

**HIBAH BERSAING**



**LAPORAN KEGIATAN**

**Pembuatan Asam Sitrat dari Buangan Padat Buah Nanas dengan Fermentasi Fase Cair dalam Bioreaktor Bergelembung**

Oleh :

1. Widayat, ST., MT.
2. Ir. Abdullah, MS. PhD
3. Ir. Danny Soetrisnanto, Meng
4. Drs. Mohammad Hadi, MSi

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. Dapt: 646/KI/PT/Ci

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

A. Judul : **Pembuatan Asam Sitrat dari Buangan Padat Buah Nanas dengan Fermentasi Fase Cair dalam Bioreaktor Bergelembung**

B. Ketua Peneliti

a. Nama : Widayat, ST., MT  
 b. Jenis Kelamin : Laki-laki  
 c. Pangkat/Golongan/NIP. : Penata / III B/132 207 766  
 d. Bidang Keahlian : Bioproses dan Hidrodinamika Reaktor  
 e. Fakultas/Jurusan : Teknik/Teknik Kimia  
 f. Perguruan Tinggi : Universitas Diponegoro

C. Tim Peneliti

NAMA	BIDANG KEAHLIAN	FAKULTAS/JURUSAN	PERGURUAN TINGGI
Dr. Ir. Abdullah, MS	Kinetika reaksi	TEKNIK/Teknik Kimia	UNDIP
Drs. Mohammad Hadi, MSi	Mikrobiologi	MIPA /Biologi	UNDIP
Ir. Danny Soetrisnanto, MEng	Bioteknologi	TEKNIK/Teknik Kimia	UNDIP

d. Pendanaan dan jangka waktu penelitian

Jangka waktu penelitian yang diusulkan : 3 tahun  
 Biaya total yang diusulkan : Rp 115.000.000,00  
 Biaya yang disetujui Tahun. 2005 : Rp 35.000.000,00

Semarang, 10 Nopember 2005

Ketua Peneliti



Widayat, ST., MT  
 NIP. 132 207 766

Mengetahui  
 Dekan Fakultas Teknik UNDIP

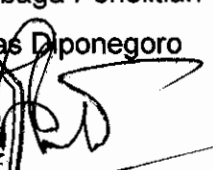


Ir. Sri Eko Wahyuni, MS  
 NIP. 130 898 829




Menyetujui

Ketua Lembaga Penelitian  
 Universitas Diponegoro



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



## RINGKASAN DAN SUMMARY

Asam sitrat merupakan asam organik yang mempunyai fungsi sangat penting dalam industri minuman dan makanan, industri farmasi, industri kosmetik, industri logam dan berbagai industri kimia. Dewasa ini, asam sitrat diproduksi melalui proses fermentasi dengan bahan baku onggok, gaplek, bekatul dan tepung aren dan bioreaktor yang berbentuk tangki berpengaduk. Dalam penelitian ini asam sitrat akan diproduksi dari buangan padat buah nanas dalam bioreaktor bergelembung dengan proses fermentasi fase cair (*submerged culture*) dan mikroba *Aspergillus niger*. Buangan padat buah nanas selama ini belum banyak dimanfaatkan.

Penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan buangan padat buah nanas (bonggol dan kulit nanas) sebagai bahan baku dalam pembuatan asam sitrat dengan proses fermentasi fase cair dalam bioreaktor bergelembung dan kapang *Aspergillus niger*. Secara khusus penelitian ini bertujuan untuk merancang bioreaktor bergelembung untuk proses fermentasi asam sitra, memanfaatkan buangan padat buah nanas untuk memproduksi asam sitrat dengan proses fermentasi fase cair dan mikroba *Aspergillus niger*, mengembangkan penggunaan bioreaktor bergelembung untuk proses produksi asam sitrat, studi eksperimetal pengaruh laju alir volumetrik udara, viskositas, densitas dan konsentrasi gula total terhadap hidrodinamika reaktor bergelembung dan perpindahan massa

Untuk memperoleh hasil yang komprehensif pada tahun I dilakukan perancangan bioreaktor bergelembung dan dilanjutkan studi hidrodinamika reaktor dan perpindahan massa tanpa adanya kapang *Aspergillus niger*. Perancangan bioreaktor dihasilkan dua buah, dimana dibedakan alat untuk studi hidrodinamika dan perpindahan massa serta untuk studi produktifitas asam sitrat. Dimensi peralatan bioreaktor bergelembung adalah sebagai berikut; tinggi reaktor 84 cm, diameter dalam 6.9 cm, diameter luar 7 cm

Hasil penelitian menunjukkan bahwa medium fermentasi buangan buah nanas mempunyai kelakuan yang sama dengan fluida sukrosa, jarak cairan dari dasar reaktor semakin jauh, maka semakin besar holdup gas, kenaikan konsentrasi larutan akan mengakibatkan penurunan holdup gas dan koefisien transfer massa, kenaikan laju alir udara akan mengakibatkan kenaikan holdup gas dan koefisien transfer massa, pada konsentrasi 10 % merupakan batas transisi jenis fluida dari newtonian menjadi non newtonian untuk jenis media gula. Persamaan matematika hubungan konstanta perpindahan massa adalah

$$k_L a = 0,00646V^{0,189} \quad \text{untuk larutan nanas dan larutan sukrosa}$$

$$k_L a = 0,00816V^{0,134}$$

## PRAKATA

Peneliti mengucapkan puji syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat-Nya, sehingga peneliti dapat menyelesaikan penelitian dan laporan ini. Laporan Akhir Penelitian program Hibah Bersaing dengan judul **"Pembuatan Asam Sitrat dari Buangan Padat Buah Nanas dengan Fermentasi Fase Cair dalam Bioreaktor Bergelembung"** berisi tentang pendahuluan, tinjauan pustaka, tujuan dan manfaat penelitian, hasil penelitian dan pembahasan serta kesimpulan dan saran. Pendahuluan berisi tentang hal yang melatarbelakangi penelitian ini dan perumusan masalah. Tinjauan Pustaka berisi tentang kajian pustaka yang berhubungan dengan penelitian ini.

Pada kesempatan ini peneliti mengucapkan terima kasih kepada 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 yang telah membiayai penelitian dalam program Hibah Bersaing. Peneliti juga mengucapkan terima kasih kepada **Ketua Lembaga Penelitian UNDIP** yang telah mengkoordinasi program penelitian, **Ketua Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik UNDIP** yang telah memberikan ijin untuk mengadakan penelitian di Laboratorium Bioteknologi Proses dan kepada semua pihak yang telah membantu terlaksananya penelitian ini

Akhirnya peneliti berharap hasil penelitian dapat memberikan sumbangan bagi perkembangan ilmu pengetahuan. Saran dan kritik yang bersifat membangun selalu penyusun harapkan, demi kesempurnaan penelitian ini.

Semarang, Nopember 2005

Peneliti

## DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR IDENTITAS DAN PENGESAHAN	ii
RINGKASAN DAN SUMMARY	iii
PRAKATA	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR/ILUSTRASI	viii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
BAB I      Pendahuluan	1
1.1.    Subyek Penelitian	1
1.2.    Lokasi Penelitian	1
1.3.    Hasil yang ditargetkan	2
BAB II     Tujuan Dan Manfaat Penelitian Tahun Ke I	3
2.1.    Tujuan Penelitian	3
2.2.    Manfaat Penelitian	3
BAB III    Tinjauan Pustaka	4
3.1.    Tanaman nanas	4
3.2.    Proses Produksi Asam Sitrat dengan Proses Fermentasi	6
3.3.    Bioreaktor Bergelembung	8
3.4.    Hidrodinamika dan Perpindahan Massa gas-Cair	10
3.5.    Kinetika Reaksi Proses Fermentasi	15
BAB IV     Metode Penelitian	18
4.1.    Bahan dan Alat Penelitian	18
4.2.    Variabel operasi untuk Studi Hidrodinamika dan Perpindahan Massa	19
4.3.    Respon Pengamatan	19
4.4.    Prosedur Percobaan	19
4.5.    Analisis Data	20
BAB V      Hasil dan Pembahasan	21
5.1.    Perancangan bioreaktor bergelembung	21
5.2.    Studi Pengaruh Jarak Inverted Manometer	23
5.3.    Pengaruh Konsentrasi Larutan Terhadap Hold Up	26

5.4. Pengaruh Laju Alir Udara Terhadap Kla	28
5.5. Pengaruh Konsentrasi Larutan Terhadap Kla	31
5.6. Korelasi Antara Koefisien Transfer Massa Dengan Laju Alir Volumetrik Udara	32
BAB VI Kesimpulan dan Saran	34
6.1. Kesimpulan	34
6.2. Saran	34
BAB VII Rencana /Penelitian Tahap Selanjutnya	35
A. Tujuan Khusus	35
B. Metode	35
C. Jadwal Kerja	40
DAFTAR PUSTAKA	41
LAMPIRAN	44

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Komposisi buah nanas	4
Tabel 3.2. Karakteristik Filtrat Limbah Kulit dan Bonggol Nanas	5
Tabel 3.3. Aplikasi biokimia pada reaktor bergelembung	10
Tabel 3.4 korelasi hold up gas untuk kolom bergelembung	11
Tabel 3.5 : Perbandingan beberapa metode pengukuran koefisien perpindahan massa (Riet dan tramper, 1991)	14
Tabel 5.1. : Hasil-hasil penelitian tentang perpindahan massa gas-cair pada bioreaktor bergelembung jenis airlift eksternal loop (Stang, et.al, 2001).	31
Tabel 7.1. Faktorial design $2^5$ untuk optimisasi proses fermentasi asam sitrat	39
Tabel 7.2. Jadwal Kerja penelitian tahun II dan III	40

## DAFTAR GAMBAR/ILUSTRASI

Gambar 3.1. Proses metabolisme sederhana pembuatan asam sitrat dari karbohidrat	6
Gambar 3.2. Kolom penggelembung ditinjau dari aliran gas	9
Gambar 3.3 Pengaruh sirkulasi cairan pada bioreaktor air lift terhadap kelakuan lainn	15
Gambar 4.1. Rangkaian alat bioreaktor bergelembung untuk studi hidrodinamika dan perpindahan massa	18
Gambar 5.1 Hasil Perancangan Bioreaktor bergelembung	21
Gambar 5.2. Bioreaktor bergelembung untuk proses produksi asam sitrat	22
Gambar 5.3. Bioreaktor bergelembung untuk studi hidrodinamika dan perpindahan massa	23
Gambar 5.4. Hubungan ketinggian inverted manometer terhadap hold up pada berbagai laju alir dalam larutan nanas	24
Gambar 5.5. Hubungan ketinggian inverted manometer terhadap hold up pada berbagai laju alir dalam larutan sukrosa	25
Gambar 5.6. Hubungan konsentrasi larutan erhadap hold up pada berbagai laju alir udara	27
Gambar 5.7. Hubungan laju alir udara terhadap hold up gas pada air (Feijen, 1987)	28
Gambar 5.8. Hubungan antara laju alir dengan $kLa$ pada berbagai konsentrasi	29
Gambar 5.9. Hubungan koefisien perpindahan massa dengan laju alir udara dengan dan tanpa ragi (Stang, et.al, 2001).	30
Gambar 5.10. Hubungan antara konsentrasi larutan dengan $kLa$ pada berbagai laju alir udara	32
Gambar 7.1. Skematik tahapan-tahapan penelitian	35

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A. Rencana Anggaran Penelitian	44
Lampiran B Hasil Analisa Pendahuluan dan Kalibrasi	49
Lampiran C Data Percobaan Hidrodinamika Dan Perpindahan Massa Gas-Cair	54
Lampiran D. Makalah publikasi dalam Seminar Nasional	64

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1. SUBYEK PENELITIAN

Subyek penelitian ini adalah buangan padat buah nanas seperti bonggol dan kulit buah nanas, sebagai bahan baku pembuatan asam sitrat dengan proses fermentasi fase cair dan mikroba *Aspergillus niger* dalam bioreaktor bergelembung. Aspek penelitian adalah penelitian rekayasa dan pengembangan reaktor bergelembung sebagai bioreaktor dalam proses fermentasi berbahan baku buangan padat buah nanas.

Periode Penelitian	Aspek Penelitian
Tahun I	Rancang bangun bioreaktor bergelembung, dilanjutkan dengan studi hidrodinamika reaktor dengan fluida cairan dari buangan padat buah nanas (gas holdup, laju alir dan pola aliran) dan pertumbuhan mikroba
Tahun II	Studi Perpindahan massa dan kinetika reaksi yang meliputi kinetika pertumbuhan mikroba, pemanfaatan substrat dan pembentukan produk. Formulasi matematik dikembangkan untuk hubungan koefisien perpindahan massa dengan laju alir fluida dan viskositas, baik ada dan tidak mikroba
Tahun III	Studi produktifitas asam sitrat dan optimisasi kondisi proses yang meliputi konsentrasi gula, konsentrasi nutrien (N,P), konsentrasi jumlah mikroba, laju alir volumetrik udara dan pH awal, serta penyusunan draf paten

### 1.2. LOKASI PENELITIAN :

Laboratorium Bioteknologi, Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik UNDIP

Laboratorium Mikrobiologi dan Biologi Jurusan Biologi Fakultas MIPA UNDIP

### 1.3. HASIL YANG DITARGETKAN :

Hasil yang ditargetkan dalam penelitian ini, pada tahun pertama adalah sebagai berikut:

- (i) sebuah prototipe bioreaktor bergelembung yang dapat digunakan untuk proses fermentasi asam sitrat fase cair yang dilengkapi dengan tangki umpan dan proses sterilisasi dan pendinginan
- (ii) korelasi empirik antara hidrodinamika dan koefisien perpindahan massa dalam reaktor bergelembung

Untuk tahun ke-2 dan ke-3 hasil yang ditargetkan adalah

- (iii) Asam sitrat yang dihasilkan dari buangan padat buah nanas dengan proses fermentasi fase cair dan mikroba *Aspergillus niger* korelasi empirik kinetika reaksi proses produksi asam sitrat yang meliputi kinetika pertumbuhan mikroba, kinetika penggunaan substrat dan kinetika pembentukan produk
- (iv) data-data teknis laboratorium untuk perancangan dan pengoperasian proses yang meliputi kinetika reaksi, kondisi operasi yang optimum yang meliputi konsentrasi gula, konsentrasi nutrien, pH awal dan laju volumetrik udara; juga koefisien perpindahan massa
- (v) tingkat produktifitas asam sitrat yang lebih baik dengan adanya penambahan aditif metanol dan atau etanol
- (vi) satu draf usulan paten biasa dan 4 buah publikasi ilmiah

## BAB II

### TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN TAHUN KE I

#### 2.1. TUJUAN PENELITIAN

Secara umum penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan buangan padat buah nanas (bonggol dan kulit nanas) sebagai bahan baku dalam pembuatan asam sitrat dengan proses fermentasi fase cair dalam bioreaktor bergelembung dan kapang *Aspergillus niger*. Secara khusus penelitian ini bertujuan untuk:

1. Merancang bioreaktor bergelembung untuk proses fermentasi asam sitrat
2. Memanfaatkan buangan padat buah nanas untuk memproduksi asam sitrat dengan proses fermentasi fase cair dan mikroba *Aspergillus niger*.
3. Mengembangkan penggunaan bioreaktor bergelembung untuk proses produksi asam sitrat
4. Studi eksperimental pengaruh laju alir volumetrik udara, viskositas, densitas dan konsentrasi gula total terhadap hidrodinamika reaktor bergelembung dan perpindahan massa
5. Penyusunan model empirik tentang perpindahan massa gas-cair

#### 2.2. MANFAAT PENELITIAN

Manfaat yang dapat diperoleh dengan adanya penelitian ini adalah:

1. Peningkatan nilai guna buangan padat buah nanas menjadi produk yang bermanfaat yaitu asam sitrat
2. Pengembangan bioreaktor bergelembung untuk proses fermentasi fase cair khususnya pembuatan asam sitrat
3. Penggunaan data-data empiris dalam perancangan bioreaktor bergelembung, khususnya data-data hidrodinamika dan perpindahan massa.

## BAB III TINJAUAN PUSTAKA

### 3.1. Tanaman Nanas

Nanas (*Ananas Comosus (l) Merr*) termasuk familia *bromoliaceae*, ordo *farinoceae* (*bromoliases*). Di Indonesia, tanaman nanas telah berkembang luas di seluruh pelosok, hingga pada tahun 1985 luas areal mencapai 28.000 ha dengan produksi 119.400 ton (Hendro, 1991). Buah nanas di Indonesia biasanya dimakan langsung sebagai hidangan pencuci mulut sesudah makan, sirup dan buah kalengan supaya tahan lama. Komposisi buah nanas seperti disajikan dalam Tabel 3.1.

**Tabel 3.1. Komposisi buah nanas**

Komponen	Jumlah per 100 gram
Protein	0,4 gram
Lemak	0,2 gram
Hidrat arang	13,7 gram
Kalsium	16,0 miligram
Fosfor	11,0 miligram
Besi	0,3 miligram
Vitamin A	130,0 SI
Vitamin B1	0,08 miligram
Vitamin C	24,0 miligram
Air	85,0 miligram

*Sumber:* Direktorat Gizi Depkes R.I (1981) dalam Hendro, 1981

Pemanfaatan nanas hanya sebatas pada daging buahnya saja, kulit dan batang atau bonggolnya belum dimanfaatkan hanya dibuang begitu saja sebagai sampah. Hasil analisa yang telah dilakukan pada kulit atau limbah nanas, disajikan dalam Tabel 3.2 (Sasaki, 1992, Abdullah, 1998, Aprilitasari, 2003). Hasil analisa menunjukkan adanya karbohidrat (glukosa, fruktosa dan sukrosa), sehingga merupakan potensi yang baik sebagai bahan baku untuk proses fermentasi. Dengan demikian perlu dipikirkan bagaimana dapat memanfaatkan kulit dan batang nanas menjadi produk yang mempunyai nilai ekonomis dan tidak menimbulkan pencemaran pada lingkungan. Limbah padat ini masih juga mengandung mineral-mineral seperti Fe, Ca, Mn, Mg, Cu, Cd, Na, K sehingga juga dapat mengurangi unsur mikro maupun makro pada proses fermentasi. Di dalam Tabel 2. data yang disajikan oleh Abdullah merupakan nanas dari Malaysia, Sasaki

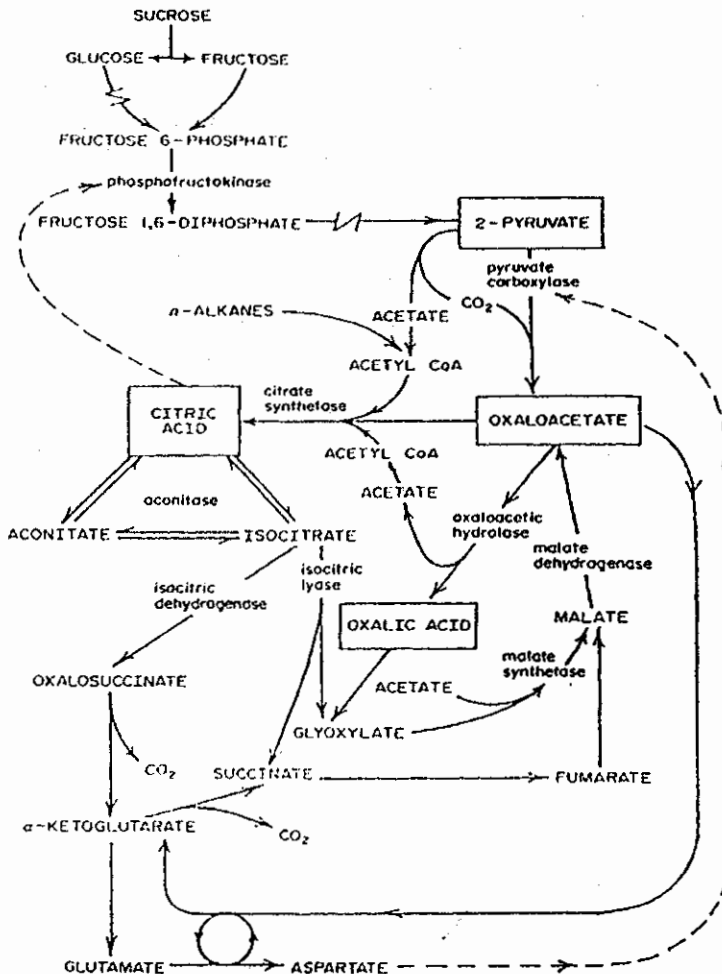
dari Thailand dan Aprilitasari dari Indonesia. Jika dibandingkan antara komposisi buah nanas (untuk nanas dari negara Philipina dan Thailand) dengan kulit dan bonggol buah nanas, maka komposisi karbohidrat antara buah nanas dengan limbah yang dihasilkan tidak berbeda jauh, khususnya yang diperoleh dari produk Indonesia. Studi pendahuluan pemanfaatan buangan buah nanas sebagai bahan baku dalam produksi asam sitrat juga telah dilakukan oleh Haryono dan Abdullah, 2003. Penelitian dilakukan di dalam skala laboratorium dengan menggunakan peralatan gelas, hasilnya menunjukkan bahwa buangan ini sangat prospektif sebagai bahan baku produksi asam sitrat.

**Tabel 3.2. Karakteristik Filtrat Limbah Kulit dan Bonggol Nanas**

Parameter	Abdullah, 1998	Sasaki, 1992	Aprilitasari, 2003	Buah Nanas, Krueger, dkk, 1992	
				Philipina	Thailand
COD ( gr / lt )	57	100,8	62,1	-	-
pH	4	4	4	-	-
Gula Reduksi ( gr / lt )	23,7	39,2	-	-	-
Sukrosa ( gr / lt )	6,54	40,1	46,85	28,1	65,3
Glukosa ( gr / lt )	9	23,6	17,92	41,8	37,1
Fruktosa ( gr / lt )	9,88	14,0	10,7	41,4	33,6
Protein yang terlarut	1,05	0,9	0,927	-	-
Jml Nitrogen ( gr / lt )	0,86	0,2	-	-	-
Derajat keasaman (gr/lt )	0,48	-	-	6,8	4,6
Asam sitrat ( gr / lt )	0,32	-	13,170	4,39	5,57
Asam malic ( gr / lt )	0,096	-	-	1,82	1,43
Asam asetat ( gr/lt )	-	-	3,325	-	-
Fe	18,9	5,43	-	-	-
Ca	89	3,31	-	-	-
Mn	1,7	13,97	-	-	-
Mg	53	62,50	-	-	-
Cu	1	2,02	-	-	-
Cd	0	0,03	-	-	-
Na	382	8,61	-	-	-
K	425	-	340,71	1340	1150
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	5,643	169,7	-	-	-
PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>	0	223,8	-	-	-
NO <sub>3</sub> <sup>3</sup>	12,4	-	-	-	-
Cl <sup>-1</sup>	105	-	-	-	-
P	12	-	-	-	-

### 3.2. Proses Produksi Asam Sitrat dengan Proses Fermentasi

Di dalam industri, fermentasi diartikan sebagai suatu proses untuk mengubah bahan baku menjadi suatu produk oleh massa sel mikroba, termasuk juga proses anabolisme pembentukan sel (komponen) dalam fermentasi asam sitrat secara aerob. Metode-metode yang digunakan pada beberapa industri asam sitrat di Indonesia adalah proses fermentasi secara *surface culture* dengan media semi padat. Bahan baku yang digunakan antara lain onggok, gapek, bekatul dan bahan tambahan lainnya. Komposisi diatur sedemikian rupa sehingga didapat kadar gula total antara 60-70 % (Darwis dan Said, 1992). Bakteri yang digunakan adalah *aspergillus niger*. Mikroba ini mempunyai sifat yang kurang sensitif terhadap adanya ion-ion logam seperti besi, mangan dan sebagainya. Metode fermentasi ini dikenal dengan proses *Koji* [Prescott dan Dunn, 1959]. Strain *Aspergillus niger* secara normal menghasilkan asam oksalat ( $\text{HO}_2\text{CCO}_2\text{H}$ ). Pembatasan nutrisi fosfat dan logam seperti tembaga, besi dan mangan, menghasilkan asam sitrat [Bailey and Ollis, 1988].



