

PEMODELAN DAN OPTIMASI PRODUKSI *FLAVORING AGENT* MENGUNAKAN OPTSYS

Eneng Tita Tosida

Staf Pengajar PS Ilmu Komputer FMIPA UNPAK

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Senyawa aroma merupakan bahan penting dalam industri makanan, minuman, kosmetika, farmasi dan pakan. Bahkan akhir-akhir ini senyawa aroma semakin meluas penggunaannya untuk wewangian (*fragrance*) dan penyegar udara (*air freshner*). Permintaan pasar terhadap senyawa aroma pun meningkat, tercatat pada tahun 1994 sekitar US\$ 8,5 milyar per tahun, dan menjadi US\$ 10 milyar per tahun pada tahun 2000 (Yong, 1992).

Salah satu alternatif produksi senyawa aroma adalah menggunakan mikroba, yang dapat menggantikan produksi senyawa aroma dari bahan tanaman. Menurut Yong (1992) produksi senyawa aroma secara fermentasi mikroba memiliki beberapa keuntungan antara lain : (1) dapat menghasilkan bahan aroma baru dan menarik, (2) dapat mengurangi biaya produksi yang mahal, yang terjadi bila bahan tersebut diekstraksi dari tanaman, (3) dapat mengurangi waktu produksi, (4) tidak tergantung musim, iklim dan letak geografis dan (5) disukai pemakai karena bersifat alami.

Tri Panji et al.(1997) telah melakukan produksi senyawa aroma dengan menggunakan mikroba melalui proses biokonversi lendir biji kakao.

Namun produksi senyawa aroma pada penelitian ini perlu dioptimalkan, oleh karena itu perlu diteliti suatu sistem peningkatan produksi senyawa aroma yang optimal, dalam hal ini meliputi pengaturan pH, kecepatan pengadukan dan waktu fermentasi.

1.2. Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Merekayasa model teknologi biokonversi lendir biji kakao untuk pembuatan bahan pemberi citarasa (*Flavouring Agent*) yang dibatasi sampai pada tahap produksi senyawa aroma pada fermentasi secara batch.
2. Simulasi model dan menentukan kondisi optimum biokonversi (optimasi proses biokonversi) berdasarkan model yang telah dibangun, yang dapat digunakan untuk merancang operasi Sistem Biokonversi *Flavouring Agent* yang optimal bagi agroindustri.

1.3. Ruang lingkup

Lingkup penelitian ini dibatasi pada eksperimentasi pemodelan sistem proses biokonversi lendir biji kakao untuk bahan baku pemberi citarasa (*Flavouring Agent*), yang dilanjutkan dengan simulasi dan optimasi proses. Optimasi dilakukan

melalui penentuan kondisi optimum fermentasi *Trichoderma harzianum*, yang dilakukan dengan mencari variasi kondisi pH, kecepatan pengadukan dan waktu fermentasi yang optimum. Penelitian dilaksanakan dengan menggunakan bahasa pemrograman Fortran 77 yang diimplementasikan dengan menggunakan paket software optimasi OPTSYS (*Optimization System*).

II. METODOLOGI PENELITIAN

2.1. Kerangka Pemikiran

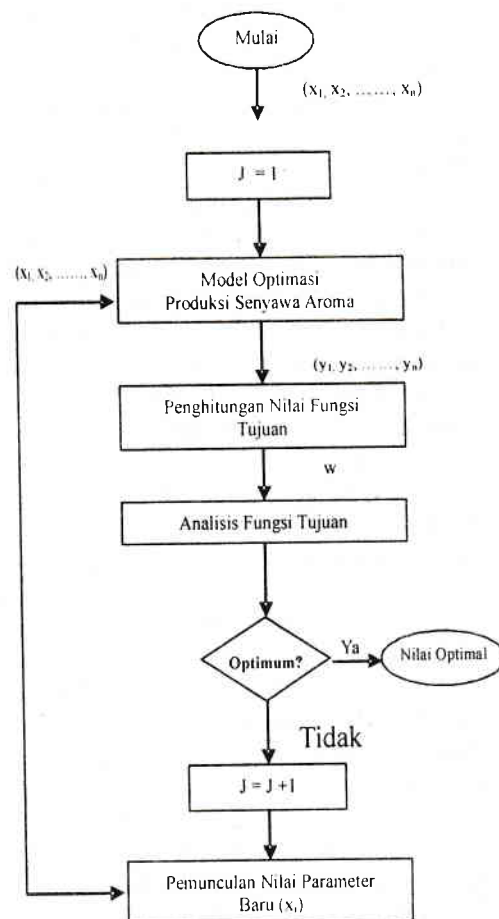
Pemodelan sistem biokonversi terdiri dari parameter dan variabel yang kompleks dan melibatkan berbagai disiplin ilmu. Dengan demikian proses pemodelan dan optimasi sistem biokonversi ini didasari oleh kerangka pemikiran yang disajikan pada Lampiran 1. (Bulock dan Kristiansen, 1987).

