

**Proses Fermentasi Etanol dengan Pendekatan  
*Mathematical Modelling***

**Skripsi**



**Talita Adilael Budihardjo  
31130012**

**Program Studi Biologi  
Fakultas Bioteknologi  
Universitas Kristen Duta Wacana  
Yogyakarta  
2017**

# **Proses Fermentasi Etanol dengan Pendekatan *Mathematical Modelling***

## **Skripsi**

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar  
Sarjana Sains (S.Si) pada Program Studi Biologi Fakultas Bioteknologi  
Universitas Kristen Duta Wacana



**Talita Adilael Budihardjo**  
**31130012**

**Program Studi Biologi**  
**Fakultas Bioteknologi**  
**Universitas Kristen Duta Wacana**  
**Yogyakarta**  
**2017**

QADW-2241-BO-11.11.005

## LEMBAR PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Talita Adilael Budihardjo  
NIM : 31130012

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul :

**Proses Fermentasi Etanol dengan Pendekatan *Mathematical Modelling***

adalah hasil karya saya dan bukan merupakan duplikasi sebagian atau seluruhnya dari karya orang lain, yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu di dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Pernyataan ini dibuat dengan sebenar-benarnya secara sadar dan bertanggung jawab dan saya bersedia menerima sanksi pembatalan skripsi apabila terbukti melakukan duplikasi terhadap skripsi atau karya ilmiah lain yang sudah ada.

Yogyakarta, 19 Oktober 2017



Talita Adilael Budihardjo

## LEMBAR PENGESAHAN

Skripsi dengan judul:

**Proses Fermentasi Etanol dengan Pendekatan *Mathematical Modelling***

Telah diajukan dan dipertahankan oleh:

**Talita Adilael Budihardjo**  
**31130012**

dalam Ujian Skripsi Program Studi Biologi  
Fakultas Bioteknologi  
Universitas Kristen Duta Wacana  
dan dinyatakan DITERIMA untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
Sarjana Sains pada tanggal 19 Oktober 2017

	<b>Nama Dosen</b>	<b>Tanda tangan</b>
1.	Ir. Suhardi Djoatmodjo, M. Si Dosen Pembimbing I/ Penguji	
2.	Dr. Dhira Satwika, M. Sc Dosen Pembimbing II/ Penguji	
3.	Dr. Ir. Retno Indrati, M. Sc Dosen Penguji/ Ketua Tim Penguji	

Yogyakarta, 27 Oktober 2017

Disahkan oleh:

**Dekan,**

  
Drs. Kisworo, M.Sc.

**Ketua Program Studi,**

  
Dra. Aniek Prasetyaningsih, M.Si.

## KATA PENGANTAR

Dengan segala puji syukur kepada Tuhan Yesus Kristus atas cinta kasih dan berkat yang selalu diberikan kepada penulis dalam menghadapi ujian kehidupan dengan beberapa rintangan dan masalah yang harus dilalui dimulai dengan proses pemilihan topik skripsi hingga penyusunan naskah skripsi. Sehingga penulis mampu menyelesaikan naskah skripsi yang berjudul “**Proses Fermentasi Etanol dengan Pendekatan *Mathematical Modelling***” dengan baik. Pelaksanaan skripsi ini dilaksanakan di Laboratorium Mikrobiologi dan Kimia Dasar Fakultas Bioteknologi, Universitas Kristen Duta Wacana, Yogyakarta yang merupakan salah satu syarat yang harus ditempuh untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si) pada tahun 2017.