Gambar 3.1. Proses metabolisme sederhana pembuatan asam sitrat dari karbohidrat

Asam sitrat merupakan produk metabolit primer pada siklus asam trikarboksilat (TCA). Siklus ini juga dikenal dengan siklus Krebs atau siklus asam sitrat. Pada sebagian besar mikroba, 80% glukosa dipecah melalui reaksi-reaksi dalam lintasan *Embden Meyerhof Parnas (EMP)*. Asam piruvat dihasilkan dari degradasi glukosa melalui glikolisis (reaksi menurun) dan reaksi biosintesa glukosa. Asam piruvat yang merupakan produk akhir dari lintasan EMP dioksidasi lebih lanjut. Dengan menggunakan bantuan enzim dikarboksilase membentuk senyawa asetat. Senyawa asetat yang terbentuk berikatan dengan koenzim A menghasilkan *Acetyl-CoA*. Asam sitrat terbentuk dengan kondensasi *Acetyl-CoA* dan asam oksaloasetat dengan bantuan enzim *citrate synthetase*. Gambaran proses secara sederhana seperti disajikan di Gambar 3.1. (Prescott dan Dunn, 1959).

Pada umumnya telah disepakati bahwa agar ekskresi asam sitrat oleh mikroba terjadi secara berlebihan maka pertumbuhan mikroba penghasil asam sitrat perlu dikendalikan secara ketat. Akumulasi asam sitrat dapat terjadi bila medium fermentasi kekurangan satu atau lebih unsur – unsur nutrient penting antara lain dengan membatasi konsentrasi unsur P. Variabel – variabel yang berpengaruh pada fermentasi asam sitrat (Kirk dan Othmer, 1964) :

1. Bahan pengubah

katalis biokimia (enzim) atau katalis kimia untuk proses hidrolisis dari karbohidrat kompleks, protein dan bahan – bahan lainnya. Mikroba yang umum digunakan adalah *Aspergillus niger*.

2. Bahan Penetral

Dapat mengurangi keasaman atau kebasaaan yang berlebihan dan membantu menjaga pH substrat tetap stabil. Soda kaustik dan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  yang biasanya digunakan untuk menetralsir keasaman tetes, dan  $\text{NH}_4\text{OH}$  ditambahkan untuk meningkatkan produksi yeast ( sebagai sumber nitrogen ).

3. Nutrisi Mikrobial

Zat – zat pada substrat yang dapat diserap oleh organisme. Tetes yang diberi garam ammonium dan garam fosfor menghasilkan *yield* lima kali lebih besar dibandingkan dengan tetes yang tidak diberi *\_eactor\_*. Yang paling dibutuhkan oleh mikroba adalah zat nitrogen dan fosfor. Nitrogen diperoleh dari garam ammonium, sedangkan fosfor dari *ammonium phospate* atau *alkali phospate*.

4. Antiseptik

Bahan yang ditambahkan pada substrat untuk melindungi organisme fermentasi dari kontaminasi organisme asing. Asam sulfat juga dapat berfungsi sebagai antiseptik pada fermentasi asam sitrat.

#### 5. Aerasi

Udara dibutuhkan dalam fermentasi untuk menekan pertumbuhan organisme anaerob. *Yeast* dapat tumbuh dengan baik dalam kondisi aerob maupun anaerob. Tapi dalam kondisi anaerob, *yeast* akan memfermentasi substrat menjadi gula sangat cepat dan akan segera dikonversi menjadi alkohol.

#### 6. pH

pH yang rendah mengaktifkan miselium ekstraseluler memecah sukrosa, sehingga fermentasi lebih cepat. PH awal pada medium diatur antara 1,4-3, untuk mengatur pH dapat digunakan  $\text{CaCO}_3$  atau  $\text{NaOH}$ .

#### 7. Sumber Karbon

Sumber karbon dapat mempengaruhi produksi asam sitrat. Batas konsentrasi sumber karbon berkisar antara 14 sampai 22 % ( sukrosa biasanya 30 – 100 g / L, pada level > 100 dan < 30 produksi asam sitrat terhambat ). Tetes bit atau tetes tebu dapat digunakan sebagai sumber karbon alternatif yang murah.

#### 8. Metanol menstimulasi *yield* dan akumulasi

Adanya metanol akan melemahkan dinding sel dan membran sehingga meningkatkan aliran asam sitrat yang keluar dari sel sekaligus menyebabkan lebih banyak karbon masuk ke dalam sel. Metanol dapat menghambat sintesa protein akibatnya dihasilkan  $\text{NH}_4$  eksess, hal ini juga melemahkan dinding sel dan membran.

### 3.3. **Bioreaktor Bergelembung**

Reaktor adalah suatu tempat terjadinya reaksi kimia untuk mengubah suatu bahan menjadi bahan lain yang mempunyai nilai ekonomis yang lebih tinggi. Reaktor bergelembung biasanya berupa vessel silinder tegak dengan pendistribusian gas dari bagian bawah, yang berupa porous plate atau sparger. Reaktor bergelembung berdasarkan aliran gelembung gas melalui cairannya dapat dibedakan menjadi tiga (Thoenes, 1994):

#### 1. Aliran bergelembung homogen

Gelembung dengan ukuran kecil-kecil dan seragam bergerak melalui cairan.

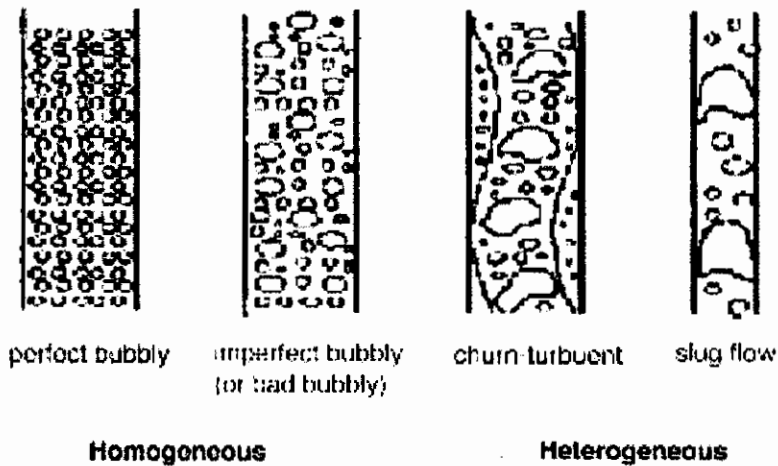
#### 2. Aliran heterogen atau *Churn turbulent*

Gelembung tidak seragam, dengan ukuran yang *\_eactor\_* besar, namun ada juga gelembung yang berukuran kecil, bergerak melalui cairan.

#### 3. *Slug Flow*

Gelembung yang terbentuk dengan ukuran yang *\_eacto* sama dengan diameter vessel, juga diikuti gelembung berukuran kecil, hal ini biasanya terjadi pada vessel yang mempunyai diameter *\_eactor* kecil.

Gambar ketiga jenis reaktor bergelembung diatas seperti disajikan di dalam Gambar 2. Pola aliran homogen diperoleh jika laju alir superfisial gas adalah kurang dari 5 cm/s, pola aliran turbulen diperoleh jika lair alir superfisial gas lebih dari 5 cm/s. Untuk pola aliran slug flow diperoleh jika diameter kolom bergelembung kecil dan laju alir gas besar Hyndman, dkk, 1997



Gambar 3.2. Kolom penggelembung ditinjau dari aliran gas

Menurut Williams, 2002 reaktor begelembung dapat dibedakan menjadi dua yaitu reaktor begelembung (*bubble column*) dan reaktor *airlift*. Reaktor *airlift* sendiri dikelompokkan menjadi dua yaitu : reaktor air lift dengan *internal loop* dan *external loop* (Chisti, 1988; Williams, 2002). Reaktor air lift dengan *internal loop* merupakan kolom bergelembung yang dibagi menjadi dua bagian *riser* dan *downcomer* dengan *internal baffle*. Reaktor air lift dengan *external loop* kolom bergelembung di mana *riser* dan *downcomer* merupakan dua tabung yang terpisah dan dihubungkan secara horisontal antara bagian atas dan bawah reaktor.

Bioreaktor bergelembung digunakan secara meluas untuk memproduksi enzim, protein, antibiotik dan berbagai produk biokimia. Beberapa studi terbaru pada reaktor bergelembung tersaji dalam tabel 3.3

Tabel 3.3. Aplikasi biokimia pada reaktor bergelembung

Bioproduk	Biokatalis	Peneliti
Thienamycin	<i>Streptomyces cattleya</i>	Arcuri dkk.
Glucoamylase	<i>Aureobasidium pullulans</i>	Federici et.al
Asam asetat	<i>Acetobacter acetii</i>	Sun & Furusaki
Antibodi monoklonal	Sel hibridoma	Rodrigues dkk.
Metabolit sekunder sel tumbuhan	<i>Hyoscyamus muticus</i>	Bordonaro & Curtis
Taxol	<i>Taxus cuspidate</i>	Son dkk.
Asam organik	<i>Arabidopsis thaliana</i>	Chang dkk.
Fermentasi etanol	<i>Saccharomyces cerevicea</i>	Ogbonna et.al

### 3.4. Hidrodinamika dan Perpindahan Massa gas-Cair

Di dalam perancangan bioreaktor faktor yang sangat berpengaruh adalah hidrodinamika reaktor, transfer massa gas-cair, rheologi proses dan morfologi produktifitas organisme. Hidrodinamika reaktor mempelajari kelakuan dinamik cairan dalam reaktor sebagai akibat laju alir gas masuk reaktor dan karakteristik cairannya. Hidrodinamika reaktor meliputi hold up gas (fraksi gas saat penghamburan) dan laju sirkulasi cairan. Sedang transfer massa mempelajari perpindahan massa dari gas ke cair. Kecepatan sirkulasi cairan dikontrol oleh hold up gas, sedang hold up gas dipengaruhi oleh kecepatan kenaikan gelembung. Sirkulasi juga mempengaruhi turbulensi, koefisien transfer massa dan panas dan juga tenaga yang dikeluarkan.

Hold up gas atau fraksi kekosongan gas adalah fraksi volume fase gas pada dispersi gas-cair atau slurry. Hold up gas keseluruhan ( $\epsilon$ ), dapat dinyatakan dengan persamaan 3.1 :

$$\epsilon = \frac{V_g}{V_g + V_l} \dots\dots\dots (3.1)$$

Kegunaan hold up gas untuk menentukan waktu tinggal gas dalam cairan. Hold up gas dan ukuran gelembung mempengaruhi luas permukaan gas cair yang diperlukan untuk perpindahan massa. Hold up gas tergantung pada kecepatan kenaikan gelembung, luas gelembung dan pola aliran. *Inverted manometer* digunakan untuk menentukan beda tinggi cairan akibat aliran gas, selanjutnya dipakai pada perhitungan hold up gas ( $\epsilon$ ). Besarnya hold up gas dapat dihitung dengan persamaan 3.2 :

$$\varepsilon = \frac{\rho_l}{\rho_l - \rho_g} \times \frac{\Delta h}{Z} \quad \dots \dots \dots (3.2)$$

Selain itu semua hold up gas dalam reaktor dapat dihitung dari kenaikan tinggi dispersi pada saat aliran gas masuk reaktor sudah mencapai keadaan tunak (*steady state*). Untuk menentukan hold gas dapat digunakan *persamaan 3.3* :

$$\varepsilon = \frac{h_D - h_L}{h_D} \quad \dots \dots \dots (3.3)$$

Persamaan di atas sering digunakan dalam perancangan reaktor

Teknik yang paling banyak digunakan untuk memperkirakan hold up gas adalah dengan metode profil tekanan yang didasarkan pada pengukuran tekanan statik pada dua titik atau lebih disepanjang kolom menggunakan manometer atau transduser tekanan sehingga diperoleh data penurunan tekanan di sepanjang unggun.

Besarnya hold up gas arah radial tergantung pada laju alir gas semu, diameter kolom, sifat fisis sistem dan kondisi operasi. Dalam literatur, ada berbagai variasi korelasi untuk memperkirakan hold-up gas dalam kolom bergelembung dua fase maupun tiga fase. Tabel 3.4 menunjukkan beberapa korelasi yang sering digunakan untuk reaktor gelembung atau kolom bergelembung slurry.

Tabel 3.4 korelasi hold up gas untuk kolom bergelembung

Kelompok peneliti	korelasi
Joshi & Sharma	$\varepsilon_g = \frac{V_g}{0.3 + 2V_g} \quad (3.5)$
Lockett & Kirkpatrick	$V_g(1 - \varepsilon_g) + V_l \varepsilon_g = V_b \varepsilon_g (1 - \varepsilon_g)^{2.39} (1 + 2.55 \varepsilon_g^3) \quad (3.6)$
Sada dkk.	$\varepsilon_g = 0.32(1 - \varepsilon_g)^4 B_0^{0.21} Ga^{0.086} Fr(\rho_g / \rho_l)^{0.068} \quad (3.7)$
Kumar dkk.	$\varepsilon_g = 0.728U'^{-0.485}U'^2 + 0.0975U'^3 \quad (3.8)$ $U' = V_g [\rho_l^2 / \{\sigma_1(\rho_l - \rho_g)g\}]^{1/4}$

Koefisien perpindahan massa volumetric kLa, adalah kecepatan spesifik dari perpindahan massa (gas terabsorpsi per unit waktu, per unit luas kontak, per unit beda konsentrasi). kLa tergantung pada sifat fisik dari sistem dan dinamika fluida. Koefisien transfer massa volumetrik ada dua istilah : (1) koefisien transfer massa kL, dimana tergantung pada sifat fisik dari cairan dan dinamika fluida dekat permukaan cairan, dan (2) luas dari gelembung per unit volume dari reaktor. Kebergantungan kL pada energi

masuk adalah kecil, dimana luas kontak adalah fungsi dari sifat fisik, desain geometri dan hidrodinamika. Luas kontak adalah parameter gelembung dan tidak bisa ditetapkan. Di sisi lain koefisien transfer massa pada kenyataannya merupakan faktor yang proposional antara fluks massa dari substrat (atau bahan kimia yang ditransfer),  $N_s$ , dan gradien yang mempengaruhi fenomena yaitu beda konsentrasi. Hal ini dapat dirumuskan dengan persamaan 3.9.

$$N = kL (S_1 - S_2) \dots\dots\dots (3.9)$$

Di dalam persamaan 3.9, notasi 1 dan 2 mengindikasikan dua titik massa yang berpindah. Dalam reaktor yang nyata beda yang besar dari harga gradien mungkin coexist secara simultan, maka dari itu harga yang menunjukkan semua reaktor harus dipilih.

Hal ini berlaku bila harga koefisien transfer massa tergantung pada konsentrasi yang berdasarkan persamaan 3.9. Ini berarti penetapan model dinamik menggambarkan design reaktor. Kekurangan yang tidak disadari kenyataannya adalah alasan untuk data yang salah kadang-kadang ditemukan dalam literature, dimana koefisien transfer massa dihitung menggunakan driving force yang salah. Kebanyakan kesalahan diasumsikan pencampuran sempurna (biasanya karena untuk memudahkan perhitungan) tanpa menjamin validitas dari asumsi.

Kawase, Halard, dan Moo Young, 1987, mempelajari pendekatan teoritis koefisien perpindahan massa volumetris, dalam kolom bergelembung, untuk fluida newtonian dan fluida non newtonian. Koefisien perpindahan massa dinyatakan sebagai bilangan sherwood, mengikuti persamaan 3.10.

$$N_{sh} = 12 C_4 \pi^{-0.5} 1,07^{0.5} Sc^{1/2} Re_g^{3/4} Fr^{1/60} Bo^{3/5} \dots\dots\dots (3.10)$$

Popovic dan Robinson, 1989 memperoleh hubungan kla setelah melakukan penelitian dalam bioreaktor airlift dengan external loop dengan larutan CMC (Carboxyl Methyl Cellulose) seperti disajikan dalam persamaan 3.11.

$$kLa = 1.911 \times 10^{-4} (J_G)_r^{0.525} (1+A_d/A_r)^{0.853} \mu_{app}^{-0.89} \dots\dots\dots (3.11)$$

Koefisien perpindahan massa gas-cair merupakan fungsi dari laju alir udara/kecepatan superficial gas, viskositas dan luas area riser dan downcomer /geometrik alat.

Pengukuran konstanta perpindahan massa gas-cair dapat dilakukan dengan metode sebagai berikut;

1. Metode OTR –  $C_{oi}$

Dasar dari metode ini adalah persamaan perpindahan massa (persamaan 3.9). Semua variabel, kecuali  $k_{oi}A$  dapat terukur. Ini berarti bahwa dapat digunakan dalam sistem kebutuhan oksigen. Konsentrasi oksigen dari fase gas yang masuk dan

meninggalkan bioreaktor dapat dianalisa. Dengan data ini OTR (*Oxygen Transfer Rate*) dapat dihitung dari neraca bioreaktor:

$$V_1 \text{ OTR} = F_g (C_{\text{ogi}} - C_{\text{ogo}}) = V_1 k_{\text{ol}} A \left( \frac{C_{\text{ogo}}}{n} - C_{\text{ol}} \right) \text{ (mol s}^{-1}\text{)} \dots\dots\dots (3.12)$$

2. Metode Dinamik

Metode ini berdasarkan pengukuran  $C_{\text{ol}}$  dari cairan deoksigenasi sebagai fungsi waktu, setelah aliran udara masuk. Deoksigenasi dapat diperoleh dengan mengalirkan nitrogen melalui cairan atau menghentikan aliran udara dalam hal ini kebutuhan oksigen dalam fermentasi. Hal ini dapat dilihat dari neraca massa di bawah ini :

$$\frac{dC_{\text{ol}}(t)}{dt} = k_{\text{ol}} A (C_{\text{ol}}^* - C_{\text{ol}}(t)) - \text{OUR} \quad \text{(mol m}^{-3} \text{s}^{-1}\text{)} \dots\dots\dots (3.13)$$

dengan asumsi bahwa  $k_{\text{ol}}A$  dan  $C_{\text{ol}}^*$  konstan, tidak terpengaruh waktu. Hal ini juga berlaku  $C_{\text{ol}}(\infty) =$  konsentrasi keseimbangan pada kondisi tetap

$$\text{OUR} = k_{\text{ol}} A (C_{\text{ol}}^* - C_{\text{ol}}(\infty)) \quad \text{(mol m}^{-3} \text{s}^{-1}\text{)} \dots\dots\dots (3.14)$$

Persamaan (3.13) dan (3.14) dapat dikombinasikan menjadi persamaan 3.15

$$k_{\text{ol}} A = \frac{\ln \left( \frac{C_{\text{ol}}(\infty) - C_{\text{ol}}(t_1)}{C_{\text{ol}}(\infty) - C_{\text{ol}}(t_2)} \right)}{t_2 - t_1} \quad \text{(s}^{-1}\text{)} \dots\dots\dots (3.15)$$

Persamaan ini dapat diaplikasikan dalam model sistem tanpa konsumsi oksigen dimana  $C_{\text{ol}}(\infty) = C_{\text{ol}}^*$  (OUR = 0) sama baiknya dengan konsumsi oksigen pada fermentasi.

3. Metode serapan kimia

Metode ini berdasarkan reaksi kimia dari absorsi gas ( $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ) dengan penambahan bahan kimia pada fase cair ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ,  $\text{KOH}$ ). Reaksi ini sering digunakan pada reaksi bagian dimana konsentrasi *bulk* cairan dalam komponen gas sama dengan nol dan absorpsi dapat mempertinggi perpindahan kimia.

4. Metode kimia OTR –  $C_{\text{ol}}$

Metode ini pada dasarnya sama dengan metode OTR –  $C_{\text{ol}}$ , namun seperti diketahui, beberapa sulfit secara terus-menerus ditambahkan pada cairan selama kondisi reaksi tetap dijaga pada daerah dimana nilai  $C_{\text{ol}}$  dapat dideteksi.  $C_{\text{ol}}$  dapat diukur dan OTR dapat dikalkulasi dari penambahan sulfit. Juga, reaksi konsumsi oksigen yang lain dapat digunakan.

Penerapan metode pengukuran perpindahan massa gas-cair, seperti disajikan dalam Tabel 3.5. Pada penelitian kali ini, pengukuran koefisien perpindahan massa

digunakan metode dinamik, karena metode tersebut cocok digunakan untuk medium fermentasi untuk skala kecil dan biayanya murah. Hal ini seperti ditunjukkan dalam Tabel 3.5.

Tabel 3.5 : Perbandingan beberapa metode pengukuran koefisien perpindahan massa (Riet dan tramper, 1991)

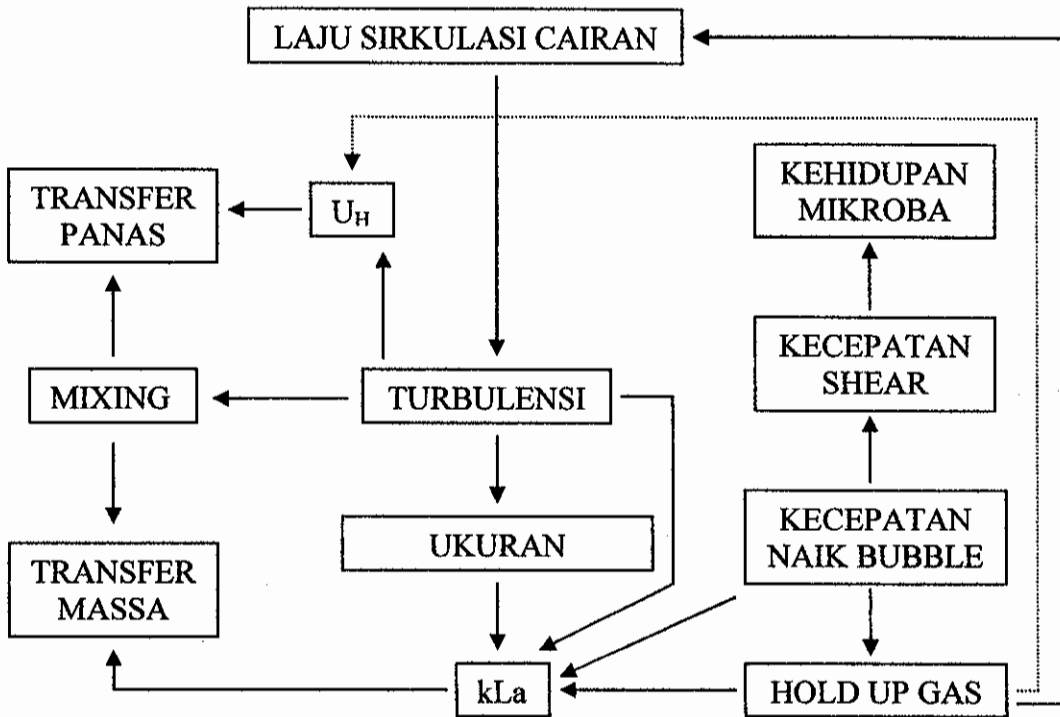
		Objectives												
		Comparison apparatus						scale up		OTR				Laborious? Cost
		one scale				one liquid		prediction						
		small <sup>b</sup>		large <sup>c</sup>				small		large				
Method	Liquid	visc :	low <sup>d</sup>	high <sup>e</sup>	Low	high	low	high	low	high	low	high		
$\frac{OTR}{C_{ol}}$	Model <sup>a</sup> Fermentation		- +	- +	- +	- +	- +	- +	- +	- +	- +	- +	no high	
Dynamic gassing out	Model Fermentation		+ +	- -	- -	- -	- -	- -	± ±	- -	- -	- -	no low	
CO <sub>2</sub> absorption <sup>f</sup>	Model Fermentation		+ -	- -	+ -	- -	+ -	- -	± ±	- -	± ±	- -	kinetics low	
Separate K <sub>ol</sub> and A	Model Fermentation		+ -	+ -	+ -	+ -	+ -	+ -	± ±	± ±	± ±	± ±	extremely high, low	
Chemical OTR-C <sub>ol</sub>	Model Fermentation		+ -	? -	+ -	? -	+ -	? -	± ±	? ?	± ±	? ?	no high, low	

**Keterangan :**

- a Cairan model disini didefinisikan sebagai cairan non fermentasi dimana komposisinya dapat didefinisikan dengan tepat. Fermentation adalah medium fermentasi sebagai model cairan, yang konsentrasinya tidak dapat ditentukan secara tepat
- b Skala kecil ( $T_v < 1$  m)
- c Skala besar ( $T_v > 1$  m)
- d Kekentalan rendah ( $1 - 2 \times 10^{-3} \text{ N s m}^{-2}$ )
- e Kekentalan tinggi ( $> 100 - 1000 \times 10^{-3} \text{ N s m}^{-2}$ )
- f Metode sulfit tidak disebutkan karena tidak dapat dipercaya.

