume titran = 17,80 ml

40%

1. Sebelum dipanaskan

- Menghitung densitas (ρ)

$$\text{Berat picno + slurry} = 44,96 \text{ gr}$$

$$\rho = \frac{44,96 - 20,74}{20,254} = 1,196 \text{ gr/ml}$$

- Menghitung viscositas (μ)

$$t \text{ slurry} = 4 \text{ detik}$$

$$\mu \text{ slurry} = \frac{t_{\text{slurry}} \times \rho_{\text{slurry}}}{t_{\text{air}} \times \rho_{\text{air}}} \times \mu_{\text{air}}$$

$$\begin{aligned} \mu \text{ slurry} &= \frac{4 \times 1,196}{1,6 \times 0,995341} \times 0,008284 \text{ gr/cc det} \\ &= 0,0243 \text{ gr/cc det} \end{aligned}$$

2. Setelah dipanaskan dalam microwave selama 3 menit

- a. Menghitung densitas

$$\text{Berat picno + slurry} = 44,71 \text{ gr}$$

$$\rho = \frac{44,71 - 20,74}{20,254} = 1,183 \text{ gr/ml}$$

- b. Menghitung viscositas

$$t \text{ slurry} = 32,22 \text{ detik}$$

$$\begin{aligned} \mu \text{ slurry} &= \frac{32,22 \times 1,183}{1,6 \times 0,995341} \times 0,008284 \text{ gr/cc det} \\ &= 0,1983 \text{ gr/cc det} \end{aligned}$$

- c. Analisa sampel

Ambil 5 ml kemudian encerkan sampai vol vol 100 ml

Ambil 5 ml yang telah diencerkan kemudian analisa

Volume titran = 18,5 ml

3. Tambahkan tepung sampai kadar 50%, kemudian panaskan dalam microwave selama 3 menit

- a. Menghitung densitas

$$\text{Berat picno + slurry} = 46,1 \text{ gr}$$

$$\rho = \frac{46,1 - 20,74}{20,254} = 1,25 \text{ gr/ml}$$

- b. Menghitung viscositas

$$t \text{ slurry} = 38,17 \text{ detik}$$

$$\begin{aligned} \mu \text{ slurry} &= \frac{38,17 \times 1,25}{1,6 \times 0,995341} \times 0,008284 \text{ gr/cc det} \\ &= 0,248 \text{ gr/cc det} \end{aligned}$$

- c. Analisa sampel
Volume titran = 18,4 ml

4. Panaskan 2 jam dengan kompor listrik

- a. Menghitung densitas

$$\text{Berat picno + slurry} = 44,72 \text{ gr}$$

$$\rho = \frac{44,72 - 20,74}{20,254} = 1,184 \text{ gr/ml}$$

- b. Menghitung viscositas

$$t \text{ slurry} = 34,28 \text{ detik}$$

$$\mu \text{ slurry} = \frac{34,28 \times 1,184}{1,6 \times 0,995341} \times 0,008284 \text{ gr/cc det}$$
$$= 0,211 \text{ gr/cc det}$$

- c. Analisa sampel

$$\text{Volume titran} = 18,4 \text{ ml}$$

B.1. Biodata Ketua Peneliti

Nama Lengkap dan Gelar : Ir. Budiyo, MSi

Tempat/tanggal lahir : Blora, 20 Pebruari 1966

Pendidikan

Universitas dan Lokasi	Gelar	Tahun Selesai	Bidang Studi
Univ. Diponegoro, Semarang (S1)	Ir	1990	Teknik Kimia
Institut Teknologi Bandung (S2)	MSi	1997	Teknik Kimia

Pengalaman kerja dalam penelitian dan pengalaman profesional

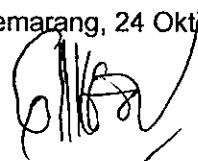
Institusi	Jabatan	Periode Kerja
Teknik Kimia UNDIP	Staf pengajar	1995 - Sekarang

