

**FENOMENA VARIASI KONSENTRASI SUBSTRAT DAN KECEPATAN
PENGADUKAN PADA FERMENTASI ETANOL DARI LIMBAH CAIR
HASIL PENGEPRESAN KULIT NENAS MENGGUNAKAN
*Schizosaccharomyces pombe***

Panca Nugrahini F.¹, Qori Nasrul Ulum^{2*}

¹ Dosen Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Lampung, Jl. Prof. Dr. Sumantri Brojonegoro No. 1 Bandar Lampung, Email: pancanugrahini@gmail.com

² Mahasiswa Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Lampung, Jl. Prof. Dr. Sumantri Brojonegoro No. 1 Bandar Lampung

*Korespondensi Pembicara. Phone: 081279456801, Email: orynas@gmail.com

ABSTRAK

Bioetanol merupakan sumber energi alternatif yang mempunyai prospek yang baik sebagai pengganti bahan bakar minyak (BBM) dan gasohol dengan bahan baku yang dapat diperbaharui dan ramah lingkungan. Bahan baku yang digunakan dapat berasal dari biomassa yang mengandung karbohidrat dan gula. Kadar glukosa pada sampel limbah cair hasil pengepresan kulit nenas pada industri pengalengan nenas PT. Great Giant Pineapple Co (PT. GGPC) memiliki kandungan glukosa sebesar 16,8 % dengan kata lain sampel tersebut cukup layak untuk dikembangkan menjadi etanol dengan proses fermentasi.

Penelitian ini mengkaji tentang fermentasi etanol dari limbah cair hasil pengepresan kulit nenas menggunakan *Schizosaccharomyces pombe* dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi substrat dan kecepatan pengadukan terhadap Temperatur optimal pada fermentasi etanol dari limbah tersebut. Proses fermentasi dilakukan secara *batch* anaerob dengan pengendalian pH 4,5, waktu fermentasi 4 hari, dan penambahan nutrisi pupuk urea dan NPK. Mikroorganisme yang digunakan adalah *Schizosaccharomyces pombe* yang memiliki daya konversi gula menjadi etanol yang tinggi. Parameter yang digunakan pada penelitian ini adalah variasi konsentrasi substrat 8, 16, 32 gr/L, dan kecepatan pengadukan 50, 150, 250 rpm. Untuk mengetahui konsumsi substrat dilakukan analisis konsentrasi glukosa dengan metode Phenol-Sulfat menggunakan alat *spektrofotometer*, sedangkan untuk analisis konsentrasi etanol dengan menggunakan *refraktometer*, dan analisis jumlah sel mikroorganisme menggunakan alat *haemocytometer*. Hasil Penelitian didapat konsentrasi etanol 4 g/l – 21,22 g/l. Konsentrasi etanol tertinggi diperoleh pada temperatur 30 °C, kecepatan pengadukan 50 rpm dan konsentrasi substrat 32 g/l, yield 70,7%, laju pembentukan produk (qp) 4,07689 jam⁻¹, dan laju pertumbuhan spesifik maksimum (μ_m) 0,02199 jam⁻¹

