

**Studi Pemodelan Matematika pada Pola Hubungan
Pembentukan Etanol dan Pertumbuhan Sel**

Skripsi



Dhira Puttajaya

31150010

**Program Studi Biologi
Fakultas Bioteknologi
Universitas Kristen Duta Wacana
Yogyakarta
2019**

Studi Pemodelan Matematika pada Pola Hubungan Pembentukan Etanol dan Pertumbuhan Sel

Skripsi

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



Dhira Puttajaya

31150010

**Program Studi Biologi
Fakultas Bioteknologi
Universitas Kristen Duta Wacana
Yogyakarta
2019**

LEMBAR PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Dhira Puttajaya

NIM : 31150010

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul:

Studi Pemodelan Matematika pada Pola Hubungan Pembentukan Etanol dan Pertumbuhan Sel

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 orang lain yang sudah ada

Yogyakarta, 25 oktober 2019



Dhira Puttajaya

**LEMBAR PENGESAHAN NASKAH
SKRIPSI**

Judul : Studi Pemodelan Matematika pada Pola Hubungan
Pembentukan Etanol dan Pertumbuhan Sel

Nama Mahasiswa : Dhira Puttajaya

Nomor Induk : 31150010
Mahasiswa

Hari/Tanggal Ujian : 25 oktober 2019

Disetujui oleh

Pembimbing I,

Pembimbing II,


Ir. Suhardi Djojoatmodjo, M.Si.

NIK: 864 E 044

Dr. Dhira Satwika, M.Sc.

NIK: 904 E 146

Ketua Program Studi Biologi


Dra. Aniek Prasetyaningsih, M.Si.

NIK: 884 E 075

LEMBAR PENGESAHAN

Skripsi dengan judul:

Studi Pemodelan Matematika pada Pola Hubungan Pembentukan Etanol dan Pertumbuhan Sel

Telah diajukan dan dipertahankan oleh:

Dhira Puttajaya
31150010

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 25 oktober 2019

Nama Dosen

Tanda Tangan

1. Dr. Ir. Retno Indrati, M.Sc. : 
Dosen Penguji/Ketua Tim Penguji
2. Ir. Suhardi Djojoatmodjo, M.Si. : 
Dosen Pembimbing I/Penguji
3. Dr. Dhira Satwika, M.Sc. : 
Dosen Pembimbing II/Penguji

Yogyakarta, 25 oktober 2019

Disahkan oleh:

Dekan,


Drs. Kisworo, M.Sc.

Ketua Program Studi,


Dra. Anick Prasetyaningsih, M.Si.

KATA PENGANTAR

Dengan segala puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas cinta kasih dan berkat yang telah diberikan kepada penulis dalam menghadapi beberapa rintangan dan masalah yang harus dilalui mulai dari pemilihan topik skripsi hingga naskah skripsi selesai, sehingga mampu menyelesaikan naskah skripsi yang berjudul **“Studi Pemodelan Matematika pada Pola Hubungan Pembentukan Etanol dan Pertumbuhan Sel”** dengan baik. Skripsi ini merupakan salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si.) di Program Studi Biologi, Fakultas Bioteknologi, Universitas Kristen Duta Wacana, Yogyakarta.

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. Orang Tua, saudara, serta kerabat penulis yang memberikan doa dan dukungan, baik dukungan materi maupun motivasi yang diberikan kepada penulis.
2. Ir. Suhardi Djojoatmodjo, M.Si. dan Dr. Dhira Satwika, M.Sc., selaku dosen pembimbing yang selalu mendukung, membimbing, dan mengarahkan dengan baik, setia, dan sabar, sehingga penulis dapat mengerjakan skripsi dengan baik.
3. Dosen penguji yang memberikan beberapa saran dan perbaikan untuk meningkatkan kualitas naskah skripsi yang diberikan kepada penulis.
4. Drs. Kisworo, M.Sc., selaku Dekan Fakultas Bioteknologi dan Dra. Aniek Prasetyaningsih, M.Si. selaku Ketua Program Studi Biologi, Fakultas Bioteknologi, Universitas Kristen Duta Wacana Yogyakarta.
5. Laboran-Laboran Fakultas Bioteknologi, Universitas Kristen Duta Wacana, Yogyakarta, terima kasih atas kebaikan dan kesabaran dalam membantu penulis dalam melakukan penelitian skripsi terkhusus kepada bapak Hari dan bapak Setyo.
6. Eka Kurniati, Anggita Arvinandita, Adelia Gabriela Rayo Napang, Karen Natasha Herman, Maria H.O, Gustin Finnegan, Jovita Ivana, Dharmawan A.G serta teman-teman angkatan 2015 yang selalu setia menemani, memberi dukungan, bantuan, waktu, dan semangat selama menyelesaikan skripsi.
7. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu oleh penulis dalam membantu penyusunan skripsi ini.