Menurut Chisti and Moo-Young, 1998 kecepatan sirkulasi cairan dikendalikan oleh hold up gas, sedang hold up gas dipengaruhi oleh kecepatan kenaikan gelembung. Sirkulasi juga mempengaruhi turbulensi, koefisien transfer massa dan panas dan juga tenaga yang dikeluarkan. Hubungan yang kompleks ini seperti disajikan dalam Gambar 2.3.

Dalam penelitian ini untuk hidrodinamika akan dipelajari tentang hold up-nya (fraksi kekosongan/ udara dalam cairan) dan laju sirkulasi, untuk media tanpa kapang dan dengan kapang *Aspergillus niger*. Studi perpindahan massa gas-cair dipelajari pada media tanpa kapang dan dengan kapang *Aspergillus niger*.



Gambar 3.3 Pengaruh sirkulasi cairan pada bioreaktor air lift terhadap kelakuan lainnya

### 3.5. Kinetika Reaksi Proses Fermentasi

Pengetahuan tentang kinetika pada proses fermentasi sangat penting di dalam memesan ukuran fermentor atau merancanginya, dan umumnya informasi ini didapatkan dari eksperimen di laboratorium dengan fermentor kapasitas 3 liter. Di dalam proses fermentasi proses batch/curah model kinetika untuk digunakan memprediksi laju massa sel atau produksi produk, sedangkan untuk proses yang sinambung untuk memprediksi laju pembentukan produk. Model kinetika mempunyai peran yang sangat penting dalam memonitor dan memprediksi proses fermentasi. Model-model kinetika untuk proses fermentasi meliputi; kinetika pertumbuhan mikroba, pemanfaatan substrat dan pembentukan produk. Model pertumbuhan mikroba dapat dibedakan menjadi 2 jenis yaitu model terstruktur dan tak terstruktur. Model tak terstruktur adalah model yang sangat sederhana; yaitu menggunakan massa sel yang seragam tanpa memperhitungkan kelakuan dinamik internal, yang mana laju reaksi hanya bergantung pada fase liquid dalam reaktor. Jika keadaan bagian dalam sel harus juga diperhitungkan maka

digolongkan sebagai model terstruktur. Model-model terstruktur berubah di dalam komposisi mikro organisme.

Persamaan kinetika laju pertumbuhan mikroba seperti disajikan dalam persamaan 3.16.

$$\frac{dX}{dt} = \mu X \quad \dots\dots\dots (3.16)$$

dimana dalam hubungan ini X adalah konsentrasi massa sel (gram/l), t adalah waktu dan  $\mu$  laju pertumbuhan spesifik (jam<sup>-1</sup>). Untuk model yang tidak terstruktur, umumnya untuk menggambarkan pertumbuhan mikroba yaitu dengan persamaan Monod. Persamaan ini menggambarkan bahwa laju pertumbuhan spesifik akan bertambah jika konsentrasi substrat di dalam medium bertambah, walau bagaimanapun kenaikan laju pertumbuhan spesifik menjadi sedikit progresif jika konsentrasi substrat pada batas tertinggi. Persamaan Monod seperti disajikan dalam Persamaan 3.17

$$\mu = \mu_{\max} \left( \frac{S}{K_s + S} \right) \dots\dots\dots (3.17)$$

Hanson dan Tsao (1972) mengajukan persamaan kinetika pertumbuhan mikroba dengan menggabungkan persamaan 3.16 dan 3.17. Model yang didapatkan seperti pada persamaan 3.18.

$$\frac{dX}{dt} = \mu_{\max} \frac{S}{K_s + S} X \dots\dots\dots (3.18)$$

Model yang sama juga diajukan oleh Suscovic, dkk, 1992, tetapi mereka mengasumsi bahwa laju kematian spesifik tidak dapat diabaikan, sehingga persamaan menjadi persamaan seperti dalam persamaan 3.19.

$$\frac{dX}{dt} = \mu_{\max} \frac{S}{K_s + S} X - k_d X \dots\dots\dots (3.19)$$

Model kinetika pemanfaatan substrat bergantung pada konsumsi substrat untuk perawatan dan konversi menjadi biomass dan produk. Laju pemanfaatan substrat berhubungan secara stoikhiometri dengan laju biomass dan pembentukan produk/asam sitrat. Persyaratan substrat mendapatkan energi untuk perawatan kadang-kadang diasumsi sebagai order satu terhadap konsentrasi biomassa, mX, sehingga persamaan kinetika pemanfaatan substrat seperti disajikan dalam persamaan 3.20

$$-\frac{dS}{dt} = \frac{1}{Y_{x/s}} \frac{dX}{dt} + \frac{1}{Y_{p/s}} \frac{dP}{dt} + mX \dots\dots\dots (3.20)$$

Parameter-parameter pada persamaan 3.20 adalah yield biomass dalam penggunaan substrat ( $Y_{x/s}$ ); yield produk dalam penggunaan substrat ( $Y_{p/s}$ ) dan koefisien

perawatan,  $m$  dihitung menggunakan analisis regresi non linier. Jika koefisien perawatan sangat kecil dari pada laju pertumbuhan mikroba, sehingga penggunaan substrat hanya untuk konversi biomassa dan produk. Dengan demikian Persamaan 3.20 akan berubah menjadi seperti dibawah ini;

$$-\frac{dS}{dt} = \frac{1}{Y_{x/s}} \frac{dX}{dt} + \frac{1}{Y_{p/s}} \frac{dP}{dt} \dots\dots\dots (3.21)$$

Suscovic, dkk, 1992 mengajukan suatu model yang sangat sederhana; yaitu mengasumsi bahwa penggunaan substrat hanya untuk konversi menjadi biomassa. Selanjutnya model digabung dengan persamaan Monod, dan diperoleh persamaan 3.22.

$$\frac{dS}{dt} = -\frac{1}{Y_{x/s}} \mu_{max} \left( \frac{S}{K_s + S} \right) X \dots\dots\dots (3.23)$$

Parameter-parameter seperti yield biomassa pada penggunaan substrat ( $Y_{x/s}$ ) dan konstanta saturasi ( $K_s$ ) dapat dihitung menggunakan analisis regresi linier.

Kinetika produksi produk digambarkan sebagai hubungan antara kecepatan pertumbuhan dan konsentrasi biomassa. Persamaan kinetika produksi produk adalah seperti disajikan dalam persamaan 3.24.

$$\frac{dP}{dt} = k_1 \frac{dX}{dt} + k_2 X \dots\dots\dots (3.24)$$

dalam hubungan ini  $\frac{dP}{dt}$  adalah kecepatan pembentukan produk volumetrik (gram/liter jam)  $k_1$  pertumbuhan yang dikelompokkan pembentukan produk (g produk/gram sel) dan  $k_2$  adalah bukan pertumbuhan yang dikelompokkan pembentukan produk (gram produk/jam gram sel).

## BAB IV

### METODE PENELITIAN

Penelitian tentang pembuatan asam sitrat dari buangan padat buah nanas dengan proses fermentasi fase cair dan mikroba *aspergillus niger* dalam bioreaktor bergelembung akan diinvestigasi baik secara eksperimen maupun pemodelan. Penelitian pada tahun I meliputi:

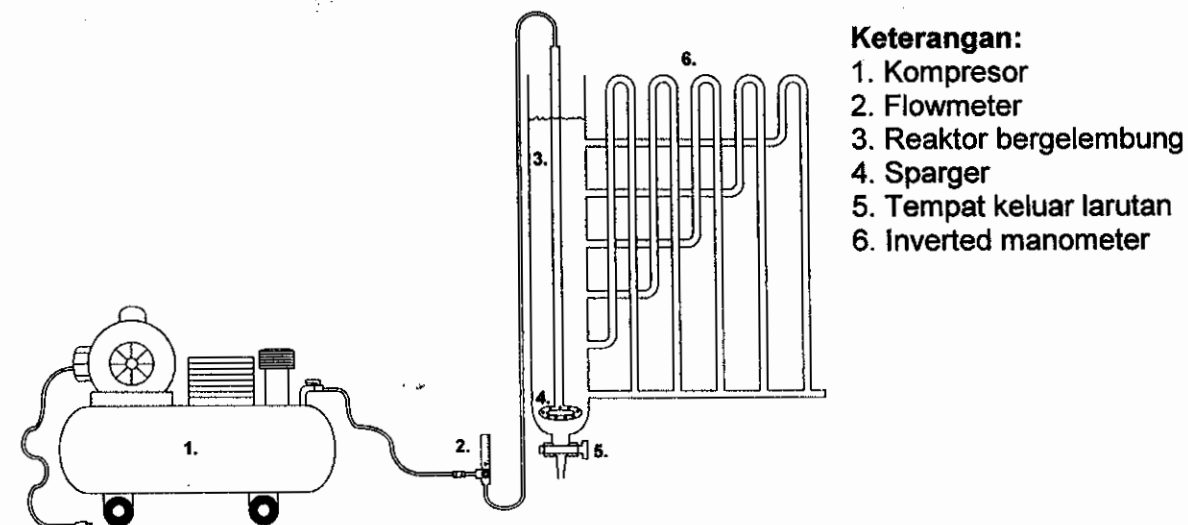
- Perancangan dan pabriaksi bioreaktor bergelembung
- Studi hidrodinamika reaktor dengan ada dan tidaknya mikroba
- Studi perpindahan massa gas-cair

#### 4.1. Bahan dan Alat Penelitian :

Bahan yang digunakan selama penelitian adalah;

- ⇒ Bahan limbah buah nanas (kulit dan bonggol nanas) diperoleh dari pasar yang ada di kota Semarang, diperas untuk mengambil cairannya. Cairan dianalisa dengan untuk mengetahui komposisi gula seperti glukosa, fruktosa dan sukrosa. Dan anion, analisa kandungan logam menggunakan AAS.
- ⇒ Bahan-bahan kimia seperti; natrium sulfit, amilum, indikator methylene blue, KI, I<sub>2</sub>, natrium tiosulfit, kalsium hidroksida, indikator pp, kalium fosfat, asam asetat, amonium nitrat, magnesium sulfat, HCl, membeli di CV. Jurus Maju Semarang.
- ⇒ Strain *Aspergillus niger* diperoleh dari Lab Mikrobiologi Jurusan Biologi UNDIP Semarang.

Rangkaian alat untuk penelitian seperti disajikan dalam Gambar 4.1.



Gambar 4.1. Rangkaian alat bioreaktor bergelembung untuk studi hidrodinamika dan perpindahan massa

## 4.2. Variabel operasi untuk Studi Hidrodinamika dan Perpindahan Massa

Kondisi operasi untuk studi hidrodinamika reaktor bergelembung adalah sebagai berikut;

### a) Variabel tetap :

- Suhu operasi : suhu kamar
- dimensi peralatan : Tinggi reaktor 84 cm  
Diameter dalam 6.9 cm  
Diameter luar 7 cm
- tinggi cairan awal : 74 cm
- tekanan operasi : 1 atm

### b) Variabel berubah :

- Konsentrasi glukosa dalam nanas : 5-25 %
- Konsentrasi sukrosa : 5-25 %
- Laju udara masuk : 10.1-28.57 cc/det
- Ketinggian inverted manometer : 10, 20, 30, 40, 50 cm

## 4.3. Respon Pengamatan

Respon yang diambil dari penelitian ini adalah :

1. Perubahan tinggi cairan pada inverted manometer untuk menentukan besarnya hold up gas
2. Penunjukan skala pada DO meter guna mengetahui besarnya oksigen terlarut untuk menghitung koefisien perpindahan massa gas-cair

## 4.4. Prosedur Percobaan

### 4.4.1. Prosedur Kalibrasi laju alir udara

Udara dialirkan dari kompresor dengan membuka bukaan kerangan/katup. Untuk mengetahui besarnya laju alir udara, rotameter dikalibrasi dengan menggunakan *wet test meter* dengan membuat skala pada rotameter yang berbeda-beda. Selanjutnya dibuat hubungan matematika antara laju alir udara dengan skala rotameter. Hubungan atau persamaan regresi digunakan untuk menghitung laju alir udara.

### 4.4.2. Penentuan Hold Up

1. Peralatan yang akan digunakan disiapkan, reaktor dihubungkan dengan kompresor melalui rotameter
2. Inverted manometer dipasang dengan ketinggian 10, 20, 30, 40, 50 cm dari dasar reaktor

3. Reaktor diisi dengan larutan nanas pada tinggi cairan 74 cm dari sparger
4. Kompresor dihidupkan
5. Perubahan tinggi cairan pada masing-masing inverted manometer diukur

#### 4.4.3. Penentuan koefisien transfer massa gas-cair (kLa)

1. Alat DO meter dihidupkan pada posisi stand by kira-kira sekitar 30 menit
2. DO meter distandarisasi sampai menunjukkan angka zero.
3. Elektroda DO meter dimasukkan pada cairan melalui bagian atas reaktor
4. Perubahan skala penunjukan DO meter tiap detik dicatat

#### 4.5. Analisa Data

##### a. Penentua Hold up gas

Dari data percobaan diperoleh  $\Delta h$ ,  $Z$ ,  $\rho$  air,  $\rho$  larutan nanas,  $\rho$  udara. Untuk mendapatkan hold up gas digunakan persamaan (3.2):

$$\varepsilon = \frac{\rho_l}{\rho_l - \rho_g} \times \frac{\Delta h}{Z}$$

##### b. Penentuan koefisien transfer massa (kLa)

Dari data percobaan diperoleh  $C$ ,  $C_0$ ,  $C_\infty$ ,  $C^*$ ,  $t$ ,  $t_0$ . Untuk menentukan koefisien transfer massa (kLa) digunakan persamaan 3.15:

$$C^* = 1 - \exp(-k_L a(t-t_0))$$

kemudian persamaan diatas diintegrasikan dan diperoleh persamaan :

$$\ln(1 - C^*) = -k_L a(t-t_0)$$

##### c. Penentuan model hubungan koefisien transfer massa dengan laju alir udara

Dari data percobaan diperoleh besarnya kLa pada berbagai laju alir volumetric udara ( $V_g$ ). Pada percobaan Shah et. Al (1982) dengan reaktor bubble column menggunakan tap water diperoleh persamaan :

$$k_L a = 0.467 \cdot V_g^{0.82}$$

Dalam percobaan ini dapat ditulis :

$$k_L a = \alpha \cdot V_g^\beta$$

$$\ln k_L a = \ln \alpha + \beta \cdot \ln V_g$$

Persamaan diatas dilakukan analisa regresi

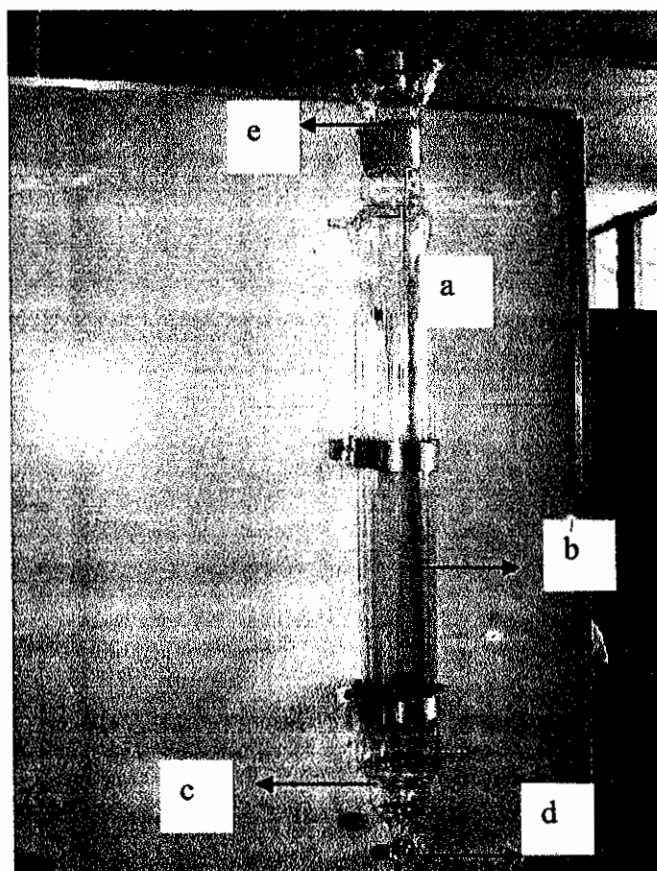
## BAB V

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian pembuatan asam sitrat dari limbah buah nanas dalam bioreaktor bergelembung dengan kapang *Aspergillus niger* dimulai dengan perancangan bioreaktor bergelembung; dan studi hidrodinamika reaktor dan perpindahan massa gas-cair.

#### 5.1. Perancangan bioreaktor bergelembung

Perancangan bioreaktor yang diperoleh dibedakan atas dua yaitu bioreaktor untuk studi hidrodinamika dan proses fermentasi. Dimensi yang dihasilkan adalah sama yaitu tinggi reaktor 84 cm, diameter dalam 6.9 cm, diameter luar 7 cm. Perbedaan terletak adanya pendingin bioreaktor untuk bioreaktor bergelembung dan bioreaktor untuk studi hidrodinamika tidak dilengkapi pendingin. Hal ini dikarenakan adanya kesulitan pembuatan inverted manometer jika ada pendingin reaktor. Hasil yang diperoleh seperti disajikan pada Gambar 5.1.; 5.2 dan 5.3.



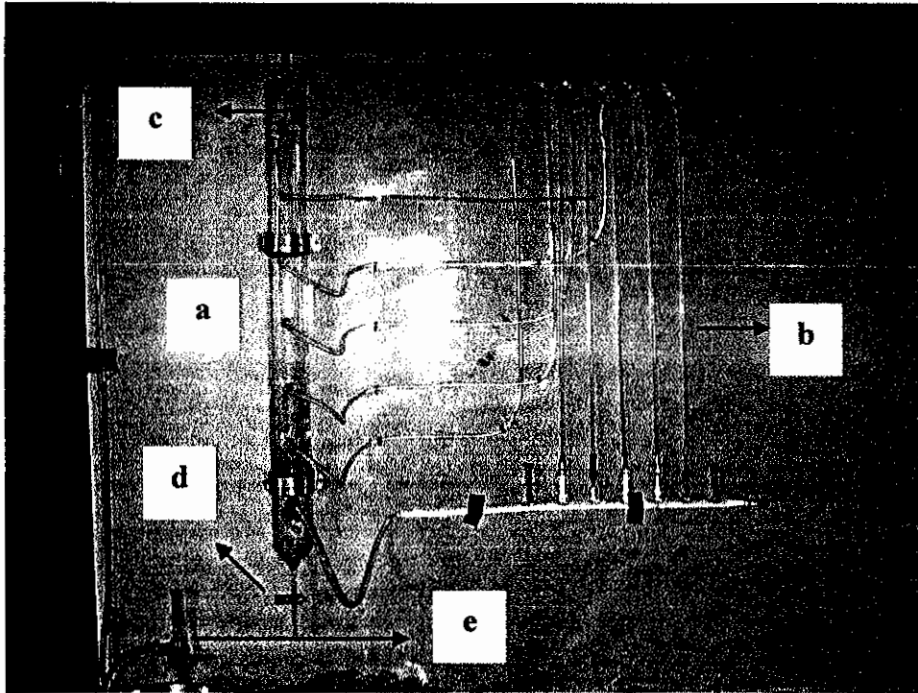
Gambar 5.1 Hasil Perancangan Bioreaktor bergelembung

Bioreaktor bergelembung terdiri dari kolom utama (a) untuk proses fermentasi, pendingin bioreactor (b) untuk pendinginan akibatnya timbulnya panas (reaksi eksotermik), sparger (c) merupakan alat untuk aliran udara yang disterilisasi, kran pengeluaran (d) dan bagian penutup \_eactor (e) terdiri tiga leher. Bioreaktor untuk proses fermentasi diletakkan di dalam ruangan supaya steril. Bioreaktor dilengkapi dengan sterilisasi udara dengan metode kimia. Gambar peralatan secara lengkap seperti disajikan pada Gambar 5.2.



Gambar 5.2. Bioreaktor bergelembung untuk proses produksi asam sitrat

Bioreaktor bergelembung untuk studi hidrodinamika dan perpindahan massa terdiri dari kolom utama (a), inverted manometer(b), sparger (c), kran pengeluaran (d) dan rotameter (e). Inverted manometer digunakn untuk mengukur fraksi gas di dalam medium fermentasi.

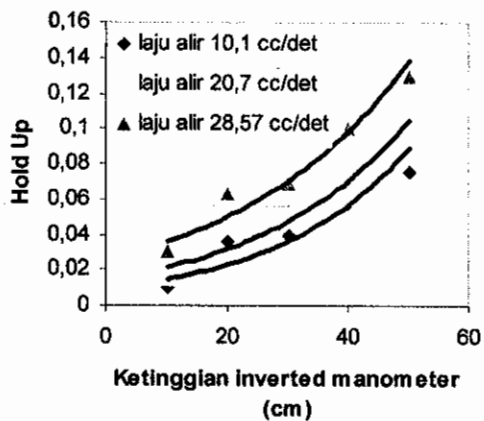


Gambar 5.3. Bioreaktor bergelembung untuk studi hidrodinamika dan perpindahan massa

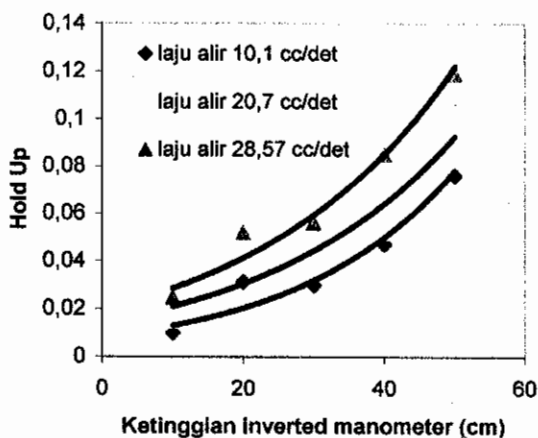
## 5.2. Studi Pengaruh Jarak Inverted Manometer

Gambar 5.4. merupakan grafik hubungan jarak inverted manometer terhadap hold up gas reaktor pada berbagai konsentrasi gula total dari larutan nanas dan berbagai laju alir. Gambar 5.4. menunjukkan cairan yang berada pada segmen paling atas memiliki hold up gas yang paling besar. Hold up gas pada reaktor bergelembung semakin jauh dari sparger, semakin besar hold up gas. Hal ini dikarenakan gas yang disebarkan dari sparger pada dasar reaktor akan terakumulasi pada bagian atas. Sehingga volume gas pada bagian atas reaktor lebih besar daripada bagian di bawahnya. Dengan semakin banyaknya volume gas dalam kolom bagian atas, maka hold gas atau fraksi gas semakin banyak.

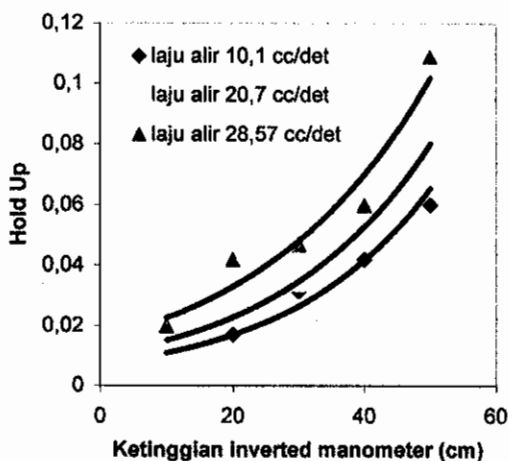
Gambar 5.4 juga menunjukkan bahwa bertambahnya laju alir udara akan menyebabkan bertambahnya hold up gas. Hal ini bisa dipahami bahwa dengan semakin bertambahnya laju alir udara maka akan bertambah pula fraksi volume udara dalam larutan. Bertambahnya fraksi volume udara akan meningkatkan nilai hold up gas.