Keywords: fermentasi, limbah kulit nenas, *S. Pombe*

1. PENDAHULUAN

Sebagian besar kebutuhan energi dunia diperoleh dari produk-produk minyak bumi dan batubara. Ketergantungan dunia terhadap bahan bakar fosil setidaknya memiliki beberapa ancaman serius, yakni: menipisnya cadangan minyak bumi, ketidakstabilan harga akibat laju permintaan yang lebih besar dari produksi minyak, dan polusi gas rumah kaca (terutama CO₂) akibat pembakaran bahan bakar fosil. Kadar CO₂ saat ini disebut sebagai yang tertinggi selama 125.000 tahun belakangan. Hal ini menimbulkan ancaman serius bagi kehidupan makhluk hidup di muka bumi. Oleh karena itu, pengembangan dan implementasi bahan bakar terbarukan yang ramah lingkungan perlu mendapatkan perhatian serius dari berbagai negara. Indonesia sesungguhnya memiliki potensi sumber energi terbarukan dalam jumlah besar. Beberapa diantaranya bisa segera diterapkan di tanah air, seperti: bioetanol sebagai pengganti bensin, biodiesel untuk pengganti solar, tenaga panas bumi, mikrohidro, tenaga surya, tenaga angin, bahkan sampah/limbah pun bisa digunakan untuk membangkitkan listrik. Hampir semua sumber energi tersebut sudah dicoba diterapkan dalam skala kecil di tanah air. Meski saat ini sangat sulit untuk melakukan substitusi total terhadap bahan bakar fosil, namun implementasi sumber energi terbarukan sangat penting untuk segera dimulai. Bioetanol merupakan salah satu sumber energi alternatif yang mempunyai prospek yang baik sebagai pengganti bahan bakar cair dan gasohol dengan bahan baku yang dapat diperbaharui, dan ramah lingkungan (Novitasari,2008). Efisiensi pembakaran bioetanol lebih baik dibandingkan bensin dan gas hasil pembakaran bioetanol lebih bersih. Contohnya di Brazil pada tahun 1990-an, etanol telah menggantikan 50% kebutuhan bensin untuk keperluan transportasi. Dari angka ini, bioetanol telah mampu menurunkan emisi CO₂ hingga 18%. Faktor tersebut menyebabkan harga etanol akan menjadi kompetitif terhadap bensin (Supriyanto, 2003). Bioetanol merupakan senyawa alkohol yang diperoleh lewat proses fermentasi biomassa dengan bantuan mikroorganisme. Bioetanol dapat dihasilkan dari tanaman yang mengandung karbohidrat dan serat dengan menggunakan bahan baku yang dapat diklasifikasikan berdasarkan tipe karbohidratnya, yaitu bahaya yang mengandung sakarida, pati, dan selulosa (Anonim, 2003). Ada beberapa tanaman di Indonesia yang mengandung karbohidrat dan serat, sehingga dapat diproses untuk menjadi etanol. Salah satu jenis tanaman tersebut adalah nenas. Indonesia (khususnya PT. Great Giant Pineapple) merupakan pemasok nomor tiga dunia yang menguasai 15-20 persen konsumsi nenas kaleng dunia (Pascal, 2002). Sehingga dapat diasumsikan bahwa produksi nenas kaleng di Indonesia cukup besar. Dengan produksi nenas kaleng yang besar, maka produksi limbah cair kulit nenas tersebut juga semakin besar. Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan di Laboratorium Teknologi Hasil Pertanian Universitas Lampung, mengenai kadar glukosa pada sampel yaitu limbah cair hasil pengepresan kulit nenas pada industri pengalengan nenas PT. Great Giant Pineapple Co (PT. GGPC) didapat bahwa sampel tersebut memiliki kandungan glukosa sebesar 16,8 % dengan kata lain, sampel tersebut cukup layak untuk dikembangkan menjadi etanol dengan proses fermentasi.

2. BAHAN DAN ALAT

2.1 Bahan

Mikroorganisme yang digunakan adalah *Schizosaccharomyces pombe* ITB-CC-R-86. Kultur persediaan *Schizosaccharomyces pombe* ini dipelihara dalam media agar miring yang disimpan pada temperatur kamar. Medium yang digunakan dalam

penelitian ini terdiri dari medium untuk biakan murni, medium pengembangan sel awal (medium *starter*) dan medium fermentasi.

a. Medium untuk biakan murni

Medium agar miring yang digunakan untuk biakan murni *Schizosaccharomyces pombe* adalah Potato Dextrose Agar (PDA).

b. Medium Inokulum Sel Awal (Medium *Starter*)

Medium *Starter* adalah medium yang digunakan untuk pembenihan awal ragi, berfungsi untuk memperbanyak sel. Komposisi medium *starter* untuk *Schizosaccharomyces pombe* adalah :

Tabel 1. Komposisi Medium *Starter*

Komponen	Jumlah
Limbah Cair Kulit Nenas	600 mL
Urea	2,5 gr
H ₂ SO ₄ (4% wt)	50 mL
NPK	2,5 gr
Aquadest	*)

(Sumber : Hadi Saroso,1998)

*) jumlah *aquadest* tergantung dari volume kerja yang akan digunakan.

c. Medium Fermentasi

Tabel 2. Komposisi Medium Fermentasi.

Komponen	Jumlah
Limbah Cair Kulit Nenas	900 mL
Urea	5 gr
H ₂ SO ₄ (4% wt)	100 mL
NPK	5 gr
Aquadest	*)

(Sumber : Saroso,1998)

*) jumlah *aquadest* tergantung dari volume kerja yang akan digunakan.