Penulis menyadari masih adanya kekurangan dalam penulisan skripsi ini mengingat keterbatasan kemampuan dan pengalaman yang dimiliki. Apabila terdapat kesalahan pada penulisan atau penggunaan kata dan kalimat penulis mohon maaf yang sebesar-besarnya. Akhir kata, semoga skripsi ini bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan.

Yogyakarta, 25 oktober 2019

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PERNYATAAN.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN NASKAH SKRIPSI.....	iii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR TABEL.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR GRAFIK.....	ix
DAFTAR LAMPIRAN.....	x
ABSTRAK.....	xii
ABSTRACT.....	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1. Latar Belakang.....	1
2. Rumusan Masalah.....	2
3. Hipotesis Penelitian.....	2
4. Tujuan Penelitian.....	2
BAB II STUDI PUSTAKA.....	3
1. Fermentasi.....	3
2. <i>Growth/Non-Growth Associated Product</i>	5
3. Pemodelan Matematika.....	6
BAB III METODOLOGI.....	8
1. Waktu dan Tempat Penelitian.....	8
2. Perolehan Data.....	8
3. Rancangan Pemodelan Matematika.....	8
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	11
1. Data.....	11
2. Pemodelan Matematika pada Proses Fermentasi Etanol.....	14
BAB V KESIMPULAN.....	18
DAFTAR PUSTAKA.....	19
LAMPIRAN.....	21

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Rancangan pemodelan matematika pada hubungan pembentukan etanol dan pertumbuhan sel.....	14
Tabel 2. Kurva standar glukosa.....	23
Tabel 3. Contoh perhitungan koloni.....	24
Tabel 4. Kurva standar etanol dengan Gas Chromatography.....	25
Tabel 5. Rekapitulasi data biomassa sel dan kadar etanol.....	27

©UKDW

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Jalur pembentukan etanol oleh khamir.....	4
Gambar 2. Fase pertumbuhan mikrobial.....	5
Gambar 3. Jalur analisis data menggunakan pemodelan matematika....	12
Gambar 4. Hasil analisis menggunakan perangkat lunak matematika...	33
Gambar 5. Hasil Kromatogram jam ke-72 dengan faktor pengenceran 50x.....	35

© UKDW

DAFTAR GRAFIK

	Halaman
Grafik 1. Pola Hubungan Kadar Etanol (%) dengan Log Biomassa Sel (Log cfu/ml) pada Kultur <i>Saccharomyces cerevisiae</i> D-01.....	11
Grafik 2. Pola Hubungan Kadar Etanol (%) dengan Log Biomassa Sel (Log cfu/ml) pada Kultur <i>Schizosaccharomyces pombe</i>	12
Grafik 3. Pola Hubungan Kadar Etanol (%) dengan Log Biomassa Sel (Log cfu/ml) pada Kultur <i>Zygosaccharomyces parabailii</i>	13
Grafik 4. Perbandingan data eksperimen dan model yang dibuat pada kultur <i>Saccharomyces cerevisiae</i> D-01.....	15
Grafik 5. Perbandingan data eksperimen dan model yang dibuat pada kultur <i>Schizosaccharomyces pombe</i>	15
Grafik 6. Perbandingan data eksperimen dan model yang dibuat pada kultur <i>Zygosaccharomyces parabailii</i>	16
Grafik 7. Kurva standar glukosa.....	24
Grafik 8. Kurva standar etanol.....	26

© UKDW

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Pembuatan medium dan reagen.....	22
Lampiran 2. Analisis gula reduksi, biomassa dan kadar etanol.....	23
Lampiran 3. Rekapitulasi data.....	27
Lampiran 4. Prosedur pemodelan matematika dan hasil perangkat lunak matematika.....	28
Lampiran 5. Dokumentasi.....	33
Lampiran 6. Hasil <i>Gas Chromatography</i> (GC) dan perhitungan konsentrasi etanol.....	34
Lampiran 7. Pemantauan tatap muka skripsi.....	36

© UKDW

BAB I PENDAHULUAN

1. Latar Belakang

Mikroorganisme yang dapat digunakan dalam fermentasi seperti bakteri dan *yeast*, mampu mengubah substrat menjadi produk dengan waktu yang sangat singkat. Beberapa produk fermentasi yang sudah banyak dikembangkan di industri fermentasi pada skala besar, seperti produk antibiotik, enzim, alkohol, roti, hingga bahan bakar terbarukan (bioetanol).