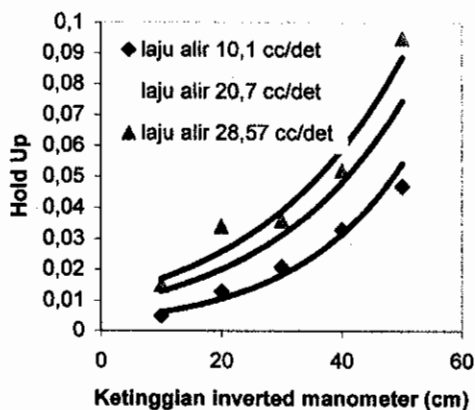
a. larutan nanas 5%



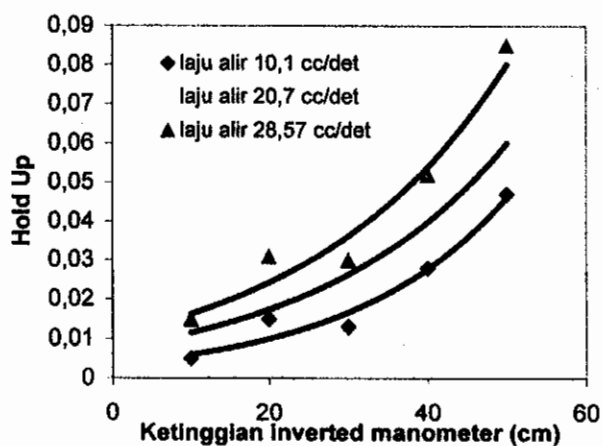
b. larutan nanas 10%



c. larutan nanas 15%



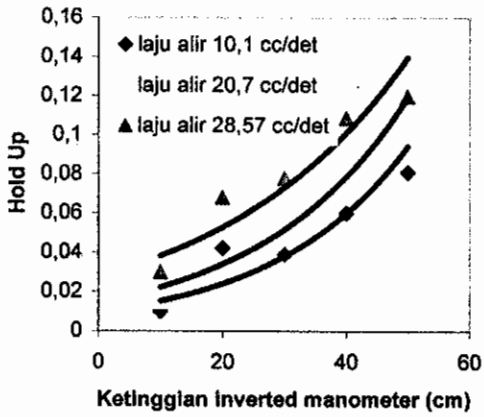
d. larutan nanas 20%



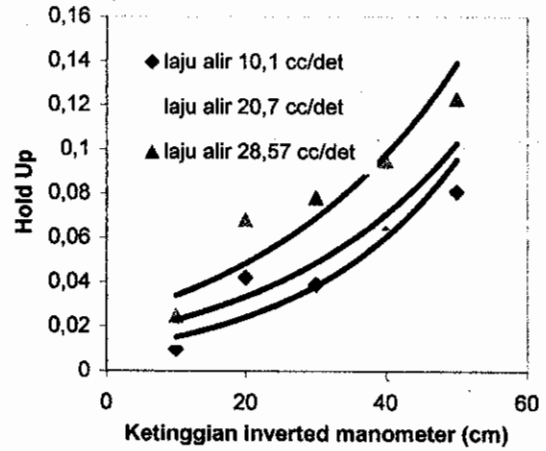
e. larutan nanas 25%

Gambar 5.4. Hubungan ketinggian inverted manometer terhadap hold up pada berbagai laju alir dalam larutan nanas

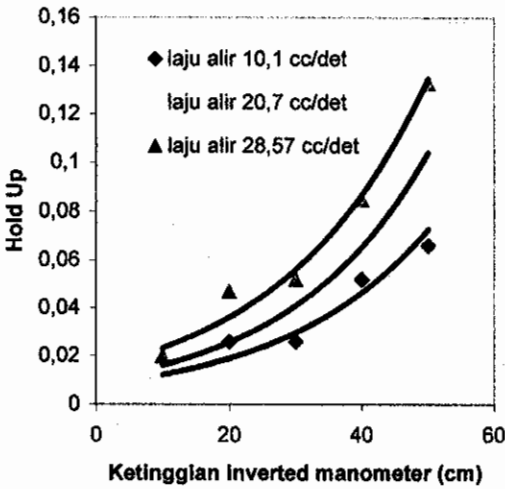
## b Larutan Sukrosa



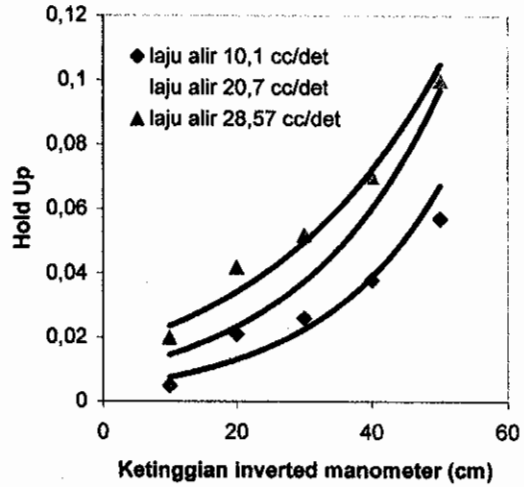
a. larutan sukrosa 5%



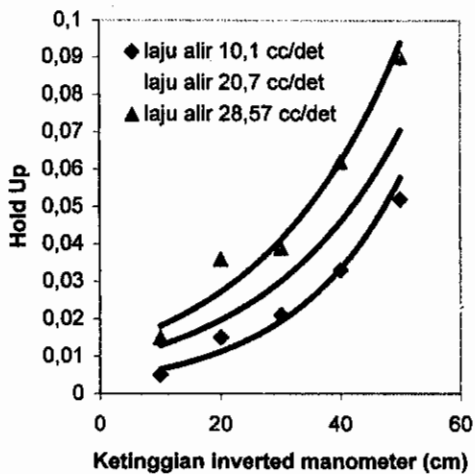
b. larutan sukrosa 10%



c. larutan sukrosa 15%



d. larutan sukrosa 20%



e. larutan sukrosa 25%

Gambar 5.5. Hubungan ketinggian inverted manometer terhadap hold up pada berbagai laju alir dalam larutan sukrosa

Pada penelitian ini juga dilakukan studi hidrodinamika dengan menggunakan medium larutan sukrosa. Umumnya medium fermentasi merupakan campuran berbagai macam jenis gula (monosakarida seperti glukosa dan fruktosa, disakarida seperti sukrosa). Dengan pertimbangan tersebut kami melakukan perbandingan jika menggunakan satu jenis gula yaitu sukrosa, bagaimana profil hidrodinamika kedua jenis fluida tersebut.

Gambar 5.5. merupakan grafik hubungan jarak inverted manometer terhadap hold up gas reaktor pada berbagai konsentrasi larutan sukrosa dan berbagai laju alir. Gambar 5.5. menunjukkan bahwa hidrodinamika pada larutan sukrosa memiliki kecenderungan perilaku hidrodinamika yang sama dengan larutan nanas. Gambar diatas menunjukkan cairan yang berada pada segmen paling atas memiliki hold up gas yang paling besar. Atau dengan kata lain, semakin jauh segmen cairan dari sparger, semakin besar hold up gas. Hal ini dikarenakan gas yang di semburkan dari sparger pada dasar reaktor akan terakumulasi pada bagian atas. Sehingga volume gas pada bagian atas reaktor lebih besar daripada bagian di bawahnya.

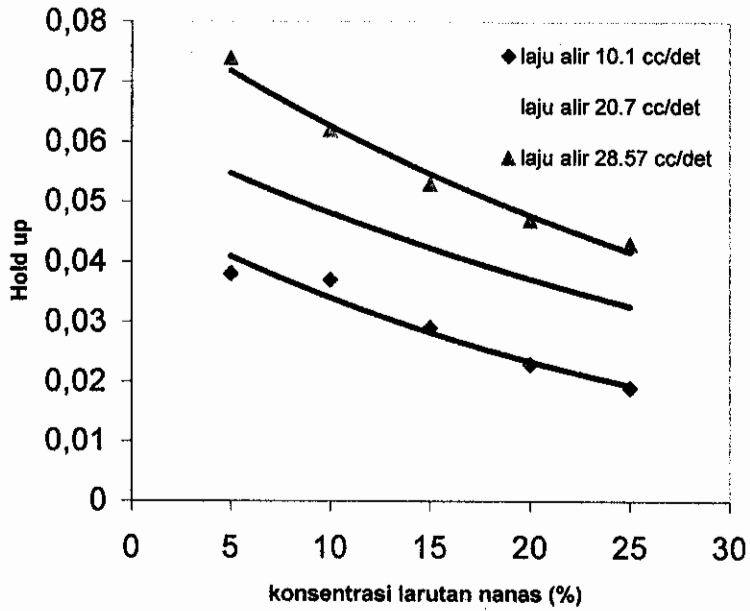
Dari gambar diatas dapat pula dilihat bahwa bertambahnya laju alir udara akan menyebabkan bertambahnya hold up gas. Hal ini bisa dipahami bahwa dengan semakin bertambahnya laju alir udara maka akan bertambah pula fraksi volume udara dalam larutan. Bertambahnya fraksi volume udara akan meningkatkan nilai hold up gas.

### **5.3. Pengaruh Konsentrasi Larutan Terhadap Hold Up**

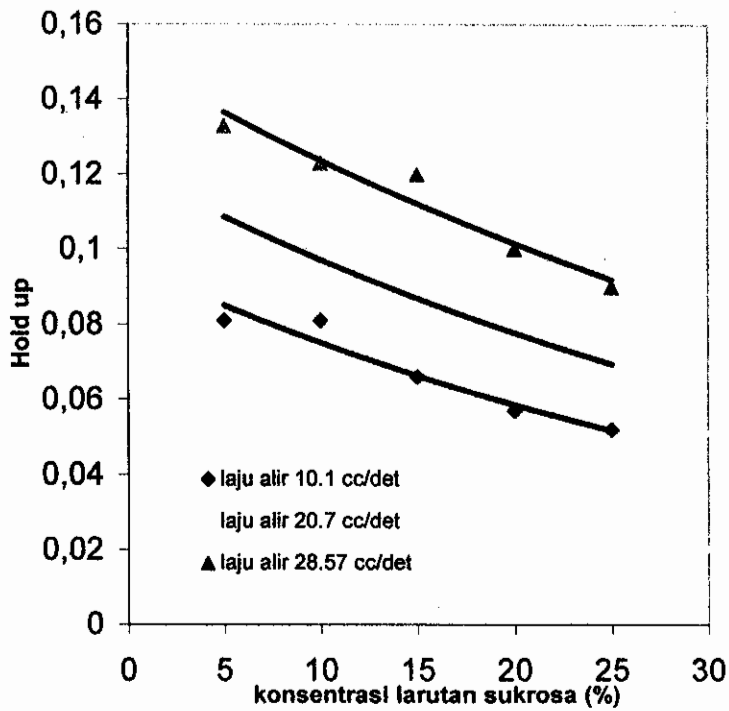
Gambar 5.6. merupakan grafik hubungan konsentrasi larutan dengan hold up gas pada larutan nanas (Gambar 5.6.a) dan larutan sukrosa (Gambar 5.6.b). Gambar 5.6.a. menunjukkan bahwa dengan semakin meningkatnya konsentrasi larutan nanas akan menurunkan hold up gas. Hal ini dapat dijelaskan dengan meningkatnya konsentrasi maka padatan terlarut semakin besar pula, sehingga daya udara untuk menembus cairan semakin besar pada laju alir yang tetap. Dengan semakin besar daya udara untuk menembus cairan, akibatnya hold up gas juga mengalami penurunan. Dengan laju alir udara pada rentang 10- 29 cc/detik, penurunan yang terjadi masih linier. Untuk laju alir yang lebih besar akan menyebabkan terjadinya flooding karena cairan akan terikut dengan aliran udara.

Gambar 5.6.b. menunjukan bahwa dengan semakin meningkatnya konsentrasi larutan sukrosa akan menurunkan hold up gas. Fenomena hold up gas pada larutan nanas juga sama dengan fenomena hold up pada larutan sukrosa. Hal ini dapat dijelaskan dengan meningkatnya konsentrasi maka padatan terlarut semakin besar pula, sehingga daya udara untuk menembus cairan semakin besar pada laju alir yang tetap. Dengan

semakin besar daya udara untuk menembus cairan akibatnya hold up gas juga mengalami penurunan.



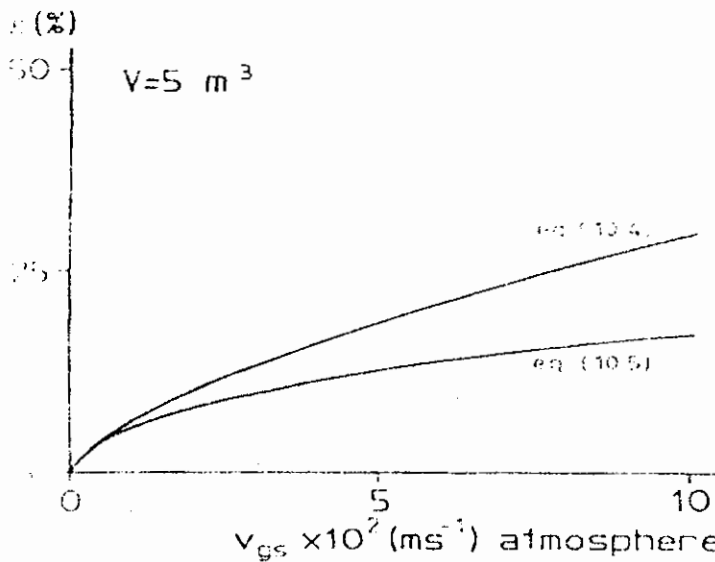
a. Larutan nanas



b. Larutan sukrosa

Gambar 5.6. Hubungan konsentrasi larutan terhadap hold up pada berbagai laju alir udara

Gambar 5.6 juga menunjukkan bahwa bertambahnya laju alir udara akan menyebabkan bertambahnya hold up gas. Hal ini bisa dipahami bahwa dengan semakin bertambahnya laju alir udara maka akan bertambah pula fraksi volume udara dalam larutan. Bertambahnya fraksi volume udara akan meningkatkan nilai hold up gas. Hasil penelitian ini memiliki kecenderungan yang sama dengan penelitian yang dilakukan oleh Feijen (1987) terhadap air yaitu meningkatnya laju alir akan menyebabkan meningkatnya pula hold up gas.



Gambar 5.7. Hubungan laju alir udara terhadap hold up gas pada air (Feijen, 1987)

Pada penelitian Feijen (1987) diperoleh hasil peningkatan hold up gas dengan bertambahnya laju alir udara seperti yang ditunjukkan pada gambar 5.7 dan peningkatannya itu merupakan fungsi eksponensial. Fenomena ini terjadi karena dalam penelitian Feijen (1987) untuk memperoleh hold up gas memakai persamaan:

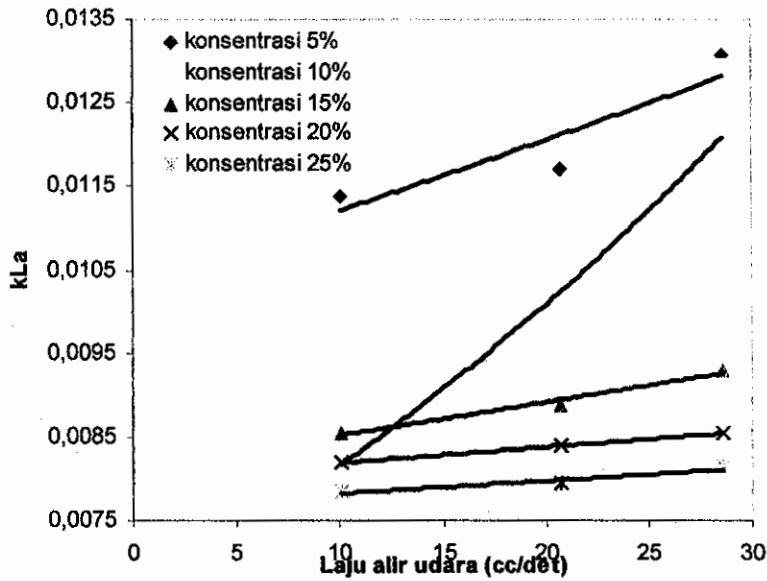
$$\epsilon = 0.6 (V_{gs}^c)^{0.7} \tag{5.1.}$$

Pada penelitian ini diperoleh peningkatan hold up gas merupakan fungsi linier. Fenomena ini terjadi karena dalam penelitian ini untuk memperoleh hold up gas memakai persamaan. Dalam penelitian ini hanya mengambil tiga titik laju alir udara dikarenakan oleh kondisi operasi yang tidak dapat dioperasikan serta kemampuan rotameter hanya bisa dengan skala 3 saja. Untuk skala lebih besar akan menyebabkan flooding pada reaktor dan skala yang lebih rendah tidak mungkin dilakukan.

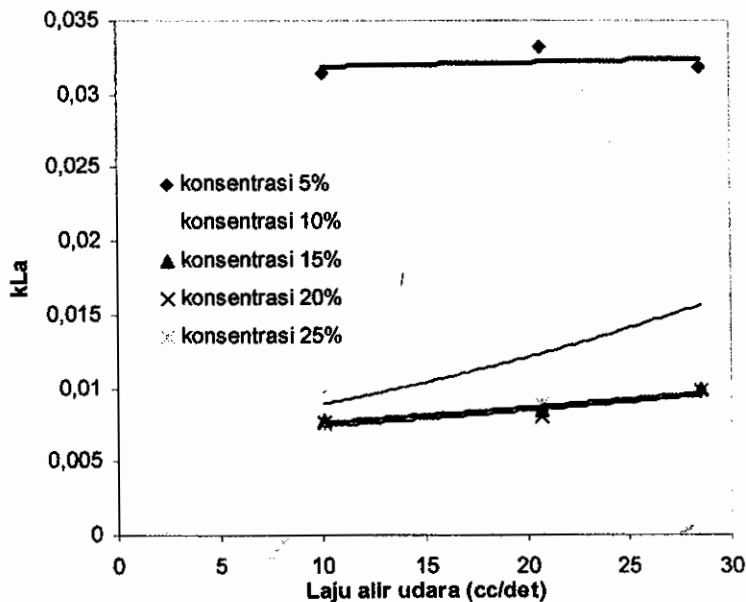
#### 5.4. Pengaruh Laju Alir Udara Terhadap $K_{La}$

Gambar 5.8 merupakan hubungan konstanta perpindahan massa gas-cair total ( $K_{La}$ ) dengan laju alir udara untuk larutan sukrosa (Gambar 5.8.a) dan larutan nanas

(Gambar 5.8.b). Gambar makin bertambahnya laju alir udara (dengan konsentrasi larutan sukrosa yang sama) akan mengakibatkan peningkatan koefisien perpindahan massa. Laju alir udara semakin besar maka udara yang dapat dipindahkan ke dalam larutan sukrosa akan semakin besar pula dan mengakibatkan laju perpindahan oksigen semakin besar. Dengan demikian koefisien perpindahan massa juga akan bertambah besar. Fenomena ini sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan untuk reaktor tangki maupun reaktor bergelembung oleh Stang, et.al, 2001.



a. larutan sukrosa



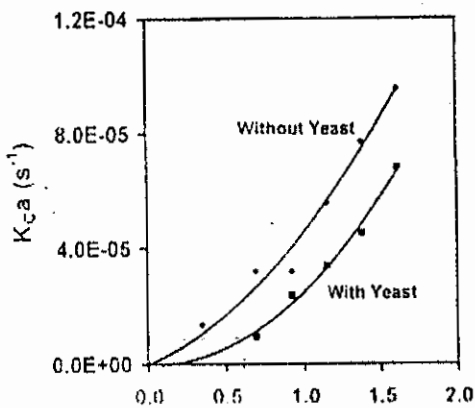
b. Larutan nanas

Gambar 5.8. Hubungan antara laju alir dengan kLa pada berbagai konsentrasi

Dari gambar diatas untuk larutan nanas, memiliki kecenderungan yang sama dengan larutan sukrosa, yaitu makin bertambahnya laju alir udara (dengan konsentrasi larutan nanas yang sama) akan mengakibatkan peningkatan koefisien perpindahan massa. Laju alir udara semakin besar maka udara yang dapat dipindahkan ke dalam larutan nanas akan semakin besar pula dan mengakibatkan laju perpindahan oksigen semakin besar. Dengan demikian koefisien perpindahan massa juga akan bertambah besar.

Penelitian tentang perpindahan massa sistem cair-cair dalam media etanol - oleum dan media fermentasi etanol telah dilakukan oleh Stang, et.al (2001). Hasil penelitian seperti disajikan dalam Gambar 5.9 dan tabel 5.1. Untuk laju alir gas 9,4 cc/dt diperoleh koefisien perpindahan massa  $8 \cdot 10^{-6}$  detik<sup>-1</sup>. Pada penelitian ini menggunakan laju alir udara 10,1 cc/detik dan konsentrasi gula 5-25% diperoleh hasil  $K_{La}$  terkecil  $7,5 \cdot 10^{-3}/s$  dan yang terbesar  $3,15 \cdot 10^{-2}/s$  (untuk larutan nanas) dan untuk larutan sukrosa nilai  $K_{La}$  terkecil adalah  $7,8 \cdot 10^{-3}/s$  dan terbesar  $1,14 \cdot 10^{-2}/s$ . Nilai terbesar untuk konsentrasi gula 25 % dan nilai terkecil pada konsentrasi gula 5%. Hasil penelitian ini jika dibandingkan dengan Tabel 5.1. yang dilakukan oleh Dhaoukdi et al., 1997; Kawase dan Hashiguchi, 1996 ; Hill et al.,1990 (dalam Stang, et.al, 2001) mempunyai nilai yang sama.

\* Fluorocarbon dispersed phase in water.



Gambar 5.9. Hubungan koefisien perpindahan massa dengan laju alir udara dengan dan tanpa ragi (Stang, et.al, 2001).

Fenomena yang menarik yang kita amati adalah pada perubahan konsentrasi gula dari 5-10%, dimana nilai konstanta perpindahan pada diatas (Gambar 5.8). Dengan penambahan konsentrasi sebesar 5% terjadi loncatan nilai konstanta perpindahan massa total gas-cair. Hal ini dikarenakan adanya perubahan sifat fluida atau jenis fluida. Pada konsentrasi 5-10%, dimana jumlah air masih mendominasi maka fluida tersebut masih bisa digolongkan sebagai fluida yang newtonian. Medium dengan konsentrasi gula total >10%,

dapat digolongkan sebagai fluida non-newtonian. Fluida untuk jenis ini biasa digolongkan non newtonian jenis dilutan.

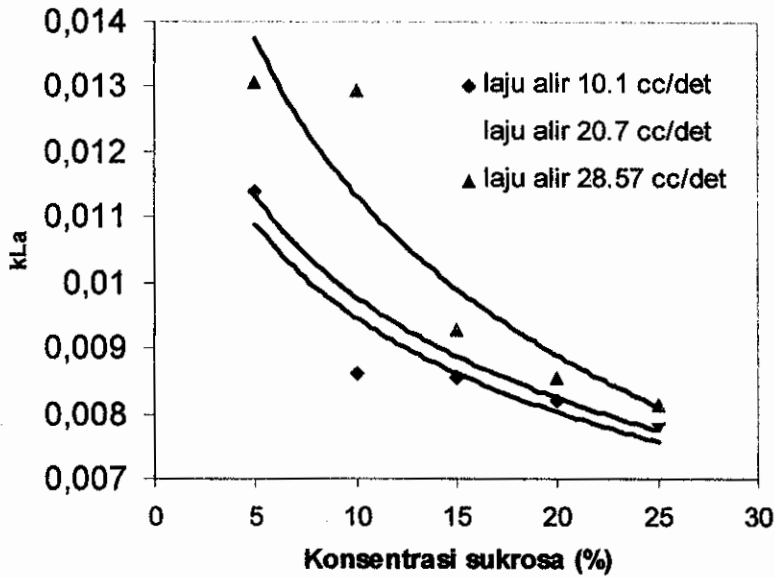
Tabel 5.1. : Hasil-hasil penelitian tentang perpindahan massa gas-cair pada bioreaktor bergelembung jenis airlift eksternal loop (Stang, et.al, 2001).