2.2 Alat

Adapun alat-alat yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut: *Shaker*, Refraktometer, Spektrofotometer, *Auto clave*, *Shaker Water baths*, Penangas air, Gelas piala, *Hotting Stirrer*, Mikroskop, Haemacytometer, Timbangan, Gelas ukur, Gelas Beaker, Labu Distilasi, Pipet, Termometer, Peralatan Distilasi, Tabung Reaksi, Spatula, Stopwatch, Labu Ukur, Erlenmeyer.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil

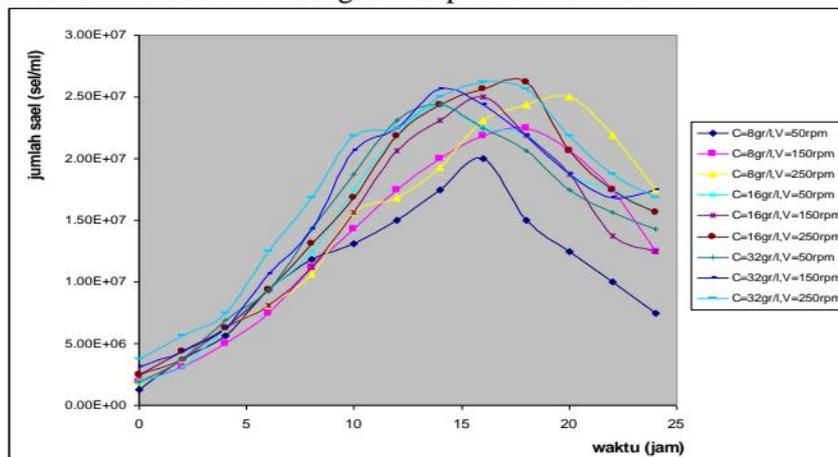
Tabel 3. Hasil Penelitian Fermentasi Etanol dari Limbah Cair Hasil Pengepresan Kulit Nenas

Run	Konsentrasi glukosa (g/l)		Jumlah Sel (sel/ml)		Etanol (g/l)
	Awal	Akhir	Awal	Akhir	
C1; V1	13	3.5	1.75E+07	1.60E+07	8
C1; V2	13	5	2.00E+07	1.20E+07	6,5
C1; V3	13	6	1.93E+07	9.00E+06	4
C2; V1	21	5	2.44E+07	2.00E+07	14
C2; V2	21	9	2.31E+07	1.70E+07	11
C2; V3	21	12	2.44E+07	1.35E+07	8
C3; V1	36.7	7	2.44E+07	2.40E+07	21,22
C3; V2	36.7	12	2.56E+07	1.80E+07	18
C3; V3	36.7	18	2.50E+07	1.50E+07	14

3.2 Pembahasan

3.2.1 Tahap Starter

Penyediaan starter bertujuan untuk mengkondisikan mikroba agar beradaptasi dengan lingkungan fermentasi. Tahap ini dilakukan dengan cara memindahkan biakan *Schizosaccharomyces* pada media cair substrat limbah kulit nenas. Pada tahap ini dihitung jumlah sel dan konsentrasi glukosa pada media starter.



Gambar 1. Kurva pertumbuhan sel mikroorganisme starter

Dari hasil penelitian yang dilakukan diketahui bahwa semakin bertambahnya waktu maka jumlah sel *Sc. Pombe* akan meningkat dan pada waktu tertentu jumlah sel akan menurun, hal ini karena mikroorganisme mengalami fase kematian. Fase eksponensial ditandai dengan pertumbuhan yang cepat. Dari gambar 4.1 dapat dilihat bahwa fase eksponensial rata-rata terjadi pada jam ke 8-18. Pada penelitian ini, umur inokulum yang dimasukkan ke dalam media fermentasi berada pada fase eksponensial yaitu antara jam 8 – 18. Jika lebih dari 24 jam maka inokulum sebaiknya tidak digunakan lagi karena telah memasuki fase stasioner. Fasa adaptasi akan lebih lama jika inokulum berasal dari fase stasioner, sedangkan jika inokulum yang dipindahkan dari fase eksponensial maka fase adaptasi lebih cepat karena sel berada pada masa pertumbuhannya. Dengan mengetahui waktu terjadinya fase eksponensial maka kita

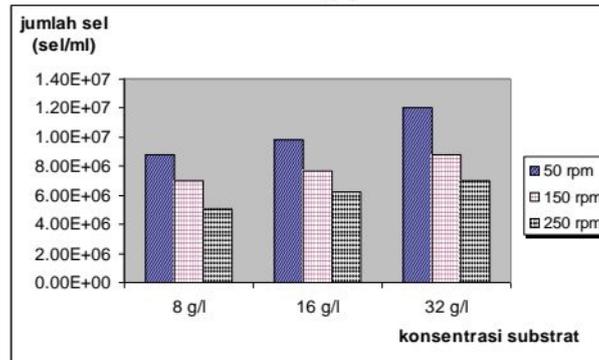
dapat menentukan waktu terbaik pemindahan inokulum dari media starter ke media fermentasi.

3.2.2 Tahap Fermentasi

1. Pengaruh Konsentrasi Substrat

Pada penelitian ini substrat yang digunakan adalah substrat kulit nenas. Variasi konsentrasi substrat yang digunakan adalah 8 gr/l, 16 gr/l, 32 gr/l.