Fermentasi alkohol merupakan proses perombakan substrat, khususnya gula, yang kemudian diubah menjadi alkohol dengan bantuan mikroorganisme. Adapun manfaat lain dari fermentasi alkohol yang digunakan dalam bidang kesehatan salah satunya sebagai obat antiseptik. Pada umumnya mikroorganisme yang digunakan dalam proses fermentasi berasal dari genus *Saccharomyces*, khususnya *Saccharomyces cerevisiae*. Pembentukan etanol oleh *Saccharomyces cerevisiae* dengan cara mengubah substrat glukosa menjadi 2 etanol, 2 CO₂ dan 2 energi (ATP), yang kemudian ATP tersebut digunakan untuk melakukan pertumbuhan.

Proses fermentasi alkohol yang lain seperti fermentasi ciu pada umumnya menggunakan beberapa spesies yang belum banyak diketahui jenisnya. Salah satunya adalah Ciu Bekonang yang merupakan produk ciu tradisional dalam skala kecil. Proses fermentasi ciu di Bekonang menggunakan metode sederhana yang tidak aseptis. Ragi yang digunakan merupakan konsorsium dari beberapa jenis mikroorganisme seperti *yeast* dan bakteri (Agustini, 2019). Konsentrasi etanol yang dihasilkan cukup tinggi, yaitu 20-30% yang umum dikenal sebagai ciu.

Perkembangan dalam bidang biologi, khususnya pada bidang bioteknologi sangat cepat sehingga mampu membantu analisa pada fenomena biologi dengan sangat cepat dan akurat. Salah satu perkembangan tersebut dengan menggunakan pemodelan matematika dalam penelitian biologi. Pemodelan matematika dapat memprediksi hingga mengoptimalkan produk maupun proses biologi. Penerapan

model matematika dirumuskan melalui model-model persamaan diferensial biasa (PDB).

Pada penelitian Walker dan Stewart (2016); Sanchez dan Demain (2008); Stanbury *et al.*, (1995) menjelaskan bahwa etanol sebagai metabolit primer, yang berarti pembentukan etanol mempunyai hubungan erat dengan pertumbuhan sel. Akan tetapi, jika dilihat dari produktivitasnya maka lama-kelamaan etanol tidak akan bertambah dikarenakan kuantitas substrat yang digunakan untuk melakukan pertumbuhan sel dan pembentukan produk sudah tidak memadai/habis. Pada waktu yang bersamaan pertumbuhan sel juga ikut menurun, hal ini dikarenakan adanya penghambatan sel oleh etanol yang dihasilkan oleh sel itu sendiri, ini berarti bahwa pembentukan etanol tidak selalu seiring dengan pertumbuhan sel, sehingga pada penelitian ini ingin menjelaskan pola hubungan atau kaitan pertumbuhan sel dengan pembentukan produk hasil fermentasi menggunakan pendekatan permodelan matematika.

2. Rumusan Masalah

Bagaimana pola hubungan pembentukan etanol dan pertumbuhan sel pada kultur komersial dan kultur laboratorium dengan pendekatan pemodelan matematika?

3. Hipotesis Penelitian

Terdapat pola hubungan pembentukan etanol dan pertumbuhan sel pada kultur komersial dan kultur laboratorium dengan pendekatan pemodelan matematika.

4. Tujuan Penelitian

Mengetahui pola hubungan pembentukan etanol dan pertumbuhan sel pada kultur komersial dan kultur laboratorium dengan pendekatan pemodelan matematika.