Peneliti	Sistem	Nilai Terendah ( $s^{-1}$ )	Nilai Tertinggi ( $s^{-1}$ )
Dhaoukdi et al.	Transfer Oksigen Udara-Air	$5 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-2}$
Kawase dan Hashiguchi	Transfer Oksigen Udara-Air	$6 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-2}$
Hill et al.	Transfer Oksigen Udara-Air	$7 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-2}$
Van Sonsbeek et al.	Transfer Oksigen Cair-cair	$1 \cdot 10^{-3}$	$7 \cdot 10^{-3}$
Stang, Macdonald, Hill	Transfer Ethanol Cair-cair	$7 \cdot 10^{-7}$	$3 \cdot 10^{-4}$

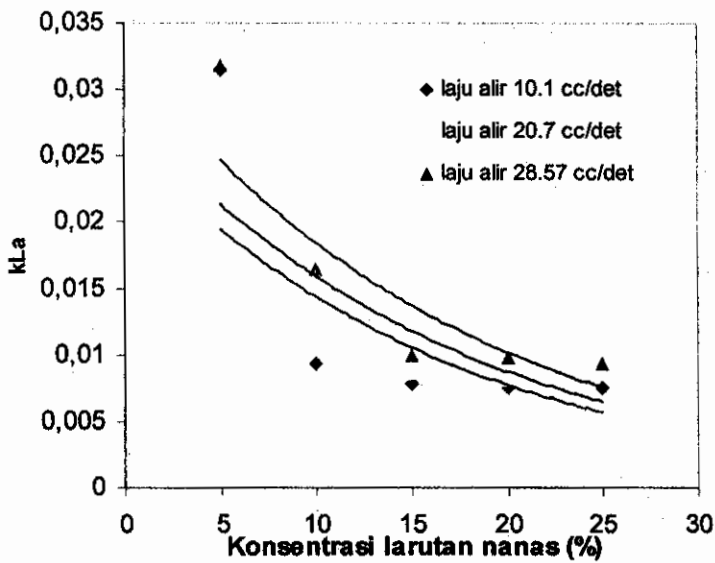
### 5.5. Pengaruh Konsentrasi Larutan Terhadap $K_La$

Gambar 5.10. merupakan grafik hubungan konstanta perpindahan massa gas-cair total dengan konsentrasi. Gambar 5.10 menunjukkan bahwa semakin besar konsentrasi larutan sukrosa mengakibatkan koefisien transfer massanya semakin turun. Hal ini disebabkan karena semakin besar konsentrasi larutan sukrosa maka zat padat yang terlarut dalam larutan tersebut akan semakin banyak. Hal ini mengakibatkan larutan menjadi semakin jenuh sehingga laju perpindahan oksigen menjadi semakin kecil. Hal ini mengakibatkan koefisien transfer massanya juga semakin menurun.

Gambar 5.10.b. adalah untuk larutan nanas, dimana hubungan antara konsentrasi dengan  $K_La$  memiliki kecenderungan yang serupa dengan larutan sukrosa dapat dilihat semakin besar konsentrasi larutan nanas mengakibatkan koefisien transfer massanya semakin turun. Hal ini disebabkan karena semakin besar konsentrasi larutan nanas maka zat padat yang terlarut dalam larutan tersebut akan semakin banyak. Hal ini mengakibatkan larutan menjadi semakin jenuh sehingga laju perpindahan oksigen menjadi semakin kecil. Hal ini mengakibatkan koefisien transfer massanya juga semakin menurun.



a. larutan sukrosa



b. larutan nanas

Gambar 5.10. Hubungan antara konsentrasi larutan dengan  $k_L a$  pada berbagai laju alir udara

### 5.6. Korelasi Antara Koefisien Transfer Massa Dengan Laju Alir Volumetrik Udara

Persamaan Shah et. al (1982) pada percobaan dengan reaktor kolom bergelembung menggunakan fluida air diperoleh persamaan sebagai berikut;

$$k_L a = 0,467V^{0,82} \dots\dots\dots (5.2)$$

Pada percobaan kali ini dengan menggunakan larutan nanas konsentrasi 5–25% pada rentang laju alir 10.1-28.57 cc/det pada reaktor bubble column didapatkan hubungan persamaan :

$$k_L a = 0,00646V^{0,189} \dots\dots\dots (5.3)$$

Sedangkan dengan menggunakan larutan sukrosa konsentrasi 5–25% pada rentang laju alir 10.1-28.57 cc/det pada reaktor bubble column didapatkan hubungan persamaan :

$$k_L a = 0,00816V^{0,134} \dots\dots\dots (5.4)$$

Dari kedua penelitian ini didapat kecenderungan yang sama yaitu semakin besar laju alir udara maka koefisien perpindahan massa gas-cair semakin besar Adapun perbedaan nilai konstanta yang didapatkan disebabkan karena jenis fluida yang digunakan berbeda. Untuk Shah, etal, 1982 menggunakan fluida jenis newtonian. Pada penelitian ini digunakan jenis fluida yang campuran dan kebanyakan data fluida yang non-newtonian. Untuk fluida yang non-newtonian menurut Merchuk and Ben-zvi, 1992 pemodelan matematika untuk perpindahan massa merupakan hubungan kontanta perpindahan massa dengan *global shear rate*. Hasil penelitian oleh Merchuk and Ben-zvi, 1992 adalah sebagai berikut;

$$k_L a = 1,4 \times 10^{-6} \gamma^{1,70} \dots\dots\dots (5.5)$$

Pada percobaan Popovic dan Robinson dengan menggunakan larutan CMC (Carboxyl Methyl Cellulose) pada reaktor air-lift external loop (Asenjo & Merchuck, 1995) didapatkan hubungan antara koefisien transfer massa gas-cair dengan laju alir udara, viskositas dan luas area riser dan downcomer, persamaan :

$$kLa = 1.911 \times 10^{-4} (J_G)^{0.525} \left(1 + \frac{Ad}{Ar}\right)^{0.853} \mu_{app}^{-0.89} \dots\dots\dots (5.6)$$

Sedang pada penelitian Widayat (2004) dengan menganggap luas riser dan downcomer konstan dan harga  $(1 + Ad/Ar)^{0.853}$  didapat persamaan berikut.

$$kLa = 4,561 \times 10^{-4} (J_G)^{0,206} \left(1 + \frac{Ad}{Ar}\right)^{0,853} \mu_{app}^{-0,425} \dots\dots\dots (5.7)$$

Pada penelitian Popovic dan Robinson menggunakan reaktor *air-lift eksternal loop* dan fluida CMC (Carboxymethyl cellulose), sedang pada penelitian Widayat (2004) menggunakan reaktor *air-lift internal loop rectangular* dan fluida larutan pati. Dilihat dari fluida yang digunakan, walaupun sama-sama fluida non Newtonian mereka mempunyai sifat fisis yang berbeda.

## BAB VI

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 6.1. Kesimpulan

Hasil penelitian ini secara garis besar terdiri dari dua bagian yaitu hidrodinamika reaktor dan proses perpindahan massa gas-cair. Penelitian tentang hidrodinamika dilakukan pada rentang konsentrasi 5 – 25% berat dan laju alir udara skala 1-3 atau laju alir volumetrik pada rentang 10-29 cc/detik Hasil penelitian dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Medium fermentasi buangan buah nanas mempunyai kelakuan yang sama dengan fluida sukrosa.
2. Jarak cairan dari dasar reaktor semakin jauh, maka semakin besar holdup gas
3. Kenaikan konsentrasi larutan akan mengakibatkan penurunan holdup gas dan koefisien transfer massa
4. Kenaikan laju alir udara akan mengakibatkan kenaikan holdup gas dan koefisien transfer massa
5. Pada konsentrasi 10 % merupakan batas transisi jenis fluida dari newtonian menjadi non newtonian untuk jenis media gula.
6. Persamaan matematika hubungan konstanta perpindahan massa adalah  
 $k_L a = 0,00646V^{0,189}$  untuk larutan nanas dan larutan sukrosa  
 $k_L a = 0,00816V^{0,134}$

#### 6.2. Saran

Setelah melakukan penelitian dapat kami dapat menyarankan sebagai berikut;

1. Untuk studi hidrodinamika dan perpindahan massa laju alir udara perbedaan perlu diperkecil sehingga dihasilkan kondisi yang lebih jelas antara kondisi homogen, transisi dan heterogen.
2. Pemodelan matematika dibedakan antara fluida newtonian dan non-newtonian, karena sifat yang berbeda pada keduanya
3. Pemodelan untuk non-newtonian dibuat hubungan dengan shear stressnya

## BAB VII

### RENCANA/PENELITIAN TAHAP SELANJUTNYA

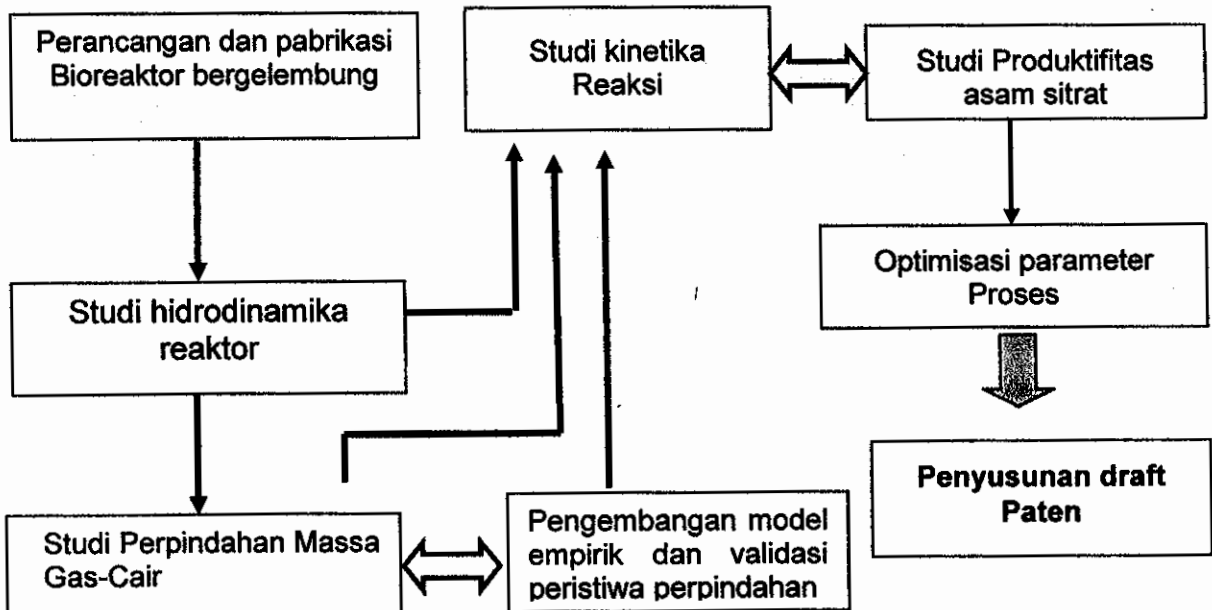
#### A. Tujuan Khusus

Pada tahun kedua dan ketiga, penelitian ini bertujuan untuk;

1. Mengembangkan penggunaan bioreaktor bergelembung untuk proses produksi asam sitrat
2. Studi eksperimental pengaruh viskositas, dan konsentrasi awal mikroba terhadap pertumbuhan mikroba
3. Penyusunan model empirik tentang perpindahan massa gas-cair dengan ada dan tidaknya mikroba
4. Mempelajari kinetika reaksi proses fermentasi asam sitrat yang meliputi kinetika penggunaan substrat, pertumbuhan mikroba dan pembentukan produk.
5. Mempelajari pengaruh penambahan aditif metanol dan atau etanol terhadap produktifitas asam sitrat
6. Optimisasi kondisi operasi proses terhadap terhadap produktifitas asam sitrat

#### B. Metode

Metode yang digunakan masih mengikti Gambar 7.1. dimana difokuskan pada studi perpindahan massa (komputasi, kinetika reaksi, studi produktifitas/uji produksi serta optimisasi proses).



Gambar 7.1. Skematik tahapan-tahapan penelitian

Secara terperinci tahun II dan III seperti dijelaskan berikut ini;

## Tahun II

Pada tahun kedua, penelitian akan dilakukan pada skala laboratorium. Kegiatan yang akan dilakukan antara lain :

- a. Studi perpindahan massa gas-cair
- b. Pengembangan model empirik dan validasi peristiwa perpindahan
- c. Studi kinetika reaksi dan komputasi proses

### Studi Perpindahan Massa Gas-Cair

Kondisi operasi untuk studi perpindahan massa gas-cair adalah sebagai berikut;

#### a. Variabel tetap :

- Temperatur operasi : suhu kamar
- dimensi peralatan : Tinggi reaktor 84 cm  
Diameter dalam 6.9 cm  
Diameter luar 7 cm
- Tinggi cairan awal : 74 cm
- Tekanan operasi : 1 atm
- Konsentrasi natrium sulfit : 0,20 N

#### b. Variabel berubah :

- Konsentrasi gula : 10-25 %
- Penambahan mikroba *Aspergillus niger*
- Laju udara masuk : 45 – 225 cc/dt
- Konsentrasi awal mikroba : 0,5 - 50 gr/l
- Waktu : 1-30 menit

### Pengembangan Model

Hasil penelitian dari eksperimental selanjutnya dikembangkan ke dalam model matematika untuk proses perpindahan massa gas-cair, dibandingkan dengan model yang telah ada dan dilakukan validasi.

### Studi Kinetika Reaksi dan komputasi proses

Variabel operasi selama penelitian tentang kinetika reaksi adalah sebagai berikut:

#### a). Variabel tetap :

- Temperatur operasi : suhu kamar
- dimensi peralatan : Tinggi reaktor 84 cm  
Diameter dalam 6.9 cm  
Diameter luar 7 cm

- Tinggi cairan awal : 74 cm
- Konsentrasi mikroba :  $2 \times 10^7$  spora/ml
- Tekanan operasi : 1 atm
- Laju udara masuk : 100 cc/dt
- Nutrisi ammonium nitrat : 0,25 gr / L
- kalium phospat : 0,1 gr / L
- magnesium sulphat : 0,025 gr / L

b). Variabel berubah :

- Konsentrasi gula : 10-25 %
- pH awal : 2-5
- Waktu fermentasi : 1-8 hari

Studi kinetika dilakukan terhadap kinetika pertumbuhan mikroba, kinetika penggunaan substrat dan kinetika pembentukan produk. Setelah diperoleh data-data dari eksperimen digunakan untuk validasi terhadap model yang disusun dan juga dilakukan komputasi proses.

### Tahun III

Pada tahun ketiga, penelitian akan dilakukan pada skala laboratorium. Kegiatan yang akan dilakukan antara lain :

- a. Studi produktifitas asam sitrat
- b. Optimisasi parameter-parameter proses
- c. Penyusunan draft paten

### **Studi Produktifitas**

Usaha-usaha yang dapat meningkatkan produktifitas asam sitrat diantaranya penggunaan immobilisasi mikroba (Ates, dkk. 2002), penambahan metanol (El-Holi dan Al-Delaimy, 2002). Adanya metanol akan melemahkan dinding sel dan membran sehingga meningkatkan aliran asam sitrat yang keluar dari sel sekaligus menyebabkan lebih banyak karbon masuk ke dalam sel. Metanol dapat menghambat sintesa protein akibatnya dihasilkan  $\text{NH}_4$  eksess, hal ini juga melemahkan dinding sel dan membran. Untuk studi ini akan dilakukan penambahan metanol dan etanol dengan kondisi operasi sebagai berikut;

a). Variabel tetap :

- Temperatur operasi : suhu kamar
- dimensi peralatan : Tinggi reaktor 84 cm  
Diameter dalam 6.9 cm

Diameter luar 7 cm

- Tinggi cairan awal : 70 cm
- Konsentrasi mikroba :  $2 \times 10^7$  spora/ml
- Tekanan operasi : 1 atm
- Laju udara masuk : 100 cc/dt
- Nutrisi ammonium nitrat : 0,25 gr / L
- Kalium fosfat : 0,1 gr / L
- Magnesium sulphat : 0,025 gr / L

b). Variabel berubah

- Konsentrasi metanol : 0,5 – 5 (v/v)
- Konsentrasi etanol : 0,5 – 5 (v/v)
- Konsentrasi etanol & metanol : 0,5- 5 (v/v)

### **Studi Optimisasi Parameter Proses**

Studi optimisasi dilakukan dengan menggunakan faktorial design  $2^n$ . Parameter-parameter yang diteliti adalah konsentrasi gula, pH awal, konsentrasi amonium nitrat, konsentrasi kalium fosfat dan laju alir udara. Tabel variabel untuk studi optimisasi parameter proses seperti disajikan di Tabel 3.

### **Metode analisis :**

Analisa karbohidrat seperti sukrosa, glukosa dan fruktosa diukur kepekatannya dengan menggunakan mesin *high performance liquid chromatography* HPLC (Waters TM 600) dengan kolom  $\mu$  Bondapak berdimensi 300 mm x 4 mm ID dan detektor jenis indeks bias. Analisa konsentrasi asam sitrat, asam isositrat dan asam malic, asam oksalat, asam suksinat dengan menggunakan mesin HPLC (Waters TM 600), dengan kolom *Sperisob Octil (Watres)* berdimensi 250 mm x 4,6 mm ID dan detektor ultra ungu pada panjang gelombang 210 nm. Konsentrasi asam total dianalisis dengan titrimetri asam basa menggunakan larutan NaOH dan indikator penolptalin atau metil orange. Selama proses fermentasi, pH diamati dengan pH meter yang dihubungkan dengan komputer. Untuk menghitung jumlah dari jamur *Aspergillus niger* menggunakan *colony counter*.

Tabel 7.1. Faktorial design  $2^5$  untuk optimisasi proses fermentasi asam sitrat

Run Ke-	Variabel				
	A	B	C	D	E
1	+	+	+	+	+
2	+	+	+	+	-
3	+	+	+	-	+
4	+	+	+	-	-
5	+	+	-	+	+
6	+	+	-	+	-
7	+	+	-	-	+
8	+	+	-	-	-
9	+	-	+	+	+
10	+	-	+	+	-
11	+	-	+	-	+
12	+	-	+	-	-
13	+	-	-	+	+
14	+	-	-	+	-
15	+	-	-	-	+
16	+	-	-	-	-
17	-	+	+	+	+
18	-	+	+	+	-
19	-	+	+	-	+
20	-	+	+	-	-
21	-	+	-	+	+
22	-	+	-	+	-
23	-	+	-	-	+
24	-	+	-	-	-
25	-	-	+	+	+
26	-	-	+	+	-
27	-	-	+	-	+
28	-	-	+	-	-
29	-	-	-	+	+
30	-	-	-	+	-
31	-	-	-	-	+
32	-	-	-	-	-

Keterangan:

+ : sebagai batas atas

- : sebagai batas bawah

A : Konsentrasi gula : 10 – 25 gr/l

B : pH medium : 1,5 - 5

C : Konsentrasi amonium nitrat : 1 - 5 gr/l

D : konsentasi kalium fosphat : 0,25 – 1,5

E : Laju alir udara : 50-250 gr/l

### C. JADWAL KERJA

Tabel 7.2. Jadwal Kerja penelitian tahun II dan III

AKTIFITAS	BULAN KE									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>TAHUN II</b>										
1. Studi Perpindahan massa dengan adanya kapang aspergillus nger	█	█	█							
2. Pengembangan Model Perpindahan massa			█	█	█					
3. Studi kinetika reaksi proses fermentasi Asam Sitrat						█	█	█		
5. Pemodelan dan Komputasi Proses Kinetika reaksi								█	█	█
6. Publikasi					█					█
<b>TAHUN III</b>										
1. Studi Produktifitas asam Sitrat	█	█	█	█						
2. Studi Optimasi Proses			█	█	█	█	█			
3. Publikasi			█							█
4. Pengolahan Paten					█	█	█	█	█	█

## DAFTAR PUSTAKA

1. Abdullah, 2002, "The Characteristics of Pineapple Waste from Canning Industries", Prosiding Seminar Nasional Rekayasa Kimia dan Proses
2. Abdullah, Haryani dan Widayat, 2003, "Pembuatan Nata De Pina Dari Limbah Buah Nanas Dengan Bakteri *Acetobacter Xylinum*", Jurnal Reaktor Edisi Desember.
3. Aprilitasari, R., 2003, "Laporan Penelitian", Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang
4. Ates. S., N. Dingil, E. Bayraktar dan U. Mehmetoglu, 2002, "Enhancement of Citric Acid production by immobilized and freely suspended *Aspergillus niger* using silicone oil", Process Biochemistry 38 hal 433-436
5. Bailey, J.F. and D.F Ollis, 1988 " Biochemical Engineering Fundamentals", Second edition, McGraw Hill Book Co. Singapore.
6. Berovic, M dan M Popovic, 2001, "Characterisation of Gas Mixed Bioreactors in Submerged Citric Acid Fermentation", *Chem. Biochem. Eng.*, hal 65-69.
7. Bouaifi M, Hebrard G, Bastoul D, Roustan M. A comparative study of gas holdup, bubble size, interfacial area and mass transfer coefficients in stirred gas-liquid reactors and bubble columns. *Chem Eng Process* 2001;40:97-111.
8. Brauer, H, 1985, "Stirred Vessel reactors", dalam Biotechnology editor Rehm H. J. dan Reed, G., Vol 2., VCH, Weinheim, hal 397-444
9. Christi, M.Y., 1989, "Air-lift Bioreactor", El Sevier Applied Science, London.
10. Christi, M.Y and Moo Young, M., 1988, "Prediction of Liquid Circulation Velocity in Air-lift Reactor with Biological Media", *J. Chem. Technol. Biotechnol.*
11. Christi, M.Y. and Moo Young, M., 1995, "Relationship Between Riser and Downcomer Gas Hold up in Internal Loop Air-lift Reactor without Gas -Liquid Separators", *Chem. Eng. J.*
12. Darwis, A.Z. dan Said, E.G., 1992, "Teknologi Fermentasi", PAU Bioteknologi IPB, Rajawali Press, Jakarta
13. El-Holi, M.A. dan K.S., AL-Delaimy, 2002, "Citric Acid production from whey with sugars additives by *Aspergillus niger*", *African Journal of Biotechnology*, Vol 2. (10) hal 356-359.
14. Grund, G, A. Schumpe dan W.D.Deckwer, 1992, "Gas-Liquid Mass Transfer in A Bubble Column with Organic Liquids", *Chem. Eng.Sci.*, hal 3509-3516, Pergamon Press Ltd.