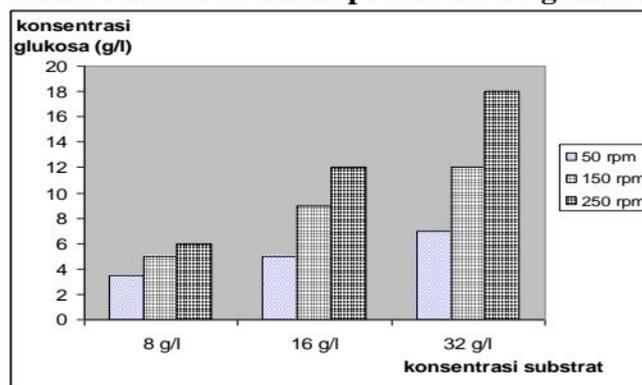
a. Pengaruh konsentrasi substrat terhadap jumlah sel



Gambar 2. Diagram konsentrasi mikroorganisme terhadap konsentrasi substrat

Berdasarkan gambar diatas, jumlah sel tertinggi diperoleh pada konsentrasi substrat 32 gr/l, yaitu mencapai $1,20E+07$. Jumlah sel terendah diperoleh pada konsentrasi substrat 8 gr/l, yaitu $5,00E+06$. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi substrat maka semakin banyak jumlah sel yang dihasilkan. Pada tahap fermentasi ini, mikroba memanfaatkan substrat untuk pertumbuhan. Substrat yang terlalu encer akan mengakibatkan laju pertumbuhan menjadi lambat. Variasi konsentrasi substrat tertinggi pada penelitian ini adalah 32 gr/l. Sedangkan batasan kemampuan *schizosaccharomyces pombe* untuk mampu bertahan pada konsentrasi substrat yang tinggi adalah pada konsentrasi 200 gr/l. (Febriningrum, 2001). Sehingga ragi *schizosaccharomyces pombe* masih dapat bertahan pada variasi konsentrasi substrat 32gr/l dan menghasilkan jumlah sel tertinggi.

b. Pengaruh konsentrasi substrat terhadap konsentrasi glukosa

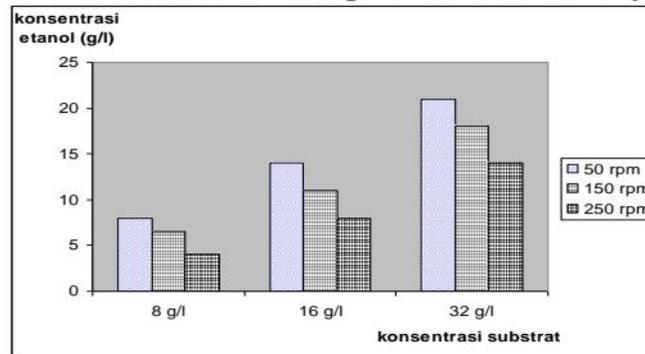


Gambar 3. Diagram konsentrasi substrat terhadap konsentrasi glukosa

Berdasarkan gambar diatas, konsentrasi glukosa tertinggi diperoleh pada konsentrasi substrat 32 gr/l, yaitu mencapai 18 g/l. Konsentrasi glukosa terendah diperoleh pada konsentrasi substrat 8 gr/l, yaitu 3,5 g/l. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi substrat maka semakin tinggi pula konsentrasi glukosa yang terkandung. Sedangkan untuk perbedaan konsentrasi akhir glukosa untuk masing-masing

konsentrasi substrat dipengaruhi oleh kondisi dan aktivitas ragi untuk masing-masing kecepatan pengadukan. Glukosa merupakan sumber energi bagi ragi *schizosaccharomyces pombe*.

c. Pengaruh konsentrasi substrat terhadap konsentrasi etanol yang dihasilkan



Gambar 4. Diagram konsentrasi substrat terhadap konsentrasi etanol

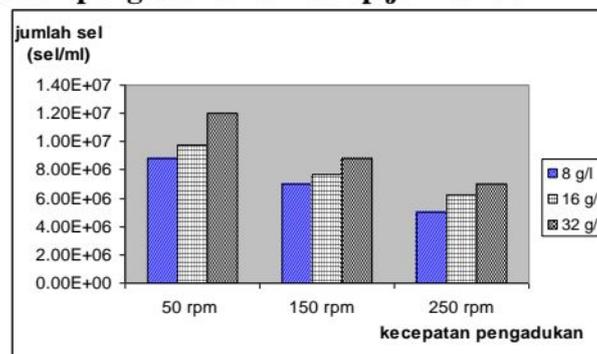
Berdasarkan gambar diatas, konsentrasi etanol tertinggi dihasilkan pada konsentrasi substrat 32 gr/l, yaitu 21,22 gr/l. Dan konsentrasi etanol terendah dihasilkan pada konsentrasi substrat 8 gr/l, yaitu 8 gr/l. Dapat dilihat bahwa konsentrasi substrat yang lebih tinggi menghasilkan konsentrasi etanol yang lebih tinggi pula. Hal ini disebabkan semakin tinggi konsentrasi substrat maka semakin tinggi pula konsentrasi glukosa yang dikandung oleh substrat tersebut.