BAB V

KESIMPULAN

Fermentasi etanol yang dilakukan dengan menggunakan tiga kultur yakni kultur *Saccharomyces cerevisiae* D-01 sebagai kultur laboratorium, kultur *Schizosaccharomyces pombe* dan kultur *Zygosaccharomyces parabailii* sebagai kultur komersial dapat disimpulkan bahwa ketiga kultur diatas memiliki pola hubungan pembentukan produk dan pertumbuhan sel yang sama. Kemudian, didukung dengan pemodelan matematika dengan menggunakan persamaan diferensial biasa (PDB) menunjukkan adanya pola/*trend* yang sama pula dengan pola regresi pada data eksperimental, sehingga pola hubungan pembentukan etanol dan pertumbuhan sel tergolong ke dalam *growth associated product*. Hal ini ditandai dengan naiknya konsentrasi alkohol seiring dengan pertumbuhan sel selama proses fermentasi yang berarti etanol sebagai metabolit primer.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustini, L. 2019. Biodiversitas Mikroorganisme dari Proses Pembuatan Minuman Beralkohol ‘Ciu’ di Jawa Tengah. (Proceeding) Seminar Nasional Biologi dan Pendidikan Biologi, UKSW.
- Ahmad, F., Jameel, A. T., Kamarudin, M. H., Mel, M. 2011. Study of Growth Kinetic and Modeling of Ethanol Production by *Saccharomyces cerevisiae*. African Journal of Biotechnology, 16(18), pp 18842-18846. Doi:10.5897/AJB11.2763. ISSN: 1684-5315.
- Amenaghawon, N., Okieimen, C., Ogebeide, S. 2012. Kinetic Modelling of Ethanol Inhibition during Alcohol fermentation of Corn Stover using *Saccharomyces cerevisiae*. International Journal of Engineering Research and Applications, 2(4), 798–803.
- Bailey, D. E., Burghes, D. N., Barrie, M.S. 1982. Modelling with Differential Equations. *The Mathematical Gazette*, 66(437), 247. doi: 10.2307/3616576
- Budihardjo, T. A., Djojoatmodjo, S., dan Satwika, D., 2017. Proses Fermentasi Etanol dengan Pendekatan *Mathematical Modelling*. (Proceeding) Seminar Nasional Biologi dan Pendidikan Biologi UKSW 2018. pp: 203-210
- Crueger, W., Crueger, A. 1984. Biotechnology: A Textbook of Industrial Microbiology. Sinaur Associated, Inc. Sunderland.
- 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.
- 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.
- Paulová, L., Patáková, P., Brányik, T. 2013. Advanced Fermentation Processes. *Engineering Aspects of Food Biotechnology*, 89–110. <https://doi.org/10.1201/b15426-6>
- Sanchez, S., Demain, A. L., 2008. Metabolic Regulation and Overproduction of Primary Metabolit. *Microbial Biotechnonology*, 1(4), 283-319. doi:10.1111/j.1751-7915.2007.00015.x
- Satwika, D., Djodoatmodjo, S., Finnegan, G., Puttajaya, D., Ivana, J. (a). 2019. Isolation and characterization of fermenting yeast from tradisional ethanol production. 6th ICREEMS Yogyakarta (Proceeding).
- Satwika, D., Djodoatmodjo, S., Finnegan, G., Puttajaya, D., Ivana, J. (b). 2019. Inhibitory effect of ethanol to the producing yeast: a mathematical modelling approach. 2th International Conference in Bioscience, Biotechnology, Biometrics (Proceeding).
- Satwika, D., Djodoatmodjo, S., Finnegan, G., Puttajaya, D., Ivana, J. (c). 2019. Identification pf antagonistic yeast from traditional ethanol fermentation. (Proceeding)
- Stanbury, P. F., Whitaker, A., Hall, S. J. 1995. *Principles of Fermentation Technology*. Second Edition. Butterworth Heinemann. ISBN: 0750645016.

<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1006/rwfm.1999.0575>

- Suharto. 2017. Bioteknologi dalam Bahan Bakar Nonfosil. Penerbit Andi. Yogyakarta.
- Sunarsih, Purwanto, Budi, W.S., 2013. Mathematical Modeling Regime Steady State For Domestic Wastewater Treatment Facultative Stabilization Ponds. J. UEE, 7(24): 293–301.
- Sunarsih, Purwanto, Budi, W.S., 2015. Modeling of Domestic Wastewater Treatment Facultative Stabilization Ponds. International Journal of Technology, 7(24): 293–301. ISSN: 2086-9614. DOI: <http://dx.doi.org/10.14716/ijtech.v6i4.2175>
- Walker, G. M., and Stewart, G. G. 2016. *Saccharomyces cerevisiae* in the Production of Fermented Beverages. *Beverages*, 2(4), 38. <https://doi.org/10.3390/beverages2040038>

©UKDW