



UNIVERSITAS INDONESIA

**MODEL KINETIKA BERBASIS  
MEKANISME MICHAELIS-MENTEN  
UNTUK SINTESIS BIODIESEL SECARA ENZIMATIK**

**SKRIPSI**

**ENDRIKA ANDINI T.  
0706200283**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA  
DEPOK  
DESEMBER 2009**



UNIVERSITAS INDONESIA

**MODEL KINETIKA BERBASIS  
MEKANISME MICHAELIS-MENTEN  
UNTUK SINTESIS BIODIESEL SECARA ENZIMATIK**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik**

**ENDRIKA ANDINI T.  
0706200283**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA  
DEPOK  
DESEMBER 2009**

## **HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS**

**Skripsi ini adalah karya saya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar.**

**Nama : Endrika Andini T.  
NPM : 0706200283  
Tanda Tangan :  
Tanggal : 30 Desember 2009**

## **HALAMAN PENGESAHAN**

Skripsi ini diajukan oleh :  
Nama : Endrika Andini T.  
NPM : 0706200283  
Program Studi : Teknik Kimia  
Judul Skripsi : Model Kinetika Berbasis Mekanisme Michaelis –  
Menten untuk Sintesis Biodiesel secara Enzimatik

**Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian dari persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Indonesia.**

### **DEWAN PENGUJI**

Pembimbing : Ir. Rita Arbianti, M.Si. ( )

Pembimbing : Tania Surya Utami, ST., MT. ( )

Penguji : Dr. Heri Hermansyah, ST., M. Eng. ( )

Penguji : Prof. Dr. Ir. Anondho Wijanarko, M. Eng. ( )

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 30 Desember 2009

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah S.W.T. yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi dengan judul **Model Kinetika Berbasis Mekanisme Michaelis-Menten untuk Sintesis Biodiesel secara Enzimatik** ini. Teriring pula penulis panjatkan shalawat dan salam kepada Nabi Muhammad S.A.W. beserta keluarga, sahabat dan pengikut-Nya.

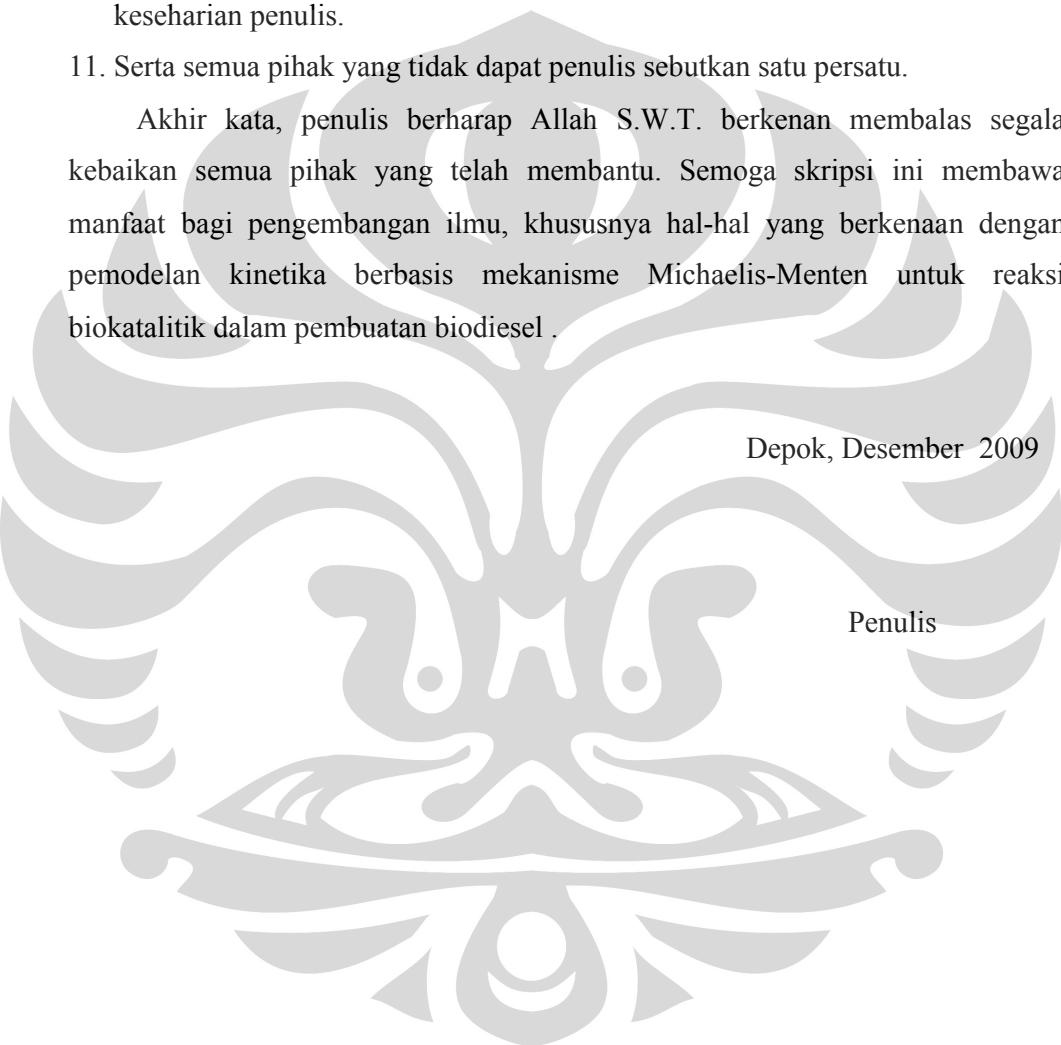
Skripsi ini dibuat sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan program studi Teknik Kimia, Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, serta untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis mendapatkan banyak bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada:

1. Ibu Ir. Rita Arbianti M.Si., selaku pembimbing I atas bimbingan dan masukan yang diberikan kepada penulis, serta persetujuan sehingga skripsi ini dapat selesai dengan baik.
2. Ibu Tania Surya Utami, ST., MT., selaku pembimbing II sekaligus dosen wali penulis yang telah memberikan bimbingan serta arahan kepada penulis guna terselesaikannya skripsi ini.
3. Bapak Dr. Heri Hermansyah ST., M.Eng., yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi pengarahan, diskusi dan bimbingan.
4. Mehyek, Pandut, dan Joe, atas doa yang tak putus, cinta, semangat, dan dukungannya baik moral maupun materil.
5. Ferriansyah Hasan, atas bantuan, dukungan, penghargaan, kesabaran, dan cinta yang tulus yang senantiasa mengisi keseharian penulis.
6. Yongyek, P'de Rudi, De'Lien, Yangtie, dan Oenix atas doa, hiburan, dan perhatian yang diberikan kepada penulis.
7. Sahabat penulis, Octavia *da Chairman of Double Helixes*, Kenta, Adam, dan Anders yang telah menjadi sebagian dari anugerah terindah bagi penulis.

8. *The Fellowship of da FreakZ*, Aggy, Josc, dan Roma yang selalu menghadirkan semangat, tawa dan dukungan kepada penulis.
9. Teman seperjuangan penulis, Mutia, Bang Dar dan Qa Octovand, Ryan dan Anatta yang setia menemani penulis serta banyak memberikan masukan pada penulis selama proses pembuatan skripsi ini.
10. Rekan-rekan Teknik Kimia khususnya angkatan 2007 yang telah mengisi keseharian penulis.
11. Serta semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Akhir kata, penulis berharap Allah S.W.T. berkenan membalaq segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu, khususnya hal-hal yang berkaitan dengan pemodelan kinetika berbasis mekanisme Michaelis-Menten untuk reaksi biokatalitik dalam pembuatan biodiesel .



Depok, Desember 2009

Penulis

## **HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPERLUAN AKADEMIS**

---

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Endrika Andini T.  
NPM : 0706200283  
Program Studi : Teknik Kimia  
Departemen : Teknik Kimia  
Fakultas : Teknik  
Jenis Karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non –exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

Model Kinetika Berbasis Mekanisme Michaelis – Menten  
untuk Sintesis Biodiesel secara Enzimatik

beserta perangkat yang ada. Dengan Hak Bebas Royalti Nonekslusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok  
Pada tanggal : 30 Desember 2009  
Yang menyatakan

(Endrika Andini T.)

## **ABSTRAK**

Nama : Endrika Andini T.  
Program Studi : Teknik Kimia  
Judul : Model Kinetika Berbasis Mekanisme Michaelis – Menten untuk Sintesis Biodiesel secara Enzimatik

Suatu pemodelan matematis untuk mempelajari mekanisme kinetika sintesis biodiesel rute non alkohol menggunakan biokatalis pada berbagai kondisi operasi tertentu dikembangkan dalam penelitian ini. Mekanisme pemodelan sintesis biodiesel sederhana berbasis Michaelis – Menten dengan pertimbangan faktor adsorpsi digunakan, mengingat adanya perbedaan konsentrasi mula – mula maupun konsentrasi pada bulk, baik terhadap enzim, substrat, maupun produk. Validitas model ini diuji dengan melakukan fitting terhadap data yang diperoleh melalui percobaan pada berbagai kondisi tertentu dalam rangka mencari parameter-parameter kinetika. Persamaan model secara simultan diolah secara numeris menggunakan metode Runge-Kutta, dimana hasil fitting terbaik dari nilai parameter ditentukan menggunakan metode Simplex. Melalui penelitian ini, didapatkan bahwa model yang digunakan untuk sintesis biodiesel berbasis Michaelis – Menten dapat memberikan hasil fitting dan gambaran yang cukup baik mengenai pengaruh dari konsentrasi mula-mula enzim dan trigliserida yang digunakan, terhadap konsentrasi biodiesel yang dihasilkan pada suatu kondisi tertentu selama sintesis berlangsung.

Kata kunci:  
Biodiesel, Model Kinetik, Interesterifikasi, Biokatalis, Michaelis – Menten

## **ABSTRACT**

Name : Endrika Andini T.  
Study Program : Chemical Engineering  
Title : Kinetic Model Based on Michaelis – Menten Mechanism for Enzymatic Synthesis of Biodiesel

A mathematical model describing biodiesel synthesis of non alcohol route using biocatalyst under various operating conditions was constructed in this research. The simplified kinetic mechanism based on Michaelis – Menten with adsorption factor was considered in addition to the differences in the interfacial and bulk concentration of the enzyme, substrate and product. This modeling validation was done by fitting the model equations with the experimental result data in order to obtain the kinetic parameters. A set of arbitrary values for the constants was assumed, and then the simultaneous differential equations based on Michaelis-Menten were numerically solved using Runge–Kutta method, where the best fitted values of the constants were determined using Simplex method. The results of simulation model for the synthesis of biodiesel using biocatalyst based on Michaelis – Menten mechanism gave better fitted result and well described the effect of the initial enzyme concentration, initial concentrations of triglyceride and biodiesel on the entire process of biodiesel synthesis.

Key words:

Biodiesel, Kinetic Model, Interesterification, Biocatalyst, Michaelis – Menten

## DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	vi
ABSTRAK .....	vii
ABSTRACT .....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
BAB 1. PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	4
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Sistematika Penulisan .....	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA .....	6
2.1 Sintesis Biodiesel Enzimatik.....	6
2.1.1 Rute Alkohol .....	7
2.1.2 Rute Non Alkohol .....	9
2.2 Biokatalis .....	11
2.3 Model Kinetika Reaksi Sintesis Biodiesel .....	18
2.3.1 Mekanisme Reaksi Stoikiometri .....	18
2.3.2 Mekanisme Reaksi Enzimatik .....	21
2.3.2.1 Mekanisme Reaksi Enzimatik Melibatkan Satu Substrat dan Satu Produk .....	21
2.3.2.2 Mekanisme Reaksi Enzimatik Melibatkan Dua Substrat dan Dua Produk.....	23
2.4 Metode Runge – Kutta Orde 4 .....	29
2.5 State Of The Art.....	30
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN.....	32
3.1 Diagram Alir Penelitian .....	32
3.2 Pemodelan Kinetika Berbasis Mekanisme Michaelis – Menten.....	33
3.2.1 Penurunan Model Kinetika Berbasis Michaelis – Menten.....	34

3.2.3	Penurunan Model Kinetika Berbasis Michaelis – Menton Dengan Adsorpsi.....	37
3.3	Data – Data Kinetika.....	40
3.4	Metode Estimasi Parameter Kinetika.....	41
3.5	Analisis Sensitivitas .....	42
BAB 4.	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	44
4.1	Model Kinetika Berbasis Mekanisme Michaelis – Menton .....	44
4.1.1	<i>Fitting</i> Kurva Dan Estimasi Parameter .....	44
4.1.2	Analisis Sensitivitas .....	58
4.2	Model Kinetika Berbasis Mekanisme Michaelis – Menton Adsorpsi.....	60
4.2.1	<i>Fitting</i> Kurva Dan Estimasi Parameter .....	60
4.2.2	Analisis Sensitivitas .....	68
BAB 5.	KESIMPULAN DAN SARAN.....	71
5.1	Kesimpulan .....	71
5.2	Saran.....	72
	DAFTAR ACUAN .....	73
	DAFTAR PUSTAKA .....	77
	LAMPIRAN .....	81

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
<b>Gambar 2.1</b> Rumus Kimia Biodiesel	6
<b>Gambar 2.2</b> Reaksi Transesterifikasi Trigliserida Dengan Alkohol <sup>[22]</sup>	8
<b>Gambar 2.3</b> Tahapan Reaksi Transesterifikasi <sup>[22]</sup>	8
<b>Gambar 2.4</b> Reaksi Interesterifikasi Minyak Nabati Melalui Rute Non Alkohol <sup>[4]</sup>	10
<b>Gambar 2.5</b> Tahapan Reaksi Interesterifikasi Melalui Rute Non Alkohol <sup>[5]</sup>	11
<b>Gambar 2.6</b> Struktur Lipase <sup>[25]</sup>	12
<b>Gambar 2.7</b> <i>Pseudomonas Sp.</i> <sup>[26]</sup>	13
<b>Gambar 2.8</b> <i>Aspergillus Niger</i> <sup>[26]</sup>	13
<b>Gambar 2.9</b> <i>G. Candidum</i> <sup>[26]</sup>	13
<b>Gambar 2.10</b> Metode Adsorpsi <sup>[26]</sup>	16
<b>Gambar 2.11</b> Metode <i>Entrapment</i> <sup>[26]</sup>	16
<b>Gambar 2.12</b> Metode <i>Cross Linking</i> <sup>[26]</sup>	17
<b>Gambar 2.13</b> Metode <i>Covalent Binding</i> <sup>[26]</sup>	17
<b>Gambar 2.14</b> Pemetaan Model Kinetik untuk Sintesis Biodiesel	18
<b>Gambar 2.15</b> Mekanisme Reaksi Bertingkat Irreversibel dengan Tiga Tahapan	18
<b>Gambar 2.16</b> Mekanisme Reaksi Bertingkat Reversibel dengan Tiga Tahapan	19
<b>Gambar 2.17</b> Mekanisme Reaksi Enzimatik Berbasis Michaelis – Menten	22
<b>Gambar 2.18</b> Mekanisme Reaksi Enzimatik yang Melibatkan Dua Substrat	23
<b>Gambar 2.19</b> Mekanisme Reaksi Enzimatik Kompleks Terner Acak	23
<b>Gambar 2.20</b> Mekanisme Reaksi Enzimatik Kompleks Terner Teratur	24
<b>Gambar 2.21</b> Mekanisme Ping Pong	25
<b>Gambar 2.22</b> Mekanisme Ping Pong Bi Bi	25
<b>Gambar 2.23</b> Esterifikasi Trigliserida Berkatalis Lipase dengan Inhibisi Kompetitif Alkohol	26

<b>Gambar 2.24</b>	Mekanisme Reaksi Enzimatik Berbasis Ping Pong Bi Bi untuk Pembentukan (A) Trigliserida, (B) Digliserida, (C) Monogliserida.	27
<b>Gambar 2.25</b>	Skema Konseptual untuk Mekanisme I	28
<b>Gambar 2.26</b>	Skema Konseptual untuk Mekanisme II	28
<b>Gambar 2.27</b>	Skema Konseptual untuk Mekanisme III	29
<b>Gambar 3.1</b>	Diagram Alir Penelitian	32
<b>Gambar 3.2</b>	Reaksi Enzimatik Berbasis Michaelis – Menten	34
<b>Gambar 3.3</b>	Reaksi Enzimatik Berbasis Michaelis – Menten Adsorpsi	37
<b>Gambar 3.4</b>	Flowchart Prosedur Perhitungan Konstanta Pemodelan	42
<b>Gambar 4.1</b>	Hasil Fitting Model Kinetika Michaelis – Menten terhadap Data 1 <sup>[27]</sup> .	45
<b>Gambar 4.2</b>	Hasil Fitting Model Kinetika Michaelis – Menten terhadap Data 2 <sup>[27]</sup> .	47
<b>Gambar 4.3</b>	Hasil Fitting Model Kinetika Michaelis – Menten terhadap Data 3 <sup>[27]</sup> .	48
<b>Gambar 4.4</b>	Hasil Fitting Model Kinetika Michaelis – Menten terhadap Data 4 <sup>[10]</sup> .	49
<b>Gambar 4.5</b>	Hasil Fitting Model Kinetika Michaelis – Menten terhadap Data 5 <sup>[10]</sup> .	51
<b>Gambar 4.6</b>	Hasil Fitting Model Kinetika Michaelis – Menten terhadap Data 6 <sup>[11]</sup> .	52
<b>Gambar 4.7</b>	Hasil Fitting Model Kinetika Michaelis – Menten terhadap Data 7 <sup>[11]</sup> .	53
<b>Gambar 4.8</b>	Hasil Fitting Model Kinetika Michaelis – Menten terhadap Data 8 <sup>[5]</sup> .	55
<b>Gambar 4.9</b>	Hasil Fitting Model Kinetika Michaelis–Menten Adsorpsi terhadap Data 2 <sup>[27]</sup> .	61
<b>Gambar 4.10</b>	Hasil Fitting Model Kinetika Michaelis–Menten Adsorpsi terhadap Data 3 <sup>[27]</sup> .	62
<b>Gambar 4.11</b>	Hasil Fitting Model Kinetika Michaelis–Menten Adsorpsi terhadap Data 5 <sup>[10]</sup> .	63
<b>Gambar 4.12</b>	Hasil Fitting Model Kinetika Michaelis–Menten Adsorpsi terhadap Data 7 <sup>[11]</sup> .	64
<b>Gambar 4.13</b>	Hasil Fitting Model Kinetika Michaelis–Menten Adsorpsi terhadap Data 8 <sup>[5]</sup> .	65