Demikian juga beberapa pihak lain yang telah membantu melalui bimbingan, konsultasi, saran, kritikan dan semangat kepada penulis sehingga skripsi ini dapat berhasil diselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Dekan, Wakil Dekan dan seluruh dosen Fakultas Bioteknologi, Universitas Kristen Duta Wacana, Yogyakarta atas bekal ilmu pengetahuan yang sudah diberikan kepada penulis.
2. Ir. Suhardi Djojoatmodjo, M. Si dan Dr. Dhira Satwika, M. Sc, selaku dosen pembimbing dan penguji yang selalu memberikan pengarahan dan bimbingan dengan baik, setia dan sabar, sehingga penulis dapat mengerjakan skripsi dengan baik.
3. Dr. Ir. Retno Indrati, M. Sc selaku dosen penguji yang memberikan beberapa saran dan perbaikan untuk meningkatkan kualitas naskah skripsi yang diberikan kepada penulis.
4. Laboran-Laboran Fakultas Bioteknologi, Universitas Kristen Duta Wacana, Yogyakarta, terimakasih atas kebaikan dan kesabaran dalam membantu penulis dalam melakukan penelitian skripsi.
5. Orang tua dan seluruh keluarga besar atas dukungan, semangat, doa dan cinta kasih kalian kepada penulis untuk menyelesaikan studi S1 ini.
6. Teman – teman Bioteknologi angkatan 2013.
7. Staf administrasi Fakultas Bioteknologi, Universitas Kristen Duta Wacana, Yogyakarta atas bantuannya.
8. Serta pihak-pihak lain yang telah membantu dalam penyelesaian tugas akhir skripsi dan studi penulis yang tidak dapat dituliskan satu per satu. Dikarenakan banyak orang di sekitar penulis telah memberikan bantuan baik berupa dukungan semangat, doa, saran maupun nasihat selama pelaksanaan tugas akhir skripsi ini.

Penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun dari pembaca. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi semua pihak. Sekian. Terimakasih.

Yogyakarta, 19 Oktober 2017

Penulis

## DAFTAR ISI

### Halaman

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PERNYATAAN.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR TABEL.....	vi
DAFTAR GRAFIK.....	vii
DAFTAR LAMPIRAN.....	viii
ABSTRAK.....	1
ABSTRACT.....	2
BAB I PENDAHULUAN.....	3
1.1. Latar Belakang.....	3
1.2. Rumusan Masalah.....	4
1.3. Tujuan.....	4
1.4. Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Fermentasi.....	5
2.2 <i>Saccharomyces cerevisiae</i> .....	6
2.3 <i>Mathematical modelling</i> .....	7
BAB III METODOLOGI.....	10
3.1. Waktu dan Tempat.....	10
3.2. Alat.....	10
3.3. Bahan.....	10
3.4. Metode Penelitian.....	10
3.4.1 Regenerasi sel <i>Saccharomyces cerevisiae</i> D-01.....	10
3.4.2 Pembuatan medium fermentasi.....	10
3.4.3 Persiapan <i>starter</i> .....	10
3.4.4 Proses fermentasi.....	11
3.4.5 Tahapan analisis.....	11
3.4.6 Pendekatan <i>mathematical modelling</i> yang digunakan.....	11
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	13
4.1 Data Fermentasi Etanol.....	13
4.2 <i>Mathematical Modelling</i> pada Fermentasi Etanol.....	16
4.3 Pengaruh Konsentrasi Substrat terhadap Pembentukan Etanol maupun Biomassa Sel.....	18
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	22
5.1 Kesimpulan.....	22
5.2 Saran.....	22
DAFTAR PUSTAKA.....	23
LAMPIRAN.....	26

## DAFTAR TABEL

### Halaman

Tabel 1. Hasil fermentasi etanol menggunakan substrat glukosa oleh <i>Saccharomyces cerevisiae</i> (suhu ruang; pH 5,7) .....	14
Tabel 2. <i>Mathematical modelling</i> pada fermentasi etanol* .....	16
Tabel 3. Pembuatan kurva stardard glukosa .....	28
Tabel 4. Pembuatan kurva biomassa sel .....	29
Tabel 5. Data kurva stardart etanol .....	30
Tabel 6. Data hasil fermentasi etanol.....	31
Tabel 7. Produktivitas etanol menggunakan substrat glukosa oleh <i>Saccharomyces cerevisiae</i> selama 96 jam .....	37