Sedangkan glukosa mempengaruhi jumlah sel yang berkembang dalam media fermentasi tersebut. Substrat akan di rombak oleh mikroorganisme dengan bantuan enzim membentuk etanol. Substrat yang terlalu pekat mengakibatkan naiknya tekanan osmosis. Apabila tekanan osmosis lingkungan lebih tinggi dari sitoplasma, akan mengakibatkan sitoplasma kehilangan air yang selanjutnya isi sel akan mengecil dan struktur sel akan hancur. Substrat yang terlalu encer akan mengakibatkan laju pertumbuhan menjadi lambat (Agustian, 2005). Sehingga pada konsentrasi substrat tertinggi 32 gr/l menghasilkan konsentrasi etanol yang paling tinggi, yaitu sebesar 21,22 gr/l.

2. Pengaruh Kecepatan Pengadukan

Pada penelitian ini kecepatan pengadukan yang divariasikan adalah 50 rpm, 150 rpm, dan 250 rpm.

a. Pengaruh kecepatan pengadukan terhadap jumlah sel

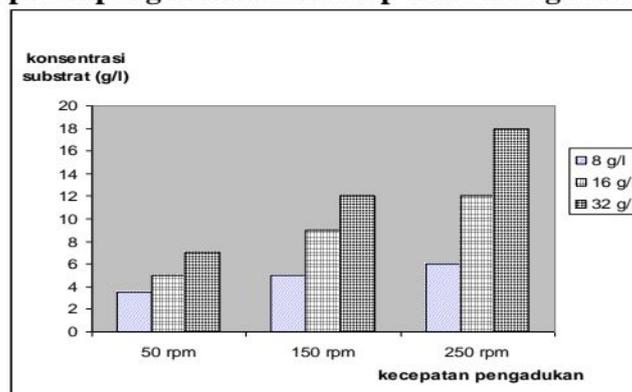


Gambar 5. Diagram kecepatan pengadukan terhadap jumlah sel

Berdasarkan gambar diatas, jumlah sel tertinggi diperoleh pada kecepatan pengadukan 50 rpm, yaitu mencapai 1,20E+07. Jumlah sel terendah diperoleh pada kecepatan

pengadukan 250 rpm, yaitu $5,00E+06$. Pada kecepatan pengadukan yang rendah, jumlah sel mikroba yang hidup lebih dari jumlah sel mikroba yang hidup pada kecepatan pengadukan yang tinggi. Hal ini disebabkan karena pada kecepatan pengadukan yang rendah, sel mikroorganisme dapat melakukan aktivitas konsumsi glukosa dengan baik. Sedangkan pada kecepatan pengadukan yang tinggi, jumlah sel mikroba yang hidup kurang dari jumlah sel mikroba yang hidup pada kecepatan pengadukan yang rendah. Hal ini kemungkinan disebabkan pada kecepatan pengadukan yang tinggi, sel mikroba berbenturan keras terus menerus dengan dinding wadah pada saat pengadukan yang tinggi sehingga merusak struktur molekul sel dan menyebabkan kematian pada sel tersebut.

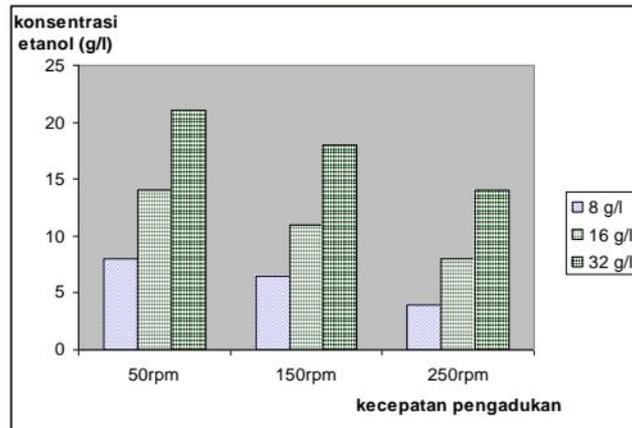
b. Pengaruh kecepatan pengadukan terhadap konsumsi glukosa