## DAFTAR TABEL

	Halaman
<b>Tabel 2.1</b> Kandungan Asam Lemak Terikat pada Trigliserida Minyak Sawit <sup>[19]</sup>	7
<b>Tabel 2.2</b> Perbandingan Kelebihan dan Kekurangan antara Rute Non Alkohol dengan Rute Alkohol <sup>[3]</sup>	11
<b>Tabel 2.3</b> Perbandingan Efek Berbagai Lipase dalam Reaksi Esterifikasi <sup>[44]</sup>	13
<b>Tabel 2.4</b> Perbandingan antara Metode Katalis Basa dengan Biokatalis untuk Produksi Biodiesel <sup>[22]</sup>	14
<b>Tabel 2.5</b> Perbandingan Berbagai Metode Immobilisasi Lipase <sup>[25]</sup>	17
<b>Tabel 2.6</b> Pemodelan Sintesis Biodiesel yang Pernah Dilakukan	31
<b>Tabel 4.1</b> Pemetaan Data Kinetika Berdasarkan Bentuk Enzim (Lipase)	44
<b>Tabel 4.2</b> Data Hasil Sintesis Biodiesel Rute Non – Alkohol Menggunakan Biokatalis <i>Candida rugosa</i> Lipase dalam Bentuk Tersuspensi Menggunakan Substrat Minyak Sawit <sup>[27]</sup> .	45
<b>Tabel 4.3</b> Parameter Hasil Estimasi Menggunakan Model Kinetika Michaelis – Menten terhadap Data 1 <sup>[27]</sup> .	46
<b>Tabel 4.4</b> Data Hasil Sintesis Biodiesel Rute Non – Alkohol Menggunakan Biokatalis <i>Candida rugosa</i> Lipase Terimmobilisasi Metode Adsorpsi Menggunakan Substrat Minyak Sawit <sup>[27]</sup> .	46
<b>Tabel 4.5</b> Parameter Hasil Estimasi Menggunakan Model Kinetika Michaelis – Menten terhadap Data 2 <sup>[27]</sup> .	47
<b>Tabel 4.6</b> Data Hasil Sintesis Biodiesel Rute Non – Alkohol Menggunakan Biokatalis <i>Candida antartica</i> Lipase (Novozym 435) Terimmobilisasi pada <i>Acrylic Resin</i> dalam Bentuk Sol-Gel Menggunakan Substrat Minyak Jelantah <sup>[27]</sup> .	48
<b>Tabel 4.7</b> Parameter Hasil Estimasi Menggunakan Model Kinetika Michaelis – Menten terhadap Data 3 <sup>[27]</sup> .	48
<b>Tabel 4.8</b> Data Hasil Sintesis Biodiesel Rute Non – Alkohol Menggunakan Biokatalis <i>Candida rugosa</i> Lipase dalam Bentuk Tersuspensi Menggunakan Substrat Minyak Jelantah <sup>[10]</sup> .	49
<b>Tabel 4.9</b> Parameter Hasil Estimasi Menggunakan Model Kinetika Michaelis – Menten terhadap Data 4 <sup>[10]</sup> .	50

<b>Tabel 4.10</b>	Data Hasil Sintesis Biodiesel Rute Non – Alkohol Menggunakan Biokatalis <i>Candida rugosa</i> Lipase Terimmobilisasi Metode Adsorpsi Menggunakan Substrat Minyak Jelantah <sup>[10]</sup> .	50
<b>Tabel 4.11</b>	Parameter Hasil Estimasi Menggunakan Model Kinetika Michaelis – Menten terhadap Data 5 <sup>[10]</sup> .	51
<b>Tabel 4.12</b>	Data Hasil Sintesis Biodiesel Rute Non – Alkohol Menggunakan Biokatalis <i>Porcine pancreatic</i> Lipase dalam Bentuk Tersuspensi Menggunakan Substrat Minyak Jelantah <sup>[11]</sup> .	52
<b>Tabel 4.13</b>	Parameter Hasil Estimasi Menggunakan Model Kinetika Michaelis – Menten terhadap Data 6 <sup>[11]</sup> .	52
<b>Tabel 4.14</b>	Data Hasil Sintesis Biodiesel Rute Non – Alkohol Menggunakan Biokatalis <i>Porcine pancreatic</i> Lipase Terimmobilisasi Metode Adsorpsi Menggunakan Substrat Minyak Jelantah <sup>[11]</sup> .	53
<b>Tabel 4.15</b>	Parameter Hasil Estimasi Menggunakan Model Kinetika Michaelis – Menten terhadap Data 7 <sup>[11]</sup> .	54
<b>Tabel 4.16</b>	Data Hasil Sintesis Biodiesel Rute Non – Alkohol Menggunakan Biokatalis <i>Candida antartica</i> Lipase (Novozym 435) Menggunakan Substrat Minyak Kedelai <sup>[5]</sup>	54
<b>Tabel 4.17</b>	Parameter Hasil Estimasi Menggunakan Model Kinetika Michaelis – Menten terhadap Data 7 <sup>[11]</sup> .	55
<b>Tabel 4.18</b>	Analisis sensitivitas konstanta laju reaksi menggunakan pemodelan Michealis – Menten	58
<b>Tabel 4.19</b>	Parameter Hasil Estimasi Menggunakan Model Kinetika Michaelis – Menten terhadap Data 2 <sup>[27]</sup> .	61
<b>Tabel 4.20</b>	Parameter Hasil Estimasi Menggunakan Model Kinetika Michaelis – Menten terhadap Data 3 <sup>[27]</sup> .	62
<b>Tabel 4.21</b>	Parameter Hasil Estimasi Menggunakan Model Kinetika Michaelis – Menten terhadap Data 5 <sup>[10]</sup> .	63
<b>Tabel 4.22</b>	Parameter Hasil Estimasi Menggunakan Model Kinetika Michaelis – Menten terhadap Data 7 <sup>[11]</sup> .	64
<b>Tabel 4.23</b>	Parameter Hasil Estimasi Menggunakan Model Kinetika Michaelis – Menten terhadap Data 8 <sup>[5]</sup> .	65
<b>Tabel 4.24</b>	Analisis Sensitivitas Konstanta Laju Reaksi Menggunakan Pemodelan Michealis – Menten Adsorpsi	69

## DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
<b>Lampiran 1</b>	Hasil <i>Fitting</i> Menggunakan Model Michaelis – Menten
<b>Lampiran 2</b>	Hasil <i>Fitting</i> Menggunakan Model Michaelis – Menten Adsorpsi



## **BAB 1**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar Belakang Masalah**

Penggunaan sumber daya alam minyak dan gas (migas), sejak dahulu tidak dapat dipisahkan dari kehidupan manusia, karena perannya sangat signifikan sebagai bahan bakar dalam industri maupun rumah tangga. Tetapi kebutuhan akan bahan bakar yang tinggi akibat pertambahan jumlah penduduk dan kemajuan ekonomi yang pesat di beberapa negara tidak diimbangi dengan persedian sumber daya alam migas tersebut. Oleh karena itu, pencarian terhadap energi alternatif selain migas merupakan suatu isu besar dalam kaitannya dengan politik dan menjadi salah satu permasalahan lingkungan global di dunia internasional.

Mengingat Indonesia memiliki beragam sumber energi alternatif terbarukan, maka Indonesia memiliki peluang yang besar dalam hal eksplorasi sumber daya alam yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar alternatif. Salah satu sumber energi alternatif yang terbarukan adalah *Fatty Acid Methyl Ester* (FAME) atau yang biasa disebut dengan biodiesel. Biodiesel merupakan pensubstitusi yang unggul untuk menggantikan kebutuhan bahan bakar minyak nasional. Biodiesel dapat dihasilkan dari minyak nabati, seperti kelapa sawit, jarak pagar, kacang tanah, kelapa, kacang kedelai, biji bunga matahari dan lain sebagainya. Kelapa sawit (*Elaeis guineensis*) merupakan salah satu sumber minyak nabati yang prospektif dikembangkan sebagai bahan baku biodiesel, mengingat Indonesia merupakan salah satu penghasil minyak sawit dan kelapa terbesar di dunia<sup>[1]</sup>, dimana produksinya di Indonesia meningkat tiap tahunnya<sup>[2]</sup>.

Pengolahan biodiesel pada umumnya melalui reaksi transesterifikasi menggunakan katalis asam atau basa (alkali), dimana penggunaan katalis tersebut dapat menyebabkan terbentuknya reaksi penyabunan, yang merupakan reaksi samping yang tidak dikehendaki karena dapat membuat konversi minyak menjadi biodiesel menjadi lebih kecil. Reaksi samping yang tidak diinginkan ini juga pada akhirnya membebani proses pemurnian produk dan menurunkan *yield* biodiesel yang pada akhirnya mengakibatkan biaya produksi yang tinggi.

Untuk mengatasi masalah di atas, maka dapat digunakan enzim lipase sebagai biokatalis. Enzim lipase dapat memperbaiki kelemahan katalis alkali, yaitu tidak bercampur homogen, sehingga pemisahannya mudah dan mampu mengarahkan reaksi secara spesifik tanpa adanya reaksi samping yang tak diinginkan. Namun, biokatalis mudah terdeaktivasi oleh alkohol yang merupakan reaktan dalam reaksi sintesis biodiesel. Oleh karena itu, untuk mempertahankan aktivitas dan stabilitas biokatalis selama reaksi berlangsung, maka dikembangkan suatu metode dengan mengubah rute reaksi dari menggunakan alkohol ke rute reaksi yang tidak menggunakan alkohol. Rute reaksi non alkohol bisa dilakukan dengan cara mengganti alkohol dengan alkil asetat yang sama-sama berfungsi sebagai pensuplai gugus alkil<sup>[5]</sup>. Proses ini dirasakan menguntungkan karena selain deaktivasi enzim oleh lingkungan beralkohol tidak terjadi, produk samping yang dihasilkan berupa triasetilgliserol juga memiliki nilai ekonomis yang lebih tinggi daripada gliserol pada rute konvensional.

Sedangkan, untuk memperbaiki beberapa kekurangan penggunaan enzim, seperti: harga enzim yang mahal, ketidak-stabilan enzim, ketersediaan enzim yang sangat sedikit, dan mahalnya biaya *recovery* enzim, maka dapat dilakukan immobilisasi enzim dengan menggabungkan enzim dengan suatu matrik padat (*support*) secara fisik, sehingga enzim dapat digunakan secara berulang kali dan secara kontinyu<sup>[29]</sup>.

Mengingat bahwa sintesis biodiesel rute non alkohol dengan menggunakan biokatalis dinilai sangat menjanjikan, maka penelitian terhadap model kinetika reaksi pada sintesis biodiesel melalui reaksi enzimatik dirasakan penting untuk mengetahui perilaku setiap komponen dalam sintesis biodiesel secara enzimatik serta dapat memberikan informasi yang tidak dapat diberikan oleh penelitian secara eksperimental.

Beberapa penelitian mengenai kinetika reaksi sintesis biodiesel telah dilakukan didunia, dan pada penelitian ini dilakukan simulasi untuk memperoleh suatu model mekanisme reaksi enzimatis yang dapat menggambarkan perilaku sintesis biodiesel tersebut, agar dapat diperoleh produksi biodiesel yang efisien dan layak secara teknis maupun ekonomis untuk dapat diterapkan dalam skala komersial.

Penelitian ini mengembangkan suatu pemodelan kinetika berbasis Michaelis – Menten, dimana melalui pemodelan tersebut, diharapkan dapat diperoleh gambaran yang baik mengenai pengaruh dari konsentrasi mula-mula enzim dan trigliserida yang digunakan, terhadap konsentrasi biodiesel yang dihasilkan pada suatu kondisi tertentu selama sintesis berlangsung. Mekanisme reaksi sintesis biodiesel secara enzimatik pun belum banyak di investigasi. Oleh karena itu, diharapkan pula penelitian mengenai sintesis biodiesel menggunakan biokatalis ini dapat memberikan kontribusi yang cukup besar bagi pengembangan riset mengenai sintesis biodiesel.

### **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan sebelumnya, maka permasalahan dalam penelitian ini dapat dirumuskan menjadi, antara lain:

1. Bagaimanakah mekanisme model kinetika reaksi enzimatik dalam sintesis biodiesel berbasis Michaelis -Menten?
2. Bagaimanakah metode estimasi parameter kinetika serta analisis sensitivitas parameter hasil estimasi dalam suatu pemodelan?
3. Apakah hasil *fitting* yang diperoleh melalui pemodelan terhadap data eksperimen dapat memberikan hasil yang baik?
4. Apakah profil konsentrasi reaktan dan produk (biodiesel) yang dihasilkan berdasarkan simulasi dapat menggambarkan dengan baik kondisi sintesis biodiesel secara enzimatik?

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Sesuai dengan judul skripsi yang dikerjakan oleh penulis, tujuan yang ingin dicapai melalui penelitian ini antara lain untuk:

1. Mengetahui mekanisme model kinetika reaksi enzimatik dalam sintesis biodiesel berbasis Michaelis-Menten.
2. Mempelajari metode estimasi parameter kinetika serta analisis sensitivitas parameter hasil estimasi dalam suatu pemodelan.
3. Memperoleh hasil *fitting* yang baik antara pemodelan dengan data hasil eksperimen.

4. Mendapatkan profil konsentrasi reaktan dan produk (biodiesel) hasil simulasi yang dapat menggambarkan dengan baik kondisi sintesis biodiesel secara enzimatik.

#### **1.4 Batasan Masalah**

Aspek yang dibahas berdasarkan tujuan dari penelitian ini, yaitu dibatasi pada permasalahan sebagai berikut:

1. Simulasi sintesis biodisel secara enzimatis dilakukan dengan menggunakan model kinetika berbasis Michaelis – Menten.
2. Data – data yang digunakan merupakan data hasil penelitian sintesis biodiesel secara enzimatik yang diperoleh melalui skripsi yang berasal dari Departemen Teknik Kimia, Universitas Indonesia maupun jurnal – jurnal ilmiah (nasional maupun internasional).
3. Data – data yang diolah melalui proses simulasi dalam penelitian ini merupakan data sintesis biodiesel rute non alkohol yang menggunakan biokatalis berupa enzim lipase, dan substrat yang berasal dari minyak nabati.
4. Parameter – parameter kinetika ditentukan dengan *fitting* menggunakan metode Runge-Kutta, dimana hasil *fitting* terbaik dari nilai konstanta ditentukan menggunakan metode Simplex.

#### **1.5 Sistematika Penulisan**

Skripsi yang berjudul “Model Kinetika Berbasis Michaelis-Menten untuk Reaksi Enzimatis Sintesis Biodiesel” ini pembahasannya akan dibagi menjadi lima bab. Hal tersebut dimaksudkan agar dapat lebih mudah memahami hasil penelitian ini secara lebih sistematis. Kelima bab yang telah tersebut diatas dapat dirinci sebagai berikut:

### **BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini menjelaskan tentang latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, serta sistematika penulisan.

### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini berisi tentang prinsip dasar ilmu yang berkaitan dengan penelitian, dimana akan dibahas mengenai sintesis biodiesel secara enzimatik yang meliputi

route dan jenis katalis yang digunakan, model kinetika reaksi untuk sintesis biodiesel, serta *state of the art* dari penelitian yang dilakukan.

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Bab ini memberi gambaran tentang diagram alir penelitian, prosedur dan langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian, seperti penurunan model kinetika reaksi yang digunakan, metode estimasi parameter kinetika, analisis sensitivitas, serta simulasi berdasarkan data hasil penelitian.

### **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bab ini menjelaskan mengenai hasil yang diperoleh berdasarkan simulasi menggunakan data-data hasil penelitian, antara lain mengenai estimasi parameter model kinetika, analisis sensitivitas, serta profil konsentrasi dari reaktan yaitu trigliserida dan produk yang dihasilkan yaitu biodiesel.

### **BAB V KESIMPULAN**

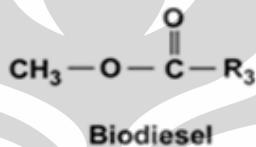
Bab ini berisi tentang inti dari tujuan dilakukannya penelitian, yang meliputi data - data hasil simulasi dan kesimpulan - kesimpulan yang diambil berdasarkan hasil pengamatan dari data-data tersebut.

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Sintesis Biodiesel Secara Enzimatik

Biodiesel, secara kimia didefinisikan sebagai *mono alkyl ester* dari asam lemak rantai panjang yang diturunkan dari sumber lipida yang dapat diperbarui. Biodiesel dapat disintesis dari lemak hewani maupun minyak nabati melalui proses transesterifikasi. Beberapa minyak nabati yang dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan biodiesel yaitu minyak kelapa sawit, minyak kedelai (*soybean*), minyak *rapesad (canola)*, dan minyak bunga matahari (*sunflower*)<sup>[14]</sup>.



**Gambar 2.1** Rumus Kimia Biodiesel

Kelapa sawit merupakan bahan baku pembuat biodiesel yang paling umum digunakan. Hal tersebut karena kelapa sawit merupakan tumbuhan sepanjang tahun yang dapat menghasilkan minyak paling tinggi. Senyawa trigliserida pada minyak sawit mengandung hidrokarbon, seperti halnya minyak bumi. Sehingga apabila dianalogikan dengan proses pengilangan minyak bumi, maka minyak sawit dapat pula menghasilkan produk-produk turunan yang dapat dihasilkan dari pengolahan minyak bumi, diantaranya adalah solar (diesel), *gasoline*, *kerosine*, dan termasuk pelumas<sup>[19]</sup>.

Minyak sering disebut juga dengan trigliserida yang merupakan ester dari gliserol dan asam-asam karboksilat suku tinggi yang berasal dari tumbuhan. Sedangkan istilah lemak biasanya berwujud padat dan berasal dari hewan. Asam-asam karboksilat dari minyak disebut sebagai asam lemak. Asam lemak pada monoalkil ester dapat digunakan sebagai bahan bakar dalam mesin diesel. Karena asam lemak tersusun oleh gugus karboksil yang bersifat polar, dan rantai hidrokarbon yang panjang, hal tersebut menyebabkan trigliserida tidak dapat larut dalam air.

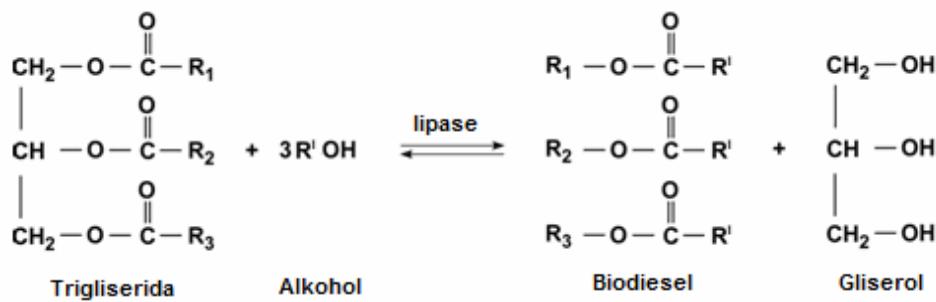
**Tabel 2.1** Kandungan Asam Lemak Terikat pada Trigliserida Minyak Sawit<sup>[19]</sup>

Asam Lemak	Struktur
Asam Laurat (12:0)	$\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{COH} \end{array}$
Asam Palmitat (16:0)	$\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COH} \end{array}$
Asam Stearat (18:0)	$\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COH} \end{array}$
Asam Oleat (18:1)	$\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COH} \end{array}$
Asam Linoleat (18:2)	$\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{CH}_3(\text{CH}_2)_4(\text{CH}=\text{CH CH}_2)_2(\text{CH}_2)_6\text{COH} \end{array}$
Asam Linolenat (18:3)	$\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{CH}_3\text{CH}_2(\text{CH}=\text{CH CH}_2)_2(\text{CH}_2)_6\text{COH} \end{array}$
Asam Eruseat (22:1)	$\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_{11}\text{COH} \end{array}$
Asam Risinoleat (19:2)	$\begin{array}{c} \text{OH} \\    \\ \text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CH CH}_2\text{CH}=\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COH} \end{array}$

### 2.1.1 Rute Alkohol

Transesterifikasi (alkoholisis) merupakan reaksi antara lemak atau minyak nabati dengan alkohol untuk membentuk ester dan gliserol. Reaksi transesterifikasi banyak digunakan untuk mengurangi viskositas dari trigliserida agar dapat digunakan pada biodiesel. Karena semua jenis minyak nabati kandungan utamanya adalah trigliserida, maka lebih dari 95% minyak kelapa sawit terdiri dari campuran trigliserida, yaitu molekul gliserol, masing-masing diesterifikasi dengan tiga asam lemak<sup>[18]</sup>.

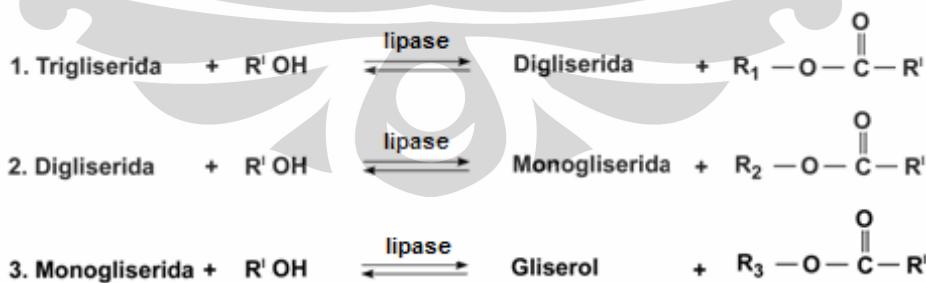
Biasanya dalam reaksi ini digunakan katalis untuk meningkatkan laju reaksi dan jumlah *yield* produk. Karena reaksi ini adalah reaksi reversible, maka digunakan alkohol berlebih untuk menggeser kesetimbangan ke arah produk<sup>[20]</sup>. Reaksi transesterifikasi trigliserida menjadi metil ester dapat dilihat seperti pada **Gambar 2.2**.