2.2. Metode Penelitian

Optimasi biokonversi difokuskan pada kondisi pertumbuhan mikroba penghasil senyawa aroma dan produksi senyawa aroma. Fungsi tujuan dari proses ini adalah maksimasi tingkat pertumbuhan mikroba penghasil senyawa dan maksimasi produksi senyawa aroma. Pada penelitian ini bioreaktor yang akan digunakan adalah bioreaktor sistem batch tipe stirred tank, maka menurut Edgar dan Himmelblau (1989) deskripsi matematika yang akan digunakan berupa persamaan aljabar (khusus untuk steady state) atau persamaan differensial ordinary (khusus untuk unsteady state). Validasi model dilakukan melalui analisis data eksperimental yang dihasilkan dari percobaan tersebut.

eksperimental yang dihasilkan dari percobaan tersebut.

Optimasi biokonversi yang dilakukan meliputi pH medium pertumbuhan, kecepatan pengadukan, dan waktu pertumbuhan. Optimasi biokonversi dilakukan melalui penggunaan paket program OPTSYS (*Optimization System*) yang diimplementasikan dengan menggunakan bahasa pemrograman Fortran-77. Tahapan optimasi proses secara skematis disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema Model Optimasi Produksi Senyawa Aroma

Pada Gambar 1. disajikan hubungan antara model optimasi produksi senyawa aroma dengan sistem optimasi OPTSYS yang digunakan untuk mencari sistem proses produksi senyawa aroma yang paling optimal. Dimulai dari nilai awal dari parameter optimasi (x_1, x_2, \dots, x_n) yang akan disimulasi sedemikian rupa sehingga memperoleh output (y_1, y_2, \dots, y_n) dan selanjutnya digunakan untuk penghitungan nilai fungsi tujuan (w). Parameter optimasi yang dimaksud dalam rencana penelitian ini adalah (x_1, x_2, x_3) sebagai (tingkat pH, tingkat kecepatan pengaduk, dan waktu fermentasi).

Langkah lanjut adalah analisis nilai fungsi tujuan, dalam hal ini adalah maksimasi peningkatan produksi senyawa aroma. Selama kriteria optimasi belum tercapai maka akan terus dilakukan modifikasi oleh strategi optimasi untuk mencari variasi nilai parameter baru sehingga mencapai x_n . Nilai ini kemudian akan dijadikan input untuk menjalankan model simulasi guna mencari output dan perhitungan nilai fungsi tujuan.

Oleh karena sistem yang ditelaah berhubungan dengan sistem bioteknologi maka menurut Bulock & Kristiansen (1987) hal ini akan sangat berhubungan erat dengan studi kinetika. Kinetika fermentasi mencakup laju pertumbuhan sel, penggunaan substrat dan pembentukan produk, yang sedemikian rupa dirangkum dalam berbagai model matematis. Model matematis yang berkaitan dengan hal ini merupakan abstraksi perwujudan ide suatu proses yang memerlukan hal-hal berikut:

1. Realitas fisik peralatan (model fisik abstrak)
2. Reaksi kimia pertumbuhan sel,

penggunaan substrat dan pembentukan produk

Bulock & Kristiansen (1987) menyatakan bahwa secara independen ekspresi laju spesifik kinetik menghubungkan laju konsumsi substrat (S_1, S_2, \dots) atau laju formasi produk (termasuk biomassa sel) (X_v) terhadap variasi komponen lingkungan sel (pH, agitasi, dan lain-lain) (C_1, C_2, \dots), dan kondisi ini diformulasikan melalui persamaan berikut:

$$r = f(X_v; S_1, S_2, \dots; C_1, C_2, \dots)$$

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pemodelan Sistem Biokonversi