15. Haryono dan Abdullah, 2003, "Studi Pendahuluan Penggunaan Limbah Buah Nanas sebagai Bahan Baku Produksi Asam Sistrat", Laporan Penelitian Jurusan Teknik Kimia , Universitas Diponegoro Semarang
16. Hendro, S, 1981,"*Pengenalan Jenis-jenis Tanaman Buah dan Bercocok Tanaman Buah-Buahan Penting di Indonesia*", Sinar Buana,Bandung.
17. Hyndman CL, Larachi F, Guy C. Understanding gas-phase hydrodynamics in bubble columns: a convective model based on kinetic theory. *Chem Eng Sci* 1997;52:63–77
18. Kawase, Y., B. Halard., dan M. Moo-Young, 1987, "Theoretical Prediction of Volumetric Mass Transfer Coefficientds in Buble Column for Newtonian and Non Newtonian Fluids", *Chem. Eng. Sci.*, hal 1609-1617
19. Kirk-Othmer, 1964, *Encyclopaedia of Chemical Technology*, 2<sup>nd</sup> ed., vol. 5, 524—541, John Wiley and Sons, Inc.,New York,
20. Krueger, D.A., R. G Krueger dan J Maciel, 1992, "Composition of Pineapple", *Journal of AOAC International*, Vol 75 No. 2 hal 280-282.
21. Kumar, D., V.K., Jain, G. Shanker dan A Srivastava, 2003, "Citric Acid Production by Solid State Fermentation using Sugarcane Bagasse", *Process Biochemistry*, hal 1731-1738, [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)
22. Kumar, D., V.K., Jain, G. Shanker dan A Srivastava, 2003, "Utilisation of Fruits Waste for Citric Acid Production by Solid State Fermentation", *Process Biochemistry*, hal 1725-1729, [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)
23. Lazaro, M.J, 1989, "Liquid Chromatographic Determination of Acid and Sugar in Homolactic Cucumbar Fermentation", *Journal AOAC*, 72(1), 52-55
24. Marison, I, W., 1988 " *Citric Acid Production*", In *Biotechnology For Engineers, Biological System In Technological Processes*, Edited: Scragg, A.H, John Wiley & Sons, New York
25. Merchuk, J.C. dan S. Ben-Zvi (Yona), 1992, "***A Novel Approach to The Correlation of Mass Transfer Rates in Bubble Column with Non-Newtonian Liquids***", *Chem. Eng. Sci.*, hal 3517-3523, Pergamon Press Ltd
26. Merchuk, J.C. dan Asenjo, J.A. , 1995, "***Fundamental of Bioreactor Design***", New York, Marcell Dekker Inc.
27. Popovic, M.K dan C.W., Robinson, 1989, "Mass Transfer Stuy of External Loop airlift and a Buble Column", *AichEJ.*, 35, 3, hal 393-405.
28. Prescott dan Dunn, 1959,"*Industrial Microbiology*", 3rd edition, Mc Graw Hill Book Co. Inc., New York
29. Sasaki.K, Noparatnaraphorn. N dan Nagoi. S (1991),"Use of Photosynthetic Bacteria for The Production of SCP dan Chemicals from Agro Indusrial Waste In Bioconversion

- of Waste to Industrial Product. Ed. Martin, AM. Elvise Applied Science, London, 225-233
30. Stang, D., Macdonald, G., and Hill A., 2001, "**Mass Transfer and Bioethanol Production in an External Loop Liquid Lift Bioreactor**", Ind. Eng. Chem. Res
  31. Thoenes, D., 1994, "Chemical Reactor Development from Laboratory Synthesis to Industrial Production", Kluwer Academic Publishers, London
  32. Tran, CT. LI. Sly dan DA. Mitchel, 1998, "Selection of a strain of *Aspergillus niger* for the production of citric acid from pineapple waste in solid state fermentation", World j Microbiol Biotechnol. 14 hal 399-404
  33. Widayat, Susilo dan Pranoto, 2003, "Koefisien Perpindahan Massa Gas-Cair pada Fluida Non Newtonian dalam Reaktor Airlift", Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia Indonesia, Yogyakarta.
  34. Williams, J.A., 2002, "**Keys To Bioreactor Selections**", Chem. Eng. Prog, hal 34-41.

## LAMPIRAN A

### RENCANA ANGGARAN PENELITIAN

#### 1. JUSTIFIKASI ANGGARAN Tahun II dan III

Rencana anggaran penelitian yang diusulkan untuk tahun kedua dan ketiga masing-masing sebesar Rp. 39.200.000,00. Justifikasi anggaran secara rinci dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

JENIS PENGELUARAN	TAHUN II	TAHUN III	JUMLAH
Pelaksana (Gaji dan Upah)	10.200.000	10.200.000	30.600.000
Peralatan	10.250.000	10.550.000	32.814.000
Bahan Aus (Material penelitian)	13.700.000	10.600.000	32.836.000
Perjalanan	1.000.000	1.000.000	3.000.000
Pemeliharaan	1.000.000	1.500.000	3.500.000
Pertemuan/Lokakarya/Seminar	1.300.000	1.350.000	3.950.000
Laporan/Publikasi	400.000	2.250.000	2.950.000
Lain-lain	1.350.000	1.750.000	3.750.000
<b>Total Anggaran</b>	<b>39.200.000</b>	<b>39.200.000</b>	<b>113.400.000</b>

#### 1.1 Anggaran untuk Honor dan Upah

Nama	Peran utama	Rincian Gaji	Gaji/Tahun Rp.
Widayat, ST. MT	Peneliti utama Hidrodinamika reaktor dan Perpindahan massa	1x4x10x10xRp.7500	3.000.000
Dr. Ir. Abdullah, SU	kinetika reaksi bioproses	1x4x10x10xRp.6000	2.400.000
Drs. Mohammad Hadi, MSi	Mikrobiologi	1x4x10x10xRp.6000	2.400.000
Ir. Danny Soetrisnanto, MEng	Bioteknologi	1x4x10x10xRp.6000	2.400.000
<b>TOTAL</b>			<b>10.200.000</b>

## 1.2. Anggaran untuk Komponen Peralatan

Nama Alat	Kegunaan	Harga Satuan x (Rp.1000)	Tahun II		Tahun III	
			Jumlah	Biaya x (Rp.1000)	Jumlah	Biaya x (Rp.1000)
Power Supply	Pemasok tenaga	1.250	1	1.250	0	0
Pipa gelas 5 inci ketebalan 1/8 inci	Perancangan bioreaktor	1.250	0	0	2	2.500
Pipa gelas 7 inci ketebalan 1/8 inci	Perancangan bioreaktor	1.250	0	0	2	2.500
Pipa gelas 1 inci	Perancangan bioreaktor	500	0	0	1	500
Pendingin reaktor	Proses pendinginan dlm reaktor	550	0	0	1	550
Pendingin busa	Proses pendinginan busa	550	0	0	1	550
Inverted manometer	Pengukur perubahan tinggi fluida	250	0	0	1	250
Pengaduk	Pengadukan medium	450	1	450	0	0
Katub	Pengatur laju alir	175	0	0	4	700
Indikator tekanan	Penunjuk tekanan	225	0	0	2	450
Flow meter	Penunjuk laju alir	482	0	0	0	0
Pompa	Mengalirkan cairan	1.250	2	2.500	0	0
Sistem pemipaan	Sistem aliran fluida	600	1	600	1	600
Heater 1000 watt	Pemanas medium	500	1	500	1	500
Soft ware dan hard ware, kabel	Pengukur pH medium	3.500	1	3.500	0	0
Elektroda	Pengukur pH dan DO	350	2	700	2	700
Thermoregulator	Pengendali temperatur	750	1	750	1	750
Kerangka besi	Rangka unit	750	0	0	0	0
Jumlah				10.250		10.550

### 1.3. Anggaran untuk Bahan Aus (Material Penelitian)

#### 1.3.1. Alat Tulis Kantor

Alat Tulis Kantor	Kegunaan	Harga Satuan (Rp.1000)	Tahun II		Tahun III	
			Jumlah	Biaya (Rp.1000)	Jumlah	Biaya (Rp.1000)
Tinta Printer	Administrasi	250/buah	2	500	2	500
Disket 3,5 in	Laporan	35/pack	1	35	1	35
Pres disk	Administrasi	350/buah	1	350	1	350
Kertas HVS	Administrasi	30/rim	5	150	5	150
<b>JUMLAH</b>				<b>1.035</b>		<b>1.035</b>

#### 1.3.2. Bahan Eksperimen

No.	Nama Bahan	Kegunaan	Harga Satuan x (Rp.1000)	Tahun II		Tahun III	
				Jumlah	Biaya x (Rp.1000)	Jumlah	Biaya x (Rp.1000)
1	Buangan padat buah nanas	Sebagai bahan baku	1/kg	100	100	100	100
2	<i>Aspergillus niger</i>	Mikroba	75/tabung	5	375	5	375
3	Amonium nitrat	Nutrien	297,5/kg	2	585	2	585
4	Kalium fosfat	Nutrien	492/kg	2	984	2	984
5	Magnesium sulfat	nutrien	300/kg	2	600	2	600
6	Gas oksigen	Sumber oksigen	150/tabung	2	300	2	300
7	KI	Reagen	654/kg	0	0	0	0
8	Natrium sulfit	Reagen	284/kg	0	0	0	0
9	Agar dextrose	Media pembiakan jamur	3.107/kg	1	3.107	1	3.107

10	Metanol	Aditif	184/liter	0	0	2	368
11	etanol	Aditif	166/liter	0	0	1	166
12	LPG	Bahan bakar	250/tabung	2	500	2	500
13	Aquades	pengencer	0,5/liter	200	100	200	100
14	NaOH	Analisis/Reagen	205/kg	1	205	1	205
15	Indikator pp	Analisis	232/25 gr	250	2.320	0	0
16	Indikator methylene blue	Analisis	1.155/5gr	5	1.155	0	0
17	amilum	Analisis	80/kg	0	0	0	0
18	Gas nitrogen	Analisis sbg inert	200/tabung	2	400	2	400
19	Kalsium hidroksida	Analisis	349/kg	1	349	1	349
20	Acetonitril untuk HPLC	Analisis	337,5/liter	2	675	2	675
21	HCl	Ragen	159/liter	2	318	1	159
22	Kalium ferri sianida	Reagen	282/kg	1	282	1	282
23	Kupri sulfat	Reagen	310/kg	1	310	1	310
24	Natrium tio sulfit	Analisis	316/kg	0	0	0	0
		JUMLAH			12.665		9.565

#### 1.4. Anggaran untuk Perjalanan

Perjalanan Dinas	Keperluan	Tahun II (Rp.1000)		Tahun III (Rp.1000)	
		Tujuan	Biaya	Tujuan	Biaya
Tiket pesawat	-	-	0		0
Angkutan Darat	Seminar	Surabaya	750	Jakarta	750
Angkutan Darat	Perjalanan dalam kota	Semarang	250	Semarang	250
	JUMLAH		1.000		1.000

**1.5. Anggaran untuk Pemeliharaan**

Jenis Pengeluaran	Tahun II ( x Rp.1000)	Tahun III ( x Rp. 1000)
Pemeliharaan	1000	1.500
<b>JUMLAH</b>	<b>1000</b>	<b>1.500</b>

**1.6. Pertemuan/Lokarya/Seminar**

Jenis Pengeluaran	Tahun II (Rp.1000)	Tahun III
Pembuatan dan pengiriman makalah	250	300
Biaya seminar	1.050	1.050
<b>JUMLAH</b>	<b>1.300</b>	<b>1.350</b>

**1.7. Laporan/Publikasi**

Jenis Pengeluaran	Tahun II ( x Rp.1000)	Tahun III ( x Rp. 1000)
Publikasi ilmiah	100	200
Penggandaan laporan	300	400
Pembuatan dan pengurusan draft paten	0	1.650
<b>JUMLAH</b>	<b>400</b>	<b>2.250</b>

**1.8. Lain-lain**

Pengeluaran Lain	Tahun II ( x Rp.1000)	Tahun III ( x Rp. 1000)
Analisis Data	600	750
Bahan Pustaka	750	1.000
<b>JUMLAH</b>	<b>1.350</b>	<b>1.750</b>

## LAMPIRAN B

### Hasil Analisa Pendahuluan dan Kalibrasi

#### Lampiran Hasil Penelitian yang mendukung

1. Hasil analisa awal bahan baku, seperti disajikan dalam Tabel B.1.

Tabel B.1. Hasil analisa terhadap bahan baku filtrat bonggol dan kulit nanas

Parameter	Nilai	Metode
COD ( gr / lt )	-	pH meter
pH	4	
Gula Reduksi ( % )	1,500	
Sukrosa ( % )	2,13	
Glukosa ( gr / lt )		
Fruktosa ( gr / lt )		
Gula total ( % )	3,7418	
Protein yang terlarut	-	
Jml Nitrogen ( gr / lt )	-	
Derajat keasaman (gr/lt)	-	
Asam sitrat ( gr / lt )	0,2374	HPLC
Asam fumarat ( gr / lt )	$1,1 \times 10^{-3}$	HPLC
Asam asetat ( lt/lt )	$2,95 \times 10^{-3}$	HPLC
Asam oksalat	0,01	HPLC
Fe (ppm)	200	AAS
Ca (ppm)	643,895	AAS
Mn (ppm)	-	AAS
Mg (ppm)	953,044	AAS
Cu	-	
Cd	-	
Na	-	
K	-	
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	-	
PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>	-	
NO <sub>3</sub> <sup>3</sup>	-	
Cl <sup>-1</sup>	-	
P	-	

2. Hasil pengukuran densitas seperti disajikan dalam Tabel B.2.

Tabel B.2. Hasil pengukuran densitas larutan nanas

% larutan nanas	W larutan	Densitas (gr/cc)
5	25.50	0.960
10	26.75	1.085
15	27.05	1.115
20	27.37	1.147
25	27.90	1.200

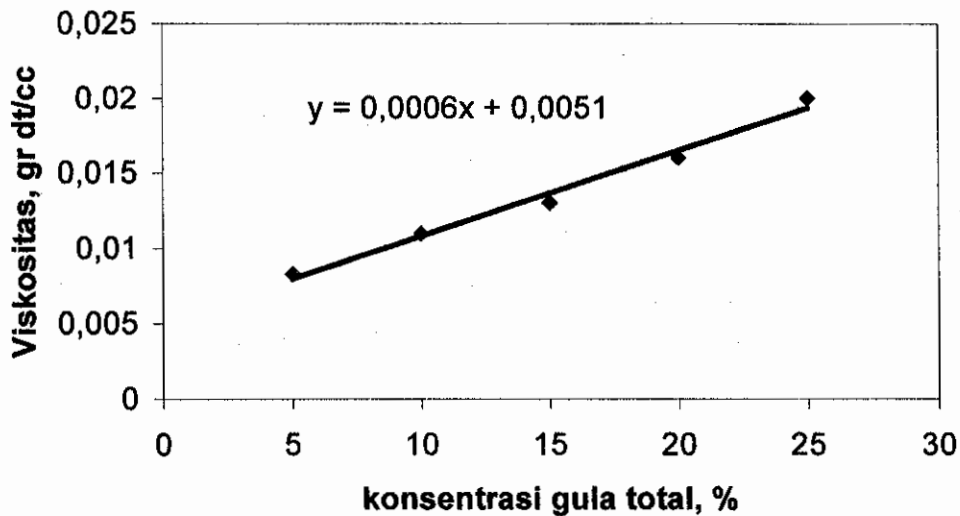
3. Hasil kalibrasi viskositas dan laju alir udara disajikan dalam Tabel B.3. dan B.4., serta Gambar B.1 dan B.2.

Tabel B.3. Viskositas larutan dalam berbagai konsentrasi

% larutan nanas	t larutan (detik)	Viskositas (grdt/cc)
5	28.57	0.0083
10	32.16	0.0110
15	37.80	0.0130
20	46.32	0.0160
25	55.85	0.0200

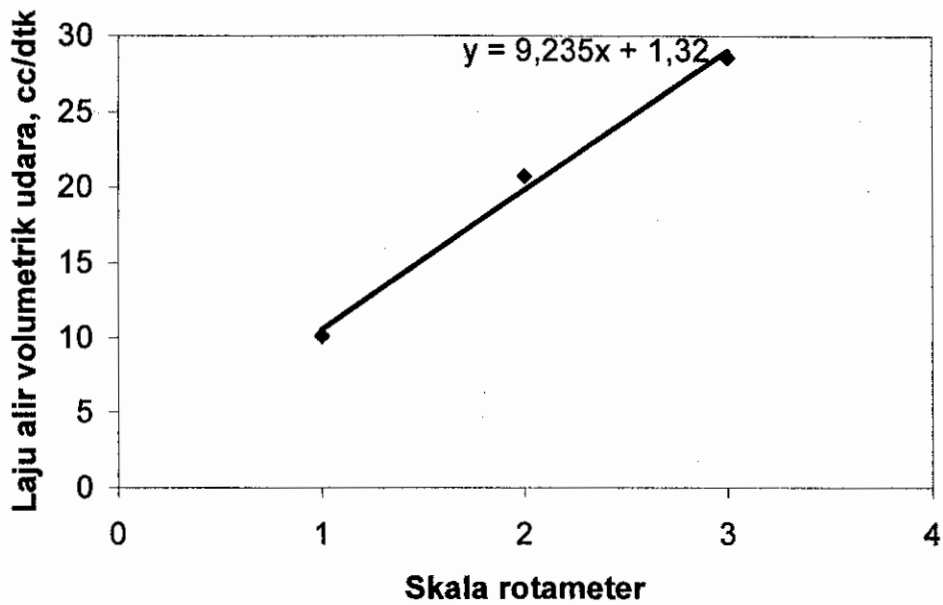
A. Tabel B.4. Hasil kalibrasi laju alir udara

Skala (liter/menit)	t (detik)	V udara (liter/menit)	V udara (cc/dt)
1	297	0.606	10.1
2	145	1.242	20.7
3	105	1.714	28.57



Gambar B.1. Grafik kalibrasi untuk viskositas

Hasil kalibrasi viskositas larutan nanas diperoleh persamaan  $y = 0,0006 x + 0,0051$ , dimana y adalah viskositas (dtk/cc) dan x adalah konsentrasi gula total, %.



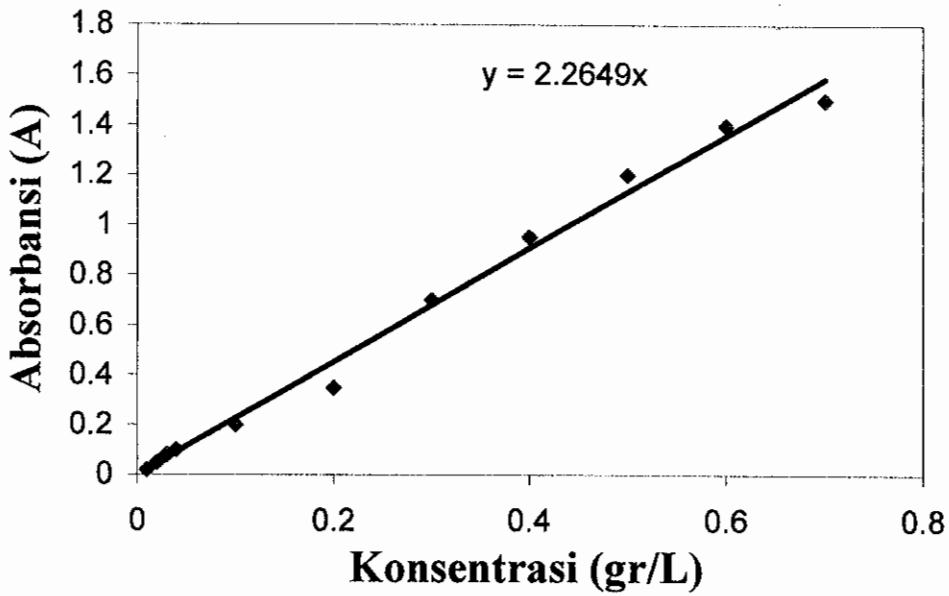
Gambar B.2. Grafik hasil kalibrasi laju alir udara

Hasil kalibrasi laju alir udara diperoleh persamaan  $y = 9,235x + 1,32$ , dimana  $y$  adalah laju alir udara, cc/detik dan  $x$  adalah skala rotameter.

4. Proses pembuatan kurva standar konsentrasi kapang (*Aspergillus niger*) seperti disajikan dalam Tabel B.5..

Tabel B.5. Pembuatan kurva standar pengukuran konsentrasi kapang *Aspergillus niger*

Konsentrasi Mikroba (gr/L)	Absorbansi (A)
0,01	0,02
0,02	0,05
0,03	0,08
0,04	0,1
0,1	0,2
0,2	0,35
0,3	0,7
0,4	0,95
0,5	1,2
0,6	1,4
0,7	1,5



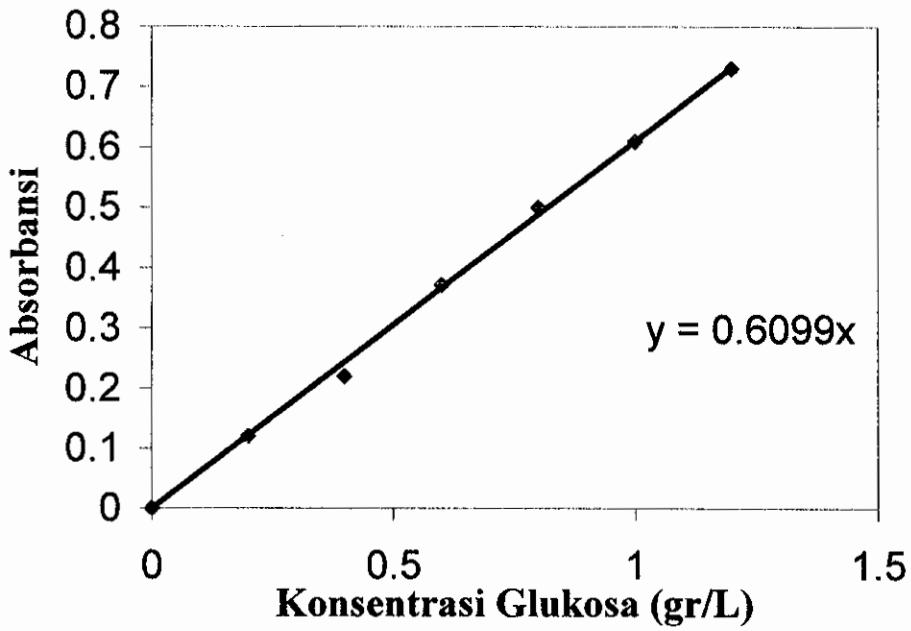
Gambar B.3. Hubungan konsentrasi kapang terhadap absorbansi

Hasil kalibrasi pengukuran konsentrasi kapang *Aspergillus niger* dengan metode spektrofotometer seperti disajikan dalam gambar B.3. Persamaan hubungan konsentrasi kapang dengan absorbansi adalah  $y = 2,2649 x$ , dimana  $y$  adalah absorbansi (A) dan  $x$  adalah konsentrasi kapang (gr/l).

5. Proses pembuatan kurva standar mikroba (*Aspergillus niger*) dapat disajikan dalam Tabel B.5..

Tabel B.6. Pembuatan kurva standar glukosa

Konsentrasi glukosa standar (g/l)	Absorbansi (A)
0	0
0,2	0,12
0,4	0,22
0,6	0,37
0,8	0,5
1	0,61
1,2	0,73



Gambar B.4.. Pembuatan kurva standar glukosa

Hasil kalibrasi pengukuran konsentrasi glukosa dengan metode spektrofotometer seperti disajikan dalam gambar B.4. Persamaan hubungan konsentrasi kapang dengan absorbansi adalah  $y = 0,66069 x$ , dimana  $y$  adalah absorbansi (A) dan  $x$  adalah konsentrasi glukosa (gr/l).