**Gambar 2.2 Reaksi Transesterifikasi Trigliserida dengan Alkohol** [22]

R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub> dan R<sub>3</sub> merupakan hidrokarbon panjang yang sering disebut dengan asam lemak, dimana asam lemak tersebut tergantung dari tipe minyak nabati. Rantainya bisa sama antar ketiganya atau berlainan. Alkohol yang digunakan juga dapat berbeda, jika methanol yang digunakan maka akan menghasilkan asam lemak metil ester, tetapi jika etanol yang digunakan menjadi asam lemak etil ester. Metanol merupakan jenis alkohol yang paling sering digunakan dalam proses produksi biodiesel karena harganya yang lebih ekonomis dan memiliki kelebihan secara fisika (merupakan alkohol rantai terpendek) serta kimia (bersifat polar) dan dapat secara cepat bereaksi dengan trigliserida.

Reaksi transesterifikasi sebenarnya terdiri atas beberapa reaksi berurutan yang bersifat reversibel. Trigliserida sebagai penyusun utama minyak nabati akan terkonversi secara bertahap menjadi digliserida, monogliserida, untuk kemudian akhirnya menjadi gliserol. Pada setiap tahapan ini akan dihasilkan satu mol senyawa ester. Meski reaksi bersifat reversibel, tetapi kesetimbangan alami bergerak ke arah pembentukan senyawa ester asam lemak dan gliserol.



**Gambar 2.3 Tahapan Reaksi Transesterifikasi** [22]

Agar suatu reaksi transesterifikasi dapat bereaksi sempurna, secara stoikiometri dibutuhkan alkohol dan trigliserida dengan rasio molar 3:1. Tetapi

pada praktiknya, rasio yang dibutuhkan jauh lebih tinggi untuk mendorong terbentuknya ester secara maksimum [22].

Reaksi transesterifikasi dipengaruhi oleh beberapa aspek, antara lain jenis katalis, jumlah katalis, temperatur, kecepatan pengadukan (agitasi), waktu transesterifikasi, dan rasio mol reaktan. Ada beberapa pilihan katalis reaksi yang dapat digunakan dalam proses transesterifikasi ini, antara lain berupa alkali, katalis asam, atau enzim. Katalis alkali yang biasa digunakan antara lain NaOH, KOH, karbonat, sodium metoksida, sodium etoksida, sodium propoksida, dan sodium butoksida. Katalis asam yang biasa digunakan antara lain asam sulfat, asam sulfonat, dan asam hidroklorida. Sedangkan sebagai katalis enzim dalam proses transesterifikasi biasa digunakan lipase [22].

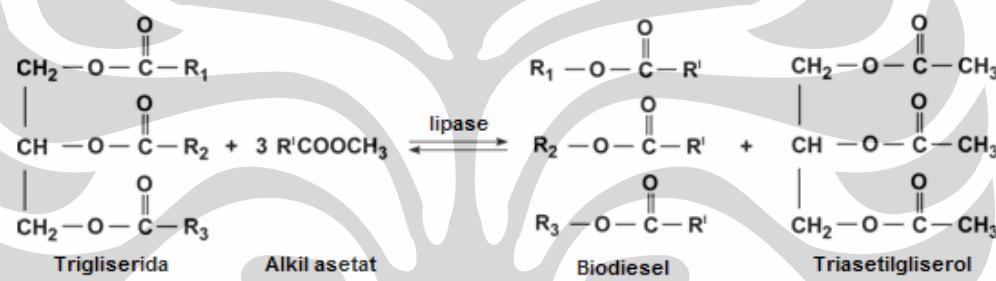
### 2.1.2 Rute Non Alkohol

Biodiesel secara konvensional diproduksi melalui reaksi transesterifikasi gliserida dengan alkohol dan menggunakan katalis asam atau alkali. Tetapi penggunaan katalis asam atau basa pada reaksi sintesis biodiesel ini dapat membentuk reaksi penyabunan yang merupakan reaksi samping yang tidak dikehendaki. Dengan adanya reaksi samping inilah konversi minyak menjadi ester (biodiesel) menjadi kecil dan pada akhirnya membebani proses pemurnian produk, sehingga menurunkan *yield* biodiesel yang pada akhirnya mengakibatkan biaya produksi yang tinggi. Untuk mengatasi masalah di atas, maka dapat digunakan enzim lipase sebagai biokatalis. Penggunaan enzim lipase sebagai biokatalis untuk sintesis biodiesel sangat menjanjikan karena mampu memperbaiki kelemahan katalis alkali, yaitu tidak bercampur homogen, sehingga pemisahannya mudah dan mampu mengarahkan reaksi secara spesifik tanpa reaksi samping yang tidak diinginkan.

Selain kelebihannya, penggunaan lipase sebagai katalis menyisakan masalah yang cukup besar. Lingkungan beralkohol menyebabkan lipase terdeaktivasi secara cepat dan stabilitasnya dalam mengkatalisis reaksi menjadi buruk. Untuk menyelesaikan masalah tersebut, maka dilakukan sintesis biodiesel menggunakan rute non alkohol.

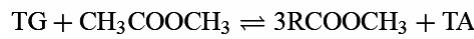
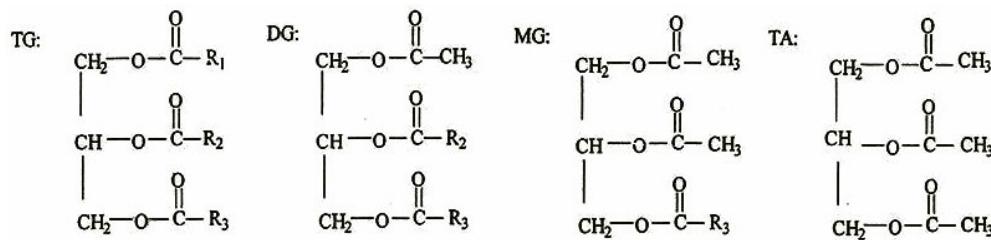
Pada sintesis biodiesel dengan rute non alkohol, metanol digantikan dengan metil asetat sebagai pensuplai gugus metil. Penggantian alkohol dengan alkil asetat ini diharapkan mampu mencegah deaktivasi dan meningkatkan stabilitas enzim lipase selama proses reaksi. Disamping itu, produk samping rute non alkohol ini yaitu *triasetilgliserol* mempunyai nilai jual yang lebih tinggi dibanding produk samping rute alkohol, yaitu gliserol<sup>[3]</sup>.

Sedangkan, untuk memperbaiki beberapa kekurangan penggunaan enzim, seperti: harga enzim yang mahal, ketidak-stabilan enzim, ketersediaan enzim yang sangat sedikit, dan mahalnya biaya untuk *recovery* enzim, maka dapat dilakukan immobilisasi enzim dengan menggabungkan suatu enzim dengan suatu matrik padat (*support*) secara fisik, sehingga enzim dapat digunakan secara berulang kali dan secara kontinyu.

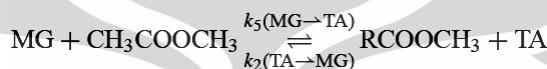
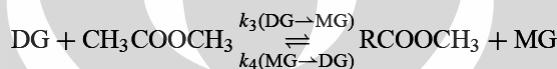
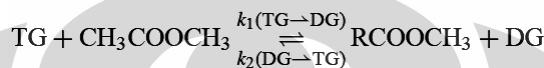


**Gambar 2.4** Reaksi Interesterifikasi Minyak Nabati Melalui Rute Non Alkohol<sup>[4]</sup>

Pada sintesis biodiesel menggunakan rute non alkohol, triglycerida (TG) mengalami reaksi interesterifikasi menjadi digliserida (DG), monogliserida (MG) dan triacylglycerol (TA), dimana pada disetiap tahap tersebut menghasilkan biodiesel (B)<sup>[5]</sup>, dan produk samping berupa *triasetilgliserol* (TAG).



Stepwise reactions:



**Gambar 2.5** Tahapan Reaksi Interesterifikasi Melalui Rute Non Alkohol [5]

Berikut ini merupakan beberapa kelebihan dan kekurangan dari masing-masing rute baik rute alkohol, maupun rute non alkohol:

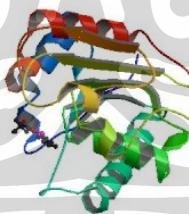
**Tabel 2.2** Perbandingan Kelebihan dan Kekurangan antara Rute Non Alkohol dengan Rute Alkohol [3]

No	Parameter	Perbandingan	
		Rute Non-Alkohol	Rute Alkohol
1	Hasil samping	produk samping yang dihasilkan yakni triasetilgliserol yang mempunyai nilai jual yang lebih tinggi	produk samping yang dihasilkan yakni gliserol yang nilai jualnya lebih rendah dibandingkan dengan triasetilgliserol
2	Mekanisme reaksi	lebih rumit dibandingkan dengan rute alkohol karena ada kaitannya dengan tiga reaksi dari trigliserida menjadi produk	lebih sederhana dibandingkan dengan rute non alkohol
3	Penggunaan biokatalis	tidak mudah terdeaktivasi dan stabilitasnya selama proses reaksi signifikan	mudah terdeaktivasi secara cepat dan stabilitasnya dalam mengkatalis reaksi menjadi buruk

## 2.2 Biokatalis

Biokatalitik merupakan metoda yang tidak asing dalam proses sintesis kimia organik dalam tataran industri. Biokatalis yang berupa enzim, sel mikroba (hidup atau mati), yang terikat dalam matriks atau bebas, secara konvensional telah digunakan untuk mengkonversi bahan baku yang berasal dari bahan organik atau bahan baku yang terbarukan. Namun, pemanfaatannya terus meluas, sehingga digunakan juga untuk mengolah material yang berasal dari bahan bakar fosil. Pemanfaatannya juga begitu beragam, dari biotransformasi senyawa khiral secara enzimatis untuk produksi obat sampai sintesis biodisel<sup>[30]</sup>. Secara umum, enzim digunakan sebagai biokatalis dalam beragam reaksi, seperti hidrolisis, transesterifikasi, dan lain-lain. Sehingga, tidaklah mengherankan, bila biokatalis dianggap sebagai komponen penting dan bagian yang tak terpisahkan dari industri<sup>[19]</sup>.

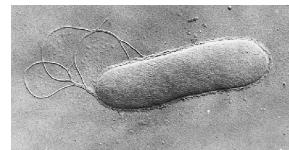
Lipase merupakan enzim yang biasa digunakan dalam mengkatalisis hidrolisis lemak dan minyak menjadi diasilgliserol, monoasilgliserol, asam lemak bebas, dan gliserol<sup>[23]</sup>. Nama lain dari lipase adalah asilgliserol hidrolase, triasilgliserol hidrolase atau gliserol ester hidrolase. Lipase yang berasal dari mikroba merupakan enzim yang diseleksikan oleh mikroba ke dalam medium pertumbuhannya untuk mencerna lemak atau minyak.



**Gambar 2.6 Struktur Lipase<sup>[25]</sup>**

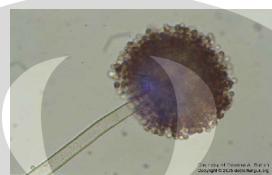
Lipase yang diisolasi dari mikroba dapat digolongkan menjadi tiga kelompok<sup>[23]</sup>. Kelompok tersebut antara lain:

1. Lipase yang menghidrolisis triasilgliserol (TAG) secara acak terhadap posisi asam lemak pada triasilgliserol menjadi asam lemak. Kelompok mikroba tersebut antara lain *Candida sp.* dan *Pseudomonas sp.*. Enzim dapat menghidrolisis ikatan ester secara sempurna, menghasilkan asam lemak bebas dan gliserol.



**Gambar 2.7** *Pseudomonas* sp.<sup>[26]</sup>

2. Lipase yang menghidrolisis spesifik pada posisi 1 dan 3 dari triasilglicerol. Contoh mikroba penghasil tersebut adalah *A. niger* dan *M. miehei* produk yang dihasilkan berupa asam lemak bebas, 1,2-diasilglicerol, dan 2monoasilglicerol.



**Gambar 2.8** *Aspergillus niger*<sup>[26]</sup>

3. Lipase yang menghidrolisis secara spesifik asam lemak tertentu dari trasilglicerol. Contoh mikroba penghasil lipase tersebut adalah *G.candidum* yang mempunyai spesifitas terhadap asam lemak rantai panjang.



**Gambar 2.9** *G. candidum*<sup>[26]</sup>

**Tabel 2.3** Perbandingan Efek Berbagai Lipase dalam Reaksi Esterifikasi<sup>[44]</sup>

<b>Lipase</b>	<b>% Yield</b>
Porcine pancreas (non-immobilized)	22.45
Porcine pancreas (immobilized)	13.79
Lipolase 100T (immobilized)	42.17
<i>Rhizopus arrhizus</i> lipase (non-immobilized)	66.39
<i>Rhizopus arrhizus</i> lipase (immobilized)	26.31
<i>Rhizopus usamii</i> lipase (non-immobilized)	61.18
<i>Rhizopus usamii</i> lipase (immobilized)	20.60
<i>Candida cylindracea</i> (non-immobilized)	19.72
<i>Candida cylindracea</i> (immobilized)	17.20
<i>Candida</i> sp. 99-125 lipase (non-immobilized)	80.50
<i>Candida</i> sp. 99-125 lipase (immobilized)	81.51

Sebagai enzim, lipase memiliki aktivitas yang merupakan ukuran besarnya kemampuan enzim dalam mempercepat reaksi penguraian sumber karbon<sup>[23]</sup>. Aktivitas enzim dinyatakan dalam unit per mL menit di mana 1 unit aktivitas enzim didefinisikan sebagai jumlah yang menyebabkan pengubahan 1 µmol sumber karbon atau 1 µmol produk yang dihasilkan per menit pada kondisi tertentu. Jadi, satu unit aktivitas enzim lipase didefinisikan sebagai jumlah enzim yang dibutuhkan untuk menghidrolisis 1 µmol ikatan per menit pada kondisi pengujian tertentu<sup>[23]</sup>. Aktivitas dari enzim lipase dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain: pH (derajat keasaman), suhu, aktuator, inhibitor, konsentrasi enzim, konsentrasi substrat.

Lipase mempunyai beberapa kelebihan bila dibandingkan dengan katalis lain, karena mempunyai spesifikasi dan stereoselektivitas reaksi yang relatif tinggi, sangat stabil pada pelarut organik dan menunjukkan substrat ketegasan yang luas. Lipase juga mempunyai sifat lebih ramah lingkungan bila dibandingkan dengan katalis lainnya, terutama katalis logam toksik, sehingga lipase mempunyai peranan penting dalam mewujudkan proses dan produk industri yang ramah lingkungan.

Enzim lipase sebagai katalis untuk produksi biodiesel sangat menjanjikan karena mampu memperbaiki kelemahannya katalis alkali<sup>[23]</sup>, yang antara lain:

1. berbeda fasa dengan reaktan atau produk baik dalam bentuk free atau teriimmobilisasi sehingga dapat dipisahkan dari sistem dengan mudah,
2. mampu mengarahkan reaksi secara spesifik tanpa ada nya reaksi samping yang tak diinginkan seperti reaksi penyabunan.

**Tabel 2.4** Perbandingan antara Metode Katalis Basa dengan Biokatalis untuk Produksi Biodiesel<sup>[22]</sup>

	Proses alkali	Proses biokatalis
Suhu reaksi	60 – 70 °C	30 – 40 °C
Yield biodiesel	Normal	Lebih tinggi
Pemisahan biodiesel dari katalis	Pencucian berulang (sulit)	Filtrasi (mudah)
Produk samping yang tak diinginkan	Asam lemak bebas, sabun	Tidak ada

Walaupun enzim lipase sangat menjanjikan untuk digunakan sebagai biokatalis dalam sintesis biodiesel, tetapi penggunaannya memiliki beberapa kelemahan seperti harga enzim yang sangat mahal, ketidakstabilan enzim, ketersediaan enzim yang sangat sedikit, dan mahalnya biaya untuk *recovery* enzim yang digunakan pada reaksi dalam media cair karena sifat enzim yang larut dalam media cair.

Untuk mengatasi masalah tersebut, maka dapat dilakukan immobilisasi enzim dengan menggabungkan enzim dengan suatu matrik padat (*support*) secara fisik, sehingga enzim dapat digunakan secara berulang kali dan secara kontinyu<sup>[29]</sup>. Teknik ini dikembangkan untuk memperbaiki beberapa kekurangan penggunaan enzim. Kelebihan enzim yang ter-imobilisasi dari pada enzim yang terlarut yaitu: sejumlah mikro protein yang terlarut akan lebih cepat bereaksi, hasil akhir reaksi hanya pelarut dan produk itu sendiri, produk lebih mudah dipisahkan, katalis dapat digunakan secara berulang sehingga dapat menghemat pembuatan biokatalis yang mahal, dan enzim yang ter-imobilisasi mempunyai kestabilan yang lebih baik dibandingkan dengan katalis yang terlarut.

Bahan *support* untuk biokatalis merupakan bahan tambahan yang digunakan untuk mengikat enzim agar enzim tidak larut didalam air, yang biasanya berupa polimer. Bahan *support* untuk enzim ini sangat mempengaruhi sekali efek dari kestabilan dan keefektifan penggunaan enzim. Bahan *support* yang biasa digunakan untuk sintesis biodiesel ialah zeolit karena harganya murah, mudah di dapat, serta zeolit memiliki struktur berongga dan biasanya rongga ini berisi air dan kation-kation yang dapat dipertukarkan dan memiliki ukuran pori tertentu. Oleh karena itu zeolit dapat dimanfaatkan sebagai penyaring molekuler, penukar ion, dan katalisator.

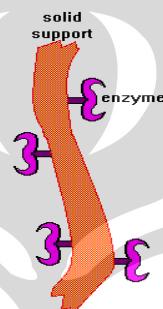
Metoda yang digunakan dalam immobilisasi enzim pada umumnya dapat dilakukan dengan 4 cara<sup>[26]</sup>, yaitu :

1. Adsorpsi

Adsorpsi didasari pada kontak antara enzim dengan permukaan support. Bergantung dengan sifat alami permukaan tersebut, ikatan enzim boleh jadi merupakan hasil dari interaksi ionik, adsorpsi fisik, ikatan hidrofobik atau gaya *van der waals* (atau kontaminasi dari semuanya). Prosedurnya didasarkan pada

pencampuran enzim dengan material support pada kondisi yang tepat, diikuti dengan interaksi hingga periode tertentu, diakhiri dengan proses pemisahan enzim yang tidak larut dengan sentrifugasi atau filtrasi.

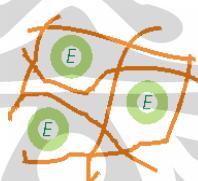
Metode ini merupakan metode yang paling banyak digunakan dalam proses imobilisasi enzim. Metode ini lebih murah, lebih mudah dilakukan, dan memberikan gangguan kestabilan protein yang rendah dibandingkan dengan metode yang lain. Tetapi, metode ini memiliki kelemahan yaitu gaya ikatan antara enzim dengan support umumnya rendah karena terjadinya desorpsi pada enzim.



**Gambar 2.10** Metode Adsorpsi <sup>[26]</sup>

### 2. *Entrapment*

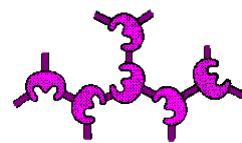
Metode ini pada umumnya digunakan dalam proses imobilisasi sel tapi tidak digunakan dalam proses imobilisasi katalis. Kelemahan utama dari metode ini adalah adanya kemungkinan terjadinya kebocoran secara perlahan jika digunakan secara terus-menerus, karena ukuran partikel sel lebih kecil daripada katalis.