Pemodelan sistem biokonversi diawali dengan telaah data sistem biokonversi sesungguhnya. Data sistem diperoleh dari hasil pengamatan pertumbuhan *Trichoderma harzianum* pada medium yang mengandung lendir biji kakao pada kondisi pH 3, 4 dan 5, dengan variasi kecepatan pengadukan 100, 150 dan 200 rpm. Sesudah inokulasi pertumbuhan kultur mikrobial pada kondisi batch melalui tahapan pertumbuhan sebagai berikut:

Penyusunan model sistem dilakukan melalui pendekatan model matematis pertumbuhan mikroba yang terbagi pada fase-fase yang tersebut pada Gambar 3. Menurut Bulock dan Kristiansen (1987) pada fase log atau eksponensial dinyatakan melalui pendekatan model:

$$\frac{dX}{dt} = \mu X \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan :

- X = konsentrasi biomassa sel (g/l)
- t = waktu (jam)
- μ = laju pertumbuhan spesifik (jam⁻¹)(massa)

Menurut Bullock and Kristiansen (1987) pada model pertumbuhan yang alami, suatu saat sel mengalami kondisi *non-viable*, artinya tidak memiliki kapabilitas untuk tumbuh dan bereproduksi lagi, bahkan pada suatu saat sel-sel tersebut mengalami kematian. Diasumsikan laju kematian sel proporsional dengan massa sel (kondisi *viable*) maka model pertumbuhan kapang *Trichoderma harzianum* dapat dideklarasikan sebagai berikut :

$$\frac{dX}{dt} = \mu X - KdX \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan : Kd = laju kematian sel (jam⁻¹)

Lebih lanjut penurunan laju pertumbuhan atau terhentinya pertumbuhan sebagai akibat Kd = laju kematian sel (jam⁻¹). Lebih lanjut penurunan laju pertumbuhan atau terhentinya pertumbuhan sebagai akibat habisnya substrat digambarkan oleh Monod (Bungay, 1985; Bullock and Kristiansen, 1987) melalui persamaan berikut :

$$\mu = \frac{\mu_{max} \cdot S}{K_s + S} \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan :

- S = konsentrasi substrat tersisa
- K_s = konstanta penggunaan substrat (merupakan afinitas mikroorganisme terhadap substrat)

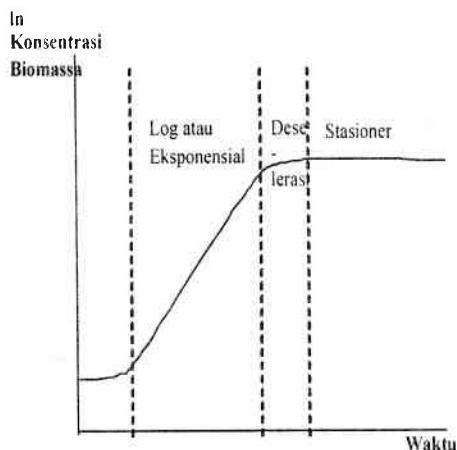
Max = laju pertumbuhan spesifik maksimum (fase eksponensial)

Secara matematis penggunaan substrat pada kultur batch digambarkan sebagai berikut :

$$\frac{dS}{dt} = - \left(\frac{\mu_{max} \cdot S}{K_s + S} X \right) - \frac{qp \cdot X}{Y_{p/s}} \dots\dots\dots(4)$$

Produk senyawa aroma pada sistem biokonversi ini terbentuk selama pertumbuhan biomassa sel, maka menurut Bullock and Kristiansen (1987) secara matematis pembentukan produk dapat digambarkan sebagai berikut :

$$\frac{dP}{dt} = qpX - KpP \dots\dots\dots(5)$$



Gambar 3. Pertumbuhan kultur mikrobial pada kondisi batch (Standbury & Whitaker, 1984)

Keterangan :

- P = konsentrasi produk
- Q_p = laju pembentukan produk (jam⁻¹)
- K_{pP} = laju perusakan produk (jam⁻¹)

3.2. Implementasi Model Biokonversi Senyawa Aroma

Model sistem biokonversi senyawa aroma diimplemetasikan dengan menggunakan bahasa Fortran 77 melalui sistem optimasi OPTSYS. Model biokonversi senyawa aroma diwakili oleh tiga persamaan yakni persamaan (2), (4) dan (5). Implementasi model sistem biokonversi senyawa aroma secara ringkas disajikan pada Lampiran 1 dan 2.