Gambar 6. Diagram kecepatan pengadukan terhadap konsumsi glukosa

Berdasarkan gambar diatas, konsentrasi substrat yang tidak terkonsumsi paling tinggi diperoleh pada kecepatan pengadukan 250 rpm, yaitu mencapai 18 g/l. Sedangkan konsentrasi substrat yang tidak terkonsumsi paling rendah diperoleh pada kecepatan pengadukan 50 rpm, yaitu 3,5 g/l. Pada kecepatan pengadukan yang rendah, jumlah sel mikroba yang hidup lebih dari jumlah sel mikroba yang hidup pada kecepatan pengadukan yang tinggi. Hal ini disebabkan karena pada kecepatan pengadukan yang rendah, sel mikroorganisme dapat melakukan aktivitas konsumsi glukosa dengan baik. Sedangkan pada kecepatan pengadukan yang tinggi, jumlah sel mikroba yang hidup kurang dari jumlah sel mikroba yang hidup pada kecepatan pengadukan yang rendah. Hal ini kemungkinan disebabkan pada kecepatan pengadukan yang tinggi, sel mikroba berbenturan keras terus menerus dengan dinding wadah pada saat pengadukan yang tinggi sehingga merusak struktur molekul sel dan menyebabkan kematian pada sel tersebut. Sehingga jumlah glukosa yang tidak terkonsumsi semakin tinggi.

c. Pengaruh kecepatan pengadukan terhadap etanol yang dihasilkan



Gambar 7. Diagram kecepatan pengadukan terhadap etanol

Berdasarkan gambar diatas, konsentrasi etanol tertinggi diperoleh pada kecepatan pengadukan 50 rpm, yaitu mencapai 21,22 g/l. Sedangkan konsentrasi etanol terendah diperoleh pada kecepatan pengadukan 250 rpm, yaitu 4 g/l. Dari berbagai variasi kecepatan pengadukan, dapat diketahui bahwa pada kecepatan pengadukan yang tinggi (150 dan 250 rpm), mikroba cenderung menghasilkan konsentrasi etanol yang rendah, lain halnya pada kecepatan pengadukan yang rendah (50 rpm), mikroba cenderung menghasilkan konsentrasi etanol yang tinggi. Pada kecepatan pengadukan yang rendah, jumlah sel mikroba yang hidup lebih dari jumlah sel mikroba yang hidup pada kecepatan pengadukan yang tinggi. Hal ini kemungkinan disebabkan karena pada kecepatan pengadukan yang rendah, sel mikroorganisme dapat melakukan aktivitas konsumsi glukosa dengan baik. Sedangkan pada kecepatan pengadukan yang tinggi, jumlah sel mikroba yang hidup kurang dari jumlah sel mikroba yang hidup pada kecepatan pengadukan yang rendah. Hal ini kemungkinan disebabkan pada kecepatan pengadukan yang tinggi, sel mikroba berbenturan keras terus menerus dengan dinding wadah pada saat pengadukan yang tinggi sehingga merusak struktur molekul sel dan menyebabkan kematian pada sel tersebut. Berkurangnya jumlah sel mikroba *schizosaccaromyces pombe* yang hidup mengakibatkan minimnya enzim zimase dan invertase yang dihasilkan. Enzim zimase berfungsi sebagai pemecah sukrosa menjadi monosakarida (glukosa dan fruktosa) dan enzim invertase mengubah glukosa menjadi etanol.

3. Kinetika Fermentasi

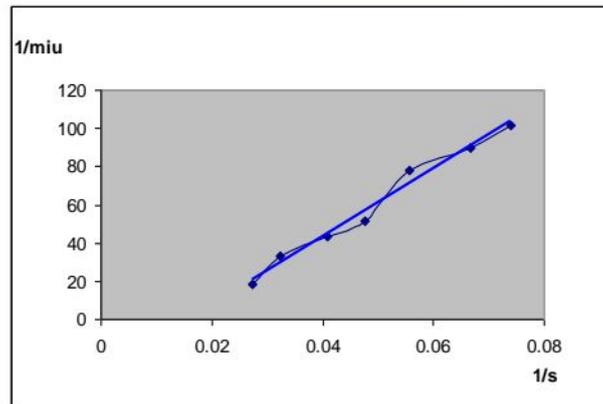
Model kinetika fermentasi etanol dikembangkan sesuai dengan mekanisme proses biologi yang berlangsung. Mekanisme proses biologi terdiri dari dua tahap, yaitu:

- Pertumbuhan sel.
- Pembentukan produk.