**Gambar 2.11** Metode *Entrapment* <sup>[26]</sup>

### 3. *Cross linking*

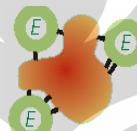
Suatu metode proses imobilisasi enzim dengan menghubungkan secara silang ikatan kovalen antar molekul protein. Metode ini sangatlah mahal dan tidak mencukupi kebutuhan katalis yang besar, selain itu enzim yang terbentuk memiliki aktifitas sangat rendah.



**Gambar 2.12 Metode Cross Linking<sup>[26]</sup>**

#### 4. Covalent binding

Merupakan pembentukan ikatan kovalen antara enzim dengan bahan pendukung (*support*). Keterbatasannya yaitu jika terjadi reaksi antar protein yang tidak terlarut, maka reaksi harus dilakukan dibawah kondisi yang tidak menyebabkan hilangnya aktivitas enzim dan daerah aktif enzim belum tersentuh oleh pereaksinya (*reagents*).



**Gambar 2.13 Metode Covalent Binding<sup>[26]</sup>**

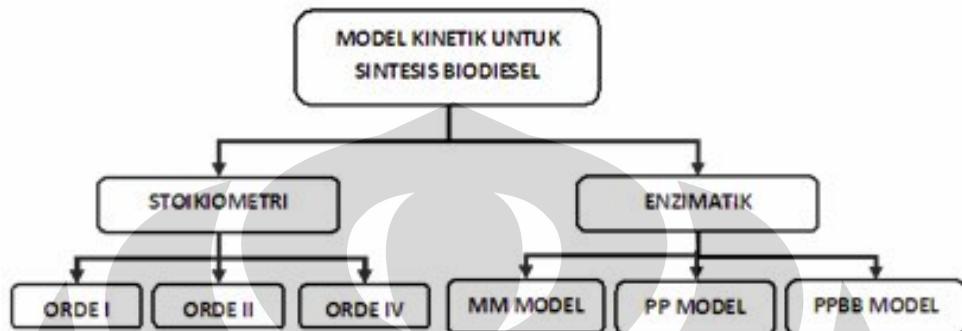
Teknik immobilisasi enzim tersebut dikembangkan untuk memperbaiki beberapa kekurangan penggunaan enzim. Berbagai macam perbandingan metode immobilisasi untuk enzim yang dapat larut dapat dilihat pada tabel 2.9.

**Tabel 2.5 Perbandingan Berbagai Metode Immobilisasi Lipase<sup>[25]</sup>**

Karakteristik	Cross-linking	Adsorpsi Fisik	Ikatan Ionik	Ikatan Logam	Ikatan Kovalen	Entrapping
<b>Preparasi</b>	sedang	mudah	sedang	mudah	sulit	sulit
<b>Gaya ikatan</b>	kuat	lemah	sedang	sedang	kuat	sedang
<b>Aktivitas enzim</b>	rendah	sedang	tinggi	tinggi	tinggi	rendah
<b>Regenerasi carrier</b>	tak mungkin	mungkin	mungkin	mungkin	sangat mungkin	mungkin
<b>Biaya immobilisasi</b>	sedang	rendah	rendah	sedang	tinggi	sedang
<b>Stabilitas</b>	tinggi	rendah	sedang	sedang	tinggi	tinggi
<b>Perlindungan dari kontaminasi</b>	sedikit	tidak ada	tidak ada	tidak ada	tidak ada	ada

### 2.3 Model Mekanisme Kinetika Reaksi Sintesis Biodiesel

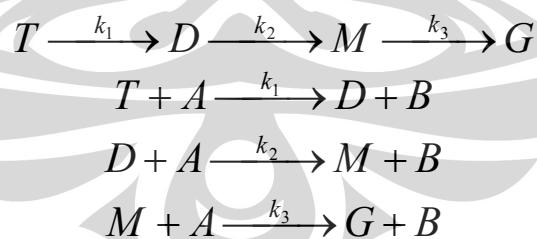
Hingga saat ini telah banyak dibuat berbagai model untuk menggambarkan proses sintesis biodiesel, dimana secara umum model yang ada dapat diklasifikasikan sebagaimana pemetaan pada **Gambar 2.14**.



**Gambar 2.14** Pemetaan Model Kinetik untuk Sintesis Biodiesel

#### 2.3.1 Mekanisme Reaksi Stoikiometri

Reaksi irreversibel dapat didefinisikan sebagai reaksi yang berjalan satu arah saja, dimulai dengan reaktan awal kemudian menghasilkan zat intermediet atau produk akhir. Reaksi bertingkat dapat dipandang sebagai reaksi irreversibel yang berjalan secara berurutan, dimana dapat diklasifikasikan ke dalam 2 jenis yaitu yang berorde satu dan gabungan orde satu serta orde dua. Reaksi bertingkat berorde satu merupakan jenis yang paling sederhana. Skema reaksi bertingkat orde satu dengan tiga tahapan ditunjukkan oleh **Gambar 2.15**.



**Gambar 2.15** Mekanisme Reaksi Bertingkat Irreversibel dengan Tiga Tahapan

Dalam hal ini, D dan M disebut sebagai zat intermediet karena bukan merupakan produk akhir. Pada sintesis biodiesel, trigliserida (T) mengalami reaksi interesterifikasi menjadi digliserida (D), monogliserida dan gliserol (G), dimana disetiap tahap tersebut dihasilkan biodisel (B). Mekanisme di atas dapat dituliskan dalam persamaan laju berikut,

$$\frac{dC_T}{dt} = -k_1 C_T \quad (2.1)$$

$$\frac{dC_D}{dt} = k_1 C_T - k_2 C_D \quad (2.2)$$

$$\frac{dC_M}{dt} = k_2 C_D - k_3 C_M \quad (2.3)$$

$$\frac{dC_G}{dt} = k_3 C_M \quad (2.4)$$

Dengan integrasi dan substitusi persamaan kinetika (2.1) – (2.4) didapatkan persamaan akhir untuk setiap komponen sebagai berikut:

$$C_T = C_{T0} \exp(-k_1 t) \quad (2.5)$$

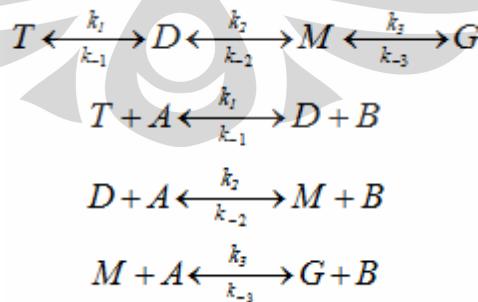
$$C_D = \frac{k_1 C_{T0}}{k_2 - k_1} [\exp(-k_1 t) - \exp(-k_2 t)] + C_{D0} \exp(-k_2 t) \quad (2.6)$$

$$C_M = \left[ \frac{k_1 k_2 C_{T0}}{(k_2 - k_1)(k_3 - k_1)} \right] \exp(-k_1 t) + \left[ \frac{k_1 k_2 C_{T0}}{(k_1 - k_2)(k_3 - k_2)} \right] \exp(-k_2 t) \\ + \left[ \frac{k_1 k_2 C_{T0}}{(k_1 - k_3)(k_2 - k_3)} \right] \exp(-k_3 t) \quad (2.7)$$

dan,

$$C_B = C_{B0} - (C_T + C_D + C_M) \quad (2.8)$$

Untuk reaksi elementer berorde dua, asumsi reaktan yang sangat berlebih tidak lagi digunakan. Penggunaan pendekatan reaksi orde dua inilah yang umum digunakan untuk menggambarkan proses transesterifikasi terigliserida. Mekanisme dapat digunakan ini keadaan alkohol tidak berlebih.



**Gambar 2.16.** Mekanisme Reaksi Bertingkat Reversibel dengan Tiga Tahapan

Dengan notasi A, T, D, M dan B berturut-turut menggambarkan alkohol, trigliserida, digliserida dan biodiesel. Persamaan model dari model berorde dua digambarkan sebagai:

$$\frac{dC_T}{dt} = -k_1 C_T C_A + k_{-1} C_B C_D \quad (2.9)$$

$$\frac{dC_D}{dt} = k_1 C_T C_A - k_{-1} C_B C_D - k_2 C_D C_A + k_{-2} C_B C_M \quad (2.10)$$

$$\frac{dC_M}{dt} = k_2 C_D C_A - k_{-2} C_B C_M - k_3 C_M C_A + k_{-3} C_B C_G \quad (2.11)$$

$$\frac{dC_G}{dt} = k_3 C_M C_A - k_{-3} C_B C_G \quad (2.12)$$

$$\frac{dC_E}{dt} = k_1 C_T C_A - k_{-1} C_B C_D + k_2 C_D C_A - k_{-2} C_B C_M + k_3 C_M C_A - k_{-3} C_B C_G \quad (2.13)$$

$$\frac{dC_A}{dt} = -k_1 C_T C_A + k_{-1} C_B C_D - k_2 C_D C_A + k_{-2} C_B C_M - k_3 C_M C_A + k_{-3} C_B C_G \quad (2.14)$$

Dimana,  $k_1$ ,  $k_2$ , dan  $k_3$  merupakan konstanta reaksi maju, sedangkan  $k_{-1}$ ,  $k_{-2}$ , dan  $k_{-3}$  adalah konstanta reaksi balik.

Untuk kondisi alkohol yang hanya sedikit berlebih mekanisme reaksi dapat digambarkan dengan model kinetik orde dua dengan kombinasi reaksi shunt orde empat yaitu reaksi langsung tiga molekul trigliserida menjadi tiga molekul ester. t.

Perubahan persamaan kinetika akibat menyertakan reaksi shunt ini adalah sebagai berikut.

$$\frac{dC_T}{dt} = -k_1 C_T C_A + k_{-1} C_B C_D - k_4 C_T C_A^3 + k_5 C_A C_G^3 \quad (2.15)$$

$$\frac{dC_G}{dt} = k_3 C_M C_A - k_{-3} C_B C_G + k_4 C_T C_A^3 - k_5 C_G C_B^3 \quad (2.16)$$

$$\begin{aligned} \frac{dC_E}{dt} = & k_1 C_T C_A - k_{-1} C_B C_D + k_2 C_D C_A - k_{-2} C_B C_M + k_3 C_M C_A - k_{-3} C_B C_G \\ & + k_4 C_T C_A^3 - k_5 C_G C_B^3 \end{aligned} \quad (2.17)$$

$$\frac{dC_A}{dt} = \frac{-dC_B}{dt} \quad (2.18)$$

Dimana,  $k_4$  merupakan konstanta reaksi maju pada reaksi langsung (tak bertahap), sedangkan  $k_5$ , adalah konstanta reaksi balik pada reaksi langsung (tak bertahap).

### 2.3.2 Mekanisme Reaksi Enzimatik

Enzim merupakan suatu protein dengan berat molekul tinggi yang saling berikatan oleh ikatan peptida. Dalam fungsinya sebagai katalis reaksi, enzim dapat mengurangi kebutuhan energi sehingga reaksi dapat berjalan. Mekanisme tersebut muncul karena berikatannya reaktan (substrat) dengan enzim membentuk suatu kompleks enzim-substrat, yang membuat substrat menjadi lebih aktif.

Reaksi dari suatu enzim dengan suatu substrat akan melibatkan pembentukan produk tengah (intermediate) yang kemudian beraksi kembali dengan substrat yang lain atau terdekomposisi untuk membentuk produk. Secara khas, data laju dari sebuah enzim akan dilaporkan sebagai data laju awal, dimana laju pengurangan substrate atau pembentukan produk ditentukan dari periode waktu yang sangat pendek yang mengikuti (tergantung) dari awal mula sebuah reaksi. Pengaruh konsentrasi substrat terhadap laju awal reaksi merupakan konsep utama dari kinetika enzimatik. Ketika data percobaan reaksi secara enzimatik didapat, lalu di plot antara laju awal reaksi terhadap konsentrasi substrat, maka kebanyakan reaksi secara enzimatik cenderung menunjukkan kurva hiperbola yang *rectangular*.

#### 2.3.2.1 Mekanisme Reaksi Enzimatis yang Melibatkan Satu Substrat dan Satu Produk

##### 1. Mekanisme Reaksi Enzimatis Berbasis Michaelis-Menten

Michaelis dan Menten memperoleh perumusan yang sangat baik dari data percobaan yang mendukung analisis mereka terhadap adanya ketergantungan laju awal reaksi substrat dan konsentrasi enzim. Mereka mengemukakan bahwa apabila enzim dan substrat dikombinasikan, maka akan memberikan sebuah enzim-substrat kompleks, diasumsikan reaksinya bersifat reversibel dan berlangsung sangat cepat, dengan tidak adanya perubahan kimia yang ditemukan pada substrat.

Substrat dipengaruhi oleh gaya (dorongan) secara fisik yang diberikan enzim. Sifat kompleks ini kemudian mengarah terhadap terjadinya perubahan kimia, menghasilkan pembentukan produk dan pelepasan produk oleh enzim, dengan orde pertamanya tergantung terhadap konsentrasi enzim-substrat kompleks.

Secara sistematis, mekanisme reaksi berbasis Michaelis – Menten dapat dituliskan seperti pada **Gambar 2.17**.



**Gambar 2.17** Mekanisme Reaksi Enzimatik Berbasis Michaelis – Menten

Biokatalis (E) bereaksi dengan substrat (T) trigliserida membentuk kompleks substrat-biokatalis (ET), selanjutnya dilepaskan produk biodiesel (B). Dimana,  $k_1$ : konstanta laju reaksi pembentukan enzim-substrat kompleks,  $k_2$ : konstanta laju reaksi penguraian substrat yang tak berubah dalam enzim, dan  $k_p$ : konstanta laju reaksi pembentukan produk yang terpisah dari enzim.

Laju reaksi untuk masing-masing komponennya adalah sebagai berikut:

$$v_E = \frac{dC_E}{dt} = -k_1 C_E C_T + k_{-1} C_{ET} + k_2 C_{ET} \quad (2.19)$$

$$v_T = \frac{dC_T}{dt} = -k_1 C_E C_T + k_{-1} C_{ET} \quad (2.20)$$

$$v_{ET} = \frac{dC_{ET}}{dt} = k_1 C_E C_T - k_{-1} C_{ET} - k_2 C_{ET} \quad (2.21)$$

$$v_B = \frac{dC_B}{dt} = k_2 C_{ET} \quad (2.22)$$

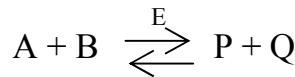
Dengan asumsi keadaan *pseudo-steady state* pada konsentrasi kompleks enzim, maka diperoleh persamaan:

$$v = \frac{v_{\max} C_T}{K_m + C_T} \quad (2.23)$$

Dimana  $v_{\max}$  merupakan laju reaksi tercepat pada konsentrasi substrat yang tinggi, dan  $K_m$  merupakan konstanta Michaelis – Menten.

### 2.3.2.2 Mekanisme Reaksi Enzimatis yang Melibatkan Dua Substrat dan Dua Produk

Saat terjadi reaksi antara dua spesies substrat, persamaan laju secara *steady state* menjadi lebih rumit dibandingkan dengan reaksi yang hanya melibatkan satu substrat. Sebagian besar reaksi biokimiawi melibatkan sedikitnya dua substrat sehingga enzim yang terlibat tidak hanya mengubah satu substrat, melainkan dapat mengkatalisis perubahan dua substrat dan menghasilkan dua produk.



**Gambar 2.18** Mekanisme Reaksi Enzimatik yang Melibatkan Dua Substrat

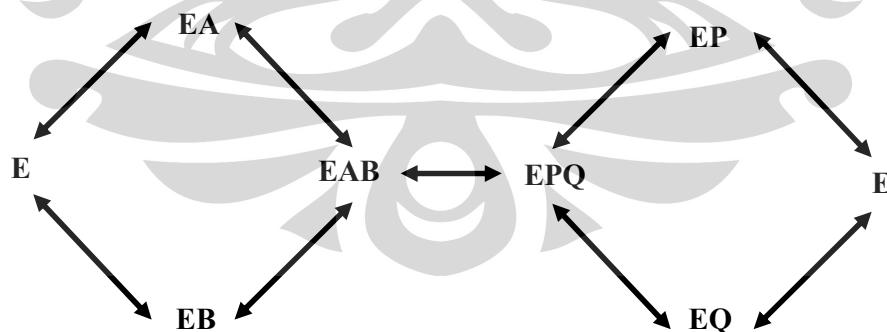
Biokatalis (E) bereaksi dengan substrat (T) trigliserida dan substrat (A) membentuk produk utama biodiesel (B) dan produk samping (G). Terdapat tiga kemungkinan mekanisme yang dapat terjadi pada reaksi enzimatik dengan dua substrat, antara lain meliputi mekanisme kompleks terner acak, mekanisme kompleks terner teratur dan mekanisme Ping-Pong Bi Bi.

### 1. Mekanisme Reaksi Enzimatik Kompleks Terner Acak

Dalam mekanisme kompleks terner acak ini, enzim (E) membentuk kompleks biner (EA) dan (EB) bersama kedua substrat (A) dan (B). Kemudian enzim juga membentuk kompleks terner (EAB) dengan mengikat (A) atau (B) secara acak tanpa pengaturan. Penurunan persamaan laju untuk mekanisme ini cenderung rumit. Beberapa penyederhanaan dapat dibuat dengan mengasumsikan laju perubahan (EAB) menjadi (EA) atau (EB) sangat lambat sehingga (EA), (EB) dan (EAB) dianggap berada dalam kondisi kesetimbangan. Persamaan laju akan berkurang menjadi:

$$v = \frac{VC_A C_B}{K_{1A} K_{mB} + K_{mB} C_A + K_{mA} C_B + C_A C_B} \quad (2.24)$$

dimana , v merupakan laju reaksi, V adalah laju reaksi maksimum,  $K_{1A}$ ,  $K_{mA}$  dan  $K_{mB}$  merupakan konstanta.



**Gambar 2.19** Mekanisme Reaksi Enzimatik Kompleks Terner Acak

Jika konsentrasi B dipertahankan konstan, variasi v terhadap  $C_A$  menjadi mirip dengan bentuk Michelis-Menten. Hal ini dapat diperlihatkan pada kondisi dimana B dalam kondisi yang berlebih.

Karena itu, jika  $C_B$  cukup besar maka dua suku pertama pada penyebut persamaan (2.24) dapat diabaikan dan menghasilkan:

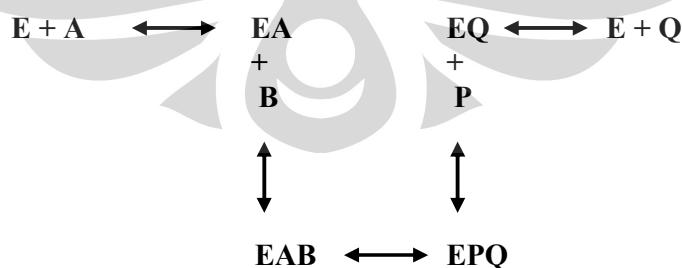
$$v = \frac{VC_A}{K_{mA} + C_A} \quad (2.25)$$

Persamaan ini mirip dengan bentuk persamaan Michealis Menten, dengan demikian  $K_{mA}$  merupakan konstanta Michealis untuk substrat (A) dalam kondisi substrat (B) yang berlebih. Sama halnya, jika (A) dalam kondisi yang berlebih maka dihasilkan persamaan,

$$v = \frac{VC_B}{K_{mB} + C_B} \quad (2.26)$$

## 2. *Mekanisme Reaksi Enzimatik Kompleks Terner Teratur (Ordered Bi Bi Mechanism)*

Pada pemodelan reaksi enzimatis yang melibatkan dua substrat dan dua produk, mekanisme lain yang dapat muncul adalah mekanisme kompleks terner yang teratur, dimana mekanisme ini dipakai untuk asumsi reaksi esterifikasi sederhana. Asumsi yang dipakai pada kinetika ini adalah dengan menganggap asam lemak (A) merupakan reaktan pertama yang terlibat dan menghasilkan kompleks aktif enzim-asam (EA). Kemudian alkohol (B) akan bergabung menjadi kompleks terner enzim-asam-alkohol (EAB). Dari kompleks ini, kemudian akan membentuk kompleks baru yaitu kompleks enzim-ester-air (EPQ). Selanjutnya molekul ester (P) akan dilepaskan dan terakhir molekul air (Q) dilepaskan dari enzim (E).