©UKDW

## DAFTAR GRAFIK

### Halaman

Grafik 1. Hasil penurunan kadar gula reduksi selama proses fermentasi .....	14
Grafik 2. Hasil pembentukan kadar etanol selama proses fermentasi .....	15
Grafik 3. Hasil pembentukan jumlah biomassa sel selama proses fermentasi.....	15
Grafik 4. Produktivitas etanol .....	16
Grafik 5. Perbandingan hasil analisis parameter gula reduksi pada konsentrasi substrat glukosa 10% dan 15% .....	17
Grafik 6. Perbandingan hasil analisis parameter kadar biomassa sel pada konsentrasi glukosa 10% dan 15% .....	17
Grafik 7. Perbandingan hasil analisis parameter kadar etanol pada konsentrasi glukosa 10% dan 15% .....	18
Grafik 8. Kurva standard glukosa .....	28
Grafik 9. Kurva standard biomassa sel .....	29
Grafik 10. Kurva standard etanol .....	30
Grafik 11. Hasil analisis 3 parameter pada proses fermentasi etanol .....	31

©UKDW



## DAFTAR LAMPIRAN

### Halaman

I.	Pembuatan Medium dan Reagen .....	27
II.	Analisis Kadar Gula Reduksi, Biomassa Sel dan Etanol.....	28
III.	Rekapitulasi Data Hasil Fermentasi.....	31
IV.	Prosedur <i>Mathematical Modelling</i> .....	32
V.	Kinetika Fermentasi Etanol .....	36
VI.	Dokumentasi .....	38
VII.	Data Analisis Etanol Menggunakan GC .....	40

©UKDW

## Proses Fermentasi Etanol dengan Pendekatan *Mathematical Modelling*

Talita Adilael Budihardjo (31130012)  
Program Studi Biologi, Fakultas Bioteknologi  
Universitas Kristen Duta Wacana Yogyakarta  
Email: [talitaadilael@gmail.com](mailto:talitaadilael@gmail.com)

### ABSTRAK

Fermentasi merupakan salah satu proses biologis dengan bantuan mikroorganisme tertentu dalam memecah substrat organik sehingga terbentuk sebuah produk. Produk fermentasi yang dihasilkan cukup beragam, baik dalam bidang industri pangan, kesehatan maupun lingkungan. Didukung dengan kebutuhan masyarakat terhadap produk fermentasi semakin tinggi maupun perkembangan industri fermentasi di seluruh dunia, maka proses fermentasi perlu ditingkatkan. Untuk memperoleh produk fermentasi dipengaruhi oleh beberapa hal yakni jenis mikroorganisme, konsentrasi substrat sebagai medium pertumbuhan mikroorganisme serta kondisi lingkungan selama proses fermentasi tersebut berlangsung. Dalam penelitian ini dilakukan 3 analisis parameter yakni kadar gula reduksi, biomassa sel dan kadar etanol yang terbentuk dari proses fermentasi etanol menggunakan konsentrasi substrat glukosa yang berbeda oleh *Saccharomyces cerevisiae*. Selain itu, dilakukan analisis dengan pendekatan *mathematical modelling* yang berfungsi sebagai metode yang dapat menginterpretasikan dan mengevaluasi proses fermentasi. Dari penelitian ini, dapat diketahui analisis 3 parameter dan pendekatan *mathematical modelling* menunjukkan konsistensi adanya pengaruh konsentrasi substrat glukosa dalam proses fermentasi etanol.

**Kata kunci:** Fermentasi, fermentasi etanol, *Saccharomyces cerevisiae*, *mathematical modelling*

## ***Ethanol Fermentation Process with Mathematical Modelling Approach***

***Talita Adilael Budihardjo (31130012)***  
***Dept. of Biology, Faculty of Biotechnology***  
***Duta Wacana Christian University, Yogyakarta***  
***Email: [talitaadilael@gmail.com](mailto:talitaadilael@gmail.com)***