Kinetika fermentasi berfungsi untuk menggambarkan pertumbuhan sel dan pembentukan produk oleh mikroorganisme, tidak hanya sel aktif tetapi juga sel yang beristirahat bahkan juga sel-sel mati, karena banyak produk komersial yang dihasilkan setelah berhentinya pertumbuhan mikroba. Laju pertumbuhan dan pembentukan produk tergantung pada jenis mikroba dan metode pengukuran yang digunakan.

a. Kinetika pertumbuhan sel

Laju pertumbuhan ditentukan pada fase eksponensial, karena pada fase tersebut terjadi konsumsi glukosa maksimum yang dimanfaatkan untuk aktifitas pertumbuhan. Model kinetika pertumbuhan sel yang paling populer adalah metode monod.



Gambar 8. Laju pertumbuhan spesifik mikroba (32gr/l dan 150rpm)

Monod menjelaskan hubungan konsentrasi substrat pembatas, pertumbuhan yang tersisa dengan laju pertumbuhan spesifik. Hubungan laju pertumbuhan dengan laju konsentrasi substrat (S) ditemukan oleh Monod :

$$\mu = \mu_M \frac{S}{K_S + S} \quad (1)$$

Berdasarkan penelitian terlihat bahwa laju pertumbuhan spesifik yang tertinggi pada konsentrasi substrat 32 g/l,

$$\mu = \frac{0.0358 \times S}{63.62 + S} \quad (2)$$

hal ini karena laju pertumbuhan spesifik selama fasa logaritmik konstan

$$\mu = \mu_m \quad (3)$$

sehingga konsentrasi substrat sebagai substrat pembatas tidak berpengaruh (Wang, 1979). Laju pertumbuhan maksimum terendah pada konsentrasi 8 g/l yaitu,

$$\mu = \frac{0,00455 \times S}{13,3501 + S} \quad (4)$$

Nilai K_s pada persamaan ini yaitu 13,3501 sehingga masih memenuhi persamaan monod, dimana menurut manguwidjaja nilai K_s untuk substrat bergula umumnya berkisar antara 1-100. Nilai K_s tertinggi diperoleh pada konsentrasi substrat 18 g/l yaitu,

$$\mu = \frac{0,0358 \times S}{63,624 + S} \quad (5)$$

Nilai K_s yang diperoleh sangat besar yaitu 63,624 dan nilai μ_m kecil yaitu hanya 0,0358. Pada keadaan ini terjadi pembatasan oleh sustrat yang ditandai dengan laju pertumbuhan spesifik (μ) makin kecil dan tingkat kejenuhan (K_s) semakin besar (McNeil, 2008). μ_m adalah laju pertumbuhan spesifik maksimum yang dapat dicapai pada saat konsentrasi substrat pembatas tidak terbatas, biasanya ini terjadi pada awal fermentasi. Semakin tinggi nilai μ_m maka semakin cepat sel tumbuh. Sedangkan K_s menyatakan konsentrasi substrat pembatas saat,

$$\mu = 1/2 \mu_m \quad (6)$$

Semakin tinggi konsentrasi substrat maka semakin besar nilai dari K_s . Nilai K_s merupakan suatu besaran yang menyatakan tingkat kejenuhan. Semakin besar nilai K_s maka semakin jenuh kondisi lingkungan atau media fermentasi. Kejenuhan ini mengakibatkan keaktifan pertumbuhan sel terhenti (Febriningrum, 2001).

b. Kinetika Pembentukan produk

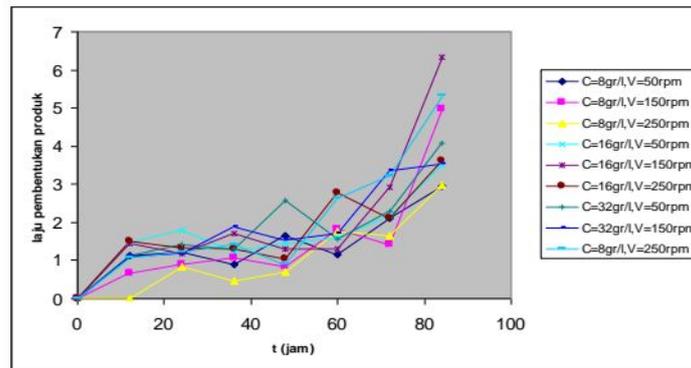
Etanol dikelompokkan dalam *growth-associated products*. Laju pertumbuhan sel, laju pembentukan produk dan laju pemanfaatan substrat diekspresikan dalam bentuk laju spesifik seperti persamaan ini:

$$qp = Y_{p/s} \cdot qs \quad (7)$$

$$= \frac{Y_{p/s}}{Y_{x/s}} \cdot \mu + Y_{p/s} \cdot m \quad (8)$$

$$= Y_{x/s} \quad (9)$$

Berdasarkan gambar 4.9 terlihat bahwa pada konsentrasi 18 g/l menghasilkan laju pembentukan produk (qp) yang paling tinggi mencapai $6,3247 \text{ jam}^{-1}$, sedangkan laju pembentukan produk terendah pada konsentrasi substrat 8 g/l dan yaitu $2,9365 \text{ jam}^{-1}$. Semakin tinggi konsentrasi substrat maka semakin besar laju pembentukan produk yang dihasilkan. Tetapi konsentrasi substrat yang terlalu tinggi dapat menghambat laju pembentukan produk karena konsentrasi substrat yang tinggi mengakibatkan nilai K_s yang besar.