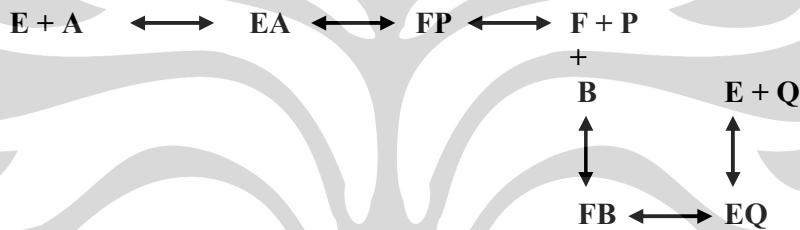


**Gambar 2.20** Mekanisme Reaksi Enzimatik Kompleks Terner Teratur

Sebagai contoh, kompleks terner (EAB) dapat terbentuk dari kompleks biner (EA) dengan tambahan (B), tetapi tidak dari kompleks (EB) dengan tambahan (A). Pada mekanisme ini substrat harus terikat dengan urutan yang khusus dan teratur. Mekanisme ini memiliki bentuk persamaan laju yang sama dengan mekanisme kompleks terner acak untuk persamaan (2.24), hanya saja pada mekanisme kompleks terner teratur memiliki perbedaan pada signifikansi setiap konstantanya.

### 3. Mekanisme Reaksi Enzimatik Berbasis Ping Pong

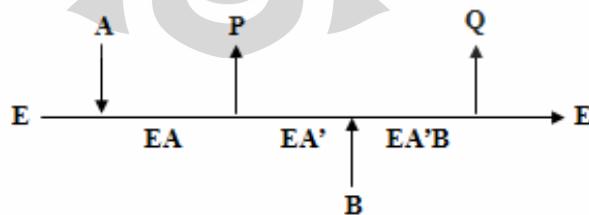
Mekanisme ping pong dapat dipakai untuk menjelaskan katalisis oleh lipase. Mekanisme ini secara umum menjelaskan reaksi interesterifikasi dan transesterifikasi. Berikut adalah skema reaksi dari mekanisme ping pong yang dijelaskan oleh Garcia.



Gambar 2.21. Mekanisme Ping Pong

### 4. Mekanisme Reaksi Enzimatik Berbasis Ping Pong Bi Bi

Model kinetika berbasis mekanisme Ping-Pong Bi Bi dikembangkan untuk lebih mendekati fenomena reaksi biokatalis yang melibatkan dua reaktan dan dua produk. Secara eksperimen, mekanisme ini disebut sebagai mekanisme Ping-Pong Bi Bi. ‘Bi’ yang pertama mengidentifikasi terdapat dua reaktan pada reaksi, dan ‘Bi’ yang kedua adalah untuk dua produk yang dihasilkan.



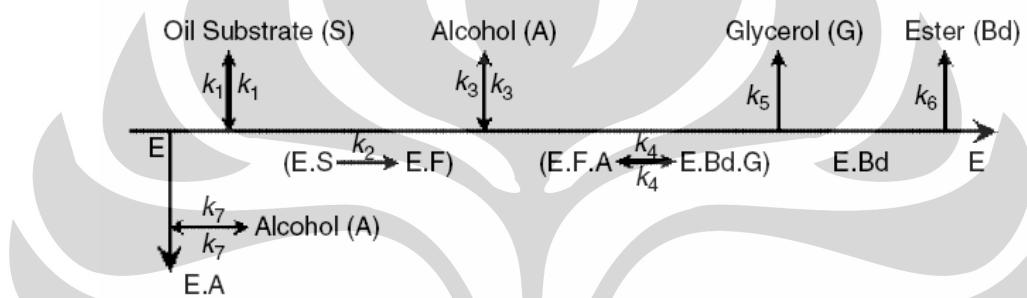
Gambar 2.22 Mekanisme Ping Pong Bi Bi

Dengan mengaplikasikan kondisi steady-state pada mekanisme ini diperoleh persamaan laju berbentuk

$$v = \frac{VC_A C_B}{K_{mR} C_A + K_{m4} C_R + C_A C_R} \quad [2.27]$$

Persamaan ini mirip dengan persamaan (2.24) dengan menghilangkan suku pertama pada penyebutnya.

Mekanisme Ping pong Bi Bi dapat dimodifikasi pada esterifikasi trigliserida berkatalis lipase dengan inhibisi kompetitif alkohol. Skema keseluruhan yang diusulkan adalah sebagai berikut.

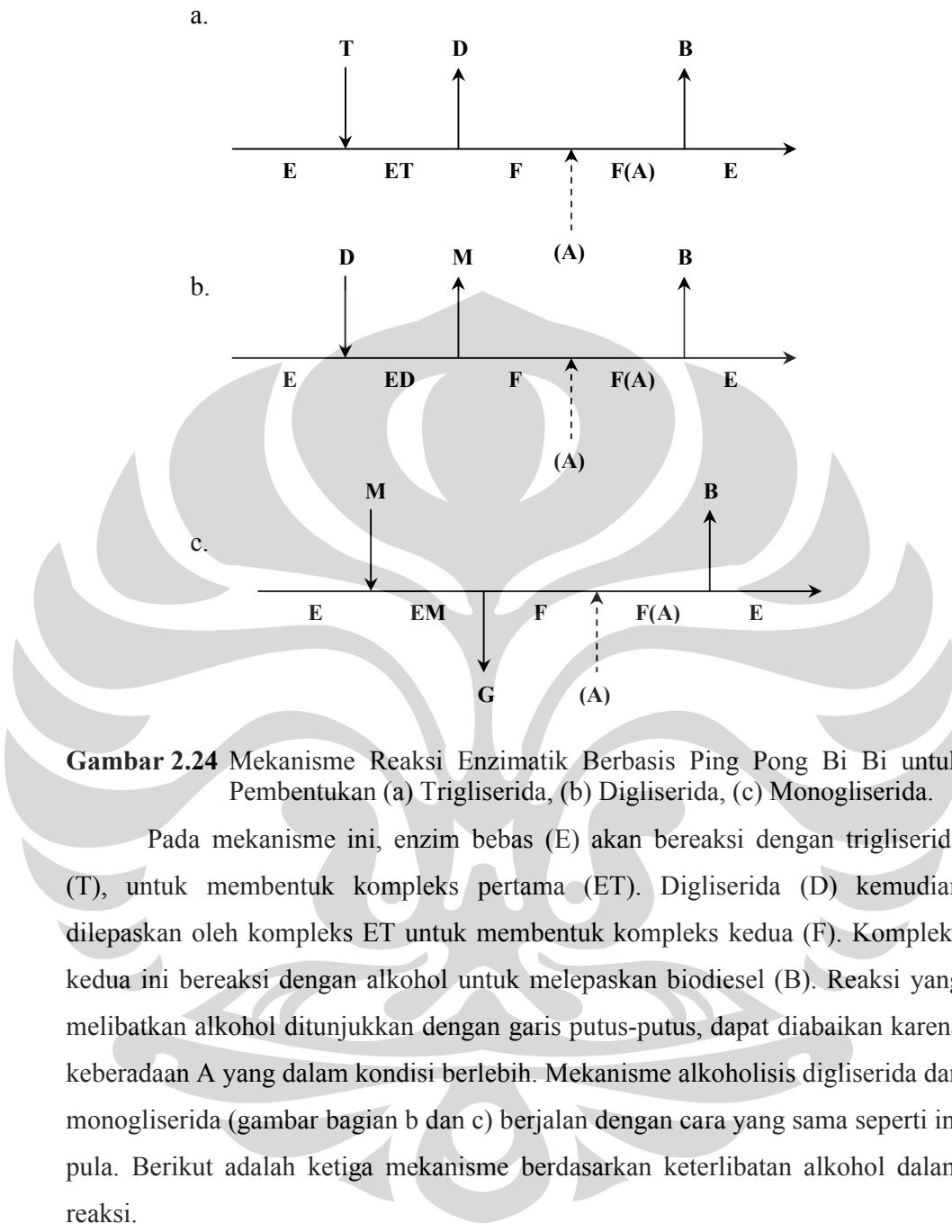


**Gambar 2.23** Esterifikasi Trigliserida Berkatalis Lipase dengan Inhibisi Kompetitif Alkohol

Persamaan yang menyatakan laju reaksi trigliserida untuk mekanisme seperti di atas adalah sebagai berikut:

$$v = k_6 C_{EBd} = \frac{V_{\max} C_S}{1 + K_{IS} C_S + \frac{K_S}{C_S} \left( 1 + \frac{C_A}{K_{IA}} \right) + \frac{K_A}{C_A}} \quad (2.28)$$

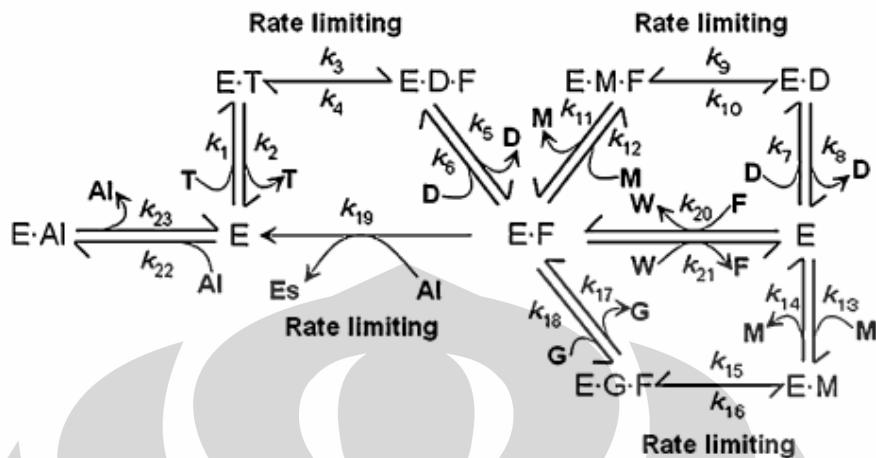
Pada reaksi transesterifikasi, model ping pong bi bi dapat diturunkan berdasarkan keterlibatan alkhol dalam reaksi. Terdapat tiga mekanisme berbeda yang menjelaskan dimana alkohol mulai terlibat dalam reaksi.



**Gambar 2.24** Mekanisme Reaksi Enzimatik Berbasis Ping Pong Bi Bi untuk Pembentukan (a) Trigliserida, (b) Digliserida, (c) Monogliserida.

Pada mekanisme ini, enzim bebas (E) akan bereaksi dengan trigliserida (T), untuk membentuk kompleks pertama (ET). Digliserida (D) kemudian dilepaskan oleh kompleks ET untuk membentuk kompleks kedua (F). Kompleks kedua ini bereaksi dengan alkohol untuk melepaskan biodiesel (B). Reaksi yang melibatkan alkohol ditunjukkan dengan garis putus-putus, dapat diabaikan karena keberadaan A yang dalam kondisi berlebih. Mekanisme alkoholisis digliserida dan monogliserida (gambar bagian b dan c) berjalan dengan cara yang sama seperti ini pula. Berikut adalah ketiga mekanisme berdasarkan keterlibatan alkohol dalam reaksi.

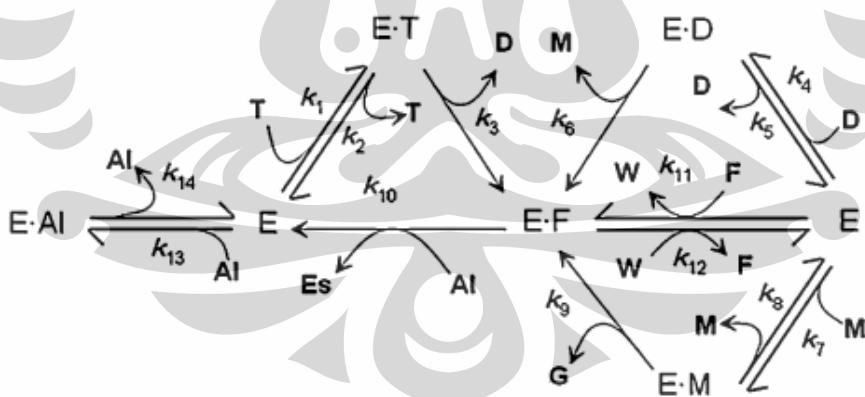
- Mekanisme I



Gambar 2.25 Skema Konseptual untuk Mekanisme I

Pada mekanisme I, reaksi untuk produksi ester diklasifikasikan menjadi dua kelompok: hidrolisis dan esterifikasi. Reaksi hidrolisis merupakan reaksi yang menghasilkan asam lemak bebas termasuk juga tahapan proses hidrolisis trigliserida, digliserida, dan monogliserida. Reaksi esterifikasi berlangsung pada fatty acid ethyl ester dengan etanol berlebih.

- Mekanisme II

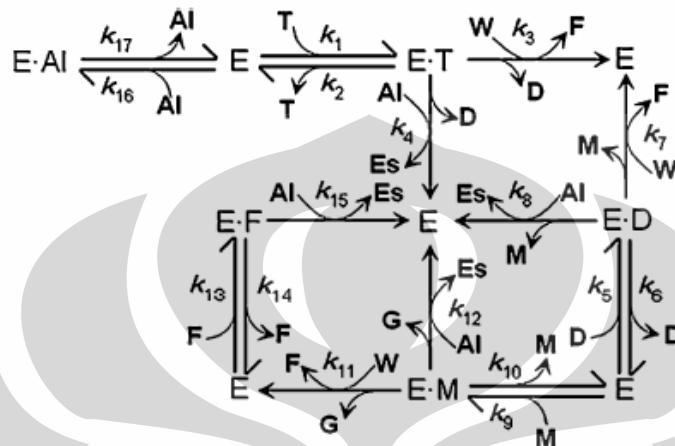


Gambar 2.26 Skema Konseptual untuk Mekanisme II

Mekanisme II berbeda dengan mekanisme I dalam hal dekompleksasi enzim dan produk intermediet setelah reaksi hidrolisis. Hal ini bisa terjadi jika substrat terikat langsung ke sisi aktif enzim, kemudian terbentuk kompleks asil

campuran dan produk intermediet hidrolisis akan dilepaskan selanjutnya. Untuk menyederhanakan mekanisme, diasumsikan bahwa dekompleksasi produk intermediet dari komplek asil campuran setelah hidrolisis terjadi sangat cepat.

- Mekanisme III



**Gambar 2.27** Skema Konseptual untuk Mekanisme III

Mekanisme III berbeda dari mekanisme I dan II dari segi kinetik dalam hal pemakaian molekul etanol. Mekanisme III memakai dasar asumsi transesterifikasi yang terjadi berlangsung dengan mekanisme alkoholisis langsung dari trigliserida daripada dengan dua tahapan reaksi hidrolisis dan esterifikasi. Dalam mekanisme III reaksi katalitik dibagi menjadi dua bagian, yaitu tahap hidrolisis untuk memproduksi asam lemak bebas dan tahap etanolisis untuk memproduksi fatty acid ethyl ester secara langsung. Reaksi ini berjalan secara simultan.

#### 2.4 Metode Runge-Kutta Orde 4

Metode Runge-Kutta orde 4 merupakan metode numerik untuk menyelesaikan persamaan diferensial biasa (persamaan diferensial orde satu) dalam bentuk:

$$\frac{dy}{dx} = f(x, y), y(0) = y_0 \quad (2.29)$$

Metode runge kutta orde 4 berdasarkan pada persamaan berikut:

$$y_{i+1} = y_i + (a_1 k_1 + a_2 k_2 + a_3 k_3 + a_4 k_4)h \quad (2.30)$$

Ketika diketahui nilai  $y = y_i$  pada  $x_i$ , dapat dicari nilai  $y = y_{i+1}$  pada  $x_{i+1}$ , dan  $h = x_{i+1} - x_i$

Persamaan (2.30) dapat dicari solusinya dengan menurunkan dari deret Taylor.

$$\begin{aligned} y_{i+1} = y_i + \frac{dy}{dx}\Big|_{x_i, y_i} (x_{i+1} - x_i) + \frac{1}{2!} \frac{d^2 y}{dx^2}\Big|_{x_i, y_i} (x_{i+1} - x_i)^2 + \frac{1}{3!} \frac{d^3 y}{dx^3}\Big|_{x_i, y_i} (x_{i+1} - x_i)^3 \\ + \frac{1}{4!} \frac{d^4 y}{dx^4}\Big|_{x_i, y_i} (x_{i+1} - x_i)^4 \end{aligned} \quad (2.31)$$

Diketahui bahwa  $\frac{dy}{dx} = f(x, y)$  dan  $x_{i+1} - x_i = h$ , maka,

$$y_{i+1} = y_i + f(x_i, y_i)h + \frac{1}{2!} f'(x_i, y_i)h^2 + \frac{1}{3!} f''(x_i, y_i)h^3 + \frac{1}{4!} f'''(x_i, y_i)h^4 \quad (2.32)$$

Berdasarkan persamaan [2.31] dan [2.32], solusi persamaannya adalah

$$y_{i+1} = y_i + \frac{1}{6} (k_1 + 2k_2 + 2k_3 + a_4 k_4)h \quad (2.33)$$

dengan,

$$k_1 = f(x_i, y_i) \quad (2.34)$$

$$k_2 = f\left(x_i + \frac{1}{2}h, y_i + \frac{1}{2}k_1 h\right) \quad (2.35)$$

$$k_3 = f\left(x_i + \frac{1}{2}h, y_i + \frac{1}{2}k_2 h\right) \quad (2.36)$$

$$k_4 = f(x_i + h, y_i + k_2 h) \quad (2.37)$$

## 2.5 State of The Art : Pemetaan Model Kinetika Sintesis Biodiesel

Pemodelan kinetika dalam sintesis biodiesel yang telah dilakukan di dunia hingga saat ini didominasi oleh model kinetika rute alkohol baik berbasis enzim maupun non enzim. Penelitian terhadap pemodelan sintesis biodiesel berbasis mekanisme Michaelis – Menten pada rute alkohol baru dilakukan oleh Baghwat, et al. untuk inhibisi substrat maupun produk, dan Torres, et al., untuk inhibisi produk, serta Zeng, et al. untuk mekanisme Michaelis – Menten non inhibisi.

Sedangkan pada rute non alkohol, berdasarkan data tersebut, belum pernah ada peneliti yang melakukan pemodelan kinetika enzimatik berbasis mekanisme Michaelis – Menten baik inhibisi maupun non inhibisi. Sehingga diharapkan penelitian yang dilakukan dapat melengkapi penelitian yang telah ada di dunia saat ini, dan dapat memberikan kontribusi yang cukup besar bagi pengembangan riset mengenai sintesis biodiesel.