### **ABSTRACT**

*Fermentation is a biological process for converting organic substrate into a product by microorganisms. Many fermentation products are recognized and have the application in the field of food industry, health and environmental issues. However, improvement in fermentation processes are still need to be done to fulfill human needs, obtaining better products, as well as the need of new fermentation products. Several factors have the influence on fermentation, such as type of microorganisms, type and the amount of substrates, and the environmental conditions during the fermentation process. It is then the objective of this research to monitor ethanol fermentation with two different glucose amount by *Saccharomyces cerevisiae*, continued with measuring the amount of reducing sugar, biomass formation and the ethanol formed. In addition, the application of mathematical modelling approach was also done to evaluate the fermentation process. The result shows that the fermentation kinetic on 10% and 15% glucose could be monitored and evaluated with the mathematical model being employed. Biochemical analysis during the fermentation and mathematical modelling approach shows consistency on the effect of glucose substrate concentration in the ethanol fermentation process.*

**Keyword:** *Fermentation, ethanol fermentation, *Saccharomyces cerevisiae*, mathematical modelling*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Beragam produk kebutuhan manusia dalam bidang mikrobiologi industri dihasilkan dalam skala besar oleh mikroorganisme tertentu, misalnya produk antibiotik, enzim, zat aditif pada makanan, bahan bakar nabati (bioetanol) serta minuman beralkohol. Organisme yang digunakan dalam bidang mikrobiologi industri seperti bakteri, fungi (*yeast* dan *mold*) dan prokariot. Menurut Madigan *et al.* (2012), mikroorganisme tersebut dapat membentuk produk dalam jumlah besar dengan waktu yang relatif singkat, serta dapat diinokulasi dengan mudah dalam media pertumbuhan dan bersifat non patogen baik pada manusia ataupun lingkungan sekitar.

Dalam bidang mikrobiologi industri, fermentasi merupakan suatu proses metabolik dari aktivitas mikroorganisme untuk memecah substrat organik menjadi senyawa yang lebih sederhana, dikenal dengan jalur glikolisis. Dari proses metabolik tersebut, dihasilkan produk fermentasi yang beragam, seperti minuman beralkohol (Goold *et al.* 2017), makanan fermentasi, produksi energi terbarukan (bioenergi) (Suharto 2017) hingga produksi senyawa-senyawa rekombinan seperti asam organik, asam amino, enzim, vitamin dan antibiotik (Madigan *et al.* 2012).

Produk fermentasi dipengaruhi oleh jenis mikroorganisme dan medium fermentasi yang digunakan. Kebutuhan nutrisi dalam medium fermentasi disesuaikan dengan jenis mikroorganisme, sehingga dapat mendukung pertumbuhan optimal mikroorganisme. Selain itu, kondisi lingkungan dalam proses fermentasi juga mempengaruhi kuantitas dan kualitas produk, seperti konsentrasi substrat yang berbeda, tingkat keasaman, sumber kontaminan, pengaruh suhu dan ada tidaknya oksigen (Oliveira *et al.* 2016).

Alkohol atau etil alkohol (etanol) merupakan produk utama dari proses fermentasi alkohol. Proses fermentasi alkohol pada umumnya memanfaatkan *yeast* yang didominasi oleh genus *Saccharomyces*, khususnya *Saccharomyces cerevisiae*. Karena *yeast* tersebut memiliki toleransi terhadap etanol (Fleet 2008), sehingga dapat menghasilkan produk etanol, karbon dioksida maupun energi (ATP) sebagai bentuk reaksi kimia dengan mengkonsumsi substrat glukosa selama proses fermentasi berlangsung (Walker & Stewart 2016).

Perkembangan riset pada bidang bioteknologi dan bioinformasi mampu memperbaiki dan mempercepat proses penelitian sehingga menghasilkan data analisis bersifat rasional dan akurat. Salah satu perkembangan riset tersebut adalah penggunaan *mathematical modelling* dalam penelitian biologi. Menurut Motta & Pappalardo (2012), *mathematical modelling* dapat digunakan sebagai metode dalam memprediksi, menginterpretasi maupun mengoptimalkan produk maupun proses kimiawi dalam suatu sistem biologi. Penerapan *mathematical modelling* dirumuskan melalui model-model persamaan diferensial biasa dengan berbagai asumsi, penentuan variabel bebas maupun variabel tak bebas, integral maupun operasi aritmatika. Pendekatan *mathematical modelling* dibentuk dari analisis regresi linear data laboratorium yang diperoleh, sehingga didapatkan suatu gradien yang berfungsi sebagai konstanta untuk persamaan diferensial biasa dengan orde pertama.