3.3. Verifikasi Model Simulasi

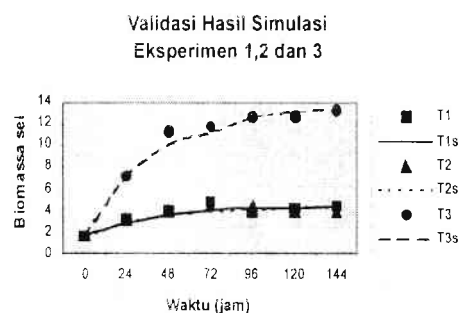
Proses optimasi dilakukan untuk mengetahui nilai AT (μ , sebagai laju pertumbuhan sel *Trichoderma harzianum*) dari setiap eksperimen (eksperimen 1 sampai dengan 9). Optimasi melalui Paket OPTSYS dilakukan melalui pendekatan strategi COMBI. Hasil optimasi secara ringkas disajikan pada Tabel 1,

Tabel 1. Laju Pertumbuhan Biomassa Sel *Trichoderma harzianum* berdasarkan variasi pH dan kecepatan pengadukan

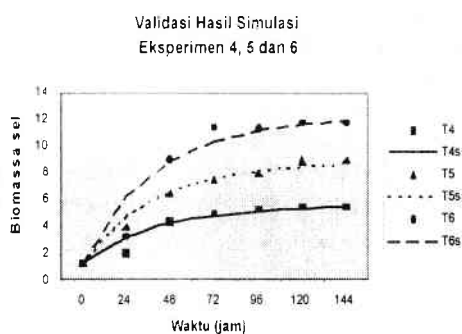
No. Exsp.	pH	Kecepatan Pengadukan (RPM)	Laju pertumbuhan biomassa sel <i>Trichoderma harzianum</i> (jam^{-1})
1	3	100	0.110305
2	3	150	0.108604
3	3	200	0.305438
4	4	100	0.137715
5	4	150	0.220631
6	4	200	0.341461
7	5	100	0.0287708
8	5	150	0.0973043
9	5	200	0.157301

Nilai-nilai laju pertumbuhan tersebut selanjutnya digunakan untuk simulasi nilai konsentrasi sel *Trichoderma harzianum*, substrat dan produk berdasarkan model yang telah dibangun. Langkah selanjutnya adalah validasi

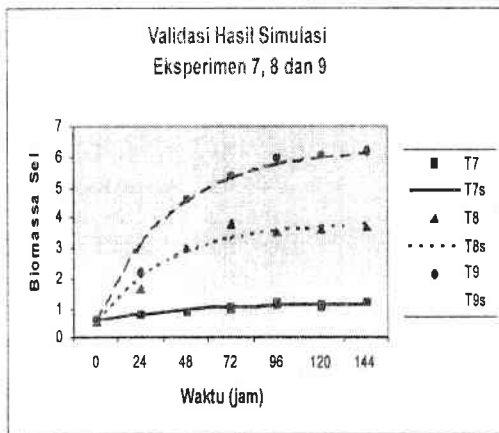
model. Hal ini bertujuan untuk mengetahui apakah model simulasi yang telah dibangun menggambarkan sistem biokonversi senyawa aroma yang dilakukan di UPBP. Proses validasi secara ringkas disajikan pada Gambar 4 sampai dengan Gambar 6.



Gambar 4. Kurva validasi hasil simulasi konsentrasi biomassa sel pada Eksperimen 1, 2 dan 3 (T1, T2 dan T3 adalah nilai konsentrasi sel hasil eksperimen, T1s, T2s dan T3s adalah nilai konsentrasi sel hasil simulasi)



Gambar 5. Kurva validasi hasil simulasi konsentrasi biomassa sel pada Eksperimen 4, 5 dan 6 (T4, T5 dan T6 adalah nilai konsentrasi sel hasil eksperimen, T4s, T5s dan T6s adalah