## LAMPIRAN C

### DATA PERCOBAAN HIDRODINAMIKA DAN PERPINDAHAN MASSA GAS-CAIR

Tabel C.1. Data percobaan hidrodinamika reaktor larutan sukrosa dan nanas

Hold up

LARUTAN SUKROSA 5%pl = 0.98 gr/cc

Laju alir cc/det	Beda ketinggian cairan (mm)				
	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
10,1	1	4	4,5	7	8,5
20,7	1,5	5,5	6,5	7,5	11,5
28,57	3	6,5	9	11,5	13,5

LARUTAN SUKROSA 10%pl = 1.06 gr/cc

Laju alir cc/det	Beda ketinggian cairan (mm)				
	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
10,1	1	2,5	3,5	6,5	8,5
20,7	1,5	4,5	6	7	10
28,57	2,5	5	6,5	10	13

LARUTAN SUKROSA 15%pl = 1.17 gr/cc

Laju alir cc/det	Beda ketinggian cairan (mm)				
	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
10,1	1	2,5	3	5,5	7
20,7	1	4	6	6,5	9
28,57	2	4,5	6	9	12

LARUTAN SUKROSA 20%pl = 1.18 gr/cc

Laju alir cc/det	Beda ketinggian cairan (mm)				
	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
10,1	0,5	2	3	4	6
20,7	1	3,5	5	6	9
28,57	2	4	6	7,5	10,5

LARUTAN SUKROSA 25%pl = 1.19 gr/cc

Laju alir cc/det	Beda ketinggian cairan (mm)				
	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
10,1	0,5	1,5	2,5	3,5	5,5
20,7	1	2,5	4	4,5	7
28,57	1,5	3,5	4,5	6,5	9,5

Hold up

LARUTAN NANAS 5%,  $\rho_l = 0.98 \text{ gr/cc}$

Laju alir cc/det	Beda ketinggian cairan (mm)				
	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
10,1	1	3,5	4	5,5	8
20,7	1,5	5	5	6	10
28,57	3	6	7	10	13

LARUTAN NANAS 10%,  $\rho_l = 1.07 \text{ gr/cc}$

Laju alir cc/det	Beda ketinggian cairan (mm)				
	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
10,1	1	3	3,5	5	8
20,7	1,5	4,5	5	6	10
28,57	2,5	5	6	9	26

LARUTAN NANAS 15%,  $\rho_l = 1.15 \text{ gr/cc}$

Laju alir cc/det	Beda ketinggian cairan (mm)				
	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
10,1	0,5	1,5	3	5,5	7
20,7	1	2,5	4	6,5	8,5
28,57	1,5	3	5	7,5	12,5

LARUTAN NANAS 20%,  $\rho_l = 1.17 \text{ gr/cc}$

Laju alir cc/det	Beda ketinggian cairan (mm)				
	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
10,1	0,5	1,5	2,5	5,5	6
20,7	1	2	4	6,5	8
28,57	1,5	3	4,5	7	12

LARUTAN NANAS 25%,  $\rho_l = 1.19 \text{ gr/cc}$

Laju alir cc/det	Beda ketinggian cairan (mm)				
	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
10,1	0,5	1,5	2,5	5	6
20,7	1	2	3,5	5,5	7,5
28,57	1,5	2,5	4	7	11,5

Tabel. C.2. Data percobaan perpindahan massa gas-cair pada laju alir 10.1 cc/detik

t (detik)	Konsentrasi sukrosa (% berat)				
	5	10	15	20	25
	C O <sub>2</sub> (mg/L)	C O <sub>2</sub> (mg/L)	C O <sub>2</sub> (mg/L)	C O <sub>2</sub> (mg/L)	C O <sub>2</sub> (mg/L)
1	4.92	4.57	3.41	3.04	2.87
2	5.08	4.62	3.43	3.11	2.94
3	5.17	4.68	3.44	3.14	2.97
4	5.19	4.72	3.47	3.17	3.04
5	5.24	4.75	3.49	3.19	3.08
6	5.27	4.79	3.51	3.22	3.14
7	5.32	4.82	3.55	3.24	3.15
8	5.37	4.82	3.55	3.24	3.15
9	5.42	4.83	3.56	3.25	3.16
10	5.47	4.85	3.58	3.27	3.17
11	5.47	4.87	3.63	3.29	3.18
12	5.46	4.92	3.67	3.31	3.17
13	5.45	4.95	3.71	3.33	3.18
14	5.47	4.99	3.72	3.37	3.19
15	5.49	5.07	3.76	3.37	3.18
16	5.52	5.09	3.81	3.37	3.18
17	5.55	5.12	3.84	3.39	3.19
18	5.62	5.17	3.85	3.41	3.2
19	5.64	5.19	3.86	3.57	3.21
20	5.67	5.19	3.88	3.58	3.23
21	5.67	5.19	3.92	3.61	3.26
22	5.67	5.2	3.94	3.64	3.29
23	5.68	5.19	3.97	3.67	3.34
24	5.72	5.18	4.04	3.69	3.38
25	5.7	5.18	4.09	3.73	3.44
26	5.68	5.19	4.15	3.76	3.49
27	5.68	5.19	4.21	3.81	3.52
28	5.68	5.2	4.24	3.87	3.58
29	5.71	5.2	4.29	3.92	3.63
30	5.71	5.21	4.32	3.95	3.67
31	5.72	5.23	4.35	3.98	3.73
32	5.71	5.24	4.39	4.02	3.79
33	5.71	5.25	4.41	4.07	3.83
34	5.73	5.23	4.45	4.19	3.88
35	5.75	5.27	4.47	4.22	3.96
36	5.78	5.29	4.52	4.26	4.08
37	5.82	5.31	4.55	4.29	4.16
38	5.91	5.3	4.58	4.31	4.24
39	5.9	5.31	4.62	4.33	4.26
40	6.01	5.32	4.67	4.34	4.32
41	6.02	5.33	4.71	4.37	4.35
42	6.02	5.34	4.74	4.42	4.41
43	6.03	5.38	4.77	4.45	4.42

44	6.03	5.41	4.81	4.48	4.41
45	6.04	5.42	4.82	4.51	4.42
46	6.04	5.46	4.86	4.56	4.46
47	6.05	5.49	4.89	4.59	4.51
48	6.04	5.52	4.93	4.62	4.53
49	6.04	5.54	4.96	4.65	4.52
50	6.06	5.62	4.97	4.66	4.53
51	6.07	5.65	4.99	4.68	4.56
52	6.07	5.73	5.01	4.71	4.57
53	6.08	5.82	5.02	4.75	4.6
54	6.08	5.94	5.05	4.78	4.63
55	6.08	6.06	5.07	4.81	4.64
56		6.06	5.08	4.83	4.65
57		6.06	5.11	4.86	4.65
58			5.14	4.86	4.67
59			5.16	4.87	4.68
60			5.16	4.88	4.7
61			5.16	4.88	4.72
62				4.88	4.72

Tabel C.3. Data percobaan perpindahan massa gas-cair pada laju alir 20.7 cc/detik

t (detik)	Konsentrasi sukrosa (% berat)				
	5	10	15	20	25
	C O <sub>2</sub> (mg/L)	C O <sub>2</sub> (mg/L)	C O <sub>2</sub> (mg/L)	C O <sub>2</sub> (mg/L)	C O <sub>2</sub> (mg/L)
1	5.42	5.12	4.63	5.37	5.02
2	5.47	5.14	4.65	5.41	5.17
3	5.52	5.21	4.68	5.47	5.21
4	5.68	5.27	4.69	5.54	5.26
5	5.71	5.25	4.72	5.59	5.29
6	5.74	5.27	4.76	5.62	5.31
7	5.79	5.29	4.77	5.62	5.37
8	5.82	5.32	4.81	5.64	5.39
9	5.87	5.37	4.85	5.67	5.42
10	5.89	5.41	4.89	5.69	5.42
11	5.89	5.4	4.93	5.72	5.43
12	5.91	5.39	4.96	5.72	5.44
13	5.92	5.38	4.99	5.7	5.47
14	5.94	5.39	5.01	5.69	5.47
15	6.02	5.39	5.02	5.69	5.47
16	6.07	5.4	5.02	5.71	5.47
17	6.05	5.39	5.03	5.71	5.48
18	6.05	5.38	5.04	5.71	5.48
19	6.1	5.37	5.06	5.72	5.48
20	6.11	5.37	5.09	5.72	5.51
21	6.12	5.38	5.07	5.74	5.51
22	6.17	5.39	5.08	5.74	5.53

23	6.15	5.41	5.12	5.74	5.54
24	6.14	5.41	5.13	5.74	5.55
25	6.13	5.43	5.15	5.74	5.56
26	6.12	5.42	5.14	5.75	5.57
27	6.12	5.46	5.17	5.76	5.57
28	6.11	5.48	5.18	5.76	5.56
29	6.13	5.47	5.19	5.76	5.56
30	6.14	5.49	5.25	5.77	5.57
31	6.15	5.53	5.28	5.78	5.58
32	6.14	5.56	5.29	5.78	5.58
33	6.14	5.75	5.31	5.79	5.59
34	6.15	5.78	5.36	5.79	5.61
35	6.16	5.81	5.37	5.77	5.62
36	6.16	5.84	5.39	5.78	5.65
37	6.17	5.88	5.42	5.78	5.64
38	6.18	5.91	5.43	5.8	5.66
39	6.17	5.95	5.45	5.83	5.68
40	6.18	6.02	5.49	5.88	5.69
41	6.19	6.03	5.54	5.92	5.7
42	6.19	6.05	5.55	5.96	5.73
43	6.2	6.06	5.55	5.98	5.74
44	6.21	6.18	5.59	6.03	5.74
45	6.21	6.09	5.62	6.05	5.73
46	6.22	6.11	5.68	6.12	5.76
47	6.22	6.11	5.69	6.16	5.78
48	6.22	6.12	5.71	6.19	5.82
49		6.13	5.75	6.29	5.85
50		6.13	5.76	6.3	5.83
51		6.13	5.78	6.32	5.87
52			5.79	6.36	5.89
53			5.84	6.4	5.94
54			5.89	6.41	5.95
55			5.95	6.43	5.98
56			5.98	6.46	5.96
57			5.98	6.49	5.99
58			5.98	6.53	6.02
59				6.53	6.03
60				6.53	6.05
61					6.07
62					6.11
63					6.11
64					6.11

Tabel C.4. Data percobaan perpindahan massa gas-cair pada laju alir 28.57 cc/detik

t (detik)	Konsentrasi sukrosa (% berat)				
	5	10	15	20	25
	C O <sub>2</sub> (mg/L)	C O <sub>2</sub> (mg/L)	C O <sub>2</sub> (mg/L)	C O <sub>2</sub> (mg/L)	C O <sub>2</sub> (mg/L)
1	5.25	4.79	4.84	4.68	5.12
2	5.37	4.82	4.88	4.75	5.28
3	5.39	4.88	4.9	4.82	5.37
4	5.42	4.92	4.92	4.91	5.39
5	5.47	5.02	4.94	4.97	5.44
6	5.52	5.05	4.97	4.99	5.47
7	5.55	5.05	5.02	5.02	5.49
8	5.55	5.07	5.09	5.04	5.52
9	5.57	5.05	5.15	5.07	5.55
10	5.61	5.05	5.19	5.09	5.55
11	5.62	5.07	5.27	5.12	5.59
12	5.64	5.09	5.3	5.17	5.67
13	5.72	5.12	5.37	5.18	5.68
14	5.79	5.17	5.37	5.19	5.68
15	5.78	5.19	5.39	5.19	5.68
16	5.78	5.28	5.42	5.18	5.69
17	5.79	5.29	5.49	5.17	5.71
18	5.81	5.31	5.52	5.18	5.71
19	5.81	5.32	5.52	5.2	5.72
20	5.81	5.35	5.52	5.23	5.72
21	5.84	5.37	5.51	5.24	5.72
22	5.87	5.42	5.52	5.26	5.73
23	5.87	5.42	5.54	5.28	5.74
24	5.89	5.42	5.56	5.32	5.75
25	5.92	5.42	5.58	5.34	5.77
26	5.92	5.42	5.58	5.35	5.81
27	5.97	5.41	5.57	5.32	5.82
28	5.99	5.4	5.56	5.34	5.82
29	6.07	5.62	5.55	5.35	5.83
30	6.09	5.65	5.56	5.37	5.84
31	6.17	5.71	5.58	5.38	5.85
32	6.17	5.76	5.58	5.38	5.84
33	6.19	5.82	5.59	5.41	5.87
34	6.21	5.87	5.58	5.43	5.88
35	6.21	5.91	5.6	5.44	5.91
36	6.2	5.94	5.61	5.43	5.92
37	6.2	5.98	5.62	5.45	5.94
38	6.2	6.01	5.63	5.48	5.95
39	6.23	6.02	5.66	5.49	5.96
40	6.23	6.05	5.65	5.53	5.97
41	6.22	6.06	5.66	5.54	5.98
42	6.21	6.06	5.68	5.55	6.03
43	6.21	6.07	5.71	5.56	6.05

44	6.24	6.09	5.73	5.59	6.07
45	6.27	6.12	5.74	5.62	6.09
46	6.27	6.15	5.76	5.63	5.63
47	6.27	6.19	5.79	5.66	5.64
48		6.19	5.82	5.65	5.66
49		6.19	5.83	5.68	5.67
50			5.84	5.69	5.68
51			5.88	5.71	5.72
52			5.88	5.74	5.73
53			5.88	5.74	5.79
54				5.74	5.83
55					5.85
56					5.84
57					5.84
58					5.84

Tabel C.5. Data percobaan perpindahan massa gas-cair pada laju alir 10.1 cc/detik

t (detik)	Larutan nanas dalam konsentrasi gula total (% berat)				
	5	10	15	20	25
	C O <sub>2</sub> (mg/L)	C O <sub>2</sub> (mg/L)	C O <sub>2</sub> (mg/L)	C O <sub>2</sub> (mg/L)	C O <sub>2</sub> (mg/L)
1	6.22	4.87	3.41	3.04	2.87
2	6.38	4.92	3.43	3.11	2.94
3	6.47	4.98	3.44	3.14	2.97
4	6.49	5.02	3.47	3.17	3.04
5	6.54	5.05	3.49	3.19	3.08
6	6.57	5.09	3.51	3.22	3.14
7	6.62	5.12	3.55	3.24	3.15
8	6.67	5.12	3.55	3.24	3.15
9	6.72	5.13	3.56	3.25	3.16
10	6.77	5.15	3.58	3.27	3.17
11	6.77	5.17	3.63	3.29	3.18
12	6.76	5.24	3.67	3.31	3.17
13	6.75	5.25	3.71	3.33	3.18
14	6.77	5.29	3.72	3.37	3.19
15	6.79	5.37	3.76	3.37	3.18
16	6.82	5.39	3.81	3.37	3.18
17	6.85	5.42	3.84	3.39	3.19
18	6.92	5.47	3.85	3.41	3.2
19	6.94	5.49	3.86	3.57	3.21
20	6.97	5.49	3.88	3.58	3.23
21	6.97	5.49	3.92	3.61	3.26
22	6.97	5.5	3.94	3.64	3.29
23	6.98	5.49	3.97	3.67	3.34
24	7.02	5.48	4.04	3.69	3.38
25	7	5.48	4.09	3.73	3.44
26	6.99	5.49	4.15	3.76	3.49

27	6.97	5.49	4.21	3.81	3.52
28	6.97	5.5	4.24	3.87	3.58
29	6.97	5.53	4.29	3.92	3.63
30		5.51	4.32	3.95	3.67
31		5.53	4.35	3.98	3.73
32		5.54	4.39	4.02	3.79
33		5.55	4.41	4.07	3.83
34		5.58	4.45	4.19	3.88
35		5.57	4.47	4.22	3.96
36		5.59	4.52	4.26	4.08
37		5.63	4.55	4.29	4.12
38		5.64	4.58	4.31	4.15
39		5.64	4.62	4.33	4.18
40		5.64	4.72	4.34	4.19
41			4.72	4.37	4.22
42			4.72	4.42	4.23
43				4.45	4.29
44				4.48	4.41
45				4.51	4.42
46					4.45
47					4.48
48					4.5
49					4.51
50					4.51
51					4.51

Tabel C.6. Data percobaan perpindahan massa gas-cair pada laju alir 20.7 cc/detik

t (detik)	Larutan nanas dalam konsentrasi gula total (% berat)				
	5	10	15	20	25
	C O <sub>2</sub> (mg/L)	C O <sub>2</sub> (mg/L)	C O <sub>2</sub> (mg/L)	C O <sub>2</sub> (mg/L)	C O <sub>2</sub> (mg/L)
1	6.32	6.12	4.83	5.37	5.22
2	6.37	6.14	4.85	5.41	5.37
3	6.42	6.21	4.88	5.47	5.41
4	6.58	6.27	4.89	5.54	5.46
5	6.61	6.25	4.92	5.59	5.49
6	6.64	6.27	4.96	5.62	5.54
7	6.69	6.29	4.97	5.62	5.57
8	6.72	6.32	5.01	5.64	5.59
9	6.77	6.37	5.05	5.67	5.62
10	6.79	6.41	5.09	5.69	5.63
11	6.79	6.4	5.13	5.72	5.64
12	6.81	6.39	5.16	5.72	5.65
13	6.82	6.38	5.19	5.7	5.68
14	6.84	6.39	5.21	5.69	5.69
15	6.92	6.39	5.22	5.69	5.68
16	6.97	6.4	5.22	5.71	5.67

17	6.95	6.39	5.23	5.71	5.69
18	6.95	6.35	5.24	5.71	5.68
19	6.99	6.36	5.26	5.72	5.68
20	7.01	6.37	5.29	5.72	5.71
21	7	6.38	5.27	5.74	5.72
22	7	6.39	5.28	5.74	5.73
23	7.05	6.4	5.32	5.74	5.76
24	7.01	6.41	5.33	5.74	5.77
25	7.01	6.43	5.35	5.74	5.79
26	7.01	6.41	5.34	5.75	5.78
27		6.46	5.37	5.76	5.79
28		6.45	5.38	5.76	5.81
29		6.47	5.39	5.76	5.81
30		6.49	5.45	5.77	5.79
31		6.5	5.48	5.78	5.8
32		6.56	5.49	5.78	5.82
33		6.74	5.51	5.79	5.81
34		6.76	5.56	5.79	5.83
35		6.76	5.59	5.77	5.85
36		6.76	5.61	5.78	5.86
37			5.65	5.78	5.89
38			5.65	5.8	5.92
39			5.65	5.83	5.91
40				5.88	5.89
41				5.92	5.92
42				5.96	5.93
43				5.98	5.94
44				6.03	5.95
45					5.98
46					5.99
47					5.99
48					5.99

Tabel C.7. Data percobaan perpindahan massa gas-cair pada, laju alir 28.57 cc/detik

t (detik)	Larutan nanas dalam konsentrasi gula total (% berat)				
	5	10	15	20	25
	C O <sub>2</sub> (mg/L)	C O <sub>2</sub> (mg/L)	C O <sub>2</sub> (mg/L)	C O <sub>2</sub> (mg/L)	C O <sub>2</sub> (mg/L)
1	6.45	5.49	4.64	4.88	4.72
2	6.57	5.52	4.68	4.95	4.88
3	6.59	5.58	4.7	5.06	4.97
4	6.62	5.62	4.72	5.11	4.99
5	6.67	5.72	4.74	5.17	5.04
6	6.72	5.75	4.77	5.19	5.07
7	6.75	5.75	4.82	5.22	5.09
8	6.75	5.77	4.89	5.24	5.12
9	6.77	5.75	4.95	5.28	5.15

10	6.81	5.75	4.99	5.31	5.15
11	6.82	5.77	5.07	5.32	5.19
12	6.84	5.79	5.1	5.37	5.27
13	6.92	5.82	5.17	5.38	5.28
14	6.99	5.87	5.17	5.39	5.28
15	6.98	5.89	5.19	5.39	5.28
16	6.98	5.98	5.22	5.38	5.29
17	6.99	5.99	5.29	5.37	5.31
18	7.01	6.01	5.32	5.39	5.31
19	7.02	6.02	5.32	5.42	5.32
20	7.01	6.05	5.32	5.43	5.32
21	7.04	6.07	5.31	5.44	5.32
22	7.05	6.12	5.32	5.46	5.33
23	7.07	6.12	5.34	5.48	5.34
24	7.07	6.12	5.36	5.52	5.35
25	7.07	6.12	5.38	5.54	5.37
26		6.12	5.38	5.55	5.41
27		6.11	5.37	5.52	5.42
28		6.1	5.36	5.54	5.42
29		6.32	5.35	5.55	5.43
30		6.35	5.36	5.57	5.44
31		6.45	5.38	5.57	5.45
32		6.52	5.38	5.56	5.44
33		6.61	5.39	5.61	5.47
34		6.61	5.38	5.62	5.48
35		6.61	5.41	5.64	5.51
36			5.41	5.63	5.52
37			5.41	5.65	5.54
38				5.72	5.55
39				5.72	5.56
40				5.72	5.57
41					5.58
42					5.63
43					5.63
44					5.63



SEMINAR TEKNIK KIMIA

**SOEHADI**  
**REKSOWARDOJO**  
**2005**

**Mumpulan Abstrak**

*Pengembangan Proses dan Produk  
untuk Meningkatkan Nilai Tambah  
Sumber Daya Domestik*

Aula Barat & Timur  
Institut Teknologi Bandung  
12 Desember 2005

Departemen Teknik Kimia dan  
Himpunan Mahasiswa Teknik Kimia  
Institut Teknologi Bandung

## PERPINDAHAN MASSA DALAM MEDIA FERMENTASI DARI BUANGAN NANAS DALAM BIOREAKTOR BERGELEMBUNG

Widayat<sup>1)</sup>, D Soetrisnanto<sup>1)</sup>, Abdullah<sup>1)</sup> dan M Hadi<sup>2)</sup>

Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang

Jl. Prof Soedarto SH-Tembalang-50239 E-mail: [yayat.99@yahoo.com](mailto:yayat.99@yahoo.com)

<sup>2)</sup> Jurusan Biologi Fakultas MIPA Universitas Diponegoro Semarang

### Abstrak

*Perpindahan massa gas-cair merupakan salah satu parameter yang penting dalam kegiatan perancangan suatu bioreaktor. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari perpindahan massa oksigen ke dalam fluida media fermentasi dari buangan buah nanas. Pada penelitian ini filtrat limbah nanas dengan konsentrasi gula total antara 5 - 25 % dan laju alir udara pada skala 1 - 4 (rotameter). Perpindahan massa gas oksigen ke dalam media fermentasi diukur dengan metode dinamik. Konsentrasi oksigen diukur dengan DO meter yang diletakkan di dalam bioreaktor bergelembung dan diamati konsentrasi oksigen setiap detiknya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa laju alir udara akan menyebabkan konstanta perpindahan massa ( $K_La$ ) menjadi bertambah dan kenaikan konsentrasi pada rentang 5-25% menyebabkan penurunan konstanta perpindahan massa.*

**Kata kunci :** Laju Alir Udara, Konsentrasi, Viskositas, Konstanta Perpindahan Massa

# PERPINDAHAN MASSA DALAM MEDIA FERMENTASI DARI BUANGAN NANAS DALAM BIOREAKTOR BERGELEMBUNG

## Widayat

Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang  
Jl. Prof Soedarto SH Tembalang 50239 E-mail: [yayat\\_99@yahoo.com](mailto:yayat_99@yahoo.com)

## Danny Soetrinanto dan Abdullah

Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang  
Jl. Prof Soedarto SH Tembalang 50239

## Mochammad Hadi

Jurusan Biologi Fakultas MIPA Universitas Diponegoro Semarang  
Jl. Prof Soedarto SH Tembalang 50239

## Abstrak

*Perpindahan massa gas-cair merupakan salah satu parameter yang penting dalam kegiatan perancangan suatu bioreaktor. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari perpindahan massa oksigen ke dalam fluida media fermentasi dari buangan buah nanas dan bioreaktor bergelembung. Pada penelitian ini menggunakan filtrat limbah nanas dengan konsentrasi gula total antara 5 - 25 % dan laju alir udara pada skala 1 - 3 (rotameter). Perpindahan massa gas oksigen ke dalam media fermentasi diukur dengan metode dinamik. Konsentrasi oksigen diukur dengan DO meter yang diletakkan di dalam bioreaktor bergelembung dan diamati konsentrasi oksigen setiap detiknya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa laju alir udara akan menyebabkan konstanta perpindahan massa ( $K_La$ ) menjadi bertambah dan kenaikan konsentrasi pada rentang 5-25%, densitas maupun viskositas larutan menyebabkan penurunan konstanta perpindahan massa gas-cair total, kenaikan laju alir udara akan mengakibatkan kenaikan koefisien perpindahan massa gas-cair total. Peningkatan konsentrasi dari 5 % menjadi 10 % terjadi penurunan koefisien perpindahan massa gas-cair total secara signifikan, jika dibandingkan dengan peningkatan selanjutnya*

*Kata kunci : laju alir udara, konsentrasi, viskositas, konstanta perpindahan massa*

## Pendahuluan

Bioreaktor bergelembung merupakan salah satu jenis bioreaktor, dan mempunyai banyak keuntungan jika dibandingkan dengan bioreaktor lainnya. Reaktor ini banyak dipakai dalam operasi kontak antar fase gas-cair (transfer massa) dalam proses industri kimia, bioteknologi (sebagai bioreaktor), dan pengolahan limbah secara biologis (aerob) yang menggunakan lumpur aktif. Parameter yang penting dalam perancangan suatu bioreaktor diantaranya hidrodinamika dan perpindahan massa. Hidrodinamika reaktor yang meliputi :

hold up gas dan cairan, laju alir sirkulasi, penurunan tekanan dan friksi antara fluida dengan dinding reaktor. Dengan demikian sangat dibutuhkan data-data yang diperoleh dari penelitian yang berhubungan parameter-parameter tersebut.