Pada saat ini *mathematical modelling* banyak digunakan pada penelitian terkait proses fermentasi, hal ini dikarenakan analisis dalam proses fermentasi harus dilakukan secara konsisten dengan jangka waktu yang cukup lama. Selain itu, kinetika dalam suatu proses fermentasi terkait produktivitas etanol, konsumsi substrat oleh mikroorganisme, pembentukan biomassa sel dan beberapa parameter lain dapat dijadikan variabel bebas maupun tak bebas dalam suatu persamaan differensial biasa, sehingga beberapa penelitian terkini analisis dalam proses fermentasi banyak menggunakan *mathematical modelling*. Salah satu contohnya adalah penelitian Jin *et al.* (2012) terkait kontrol dan optimasi proses

fermentasi etanol oleh *Saccharomyces cerevisiae* CICC 1308 amobil dalam Ca-alginat menggunakan substrat sorgum dengan berbagai konsentrasi.

Dalam penelitian ini dilakukan analisis data berdasarkan proses fermentasi etanol menggunakan *Saccharomyces cerevisiae* dengan pendekatan *mathematical modelling* untuk pengaruh konsentrasi substrat glukosa yang diberikan selama proses fermentasi berlangsung.

### **1.2. Rumusan Masalah**

Mengetahui proses fermentasi alkohol oleh *Saccharomyces cerevisiae* dengan pendekatan *mathematical modelling*.

### **1.3. Tujuan**

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui fermentasi alkohol yang dilakukan oleh *Saccharomyces cerevisiae* dengan menggunakan pendekatan *mathematical modelling*.

### **1.4. Manfaat Penelitian**

Mengembangkan penggunaan *mathematical modelling* dalam bidang bioteknologi khususnya mikrobiologi industri terkait proses fermentasi.

©UKDW

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Perbedaan konsentrasi substrat yang digunakan dalam medium fermentasi dapat mempengaruhi kinerja proses fermentasi etanol. Analisis yang dilakukan pada penelitian ini yang terdiri dari parameter gula reduksi, pembentukan biomassa sel dan kadar etanol konsisten dengan pendekatan *mathematical modelling* yang berguna untuk memprediksi proses fermentasi etanol. Dari hasil penelitian ini, menunjukkan semakin tinggi konsentrasi substrat yang diberikan, kecenderungan pembentukan etanol dalam waktu yang relatif lebih lambat dibandingkan pada substrat dengan konsentrasi lebih rendah, meskipun jumlah produk etanol yang dihasilkan lebih tinggi, hal ini didukung dengan perhitungan kinetika fermentasi, *yield* produk per substrat maupun pendekatan *mathematical modelling*.

#### 5.2 Saran

- ❖ Diperlukan perbandingan penggunaan substrat glukosa dalam konsentrasi yang beragam dengan pengulangan proses fermentasi.
- ❖ Diperlukan pengamatan morfologi dan fisiologi mikrobia sel pada proses fermentasi untuk memastikan kondisi sel *yeast* sudah optimal dalam melakukan biokatalisis substrat sehingga menghasilkan produk etanol.
- ❖ Diperlukan metode analisis parameter gula reduksi, biomassa sel maupun kadar etanol yang lebih akurat untuk menjaga konsistensi data hasil analisis.