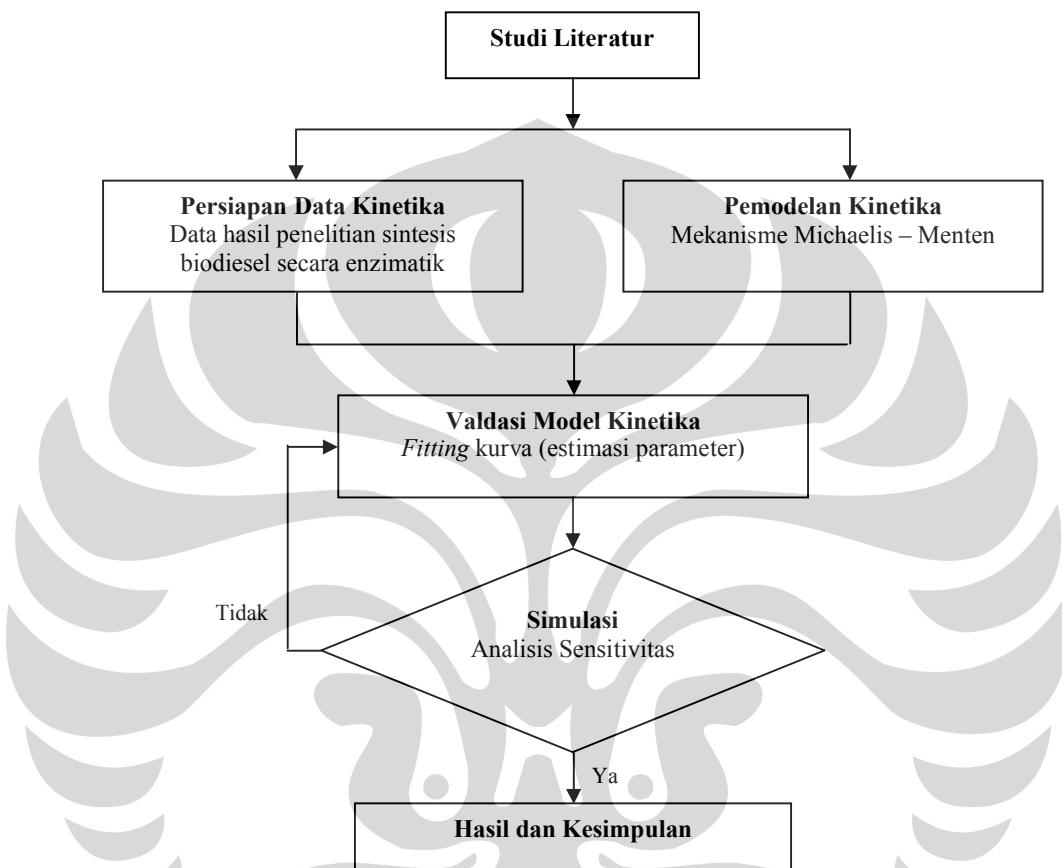
**Tabel 2.6** Pemodelan Sintesis Biodiesel yang Pernah Dilakukan

PEMETAAN KINETIKA SINTESIS BIODIESEL		Rute Alkohol		Rute Non Alkohol	
		Non Enzim	Enzim	Non Enzim	Enzim
Ping Pong Bi - Bi	Non Inhibisi				
	Inhibisi	Produk			Hermansyah, H. (2009) <sup>[45]</sup>
Michaelis Menten	Non Inhibisi		Zeng (2009) <sup>[49]</sup>		Riset ini
	Inhibisi	Produk	Torres (2004) <sup>[47]</sup> Baghwat (2005) <sup>[6]</sup>		
		Substrat	Baghwat (2005) <sup>[6]</sup>		
Stoikiometri	Orde 1		Diasakou (1997) <sup>[33]</sup> Karmee (2004) <sup>[34]</sup> Kusdiana (1999) <sup>[35]</sup> Ognjanovic (2009) <sup>[48]</sup>	Paola (2009) <sup>[50]</sup>	Ognjanovic (2009) <sup>[48]</sup>
	Orde 2		Vicente (2005) <sup>[36]</sup> Vicente (2006) <sup>[37]</sup> Noureddini (1997) <sup>[38]</sup> Colucci (2005) <sup>[39]</sup> Darnoko (2000) <sup>[40]</sup> Karmee (2004) <sup>[34]</sup>		
	Orde 4		Noureddini (1997) <sup>[38]</sup>		

## BAB 3

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

Pada penelitian ini terdapat beberapa prosedur penting yang harus dilakukan, antara lain:

1. Studi literatur.

Mengumpulkan dan mempelajari literatur mengenai biodiesel dan mekanisme kinetika biokatalitik dari beberapa sumber, seperti: jurnal ilmiah (nasional dan internasional), jurnal on-line, text book, dan beberapa fasilitas perpustakaan.

## 2. Persiapan data kinetika.

Mengumpulkan data kinetika berupa profil konsentrasi substrat dan produk selama waktu tertentu, yang diperoleh dari beberapa hasil penelitian mengenai sintesis biodiesel secara enzimatik, baik yang berasal dari skripsi yang berasal dari Departemen Teknik Kimia, Universitas Indonesia, maupun hasil yang telah dipublikasikan dalam jurnal.

## 3. Pemodelan kinetika.

Dalam sintesis biodiesel secara enzimatik, enzim dipergunakan untuk mengkatalisis reaksi. Oleh karena itu, digunakan model kinetika berbasis Michaelis – Menten yang mempertimbangkan mekanisme reaksi biokatalisis.

## 4. Validasi model kinetika (Estimasi parameter)

Melakukan validasi menggunakan metode *fitting* kurva berdasarkan mekanisme model Michaelis – Menten dan data kinetika dari hasil penelitian sintesis biodiesel secara enzimatik untuk memperoleh parameter – parameter kinetika.

## 5. Simulasi (Analisis Sensitivitas)

Menguji sensitifitas dan kelayakan terhadap parameter – parameter yang diperoleh melalui *fitting* antara hasil perhitungan dengan hasil eksperimen untuk menilai *reliability* dari model yang digunakan, sebelum akhirnya dilakukan simulasi untuk memperkirakan profil konsentrasi biodiesel pada kondisi operasi yang belum dilakukan dalam penelitian.

## 6. Hasil dan kesimpulan

### 3.2 Pemodelan Kinetika Berbasis Mekanisme Michaelis – Menten

Dalam setiap reaksi yang berlangsung untuk membentuk suatu produk, reaksi tersebut akan memiliki mekanisme reaksi tersendiri yang dapat dirumuskan atau dimodelkan menggunakan persamaan parametrik tertentu. Adanya pengaruh substrat dan katalis yang digunakan terhadap pembentukan produk dalam rentang waktu tertentu membuat setiap reaksi dapat dianalisa menggunakan pemodelan sederhana secara aljabar. Oleh karena itu, untuk mengetahui sifat dan perilaku dari reaksi enzimatik dalam sintesa biodiesel, maka digunakan pemodelan

menggunakan mekanisme reaksi sederhana berbasis Michaelis-Menten, dimana dalam reaksi biokatalitik tersebut hanya terdapat satu substrat tunggal.

### 3.2.1 Penurunan Model Kinetika Berbasis Michaelis – Menten



**Gambar 3.2** Reaksi Enzimatik Berbasis Michaelis – Menten Non Inhibisi dan Non Adsorpsi

Di sini biokatalis (E) bereaksi dengan substrat (S) triglycerida membentuk kompleks substrat-biokatalis (ES), selanjutnya dilepaskan produk biodiesel (B). Dimana,  $k_1$ : konstanta laju reaksi pembentukan enzim-substrat kompleks,  $k_{-1}$ : konstanta laju reaksi penguraian substrat yang tak berubah dalam enzim, dan  $k_2$ : konstanta laju reaksi pembentukan produk yang terpisah dari enzim.

- Jika laju reaksi pembentukan produk adalah  $v_B = \frac{C_B}{dt}$ , maka laju reaksi untuk masing-masing komponennya adalah sebagai berikut:

$$v_E = \frac{d C_E}{dt} = -k_1 C_E C_S + k_{-1} C_{ES} + k_2 C_{ES} \quad (3.1a)$$

$$v_S = \frac{d C_S}{dt} = -k_1 C_E C_S + k_{-1} C_{ES} \quad (3.2a)$$

$$v_{ES} = \frac{d C_{ES}}{dt} = k_1 C_E C_S - k_{-1} C_{ES} - k_2 C_{ES} \quad (3.3a)$$

$$v_B = \frac{d C_B}{dt} = k_2 C_{ES} \quad (3.4a)$$

- Dengan asumsi keadaan *pseudo-steady state* pada konsentrasi kompleks enzim  $\frac{d C_{ES}}{dt} = 0$ , maka:
- $$\frac{d C_{ES}}{dt} = k_1 C_E C_S - k_{-1} C_{ES} - k_2 C_{ES} = 0$$

$$k_1 C_E C_S = C_{ES} (k_{-1} + k_2)$$

$$C_{ES} = \frac{k_1 C_E C_S}{k_{-1} + k_2} \quad (3.5a)$$

Dengan metode substitusi persamaan (3.5a) ke dalam persamaan (3.2a) dan (3.4a), maka diperoleh:

$$\begin{aligned}
 \frac{dC_S}{dt} &= -k_1 C_E C_E + k_{-1} C_{ES} \\
 &= -k_1 C_E C_S + k_{-1} \left( \frac{k_1 C_E C_S}{k_{-1} + k_2} \right) \\
 &= C_E C_S \left( \frac{-k_1 + k_{-1} k_1}{k_{-1} + k_2} \right) \\
 &= C_E C_S \left( \frac{-k_1 k_{-1} - k_1 k_2 + k_1 k_{-1}}{k_{-1} + k_2} \right) \\
 &= -C_E C_S \left( \frac{k_1 k_2}{k_{-1} + k_2} \right)
 \end{aligned} \tag{3.6a}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{dC_B}{dt} &= k_2 C_{ES} \\
 &= k_2 \left( \frac{k_1 C_E C_S}{k_{-1} + k_2} \right) \\
 &= C_E C_S \left( \frac{k_1 k_2}{k_{-1} + k_2} \right)
 \end{aligned} \tag{3.7a}$$

➤ Neraca Massa, total konsentrasi dari enzim bebas dan kompleks enzim ialah:

$$\begin{aligned}
 C_{E,TOTAL} &= C_E + C_{ES} \\
 C_{E,TOTAL} &= C_E + \frac{k_1 C_E C_S}{k_{-1} + k_2} \\
 C_{E,TOTAL} &= C_E \left( 1 + C_S \frac{k_1}{k_{-1} + k_2} \right) \\
 C_E &= \frac{C_{E,TOTAL}}{\left( 1 + C_S \frac{k_1}{k_{-1} + k_2} \right)}
 \end{aligned} \tag{3.8a}$$

Dengan metode substitusi persamaan (3.8a) ke dalam persamaan (3.6a) dan (3.7a), maka diperoleh:

$$\begin{aligned}
 \frac{dC_S}{dt} &= -C_E C_S \left( \frac{k_1 k_2}{k_{-1} + k_2} \right) \\
 &= -\frac{C_{E,TOTAL}}{\left( 1 + C_S \frac{k_1}{k_{-1} + k_2} \right)} C_S \left( \frac{k_1 k_2}{k_{-1} + k_2} \right)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= -\frac{C_{E,TOTAL} C_S \left( \frac{k_1 k_2}{k_{-1} + k_2} \right)}{\left( 1 + C_S \frac{k_1}{k_{-1} + k_2} \right)} \\
\frac{dC_B}{dt} &= C_E C_S \left( \frac{k_1 k_2}{k_{-1} + k_2} \right) \\
&= \frac{C_{E,TOTAL}}{\left( 1 + C_S \frac{k_1}{k_{-1} + k_2} \right)} C_S \left( \frac{k_1 k_2}{k_{-1} + k_2} \right) \\
&= \frac{C_{E,TOTAL} C_S \left( \frac{k_1 k_2}{k_{-1} + k_2} \right)}{\left( 1 + C_S \frac{k_1}{k_{-1} + k_2} \right)}
\end{aligned}$$

Jika  $\frac{k_1}{k_{-1} + k_2} = K_M$ , dan  $k_2 K_M C_{E,TOTAL} = V_{Max}$ , maka:

$$v_S = \frac{dC_S}{dt} = -\frac{k_2 K_M C_{E,TOTAL} C_S}{1 + K_M C_S}$$

$$v_S = \frac{dC_S}{dt} = -\frac{V_{Max} C_S}{1 + K_M C_S}$$

$$v_B = \frac{dC_B}{dt} = \frac{k_2 K_M C_{E,TOTAL} C_S}{1 + K_M C_S}$$

$$v_B = \frac{dC_B}{dt} = \frac{V_{Max} C_S}{1 + K_M C_S}$$

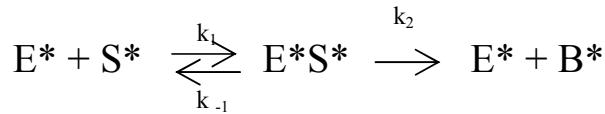
- Karena substrat yang digunakan ialah trigliserida C<sub>T</sub>, dimana C<sub>T</sub> = 3 C<sub>S</sub>, maka laju penguraian konsentrasi substrat terhadap waktu, menjadi:

$$v_S = -\frac{V_{Max} C_S}{1 + K_M C_S} \quad (3.9a)$$

dan laju pembentukan konsentrasi biodiesel terhadap waktu menjadi:

$$v_B = \frac{3 V_{Max} C_S}{1 + K_M C_S} \quad (3.10a)$$

### 3.2.2 Penurunan Model Kinetika Berbasis Michaelis – Menten Adsorpsi



**Gambar 3.3** Reaksi Enzimatik Berbasis Michaelis – Menten Adsorpsi

Di sini biokatalis (E) bereaksi dengan substrat (S) triglycerida membentuk kompleks substrat-biokatalis (ES), selanjutnya dilepaskan produk biodiesel (B). Dimana,  $k_1$ : konstanta laju reaksi pembentukan enzim-substrat kompleks,  $k_{-1}$ : konstanta laju reaksi penguraian substrat yang tak berubah dalam enzim, dan  $k_2$ : konstanta laju reaksi pembentukan produk yang terpisah dari enzim, dan \* : komponen yang teradsorpsi pada permukaan.

Persamaan laju transfer massa pada adsorpsi isotermis digambarkan sebagai:

$$q_i = K_i C_i \quad (3.1b)$$

- Jika laju reaksi pembentukan produk adalah  $v_B = \frac{q_B}{dt}$ , maka laju reaksi untuk masing-masing komponennya adalah sebagai berikut:

$$v_E = \frac{d q_E}{dt} = -k_1 q_E q_S + k_{-1} q_{ES} + k_2 q_{ES} \quad (3.2b)$$

$$v_S = \frac{d q_S}{dt} = -k_1 q_E q_S + k_{-1} q_{ES} \quad (3.3b)$$

$$v_{ES} = \frac{d q_{ES}}{dt} = k_1 q_E q_S - k_{-1} q_{ES} - k_2 q_{ES} \quad (3.4b)$$

$$v_B = \frac{d q_B}{dt} = k_2 q_{ES} \quad (3.5b)$$

- Dengan asumsi keadaan *pseudo-steady state* pada konsentrasi kompleks enzim  $\frac{d q_{ES}}{dt} = 0$ , maka:

$$\frac{d q_{ES}}{dt} = k_1 q_E q_S - k_{-1} q_{ES} - k_2 q_{ES} = 0$$

$$k_1 q_E q_S = q_{ES} (k_{-1} + k_2)$$

$$q_{ES} = \frac{k_1 q_E q_S}{k_{-1} + k_2} \quad (3.6b)$$

Dengan metode substitusi persamaan (3.6b) ke dalam persamaan (3.3b) dan (3.5b), maka diperoleh:

$$\begin{aligned}
 \frac{dq_S}{dt} &= -k_1 q_E q_S + k_{-1} q_{ES} \\
 &= -k_1 q_E q_S + k_{-1} \left( \frac{k_1 q_E q_S}{k_{-1} + k_2} \right) \\
 &= q_E q_S \left( \frac{-k_1 + k_{-1} k_1}{k_{-1} + k_2} \right) \\
 &= q_E q_S \left( \frac{-k_1 k_{-1} - k_1 k_2 + k_1 k_{-1}}{k_{-1} + k_2} \right) \\
 &= -q_E q_S \left( \frac{k_1 k_2}{k_{-1} + k_2} \right)
 \end{aligned} \tag{3.7b}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{dq_B}{dt} &= k_2 q_{ES} \\
 &= k_2 \left( \frac{k_1 q_E q_S}{k_{-1} + k_2} \right) \\
 &= q_E q_S \left( \frac{k_1 k_2}{k_{-1} + k_2} \right)
 \end{aligned} \tag{3.8b}$$

➤ Neraca Massa, total konsentrasi dari enzim bebas dan kompleks enzim ialah:

$$\begin{aligned}
 q_{E,TOTAL} &= q_E + q_{ES} \\
 q_{E,TOTAL} &= q_E + \frac{k_1 q_E q_S}{k_{-1} + k_2} \\
 q_{E,TOTAL} &= q_E \left( 1 + q_S \frac{k_1}{k_{-1} + k_2} \right) \\
 q_E &= \frac{q_{E,TOTAL}}{\left( 1 + q_S \frac{k_1}{k_{-1} + k_2} \right)}
 \end{aligned} \tag{3.9b}$$

Dengan metode substitusi persamaan (3.9b) ke dalam persamaan (3.7b) dan (3.8a), menghasilkan:

$$\begin{aligned}
\frac{dq_S}{dt} &= -q_E q_S \left( \frac{k_1 k_2}{k_{-1} + k_2} \right) \\
&= -\frac{q_{E,TOTAL}}{\left( 1 + q_S \frac{k_1}{k_{-1} + k_2} \right)} q_S \left( \frac{k_1 k_2}{k_{-1} + k_2} \right) \\
&= -\frac{q_{E,TOTAL} q_S \left( \frac{k_1 k_2}{k_{-1} + k_2} \right)}{\left( 1 + q_S \frac{k_1}{k_{-1} + k_2} \right)} \\
\frac{dq_B}{dt} &= q_E q_S \left( \frac{k_1 k_2}{k_{-1} + k_2} \right) \\
&= \frac{q_{E,TOTAL}}{\left( 1 + q_S \frac{k_1}{k_{-1} + k_2} \right)} q_S \left( \frac{k_1 k_2}{k_{-1} + k_2} \right) \\
&= \frac{q_{E,TOTAL} q_S \left( \frac{k_1 k_2}{k_{-1} + k_2} \right)}{\left( 1 + q_S \frac{k_1}{k_{-1} + k_2} \right)}
\end{aligned}$$

Jika  $\frac{k_1}{k_{-1} + k_2} = K_M$ , dan  $k_2 K_M q_{E,TOTAL} = V_{Max}$ , maka:

$$\begin{aligned}
v_S &= \frac{dq_S}{dt} = -\frac{k_2 K_M q_{E,TOTAL} q_S}{1 + K_M q_S} \\
v_S &= \frac{dq_S}{dt} = -\frac{V_{Max} q_S}{1 + K_M q_S}
\end{aligned} \tag{3.10b}$$

$$\begin{aligned}
v_B &= \frac{dq_B}{dt} = \frac{k_2 K_M q_{E,TOTAL} q_S}{1 + K_M q_S} \\
v_B &= \frac{dq_B}{dt} = \frac{V_{Max} q_S}{1 + K_M q_S}
\end{aligned} \tag{3.11b}$$

- Neraca massa, total laju reaksi komponen dalam bulk dan yang teradsorpsi, digambarkan sebagai:

$$\frac{dC_i}{dt} + \frac{dq_i}{dt} = v_i \tag{3.12b}$$

Dengan metode substitusi persamaan (3.1b) ke persamaan (3.12b) menghasilkan:

$$\begin{aligned}\frac{dC_i}{dt} + \frac{dq_i}{dt} &= v_i \\ \frac{dC_i}{dt} + \frac{dC_i K_i}{dt} &= v_i \\ \frac{dC_i}{dt} (1 + K_i) &= v_i \\ \frac{dC_i}{dt} &= \frac{v_i}{(1 + K_i)}\end{aligned}\tag{3.13b}$$

Dengan metode substitusi persamaan (3.1b), (3.10b), dan (3.11b) ke dalam persamaan (3.13b), maka diperoleh:

$$\begin{aligned}\frac{dC_S}{dt} &= -\frac{V_{Max} K_S C_S}{(1 + K_M K_S C_S)(1 + K_S)} \\ \frac{dC_B}{dt} &= \frac{V_{Max} K_S C_S}{(1 + K_M K_S C_S)(1 + K_B)}\end{aligned}$$