Gambar 6. Kurva validasi hasil simulasi konsentrasi biomassa sel pada Eksperimen 7, 8 dan 9 (T7, T8 dan T9 adalah nilai konsentrasi sel hasil eksperimen, T7s, T8s dan T9s adalah nilai konsentrasi sel hasil simulasi

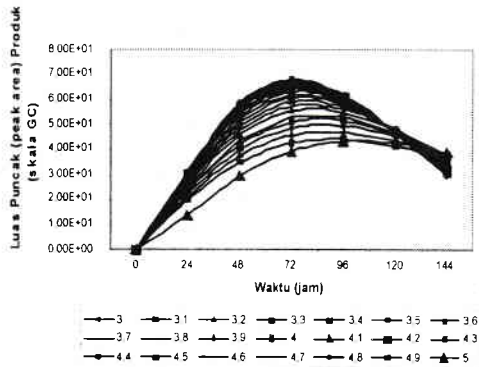
Berdasarkan Gambar 4, 5 dan 6, model simulasi telah memberikan luaran (output) yang mendekati hasil eksperimen di UPBP. Pada gambar tersebut masih memperlihatkan adanya jarak antara nilai hasil simulasi dengan nilai sistem real, namun demikian pola nilai-nilai yang dihasilkan dari proses simulasi telah mendekati pola sistem real (konsentrasi biomassa sel *Trichoderma harzianum*). Dengan hasil ini dianggap bahwa model simulasi biokonversi senyawa aroma telah tervalidasi, atau dengan kata lain model telah menggambarkan sistem yang sesungguhnya.

3.4. Aplikasi Model Simulasi

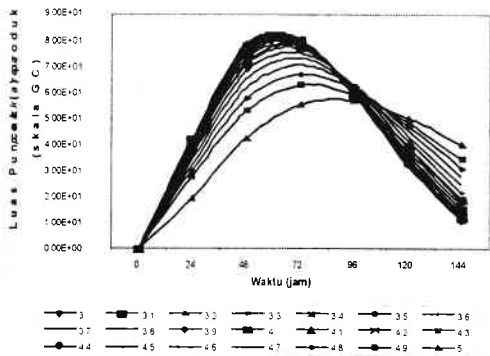
Model yang sudah valid digunakan untuk pengembangan ekperimentasi selanjutnya. Berdasarkan hasil simulasi pada Tabel 1.,

maka dapat disimulasikan nilai AT untuk pengembangan ekperimentasi selanjutnya. Pengembangan ekperimentasi dilakukan melalui pengembangan nilai pH. Seperti halnya pengembangan nilai pH, seperti halnya diketahui bahwa pada percobaan awal dilakukan untuk variasi 3 tingkat pH, yakni pH 3, 4 dan 5 dan 3 jenis RPM yakni 100, 150 dan 200. Dalam pengembangan ekperimentasi ini variasi pH dilakukan lebih detail untuk nilai pH 3.1, 3.2, 3.3 dan seterusnya, sampai dengan pH 5.0. Berdasarkan hasil simulasi pengembangan ini selanjutnya dapat diperkirakan perubahan nilai biomassa sel *Trichoderma sp.*, substrat dan produk untuk setiap eksperimen. Produksi senyawa aroma (bahan pemberi citarasa / flavouring agent) hasil simulasi untuk setiap eksperimen disajikan secara lengkap pada Gambar 7, 8, dan 9.

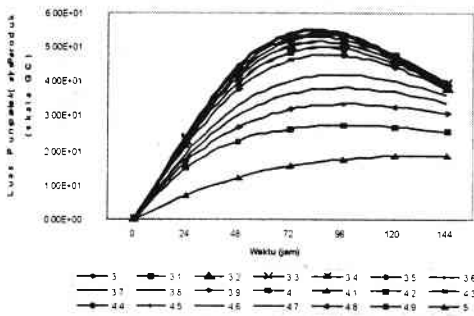
Berdasarkan hasil eksperimen yang ditunjukkan pada Gambar 7, 8, dan 9 tersebut, produktivitas senyawa aroma mencapai angka tertinggi sampai dengan waktu ke-72 (3 hari), selanjutnya produksi senyawa aroma mengalami penurunan. Hal ini disebabkan oleh menurunnya sediaan substrat, serta semakin banyaknya jumlah sel *Trichoderma harzianum* yang mati. Produksi optimal berdasarkan simulasi terhadap kondisi pH pada RPM tertentu tercapai pada kondisi pH 3.7 dengan kecepatan pengadukan 200 RPM, dengan *peak area* produk mencapai angka 8100 (skala GC). Menurut Standbury and Whitaker (1984) kontrol pH sangat penting untuk memperoleh produktivitas optimum, karena pH mempengaruhi fungsi membran, enzim dan komponen sel lainnya, serta mempengaruhi kelarutan konsituen