## DAFTAR PUSTAKA

- Amadi, P.U., Ifeanacho, M.O., 2016. Impact of changes in fermentation time, volume of *yeast*, and mass of plantain pseudo-stem substrate on the simultaneous saccharification and fermentation potentials of African land snail digestive juice and *yeast*. *J. JGEB*, 14(2016) : 289–297.
- Azizah, N., Al-Baari, A.N., Mulyani, S., 2012. Pengaruh Lama Fermentasi Terhadap Kadar Alkohol, pH, dan Produksi Gas Pada Proses Fermentasi Bioetanol dari Whey dengan Substitusi Kulit Nanas. *JATP* 1(2) : 72–77.
- Bai, F.W., Anderson, W.A., Moo-young, M., 2008. Ethanol fermentation technologies from sugar and starch feedstocks. *Biotechnol Adv.*, 26 : 89–105.
- Bronson R., Costa G.B., 2006. Persamaan Diferensial. Edisi Ketiga. Penerbit Erlangga. Jakarta
- Brown, C.M., Johnson, B., 1970. Influence of the Concentration of Glucose and Galactose on the Physiology of *Saccharomyces cerevisiae* in Continuous Culture. *J Gen Microbiol*, 64 : 279–287.
- Dashko, S., Zhou, N., Compagno, C., Piskur, J., 2014. Why, when, and how did *yeast* evolve alcoholic fermentation? *FEMS Yeast Res*, 14 : 826–832.
- Eftimie, R., Gillard, J.J., Cantrell, D.A., 2016. Mathematical Models for Immunology : Current State of the Art and Future Research Directions. *Bull Math Biol*, 78(10) : 2091–2134.
- Elevri, P.A., Putra, S.R., 2006. Produksi Etanol Menggunakan *Saccharomyces cerevisiae* yang Diamobilisasi dengan Agar Batang. *Akta Kimindo*, 1(2) : 105–114.
- Fleet, G.H., 2008. Wine *yeasts* for the future. *FEMS Yeast Res*, 8, : 979–995.
- Gombert, A.K., Nielsen, J., 2000. Mathematical modelling of metabolism. *Curr Opin Biotechnol*, 11: 180-186.
- Goold, H.D., Kroukamp, H., Williams, T.C., Paulsen, I.T., Varela, C., Pretorius, I.S., 2017. *Yeast's* balancing act between ethanol and glycerol production in low-alcohol wines. *Microb Biotechnol*, 10(2) : 264–278.
- Jin, H., Liu, R., He, Y., 2012. Kinetics of Batch Fermentations for Ethanol Production with Immobilized *Saccharomyces cerevisiae* Growing on Sweet Sorghum Stalk Juice. *J Proenv*, 12 : 137–145.
- Kayikci, O., Nielsen, J., 2015. Glucose repression in *Saccharomyces cerevisiae*. *FEMS Yeast Res.*, 15(6) : 1–8.
- Kim, S.B., Yoon, M., Ku, N. S., Kim, M.H., Song, J.E., Ahn, J.Y., Jeong, S.J., Kim, C., Kwon, H., Lee, J., Smith, D.M., Choi, J.Y., 2014. Mathematical modeling of HIV prevention measures including pre-exposure prophylaxis on HIV incidence in South Korea. *PLoS ONE*, 9(3) : 1–10.
- Liu, Z., Li, X., 2014. The kinetics of ethanol fermentation based on adsorption processes. *Kem. Ind*, 63(7–8) : 259–264.
- Madigan, M.T., Martinko, J.M., Stahl, D.A., Clark, D.P., 2012. *Brock Biology of Microorganisms*. 13<sup>th</sup> ed. Pearson Benjamin Cummings. San Francisco.