- Karena substrat yang digunakan ialah trigliserida C<sub>T</sub>, dimana C<sub>T</sub> = 3 C<sub>S</sub>, maka laju penguraian konsentrasi substrat terhadap waktu, menjadi:

$$\frac{dC_S}{dt} = -\frac{V_{Max} K_S C_S}{(1 + K_M K_S C_S)(1 + K_S)}\tag{3.14b}$$

dan laju pembentukan konsentrasi biodiesel terhadap waktu menjadi:

$$\frac{dC_B}{dt} = 3 \frac{V_{Max} K_S C_S}{(1 + K_M K_S C_S)(1 + K_B)}\tag{3.15b}$$

### 3.3 Data Kinetika

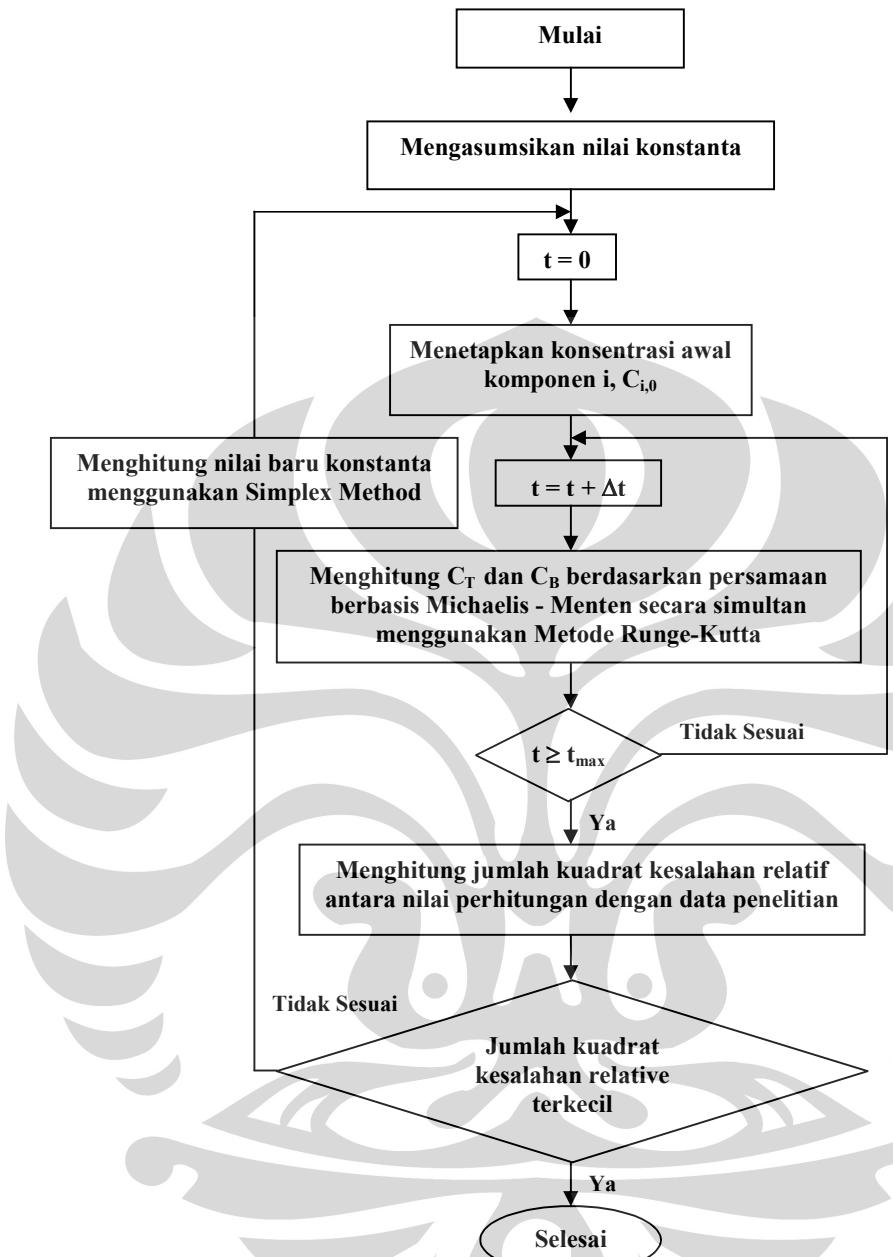
Dalam melakukan suatu pemodelan sintesis biodiesel secara enzimatis, selain dibutuhkan suatu model kinetika yang mampu menggambarkan perilaku yang sebenarnya dari suatu proses sintesis tersebut, dibutuhkan pula data – data hasil penelitian yang sesuai agar proses simulasi dapat dilakukan. Telah banyak peneliti yang melakukan penelitian mengenai sintesis biodiesel, tetapi hanya beberapa yang melakukan sintesis tersebut menggunakan biokatalis dan sayangnya data hasil sintesis tersebut juga tidak selalu ditampilkan dalam jurnal yang dipublikasikan.

Untuk kepentingan pemodelan secara kinetika berbasis Michaelis – Menten, dibutuhkan data penelitian yang menampilkan komponen reaksi (trigliserida dan biodiesel) dalam bentuk konsentrasi dan waktu reaksi. Data – data tersebut diperoleh dari skripsi yang berasal dari Departemen Teknik Kimia UI serta jurnal ilmiah (nasional dan Internasional).

### 3.4 Metode Estimasi Parameter Kinetika

Dalam melakukan estimasi parameter - parameter kinetika, data - data hasil penelitian yang diperoleh akan diolah menggunakan program Fortran untuk dilakukan *fitting* dengan menggunakan model kinetika dalam rangka mencari parameter-parameter kinetika secara simultan. Terdapat 2 buah parameter yang tidak diketahui pada model kinetika Michaelis – Menten, yaitu  $K_M$  dan  $V_{MAX}$ . Sedangkan pada model kinetika Michaelis – Menten dengan adsorpsi terdapat 4 buah parameter yang tidak diketahui, yaitu  $K_M$ ,  $K_S$ ,  $K_B$ , dan  $V_{max}$ . Parameter tersebut diestimasi dengan melakukan *fitting* terhadap persamaan model dengan data eksperimen yang diperoleh pada berbagai kondisi. Prosedur *fitting* pada dasarnya ialah seperti yang terlihat pada **Gambar 3.4**.

Prosedur fitting tersebut diawali dengan menetapkan nilai konstanta-konstanta secara sembarang, serta memasukkan data - data awal, seperti waktu reaksi, konsentrasi enzim dan komponen trigliserida mula-mula. Kemudian secara simultan dengan menggunakan persamaan (3.9a) dan (3.10a) untuk mekanisme reaksi berbasis Michaelis – Menten, serta persamaan (3.14b) dan (3.15b) untuk mekanisme reaksi berbasis Michaelis – Menten dengan adsorpsi, dilakukan penghitungan konsentrasi masing-masing komponen (trigliserida dan biodiesel) dari mulai awal reaksi ( $t=0$ ) hingga akhir reaksi dengan rentang waktu,  $h = 0.1$ , yang secara numeris akan diolah menggunakan Metode Runge-Kutta. Estimasi konstanta-konstanta dalam pemodelan dilakukan secara *trial and error* menggunakan metode Simplex hingga diperoleh hasil *fitting* terbaik dari nilai konstanta-konstanta tersebut, dengan meminimalkan jumlah kuadrat kesalahan relatif antara data hasil perhitungan dengan data hasil penelitian untuk konsentrasi trigliserida dan biodiesel<sup>[52]</sup>.



Gambar 3.4 Flowchart Prosedur Perhitungan Konstanta Pemodelan<sup>[52]</sup>

### 3.5 Analisis Sensitivitas

Pada tahap ini, parameter - parameter yang telah diestimasi melalui prosedur *fitting*, kemudian diuji sensitivitasnya. Analisis sensitivitas bertujuan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh perubahan nilai parameter kinetik yang diperoleh dengan perubahan profil konsentrasi zat-zat yang terlibat dari

sintesis biodiesel enzimatik. Hal ini dilakukan dengan mengubah nilai satu konstanta sebesar 50% lebih rendah dan 50% lebih tinggi dari nilai estimasi tanpa mengubah nilai konstanta yang lain. Kemudian dibandingkan nilai jumlah kuadrat error relatif, S, dari ketiga nilai konstanta tersebut. Melalui analisis ini dapat diketahui apakah nilai konstanta yang diperoleh merupakan nilai yang tepat, hal tersebut ditandai dengan dihasilkannya nilai S terkecil<sup>[52]</sup>.

Hasil analisis sensitivitas yang diperoleh akan membantu menunjukkan tingkat kebenaran hasil estimasi, dan menjadi bahan dalam menyimpulkan apakah model yang digunakan telah cukup baik dalam memodelkan suatu reaksi, sebelum akhirnya dilakukan simulasi berdasarkan konstanta yang telah diperoleh tersebut, untuk memperkirakan profil konsentrasi biodiesel pada kondisi operasi yang belum dilakukan dalam penelitian.



## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Model kinetika berbasis Michaelis - Menten merupakan model yang mampu mendeskripsikan perilaku reaktan dan produk yang terlibat selama reaksi. Parameter kinetika diperoleh dengan melakukan *fitting* kurva berdasarkan model kinetika terhadap data kinetika sintesis biodiesel secara enzimatik. Data yang digunakan diperoleh dari beberapa hasil penelitian mengenai sintesis biodiesel secara enzimatik, baik data yang diperoleh dari skripsi yang berasal dari Departemen Teknik Kimia, Universitas Indonesia, maupun hasil yang telah dipublikasikan dalam jurnal. Berikut ini merupakan pemetaan data – data sintesis biodiesel secara enzimatik, yang digunakan dalam penelitian.

**Tabel 4.1** Pemetaan Data Kinetika Berdasarkan Bentuk Enzim (Lipase)

Data	Enzim (Lipase)	
	Suspensi	Immobilisasi
1 <sup>[27]</sup>	<i>Candida rugosa</i>	
2 <sup>[27]</sup>		<i>Candida rugosa</i>
3 <sup>[27]</sup>		<i>Candida antartica</i> / Novozym 435
4 <sup>[10]</sup>	<i>Candida rugosa</i>	
5 <sup>[10]</sup>		<i>Candida rugosa</i>
6 <sup>[11]</sup>	<i>Porcine pancreatic</i>	
7 <sup>[11]</sup>		<i>Porcine pancreatic</i>
8 <sup>[5]</sup>		<i>Candida antartica</i> / Novozym 435

#### 4.1 MODEL KINETIKA BERBASIS MICHAELIS - MENTEN

##### 4.1.1 Fitting Kurva dan Estimasi Parameter

Dalam melakukan estimasi parameter - parameter kinetika, data - data hasil penelitian yang diperoleh diolah berdasarkan prosedur *fitting* dengan menggunakan model kinetika yang telah dibuat, dalam rangka mencari parameter-parameter kinetika secara simultan menggunakan metode runge kutta orde empat yang dievaluasi dengan metode simplex. Berikut merupakan data hasil eksperimen sintesis biodiesel rute non alkohol, beserta hasil plot antara data hasil eksperimen dengan data yang diperoleh melalui pemodelan berbasis Michaelis – Menten, yang ditunjukkan pada **Gambar 4.1 – 4.8**.

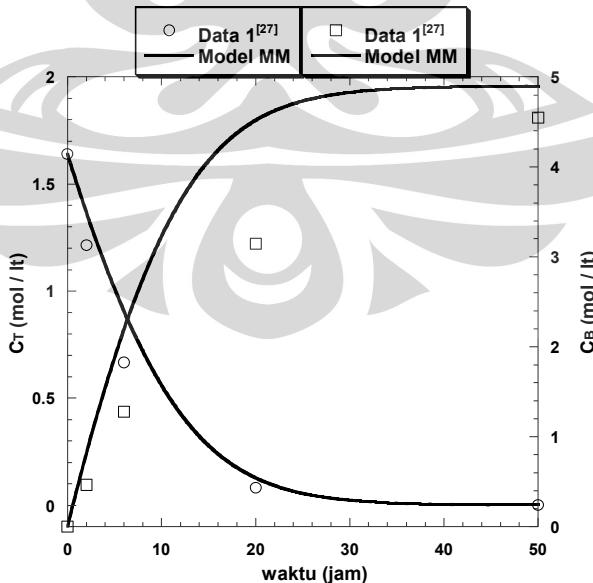
**Data 1<sup>[27]</sup>.**

Data eksperimen untuk melakukan *fitting* diperoleh dari hasil eksperimen S. Marno (2008). Eksperimen dilakukan dengan menggunakan biokatalis *Candida rugosa* lipase dalam bentuk tersuspensi pada sintesis biodiesel rute non alkohol. Substrat yang digunakan berupa minyak sawit dan metil asetat, dengan rasio mol reaktan = 1 : 12, pada suhu reaksi T = 37 °C dalam waktu t = 50 jam. Konsentrasi enzim yang digunakan sebesar 4% wt dari substrat campuran minyak sawit dan metil asetat (gr enzim/gr larutan).

**Tabel 4.2** Data Hasil Sintesis Biodiesel Rute Non – Alkohol Menggunakan Biokatalis *Candida rugosa* Lipase dalam Bentuk Tersuspensi Menggunakan Substrat Minyak Sawit<sup>[27]</sup>.

t (jam)	C <sub>T</sub> (mol/Lt)	C <sub>B</sub> (mol/Lt)
0	1.640000	0.000000
0.5	1.521499	0.120810
2	1.214942	0.466072
6	0.666774	1.278399
12	0.271090	2.239321
20	0.081651	3.146246
30	0.018219	3.865019
50	0.000907	4.547560

Dengan melakukan *fitting* terhadap data diatas dengan menggunakan model kinetika Michaelis – Menten, maka dihasilkan:



**Gambar 4.1** Hasil Fitting Model Kinetika Michaelis – Menten terhadap Data 1<sup>[27]</sup>

Hasil estimasi parameter yang diperoleh melalui *fitting* di atas adalah sebagai berikut.

**Tabel 4.3** Parameter Hasil Estimasi Menggunakan Model Kinetika Michaelis – Menten terhadap Data 1<sup>[27]</sup>.

Parameter	Nilai	Error	Parameter	Nilai	Error
V <sub>MAX</sub>	2.8052E-01	1.8850	K <sub>M</sub>	1.6052E+00	1.8850

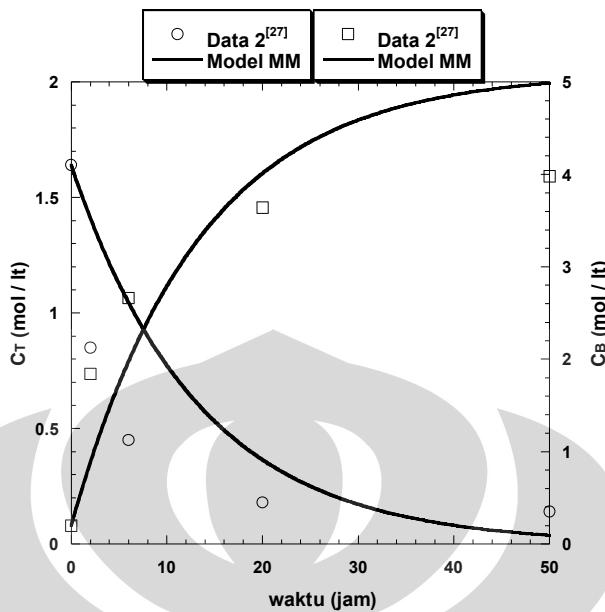
#### Data 2<sup>[27]</sup>.

Data eksperimen untuk melakukan *fitting* diperoleh dari hasil eksperimen S. Marno (2008). Eksperimen dilakukan dengan menggunakan biokatalis *Candida rugosa* lipase terimmobilisasi metode adsorpsi pada sintesis biodiesel rute non alkohol. Substrat yang digunakan berupa minyak sawit dan metil asetat, dengan rasio mol reaktan = 1 : 12, pada suhu reaksi T = 37 °C dalam waktu t = 50 jam. Konsentrasi enzim yang digunakan sebesar 4% wt dari substrat campuran minyak sawit dan metil asetat (gr enzim/gr larutan)<sup>[27]</sup>.

**Tabel 4.4** Data Hasil Sintesis Biodiesel Rute Non – Alkohol Menggunakan Biokatalis *Candida rugosa* Lipase Terimmobilisasi Metode Adsorpsi Menggunakan Substrat Minyak Sawit<sup>[27]</sup>.

t (jam)	C <sub>T</sub> (mol/Lt)	C <sub>B</sub> (mol/Lt)
0	1.640000	0.200000
0.5	1.260000	1.220000
2	0.850000	1.840000
6	0.450000	2.660000
12	0.250000	3.150000
20	0.180000	3.640000
30	0.170000	3.850000
50	0.170000	3.980000

Dengan melakukan *fitting* terhadap data diatas dengan menggunakan model kinetika Michaelis – Menten, maka dihasilkan:



**Gambar 4.2** Hasil Fitting Model Kinetika Michaelis – Menten terhadap Data 2<sup>[27]</sup>

Hasil estimasi parameter yang diperoleh melalui *fitting* di atas adalah sebagai berikut.

**Tabel 4.5** Parameter Hasil Estimasi Menggunakan Model Kinetika Michaelis – Menten terhadap Data 2<sup>[27]</sup>.

Parameter	Nilai	Error	Parameter	Nilai	Error
V <sub>MAX</sub>	4.2364E+02	5.5843	K <sub>M</sub>	5.6345E+03	5.5843

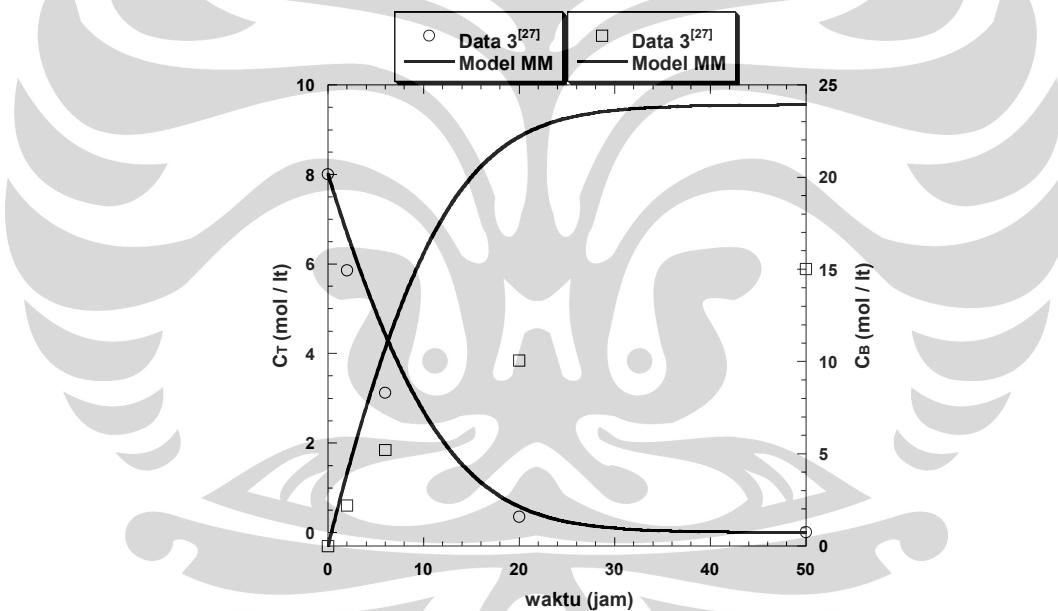
### Data 3<sup>[27]</sup>.

Data eksperimen untuk melakukan *fitting* diperoleh dari hasil eksperimen S. Marno (2008). Eksperimen dilakukan dengan menggunakan biokatalis *Candida antartica* lipase / Novozym 435 terimmobilisasi metode adsorpsi pada sintesis biodiesel rute non alkohol. Substrat yang digunakan berupa minyak sawit bekas pakai (jelantah) dan metil asetat, dengan rasio mol reaktan = 1 : 12, pada suhu reaksi T = 37 °C dalam waktu t = 50 jam. Konsentrasi enzim yang digunakan sebesar 4% wt dari substrat campuran minyak sawit dan metil asetat (gr enzim/gr larutan)<sup>[27]</sup>.