Gambar 7. Grafik hasil simulasi konsentrasi produk melalui pengembangan variabel pH untuk RPM 100



Gambar 8. Grafik hasil simulasi konsentrasi produk melalui pengembangan variabel pH untuk RPM 150



Gambar 9. Grafik hasil simulasi konsentrasi produk melalui pengembangan variabel pH untuk RPM 200

3.5. Aplikasi Ekonomis Agroindustri

Kondisi optimum fermentasi batch yang dihasilkan melalui proses simulasi dan optimasi selanjutnya dapat digunakan untuk menghitung produktivitas sistem secara keseluruhan. Menurut Hartoto dan Sailah (1992) produktivitas volumetrik dinyatakan sebagai gram produk per liter per jam dan merupakan kinerja keseluruhan proses. Produktivitas pada fermentasi batch harus memperhitungkan waktu keseluruhan yang diperlukan, tidak hanya waktu fermentasi tetapi juga melibatkan waktu pengosongan fermentor dari operasi yang baru dijalankan, pencucian wadah serta sterilisasi medium baru. Dengan demikian waktu total untuk proses produksi dihitung berdasarkan persamaan berikut :

$$t = \frac{1}{\mu_{max}} \ln \frac{X_f}{X_0} + t_T + t_L + t_D \dots\dots(9)$$

Keterangan :

- X_0 = konsentrasi sel awal
- X_f = konsentrasi sel akhir
- t_T = waktu penggantian kultur
- t_L = waktu lag
- t_D = waktu kelambatan

sehingga produktivitas keseluruhan (P) dinyatakan dengan persamaan berikut ini :

$$P = \frac{X_f}{\mu_{max} \ln \frac{X_f}{X_0} + t_T + t_L + t_D} \dots\dots(10)$$

Berdasarkan model produktivitas tersebut maka dapat ditentukan maksimasi model fungsi keuntungan yang dihitung melalui proses pengurangan fungsi pendapatan hasil

penjualan flavouring agent oleh fungsi biaya produksi total. Biaya produksi total mencakup biaya tetap, seperti biaya pengadaan peralatan, dalam hal ini dikonversikan ke dalam biaya penggunaan peralatan, serta biaya tidak tetap seperti biaya pengadaan bahan dan tenaga kerja. Secara sederhana fungsi keuntungan yang dimaksud dapat diformulasikan melalui persamaan berikut :

$$\text{Max. } D = A - (B + C)$$

Keterangan :

- A = Pendapatan hasil penjualan
- B = Biaya pengadaan bahan (pengadaan media *Trichoderma harzianum*)
- C = Biaya operasi (peralatan dan tenaga kerja)

Asumsi biaya total produksi dan harga pasar *flavouring agent* adalah sebagai berikut :

1. Biaya pengadaan media *Trichoderma harzianum* = Rp x /l/jam
2. Biaya konversi peralatan dan tenaga kerja = Rp y /l/jam
3. Harga jual flavouring agent = Rp z /g

Dengan demikian optimasi dilakukan untuk mencari nilai produktivitas yang akan memberikan nilai keuntungan tertinggi.

Contoh implementasi pada agroindustri dilakukan berdasarkan data hasil simulasi dan optimasi kondisi optimum produksi flavouring agent, yakni pada pH 3.7, dengan kecepatan pengadukan 200 RPM dan waktu fermentasi 72 jam. Bila diasumsikan waktu total produksi (waktu penggantian kultur ditambah waktu optimal fermentasi) adalah t jam, melalui proses simulasi akan

menghasilkan produktivitas p g/l/jam, sehingga keuntungan yang dapat diraih adalah Rp q /l/jam. Bila diasumsikan *working volume per batch* adalah v l, dapat disusun satu hubungan antara q , x , y dan z , untuk setiap liter selama operasi t jam berdasarkan persamaan berikut ini :

$$\begin{aligned} \text{Keuntungan } (q) &= (z.p) (x+y) \\ \text{Total keuntungan per jam setiap batch} \\ (\text{Rp}) &= q . v . T \end{aligned}$$