Penelitian tentang perpindahan massa pada fluida non-newtonian telah dilakukan pada larutan CMC dan xanthan menggunakan reaktor tangki berpengaduk, menunjukkan bahwa bertambahnya laju alir udara akan menaikkan koefisien transfer massa (Martinov dan Vlaev, 2002). Pada cairan organik (methanol, air, toluene dan ligroin) dalam reaktor bergelembung, menunjukkan bahwa bertambahnya laju alir udara akan meningkatkan koefisien transfer massa (Grund, dkk, 1992). Demikian juga pada larutan CMC juga diperoleh fenomena yang sama (Merchuk dan Ben-Zvi, 1992). Widayat, dkk 2003 juga telah mempelajari koefisien perpindahan massa pada reaktor air lift internal loop berbentuk rectangular dengan fluida non-newtonian (tepung pati) tanpa adanya mikroba dalam media

Reaktor bergelembung biasanya berupa vessel silinder tegak dengan pendistribusian gas dari bagian bawah, yang berupa porous plate atau sparger. Reaktor bergelembung berdasarkan aliran gelembung gas melalui cairannya dapat dibedakan menjadi tiga yaitu aliran bergelembung homogen, heterogen atau churn turbulen dan aliran sumbat/*slug flow* (Thoenes, 1994; Hyndman, dkk, 1997): Menurut Bouaifi, dkk, 2001 kemungkinan pola aliran pada reaktor bergelembung dibagi atas dasar homogen dan heterogen. Pola aliran homogen dibedakan atas gelembung yang sempurna dan tidak sempurna, sedangkan yang heterogen dibedakan menjadi aliran *churn turbulent* dan *slug flow*.

1. Aliran bergelembung homogen

Gelembung dengan ukuran kecil-kecil dan seragam bergerak melalui cairan.

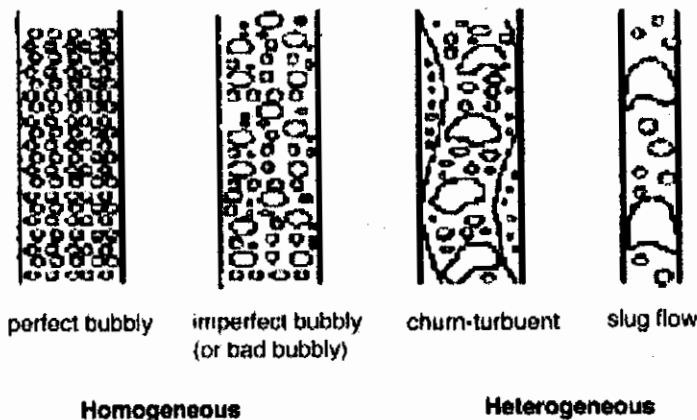
2. Aliran heterogen atau *Churn turbulent*

Gelembung tidak seragam, dengan ukuran yang relatif besar, namun ada juga gelembung yang berukuran kecil, bergerak melalui cairan.

3. *Slug Flow*

Gelembung yang terbentuk dengan ukuran yang hampir sama dengan diameter vessel, juga diikuti gelembung berukuran kecil, hal ini biasanya terjadi pada vessel yang mempunyai diameter relatif kecil.

Gambar ketiga jenis reaktor bergelembung diatas seperti disajikan di dalam Gambar 1.



Gambar 1. Kolom penggelembung ditinjau dari aliran gas

Pola aliran homogen diperoleh jika laju alir superficial gas adalah kurang dari 5 cm/s, pola aliran turbulen diperoleh jika lair alir superficial gas lebih dari 5 cm/s. Untuk pola aliran slug flow diperoleh jika diameter kolom bergelembung kecil dan laju alir gas besar Hyndman, dkk, 1997. Menurut Williams, 2002 reaktor begelembung dapat dibedakan menjadi dua yaitu reaktor begelembung (*bubble column*) dan reaktor airlift. Reaktor *airlift* sendiri dikelompokkan menjadi dua yaitu : reaktor air lift dengan *internal loop* dan *external loop*.

Perpindahan massa antar fase gas-cair terjadi karena adanya beda konsentrasi antar kedua fase. Dalam penelitian ini perpindahan massa terjadi yaitu oksigen dari fase gas ke fase cair. Kecepatan perpindahan massa ini dapat ditentukan dengan koefisien perpindahan massa. Koefisien perpindahan massa volumetric  $kLa$ , adalah kecepatan spesifik dari perpindahan massa (gas terabsorpsi per unit waktu, per unit luas kontak, per unit beda konsentrasi).  $kLa$  tergantung pada sifat fisik dari sistem dan dinamika fluida. Koefisien transfer massa volumetrik ada dua istilah : (1) koefisien transfer massa  $kL$ , dimana tergantung pada sifat fisik dari cairan dan dinamika fluida dekat permukaan cairan, dan (2) luas dari gelembung per unit volume dari reaktor. Kebergantungan  $kL$  pada energi masuk adalah kecil, dimana luas kontak adalah fungsi dari sifat fisik, desain geometri dan hidrodinamika. Luas kontak adalah parameter gelembung dan tidak bisa ditetapkan. Di sisi lain

koefisien transfer massa pada kenyataannya merupakan faktor yang proposional antara fluks massa dari substrat (atau bahan kimia yang ditransfer),  $N_S$ , dan gradien yang mempengaruhi fenomena yaitu beda konsentrasi. Hal ini dapat dirumuskan dengan persamaan 1.

$$N_S = kL(C_1 - C_2) \dots\dots\dots (1)$$

Di dalam persamaan 1, notasi 1 dan 2 mengindikasikan dua titik massa yang berpindah. Dalam reaktor yang nyata beda yang besar dari harga gradien mungkin coexist secara simultan, maka dari itu harga yang menunjukkan semua reaktor harus dipilih.

Tabel 1. Korelasi koefisien perpindahan massa gas-cair dalam reaktor bergelembung

Research group	Correlation
Comak et al. (196)	$\frac{k_L a}{D^{0.5}} = 0.02 \left( \frac{P}{V} \right)^{0.7} \left( \frac{D}{\mu} \right)^{0.2} \left( \frac{V}{D^3} \right)^{0.4} \left( \frac{C_1 - C_2}{C_1} \right)^{0.5} \dots$
Shima et al. Terakita (196)	$\frac{k_L a}{D^{0.5}} = 0.02 \left( \frac{P}{V} \right)^{0.7} \left( \frac{D}{\mu} \right)^{0.2} \left( \frac{V}{D^3} \right)^{0.4} \dots$
Stal et al. (2)	$k_L a = 0.017 \frac{D^{0.5}}{\mu^{0.2}} \dots$
Kanawa et al. Newkang (197)	$\frac{k_L a}{D^{0.5}} = 0.02 \left( \frac{P}{V} \right)^{0.7} \left( \frac{D}{\mu} \right)^{0.2} \left( \frac{V}{D^3} \right)^{0.4} \dots$
Wills et al. (197)	$\frac{k_L a}{D^{0.5}} = 14 \left( \frac{P}{V} \right)^{0.7} \left( \frac{D}{\mu} \right)^{0.2} \left( \frac{V}{D^3} \right)^{0.4} \dots$
Kang et al. (198)	$k_L a = K_1 \left( \frac{P}{V} \right)^{0.7} \left( \frac{D}{\mu} \right)^{0.2} \left( \frac{V}{D^3} \right)^{0.4} \dots$
Schuler et al. Coats (198)	$k_L a = K_1 \left( \frac{P}{V} \right)^{0.7} \left( \frac{D}{\mu} \right)^{0.2} \left( \frac{V}{D^3} \right)^{0.4} \dots$

Tabel 2 Perbandingan beberapa metode pengukuran koefisien perpindahan massa (Riet dan tramper, 1991)

Method	Liquid	Comparison apparatus						OTR				Laborious ? Cost	
		one scale		one liquid		prediction		small		large			
		visc :	low <sup>d</sup>	high <sup>e</sup>	Low	high	low	high	low	high	low		high
$\frac{OTR}{C_{ol}}$	Model <sup>a</sup> Fermenta tion <sup>a</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	no high
Dynamic gassing out	Model Fermenta tion	+	-	-	-	-	-	±	-	-	-	-	no low
CO <sub>2</sub> absorption <sup>f</sup>	Model Fermenta tion	+	-	+	-	+	-	±	-	±	-	-	kinetics low
Separate K <sub>ol</sub> and A	Model Fermenta tion	+	+	+	+	+	+	±	±	±	±	±	extremely high,low
Chemical OTR-C <sub>ol</sub>	Model Fermenta tion	+	?	+	?	+	?	±	?	±	?	?	no high,low

Keterangan :

- a Cairan model disini didefinisikan sebagai cairan non fermentasi dimana komposisinya dapat didefinisikan dengan tepat. Fermentation adalah medium fermentasi sebagai model cairan, yang konsentrasinya tidak dapat ditentukan secara tepat
- b Skala kecil (Tv < 1 m)
- c Skala besar (Tv > 1 m)
- d Kekentalan rendah (1 - 2 x 10<sup>-3</sup> N s m<sup>-2</sup>)
- e Kekentalan tinggi (> 100 -1000 x 10<sup>-3</sup> N s m<sup>-2</sup>)
- f Metode sulfit tidak disebutkan karena tidak dapat dipercaya.

Kawase, Halard, dan Moo Young, 1987, mempelajari pendekatan teoritis koefisien perpindahan massa volumetris, dalam kolom bergelembung, untuk fluida newtonian dan fluida non newtonian. Koefisien perpindahan massa dinyatakan sebagai bilangan sherwood, mengikuti persamaan 2.

$$N_{sh} = 12 C_4 \pi^{-0.5} 1,07^{0.5} Sc^{1/2} Re_g^{3/4} Fr^{7/60} Bo^{3/5} \dots\dots\dots (2)$$

Hasil-hasil penelitian yang telah dilakukan seperti disajikan pada Tabel 1.

Sistem pengukuran koefisien perpindahan massa gas-cair seperti disajikan dalam Tabel 2. Pada penelitian kali ini, pengukuran koefisien perpindahan massa digunakan metode dinamik, karena metode tersebut cocok digunakan untuk medium fermentasi untuk skala kecil dan biayanya murah. Metode ini berdasar pada konsentrasi oksigen terlarut dalam media cair sebagai fungsi waktu. Data konsentrasi oksigen terlarut yang terhitung dianalisa untuk menentukan koefisien transfer massa  $k_L a$  untuk fase cair berdasar model berikut:

$$\frac{dC}{dt} = k_{La} (C_{\infty} - C) \dots\dots\dots (3)$$

Integrasi dari persamaan (1) adalah:

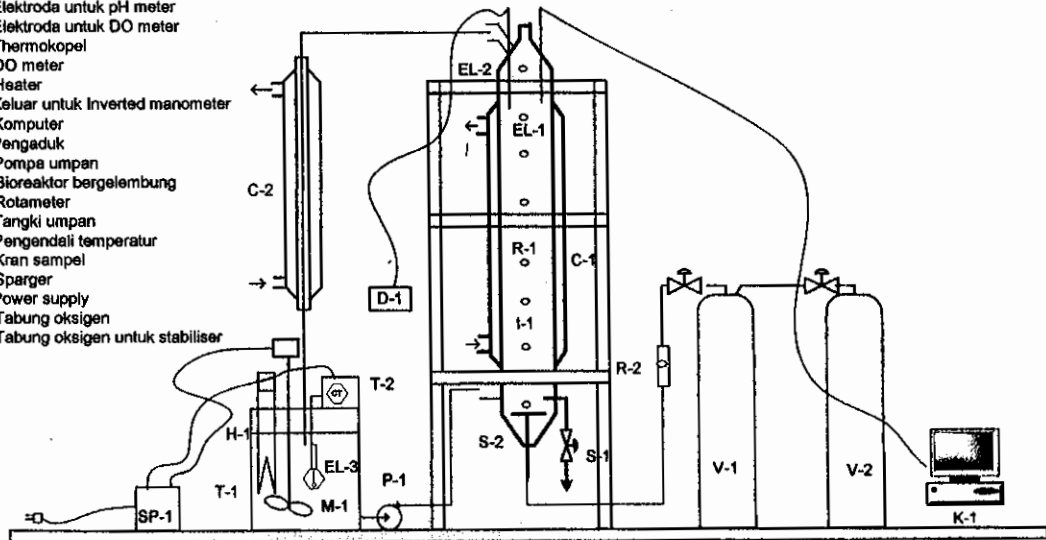
$$C^* = 1 - \exp(-k_{La}(t-t_0)) \dots\dots\dots (4)$$

dalam hubungan ini  $C^* = \frac{(C - C_0)}{(C_{\infty} - C_0)}$

**Metodologi Penelitian**

Reaktor bergelembung yang digunakan mempunyai dimensi diameter cm dan ketinggian cm. Fluida non Newtonian yang digunakan adalah larutan nanas dengan viskositas 0.872– 2.130 cp dan dengan udara yang diperoleh dari kompresor. Percobaan ini dilakukan pada suhu kamar 30° dan tekanan 1 atm. Laju volumetric udara divariasi pada skala rotameter 1 - 3. Percobaan pendahuluan dilakukan dengan mengkalibrasi flowmeter, kalibrasi digunakan untuk mengetahui laju alir udara yang terukur dalam alat flowmeter. Peralatan yang digunakan untuk penelitian seperti disajikan dalam gambar 1. Untuk mempelajari perpindahan massa gas-cair dengan mengukur konsentrasi oksigen terlarut dengan DO meter setiap detik.

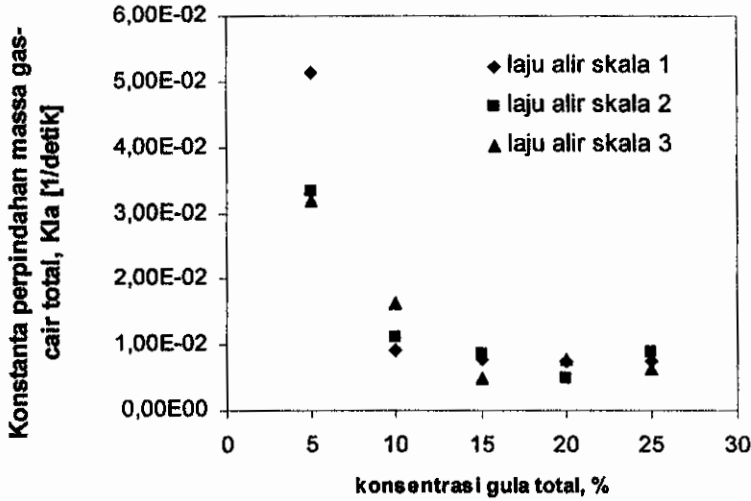
- Keterangan:  
 C-1 : Pendingin bioreaktor  
 C-2 : Pendingin busa  
 EL-1 : Elektroda untuk pH meter  
 EL-2 : Elektroda untuk DO meter  
 EL-3 : Termokopel  
 D-1 : DO meter  
 H-1 : Heater  
 I-1 : Keluar untuk Inverted manometer  
 K-1 : Komputer  
 M-1 : Pengaduk  
 P-1 : Pompa umpan  
 R-1 : Bioreaktor bergelembung  
 R-2 : Rotameter  
 T-1 : Tangki umpan  
 T-2 : Pengendali temperatur  
 S-1 : Kran sampel  
 S-2 : Sparger  
 SP-1: Power supply  
 V-1 : Tabung oksigen  
 V-2 : Tabung oksigen untuk stabiliser



Gambar 1. Rangkaian alat bioreaktor bergelembung

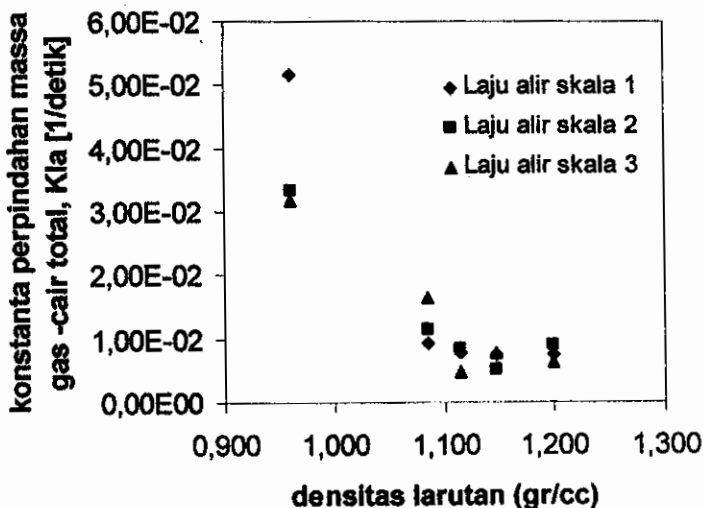
## Hasil dan Pembahasan

Pada penelitian perpindahan massa gas-cair dalam larutan nanas dan bioreaktor bergelembung, dilakukan variasi terhadap konsentrasi larutan dan laju alir. Laju alir hanya dapat divariasikan sampai pada skala 3, karena semakin besar laju alir cairan di dalam reaktor akan ikut mengalir dan dapat tertumpah dari bioreaktor. Variasi konsentrasi larutan didasarkan pada konsentrasi gula total yang umum digunakan untuk proses fermentasi. Konsentrasi gula total maksimum untuk proses fermentasi adalah 250 gr/L (maksimum 25%). Hasil penelitian selanjutnya disajikan dalam bentuk grafik seperti pada Gambar 2, 3 dan 4.



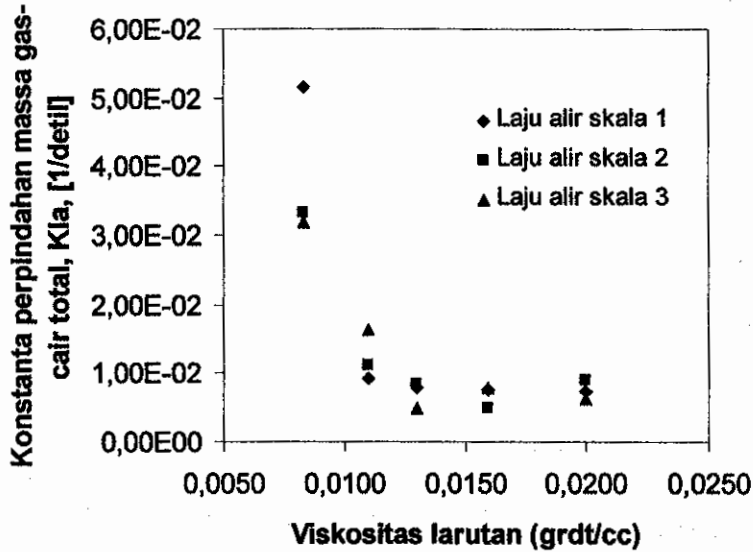
Gambar 2. Hubungan koefisien perpindahan massa ( $k_L a$ ) pada berbagai laju alir udara terhadap konsentrasi gula total.

Peningkatan konsentrasi akan meningkatkan viskositas, densitas. Gambar 2, 3 dan 4 menunjukkan bahwa bertambahnya konsentrasi, viskositas maupun densitas akan menyebabkan penurunan konstanta perpindahan massa gas-cair. Penurunan konstanta perpindahan massa gas-cair pada berbagai laju alir mengikuti suatu grafik eksponensial negatif. Penurunan konstanta sangat drastis dari konsentrasi 5% ke konsentrasi 10%. Hal ini dimungkinkan karena adanya perubahan jenis fluida. Pada saat medium menggunakan larutan nanas dengan konsentrasi gula total 5%, maka sebagian besar masih berupa air, dimungkinkan larutan merupakan fluida newtonian. Pada saat konsentrasi gula total ditambah maka akan terjadi perubahan jenis fluida ke dalam fluida non newtonian. Penambahan dengan rentang 5% penurunan konstanta perpindahan massa gas-cair tidak signifikan pada peningkatan konsentrasi dari 5 menjadi 10%.



Gambar 3. Hubungan koefisien perpindahan massa ( $k_L a$ ) pada berbagai laju alir udara terhadap densitas larutan

Gambar 2, dan 4 juga menunjukkan bahwa peningkatan laju alir udara (dalam penelitian ini semakin besar skalasemakin besar laju alirudara volumetrik) akan mengakibatkan peningkatan koefisien perpindahan massa. Kecenderungan yang hampir sama diperoleh untuk semua konsentrasi. Laju alir udara semakin besar maka udara yang dapat dipindahkan ke dalam larutan nanas akan semakin besar pula dan mengakibatkan laju perpindahan oksigen semakin besar. Dengan demikian koefisien perpindahan massa juga akan bertambah besar. Fenomena ini sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan untuk reaktor tangki maupun reaktor bergelembung



Gambar 4. Hubungan koefisien perpindahan massa ( $k_{La}$ ) pada berbagai laju alir udara terhadap viskositas larutan

Gambar 4. menunjukkan bahwa bertambahnya viskositas larutan nanas akan menyebabkan penurunan koefisien perpindahan massa gas-cair. Penurunan nilai koefisien perpindahan massa karena dengan bertambahnya viskositas larutan nanas, maka larutan akan semakin jenuh sehingga laju perpindahan oksigen akan semakin kecil. Hal ini mengakibatkan koefisien perpindahan massa semakin berkurang juga. Pada penelitian Widayat (2004) dengan menggunakan reaktor air-lift internal loop rectangular dan fluida tepung pati diperoleh semakin besar viskositas semakin rendah koefisien transfer massa ( $kLa$ ).

### Kesimpulan

Penelitian tentang perpindahan massa gas-cair dengan larutan nanas dalam bioreaktor bergelembung dilakukan pada rentang konsentrasi 5 – 25% berat dan laju alir udara dengan skala 1-3. Berdasarkan hasil penelitian dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Kenaikan konsentrasi, densitas maupun viskositas larutan akan mengakibatkan penurunan koefisien perpindahan massa gas-cair total
2. Kenaikan laju alir udara akan mengakibatkan kenaikan koefisien perpindahan massa gas-cair total
3. Peningkatan konsentrasi dari 5 % menjadi 10 % terjadi penurunan koefisien perpindahan massa gas-cair total secara signifikan, jika dibandingkan dengan peningkatan selanjutnya

### Ucapan Terima Kasih

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada 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 yang telah membiayai penelitian dalam program Hibah Bersaing

### Daftar Pustaka

1. Bouaifi M, Hebrard G, Bastoul D, Roustan M. A comparative study of gas holdup, bubble size, interfacial area and mass transfer coefficients in stirred gas-liquid reactors and bubble columns. Chem Eng Process 2001;40:97-111.

2. Grund, G, A. Schumpe dan W.D.Deckwer, 1992, "**Gas-Liquid Mass Transfer in A Bubble Column with Organic Liquids**", Chem. Eng.Sci., hal 3509-3516, Pergamon Press Ltd.
3. Hyndman CL, Larachi F, Guy C. Understanding gas-phase hydrodynamics in bubble columns: a convective model based on kinetic theory. Chem Eng Sci 1997;52:63-77.
4. Merchuk, J.C. dan S. Ben-Zvi (Yona), 1992, "**A Novel Approach to The Correlation of Mass Transfer Rates in Bubble Column with Non-Newtonian Liquids**", Chem. Eng. Sci., hal 3517-3523, Pergamon Press Ltd.
5. Merchuk, J.C. dan Asenjo, J.A. , 1995, "**Fundamental of Bioreactor Design**", New York, Marcell Dekker Inc.
6. Martinov, M dan S.d. Vlaev, 2002, "**Increasing Gas-Liquid Mass Transfer in Stirred Power Law Fluids by Using a New Energy-Saving Impeller**", Chem. Biochem. Eng. Q.16 (1-6).
7. Kawase, Y., B. Halard., dan M. Moo-Young, 1987, "Theoretical Prediction of Volumetric Mass Transfer Coefficientds in Buble Column for Newtonian and Non Newtonian Fluids", *Chem. Eng. Sci.*, hal 1609-1617
8. Stang, D., Macdonald, G., and Hill A., 2001, "**Mass Transfer and Bioethanol Production in an External Loop Liquid Lift Bioreactor**", Ind. Eng. Chem. Res.
9. Thoenes, D., 1994, "Chemical Reacor Development from Laboratory Synthesis to Industrial Production", Kluwer Academic Publishers, London
10. Widayat, Didik Susilo dan Sigit Pranoto, 2003 "**Koefisien Perpindahan Massa Gas-Cair pada Fluida Non Newtonian pada Reaktor Air Lift** ", Prosiding Semnas Teknik Kimia Indonesia.
11. Williams, J.A., 2002, "**Keys To Bioreactor Selections**", Chem. Eng. Prog, hal 34-41.