Gambar 9. Hubungan laju pembentukan produk dengan waktu

Pada fermentasi *batch*, Cara yang biasa digunakan untuk menghitung kinetika pembentukan produk adalah dengan mengukur yield massa sel ($Y_{x/s}$) dan yield produk ($Y_{p/s}$) yang dihasilkan dari substrat yang dikonsumsi selama suatu periode. Laju kenaikan etanol di awal reaksi cenderung sangat cepat, hal ini disebabkan oleh kondisi sel ragi yang masih segar di dalam fermentor dan konsentrasi etanol di dalam fermentor masih rendah untuk menyebabkan penghambatan (Febriningrum, 2001), dan di akhir reaksi laju kenaikan etanol cenderung lambat karena di akhir reaksi sudah terjadi penghambatan yang disebabkan oleh konsentrasi substrat dan konsentrasi etanol di dalam fermentor yang bersifat racun bagi khamir.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat diambil simpulan sebagai berikut:

1. Konsentrasi substrat limbah kulit nenas yang paling baik untuk fermentasi etanol adalah 32 g/l.
2. Konsentrasi etanol tertinggi diperoleh pada kecepatan pengadukan 50 rpm dan konsentrasi substrat 32 g/l yaitu 21,22 g/l
3. Laju pertumbuhan sel tertinggi dilakukan pada kecepatan pengadukan 150rpm dan konsentrasi substrat 32 g/l yaitu sebesar $0,0358 \text{ jam}^{-1}$
4. Laju pembentukan produk tertinggi pada kecepatan pengadukan 50rpm dan konsentrasi substrat 16 g/l yaitu $6,3247 \text{ jam}^{-1}$

5. REFERENCES

- Bakar. A., 1995, *Fermentasi Alkohol Dari Molasse*, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh.
- Caldwell, Daniel R. 1995. *Microbial Physiology and Metabolism*. University of Wyoming. USA
- Dwidjoseputro, D. Dr. Prof. 1989. *Dasar-dasar Mikrobiologi*. Djambatan. Malang
- Fardiaz, S., 1992, *Mikrobiologi Pangan I PAU Pangan dan Gizi IPB*, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta
- Febriningrum. N. P, 2001, *Fermentasi Etanol Dengan Proses Sinambung*, ITB, Bandung
- Gusyafitri. M., 2004, *Fermentasi Etanol Dari Nira Tebu*, Universitas Lampung, Bandar Lampung.
- Gunasekaran, P., 2004, *Ethanol Fermentation Technology – Zymomonas mobilis*, Madurai Kamaraj University, India
- Hardoyo, Saraswati., 1987, *Fermentasi Etanol Secara Bersinambung Dengan Resirkulasi Sel Menggunakan Flocculating Yeast*, BPPT
- Himmeblau. M. D., 1996, *Basic Principles and Calculation in Chemical Engineering*, 6th edition, Prentice Hall PTR, New Jersey
- Judoamidjojo, Muljono dkk. 1990. *Teknologi Fermentasi*. Jakarta.
- Mangunwidjaja, Djumali dan Suryani, Ani. 1994. *Teknologi Bioproses*. PT Penebar Swadaya, Jakarta.
- Pelezar & Chan. E. C. S., 1986, *Dasar-dasar Mikrobiologi*, Jakarta
- Prescott, S.C., dan C.S. Dunn, 1959, *Industrial Microbiology*, Mc-GrawHill Book Company, New York.
- Sudarmaji. S. dkk., 1984, *Prosedur Analisis untuk Bahan Makanan dan Pertanian*, Universitas Gadjah Mada, Jogjakarta
- Syahruracman dkk, 1993, *Mikrobiologi Kedokteran*, Binarupa Aksara, Jakarta.
- Tim Intan Pariwara, 1999, *Biologi SMU 3A*, PT. Intan Pariwara, Klaten.
- Ullmann's, *Encyclopedia of Industrial Chemistry*, 6th edition, volume 12, John Wiley and Sons, 2000, New York
- World Bank Report, 1980, *Alcohol Production from Biomass in The Developing Countries*
- Wyman. E. Charles., 1996, *Handbook on Bioethanol* , Taylor & Francis, United States