- Manfaati, R., 2010. Kinetika dan Variabel Optimum Fermentasi Asam Laktat dengan Media Campuran Tepung Tapioka dan Limbah Cair Tahu Oleh *Rhizopus oryzae* [thesis]. Universitas Diponegoro, Semarang.
- Marsit, S., Dequin, S., 2015. Diversity and adaptive evolution of *Saccharomyces* wine yeast: a review. *FEMS Yeast Res.*, 15(7) : 1–12.
- Mazzoleni, S., Landi, C., Carteni, F., Alteriis, E.D., Giannino, F., Paciello, L., Parascandola, P., 2015. A novel process-based model of microbial growth: self-inhibition in *Saccharomyces cerevisiae* aerobic fed-batch cultures. *Microb Cell Fact*, 14(1) : 109.
- Moawad, E.Y., 2012. Optimizing bioethanol production by regulating yeast growth energy. *Syst Synth Biol*, 6(2012) : 61–68
- Motta, S., Pappalardo, F., 2012. Mathematical modeling of biological systems. *Briefings in Bioinformatics*, 14(4) : 411–422.
- Novak, M., Horvat, P., 2012. Mathematical modelling and optimisation of a waste water treatment plant by combined oxygen electrode and biological waste water treatment model. *J APM*, 36(8) : 3813–3825.
- Oliveira, S.C., Oliveira, R.C., Tacin, M.V., Gattás, E.A., 2016. Kinetic Modeling and Optimization of a Batch Ethanol Fermentation Process. *J Bioprocess Biotech*, 6(1) : 1–7.
- Otterstedt, K., Larsson, C., Bill, R.M., Stahlberg, A., Boles, E., Hohmann, S., Gustafsson, L., 2004. Switching the mode of metabolism in the yeast *Saccharomyces cerevisiae*. *EMBO reports*, 5(5) : 532–537.
- Phisalaphong, M., Srirattana, N., Tanthapanichakoon, W., 2006. Mathematical modeling to investigate temperature effect on kinetic parameters of ethanol fermentation. *J BEJ*, 28 : 36–43.
- Radecka, D., Mukherjee, V., Mateo, R.Q., Stojiljkovic, M., Moreno, M.R.F., Thevelein, J.M., 2015. Looking beyond *Saccharomyces*: The potential of non-conventional yeast species for desirable traits in bioethanol fermentation. *FEMS Yeast Res*, 15(6) : 1–13.
- Rolland, F., Winderickx, J., Thevelein, J.M., 2002. Glucose-sensing and-signalling mechanisms in yeast. *FEMS Yeast Res*, 2(2) : 183–201.
- Setyati, W. A., Martani, E., Triyanto, Subagiyo, Zainuddin, M., 2015. Kinetika Pertumbuhan dan Aktivitas Protease Isolat 36k dari Sedimen. *Ilmu Kelautan*, 20(3) : 163–169.
- Stanbury, PF, Whitaker, A, Hall, SJ. 2006. Principles of Fermentation Technology. Second Edition. Pergamon Press. Oxford.
- Stewart, G.G., Russell I, Klein, R.D., Hielsch, R.R., 1987. Biological Research on Industrial Yeasts Volume I. CRC Press, Inc. Florida.
- Suharto. 2017. Bioteknologi dalam Bahan Bakar Nonfosil. Penerbit Andi. Yogyakarta
- Sultana, S., Jamil, N.M., Saleh, E.A.M., Yousuf, A., Faizal, C.K.M., 2017. A Mathematical Model For Ethanol Fermentation From Oil Palm Trunk Sap Using *Saccharomyces cerevisiae*. *J. Phys.: Conf. Ser.*, 890 (2017) : 1-6.
- Sunarsih, Purwanto, Budi, W.S., 2013. Mathematical Modeling Regime Steady State For Domestic Wastewater Treatment Facultative Stabilization Ponds. *J. UEE*, 7(24) : 293–301.



- Supriyanto, T., Wahyudi, 2010. Proses Produksi Etanol oleh *Saccharomyces Cerevisiae* dengan Operasi Kontinyu Pada Kondisi Vakum [thesis]. Universitas Diponegoro, Semarang.
- Torres, N. V, Santos, G., 2015. The ( Mathematical ) Modeling Process in Biosciences. *Front Genet*, 6(354) : 1–9.
- Vilela, P.R.C, Siqueria, A.A.G, 2013. Modeling, Simulation And Dynamic Optimization Applied To An Ethanol Fed-Batch Fermentation Process. *22nd International Congress of Mechanical Engineering (COBEM 2013)*, 3(7) : 8308-8319.
- Walker, G.M., Stewart, G.G., 2016. *Saccharomyces cerevisiae* in the Production of Fermented Beverages. *Beverages*, 2(30) : 1–12.
- Wu, Q., Xu, Y., Chen, L., 2012. Diversity of yeast species during fermentative process contributing to chinese maotai-flavour liquor making. *Lett Appl Microbiol*, 55(4) : 301–307.

©UKDW