Daftar publikasi yang relevan dengan proposal penelitian yang diajukan

1. **Budiyo** dan Tutuk Djoko K., (2002), "Studi Pengolahan Lumpur Biologis secara Aerob Anaerob Digestion", Prosiding Seminar Kejuangan Teknik Kimia, UPN, Yogyakarta
2. Tutuk Djoko K. dan **Budiyo**, (2001), "Pemanfaatan Sekam Padi untuk Pembuatan Pupuk Organik dengan Berbagai Aktivator", Prosiding Seminar Fundamental dan Aplikasi Teknik Kimia, ITS Surabaya
3. **Budiyo**, Didik Marhaendra, dan Bagus Fita K., (2001), "Pengembangan Sistem Aerasi Intermittent untuk Penyisihan Karbon, Nitrifikasi, dan Denitrifikasi Limbah Cair secara Simultan", Prosiding Seminar Rekayasa Kimia dan Proses, Jurusan Teknik Kimia Undip, Semarang
4. **Budiyo** dan Soni Panthera Sakti, (2001), "Pemutihan pati Ganyong untuk Peningkatan Kualitas dan Daya Jual", Prosiding Seminar Rekayasa Kimia dan Proses, Jurusan Teknik Kimia Undip, Semarang
5. **Budiyo**, (2001), "Simulasi dan pemodelan proses lumpur aktif tanpa resirkulasi lumpur dalam keadaan transien", Majalah Reaktor, Jurusan Teknik Kimia Undip, Semarang
6. **Budiyo**, Tjandra Setiadi, I G. Wenten, and Adrianto Ahmad, (2000), "The combination of membrane separation technology and activated sludge process for industrial wastewater treatment : the use of backflushing technique for maintaining the flux stability", 2-nd International Workshop on Membranes Programmes, PAU ITB, Bandung
7. **Budiyo**, (1999), "Kombinasi Proses Lumpur Aktif Membran untuk Pengolahan Limbah Industri : Tinjauan terhadap parameter kinetika pertumbuhan mikroba", *Seminar Nasional Rekayasa Kimia dan Proses*, UNDIP, Semarang
8. **Budiyo** dan T. Setiadi, (1999), "Peluang Menerapkan Teknologi Bersih dengan Memanfaatkan Teknologi Membran", Seminar Suhadi Rekswardojo, ITB, Bandung
9. **Budiyo**, Slamet Suryanto, dan Nine Suryantini, (1999), "Kajian awal : Pengolahan limbah industri cat injection molding dengan cara koagulasi dan flokulasi", *Seminar Nasional Rekayasa Kimia dan Proses*, UNDIP, Semarang

10. **Budiyono** dan T. Setiadi, (1999), "Peluang Menerapkan Teknologi Bersih dengan Memanfaatkan Teknologi Membran", Seminar Suhadi Reksowardojo, ITB, Bandung
11. Agus Hadiyanto dan **Budiyono**, (1998), "Identifikasi faktor emisi polutan dari perahu nelayan", Konfernas PSL, ITS, Surabaya
12. Indro Sumantri and **Budiyono**, (1998), "The utilization of brackish water for drinking water raw material by sweeping gas membrane distillation", *Majalah Penelitian*, Lembaga Penelitian UNDIP, Semarang
13. **Budiyono**, T. Setiadi, dan I. G. Wenten, (1997), "Simulasi dan Pemodelan Proses pengolahan limbah dengan kombinasi proses lumpur aktif dan membran dalam keadaan transien", Seminar Suhadi Reksowardojo, ITB, Bandung
14. Wenten, I G., T. Setiadi, dan **Budiyono**, (1997), "Kombinasi Proses Lumpur Aktif - Membran untuk pengolahan limbah industri : Upaya mempertahankan stabilitas fluks pada SRT tinggi", Seminar Teknik Kimia ITS, Surabaya
15. **Budiyono**, (1997), Kombinasi Proses Lumpur Aktif - Membran untuk Pengolahan Limbah Industri", Tesis Magister, ITB, Bandung
16. **Budiyono**, (1997), "Permasalahan pengendapan pada proses lumpur aktif", *Majalah Teknik*, Edisi Juli
17. **Budiyono**, (1996), "Teknologi Hemat Energi dan Akrab Lingkungan dengan Teknologi Membran", Seminar Perpindahan Massa dan Panas, UGM, Yogyakarta

Semarang, 24 Oktober 2008



Ir. Budiyono, MSi