Tidak tersedianya data harga jual *flavouring agent* di pasaran, serta sulitnya pengukuran nilai mutlak konsentrasi *flavouring agent* mengakibatkan sulitnya penghitungan nilai keuntungan. Kesulitan pengukuran ini disebabkan senyawa yang dihasilkan merupakan senyawa majemuk (campuran dari beberapa senyawa dengan komposisi yang kompleks). Dalam hal ini pengukuran konsentrasi *flavouring agent* tidak dapat mengikuti kaidah *Effective Carbon Respons*, sehingga dalam proses pengukurannya membutuhkan standar dari setiap jenis senyawa yang dihasilkan, yang sebagian di antaranya sukar dicari dipasaran.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Model simulasi Sistem Biokonversi *Flavouring agent* disusun berdasarkan pendekatan matematis pertumbuhan mikroba yang melalui fase lag, fase log, fase stasioner dan fase deselerasi, dan selanjutnya dioptimalkan melalui pendekatan optimasi *Surface Fitting* dengan strategi COMBI. Berdasarkan model simulasi dapat diperkirakan perubahan konsentrasi sel

Trichoderma harzianum, dan sekaligus disertai dengan perubahan konsentrasi substrat dan konsentrasi produk (*flavouring agent*).

Hasil penelitian menggunakan model simulasi menunjukkan bahwa kondisi optimum produksi *flavouring agent* dengan fermentasi *batch* dicapai pada pH 3.7, kecepatan pengadukan 200 RPM, dan waktu fermentasi 72 jam, dengan *peak area* produk mencapai angka 8100 (berdasarkan skala GC). Penurunan tingkat produksi *flavouring agent* setelah fermentasi selama 72 jam diakibatkan oleh terakumulasinya jumlah sel yang mati akibat semakin berkurangnya substrat yang dikonsumsi oleh sel tersebut. Di lain pihak produk *flavouring agent* merupakan senyawa volatil, sehingga proses fermentasi yang dilakukan setelah 72 jam mengakibatkan produk mengalami penguapan.

Kondisi optimum fermentasi *batch* hasil simulasi selanjutnya dapat digunakan untuk menghitung produktivitas sistem secara keseluruhan. Berdasarkan model produktivitas dapat ditentukan maksimasi model fungsi keuntungan sistem biokonversi

5.2. Saran

Untuk penelitian sejenis disarankan terlebih dahulu melakukan eksperimen yang melibatkan pengukuran nilai mutlak konsentrasi produk, sehingga aplikasi ekonomis model simulasi dan optimasi dapat dilakukan dengan baik. Perlu dilakukan pengujian apakah model simulasi yang diperoleh dapat diaplikasikan untuk sistem biokonversi lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Adomako, D. 1984.** Some Conversion Technologies for the Utilization of Cocoa Wastes. *Proc. 9th Int. Cocoa Res. Conf.*, Lome Togo, 12-18 Feb. 1984, p.437-441.
- Beveridge, G.S.G. and R. Schechter. 1970.** *Optimization*. Mc.Graw Hill Kogakusha Inc., Tokyo.
- Bronson, R. 1991.** *Operation Research*. Erlangga, Jakarta, p. 87-90.
- Bulock, J. and B. Kristiansen. 1987.** *Basic Biotechnology*. Academic Press, p.75-109.
- Bungay, H.R. 1985.** *Computer Games and Simulation Biochemical Engineering*. John Wiley & Sons., New York, p.4-38.
- Cellier, F.E. 1991.** *Continous Systems Modelling*. Springer-Verlag.
- Chan-Halbrendt, C. 1995.** Market Assessment : A Criterion for Biotechnology Research Decision-Making. *Proc. Second Conference on Agricultural Biotechnology*, Jakarta, 13-15 June 1995, p. 117-130.
- Collins, R.P. and A.F. Halim. 1972.** Characterization of the Major Aroma Constituensts of the Fungus *Trichoderma viride*. (*Pers.*), *J. Agric. Food Chem.* 20 (2): p.437-438
- Daly, P. 1985.** *The Biotechnology Business : A Strategic Analysis*. Frances Printer (Publisher) Ltd.,