**Tabel 4.6** Data Hasil Sintesis Biodiesel Rute Non – Alkohol Menggunakan Biokatalis *Candida antartica* Lipase (Novozym 435) Terimmobilisasi pada *Acrylic Resin* dalam Bentuk Sol-Gel Menggunakan Substrat Minyak Jelantah<sup>[27]</sup>.

t (jam)	C <sub>T</sub> (mol/Lt)	C <sub>B</sub> (mol/Lt)
0	8.007000	0.000000
0.5	7.403747	0.605995
2	5.853245	2.195344
6	3.127882	5.206017
12	1.221887	7.868716
20	0.348930	10.054610
30	0.072840	12.104230
50	0.003174	15.017000

Dengan melakukan *fitting* terhadap data diatas dengan menggunakan model kinetika Michaelis – Menten, maka dihasilkan:



**Gambar 4.3** Hasil Fitting Model Kinetika Michaelis – Menten terhadap Data 3<sup>[27]</sup>

Hasil estimasi parameter yang diperoleh melalui *fitting* di atas adalah sebagai berikut.

**Tabel 4.7** Parameter Hasil Estimasi Menggunakan Model Kinetika Michaelis – Menten terhadap Data 3<sup>[27]</sup>.

Parameter	Nilai	Error	Parameter	Nilai	Error
V <sub>MAX</sub>	1.2858E+00	3.6430	K <sub>M</sub>	6.9720E+00	3.6430

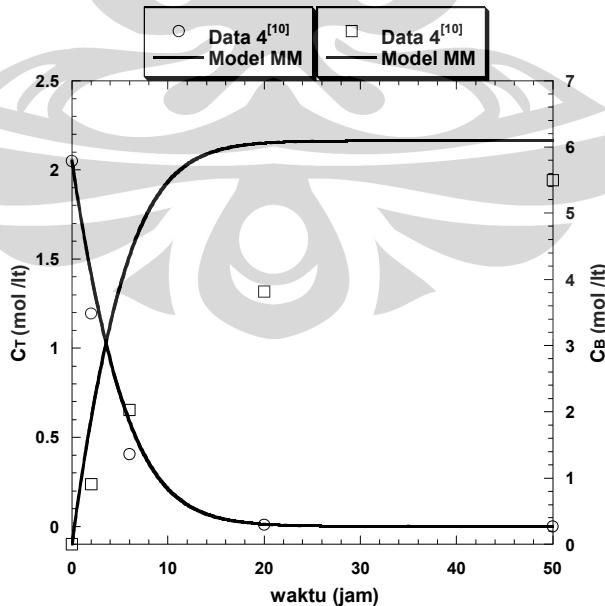
**Data 4<sup>[10]</sup>.**

Data eksperimen untuk melakukan *fitting* diperoleh dari hasil eksperimen M. Ekky Rizkiyadi (2008). Eksperimen dilakukan dengan menggunakan biokatalis *Candida rugosa* lipase dalam bentuk tersuspensi pada sintesis biodiesel rute non alkohol. Substrat yang digunakan berupa minyak sawit (jelantah) dan metil asetat, dengan rasio mol reaktan = 1 : 12, pada suhu reaksi T = 37 °C dalam waktu t = 50 jam. Konsentrasi enzim yang digunakan sebesar 4% wt dari substrat campuran minyak sawit (jelantah) dan metil asetat (gr enzim/gr larutan) <sup>[10]</sup>.

**Tabel 4.8** Data Hasil Sintesis Biodiesel Rute Non – Alkohol Menggunakan Biokatalis *Candida rugosa* Lipase dalam Bentuk Tersuspensi Menggunakan Substrat Minyak Jelantah <sup>[10]</sup>.

t (jam)	C <sub>T</sub> (mol/Lt)	C <sub>B</sub> (mol/Lt)
0	2.0494214	0.0000000
0.5	1.7906121	0.2617583
2	1.1942968	0.9078746
6	0.4055778	2.0289343
12	0.0802633	2.9931530
20	0.0092564	3.8165542
30	0.0006221	4.5253671
50	0.0000028	5.4953275

Dengan melakukan *fitting* terhadap data diatas dengan menggunakan model kinetika Michaelis – Menten, maka dihasilkan:



**Gambar 4.4** Hasil Fitting Model Kinetika Michaelis – Menten terhadap Data 4<sup>[10]</sup>

Hasil estimasi parameter yang diperoleh melalui *fitting* di atas adalah sebagai berikut.

**Tabel 4.9** Parameter Hasil Estimasi Menggunakan Model Kinetika Michaelis – Menten terhadap Data 4<sup>[10]</sup>.

Parameter	Nilai	Error	Parameter	Nilai	Error
V <sub>MAX</sub>	8.8753E-01	2.6345	K <sub>M</sub>	3.0869E+00	2.6345

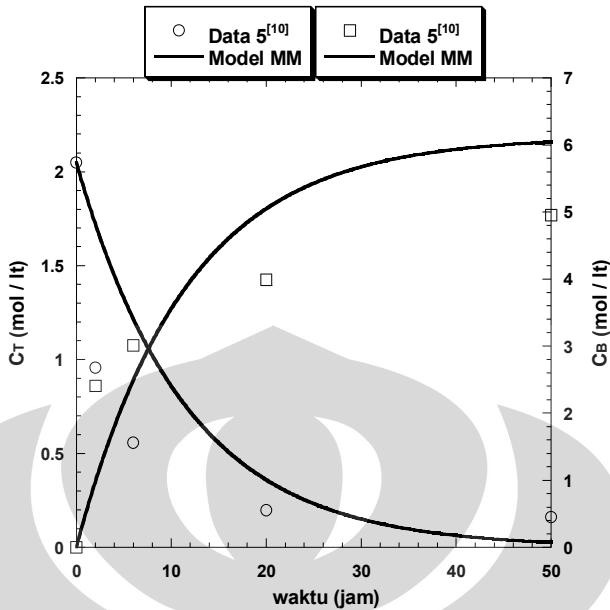
**Data 5** <sup>[10]</sup>.

Data eksperimen untuk melakukan *fitting* diperoleh dari hasil eksperimen M. Ekky Rizkiyadi (2008). Eksperimen dilakukan dengan menggunakan biokatalis *Candida rugosa* lipase terimmobilisasi metode adsorpsi pada sintesis biodiesel rute non alkohol. Substrat yang digunakan berupa minyak sawit (jelantah) dan metil asetat, dengan rasio mol reaktan = 1 : 12, pada suhu reaksi T = 37 °C dalam waktu t = 50 jam. Konsentrasi enzim yang digunakan sebesar 4% wt dari substrat campuran minyak sawit (jelantah) dan metil asetat (gr enzim/gr larutan) <sup>[10]</sup>.

**Tabel 4.10** Data Hasil Sintesis Biodiesel Rute Non – Alkohol Menggunakan Biokatalis *Candida rugosa* Lipase Terimmobilisasi Metode Adsorpsi Menggunakan Substrat Minyak Jelantah <sup>[10]</sup>.

t (jam)	C <sub>T</sub> (mol/Lt)	C <sub>B</sub> (mol/Lt)
0	2.0494214	0.0000000
0.5	1.5039355	1.3134409
2	0.9562120	2.4058764
6	0.5568442	3.0116639
12	0.2751487	3.4830096
20	0.1954023	3.9840301
30	0.1729492	4.3531059
50	0.1611658	4.9527620

Dengan melakukan *fitting* terhadap data diatas dengan menggunakan model kinetika Michaelis – Menten, maka dihasilkan:



**Gambar 4.5** Hasil Fitting Model Kinetika Michaelis – Menten terhadap Data 5<sup>[10]</sup>

Hasil estimasi parameter yang diperoleh melalui *fitting* di atas adalah sebagai berikut.

**Tabel 4.11** Parameter Hasil Estimasi Menggunakan Model Kinetika Michaelis – Menten terhadap Data 5<sup>[10]</sup>.

Parameter	Nilai	Error	Parameter	Nilai	Error
$V_{MAX}$	1.9107E+02	6.9063	$K_M$	2.1930E+03	6.9063

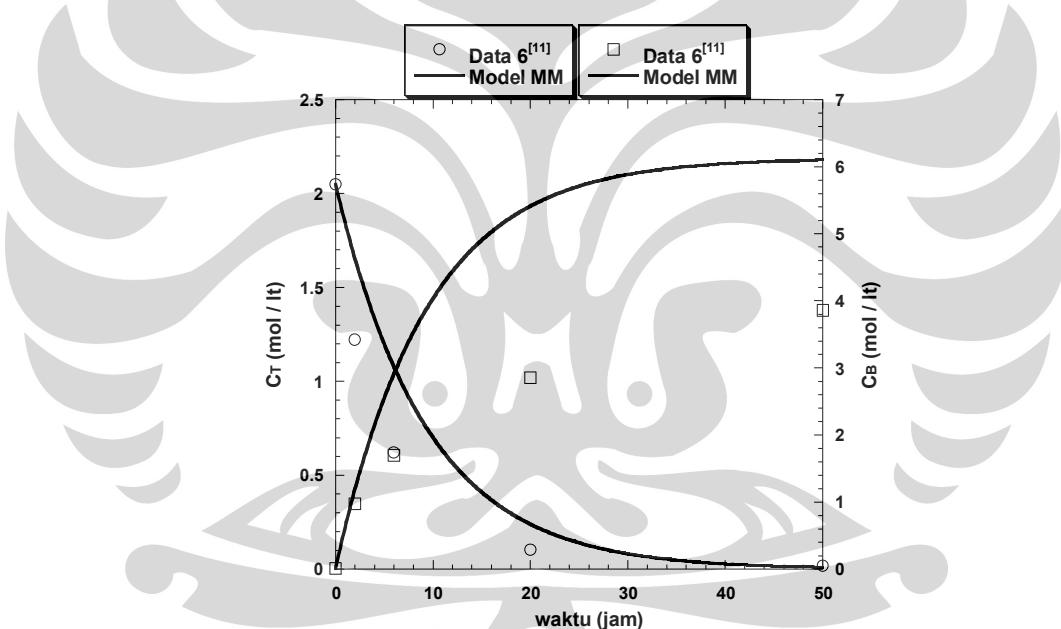
#### Data 6<sup>[11]</sup>.

Data eksperimen untuk melakukan *fitting* diperoleh dari hasil eksperimen Risan A. Surendro (2008). Eksperimen dilakukan dengan menggunakan biokatalis *Porcine pancreatic lipase* dalam bentuk tersuspensi pada sintesis biodiesel rute non alkohol. Substrat yang digunakan berupa minyak sawit (jelantah) dan metil asetat, dengan rasio mol reaktan = 1 : 12, pada suhu reaksi  $T = 37^\circ\text{C}$  dalam waktu  $t = 50$  jam. Konsentrasi enzim yang digunakan sebesar 4% wt dari substrat campuran minyak sawit (jelantah) dan metil asetat (gr enzim/gr larutan)<sup>[11]</sup>.

**Tabel 4.12** Data Hasil Sintesis Biodiesel Rute Non – Alkohol Menggunakan Biokatalis *Porcine pancreatic* Lipase dalam Bentuk Tersuspensi Menggunakan Substrat Minyak Jelantah<sup>[11]</sup>.

<b>t (jam)</b>	<b>C<sub>T</sub> (mol/Lt)</b>	<b>C<sub>B</sub> (mol/Lt)</b>
0	2.049400	0.012800
0.5	1.684200	0.257900
2	1.221500	0.978400
6	0.620900	1.699600
12	0.217000	2.356000
20	0.103000	2.856500
30	0.053400	3.289800
50	0.017250	3.860100

Dengan melakukan *fitting* terhadap data diatas dengan menggunakan model kinetika Michaelis – Menten, maka dihasilkan:



**Gambar 4.6** Hasil Fitting Model Kinetika Michaelis – Menten terhadap Data 6<sup>[11]</sup>

Hasil estimasi parameter yang diperoleh melalui *fitting* di atas adalah sebagai berikut.

**Tabel 4.13** Parameter Hasil Estimasi Menggunakan Model Kinetika Michaelis – Menten terhadap Data 6<sup>[11]</sup>.

Parameter	Nilai	Error	Parameter	Nilai	Error
V <sub>MAX</sub>	2.1243E+02	3.9949	K <sub>M</sub>	1.9799E+03	3.9949

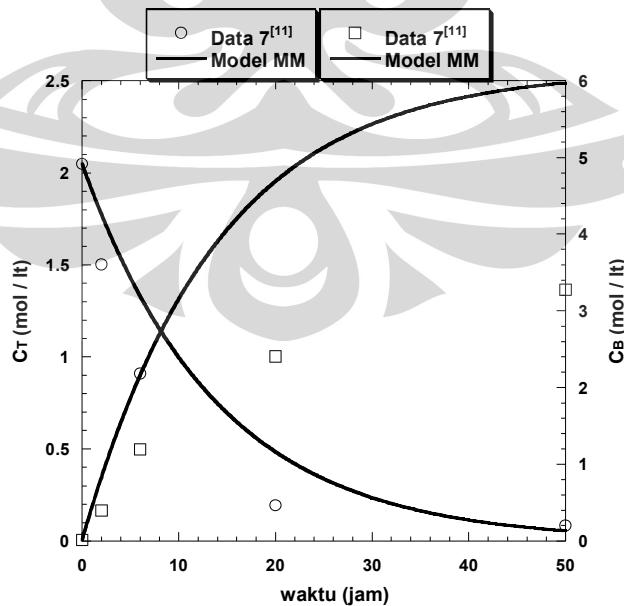
**Data 7<sup>[11]</sup>.**

Data eksperimen untuk melakukan *fitting* diperoleh dari hasil eksperimen Risan A. Surendro (2008). Eksperimen dilakukan dengan menggunakan biokatalis *Porcine pancreatic* lipase terimmobilisasi metode adsorpsi pada sintesis biodiesel rute non alkohol. Substrat yang digunakan berupa minyak sawit (jelantah) dan metil asetat, dengan rasio mol reaktan = 1 : 12, pada suhu reaksi T = 37 °C dalam waktu t = 50 jam. Konsentrasi enzim yang digunakan sebesar 4% wt dari substrat campuran minyak sawit (jelantah) dan metil asetat (gr enzim/gr larutan) <sup>[11]</sup>.

**Tabel 4.14** Data Hasil Sintesis Biodiesel Rute Non – Alkohol Menggunakan Biokatalis *Porcine pancreatic* Lipase Terimmobilisasi Metode Adsorpsi Menggunakan Substrat Minyak Jelantah<sup>[11]</sup>.

t (jam)	C <sub>T</sub> (mol/Lt)	C <sub>B</sub> (mol/Lt)
0	2.049400	0.012800
0.5	1.876200	0.282800
2	1.501200	0.398000
6	0.910400	1.193520
12	0.446800	1.904360
20	0.194500	2.406500
30	0.116400	2.814050
50	0.085100	3.274700

Dengan melakukan *fitting* terhadap data diatas dengan menggunakan model kinetika Michaelis – Menten, maka dihasilkan:



**Gambar 4.7** Hasil Fitting Model Kinetika Michaelis – Menten terhadap Data 7<sup>[11]</sup>

Hasil estimasi parameter yang diperoleh melalui *fitting* di atas adalah sebagai berikut.

**Tabel 4.15** Parameter Hasil Estimasi Menggunakan Model Kinetika Michaelis – Menten terhadap Data 7<sup>[11]</sup>.

Parameter	Nilai	Error	Parameter	Nilai	Error
V <sub>MAX</sub>	3.0100E+01	4.3437	K <sub>M</sub>	4.1658E+02	4.3437

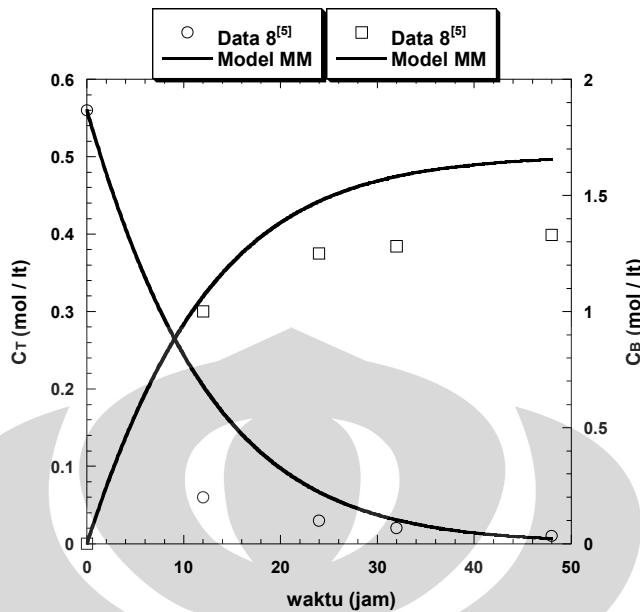
**Data 8** <sup>[5]</sup>.

Data eksperimen untuk melakukan *fitting* diperoleh dari hasil eksperimen Xu, et. al. (2008). Eksperimen dilakukan dengan menggunakan biokatalis *Candida antartica* lipase / Novozym 435 terimmobilisasi metode adsorpsi pada sintesis biodiesel rute non alkohol. Substrat yang digunakan berupa minyak kedelai dan metil asetat, dengan rasio mol reaktan = 1 : 12, pada suhu reaksi T = 40 °C dalam waktu t = 48 jam. Konsentrasi enzim yang digunakan sebesar 5% wt dari substrat campuran minyak kedelai dan metil asetat (gr enzim/gr larutan) <sup>[5]</sup>.

**Tabel 4.16** Data Hasil Sintesis Biodiesel Rute Non – Alkohol Menggunakan Biokatalis *Candida antartica* Lipase (Novozym 435) Terimmobilisasi Metode Adsorpsi Menggunakan Substrat Minyak Kedelai <sup>[5]</sup>.

t (jam)	C <sub>R</sub> (mol/Lt)	C <sub>B</sub> (mol/Lt)
0	0.560	0.000
6	0.200	0.600
12	0.060	1.000
24	0.030	1.250
32	0.020	1.280
40	0.020	1.290
48	0.010	1.330

Dengan melakukan *fitting* terhadap data diatas dengan menggunakan model kinetika Michaelis – Menten, maka dihasilkan:



**Gambar 4.8** Hasil Fitting Model Kinetika Michaelis – Menten terhadap Data 8<sup>[5]</sup>

Hasil estimasi parameter yang diperoleh melalui *fitting* di atas adalah sebagai berikut.

**Tabel 4.17** Parameter Hasil Estimasi Menggunakan Model Kinetika Michaelis – Menten terhadap Data 8<sup>[5]</sup>.

Parameter	Nilai	Error	Parameter	Nilai	Error
V <sub>MAX</sub>	1.9966E-01	2.7224	K <sub>M</sub>	2.0189E+00	2.7224

*Fitting* kurva dilakukan guna mengestimasi nilai parameter – parameter yang tak diketahui pada persamaan model, dimana terdapat dua buah parameter yang tidak diketahui pada model kinetika Michaelis – Menten, yaitu K<sub>M</sub> dan V<sub>MAX</sub>. Nilai parameter V<sub>MAX</sub> yang diperoleh berdasarkan hasil *fitting* kurva memiliki nilai yang bervariasi mulai dari 1.9966E-01 hingga 4.2364E+02, dimana nilai terkecil tersebut diperoleh pada data 8<sup>[5]</sup>, sedangkan nilai terbesar diperoleh pada data 2<sup>[27]</sup>. Sedangkan nilai parameter K<sub>M</sub> yang diperoleh berdasarkan hasil *fitting* kurva memiliki nilai yang bervariasi mulai dari 1.6052E+00 hingga 5.6345E+03, dimana konstanta terkecil tersebut diperoleh pada data 1<sup>[27]</sup>, sedangkan konstanta terbesar diperoleh pada data 2<sup>[27]</sup>. Kecilnya nilai konstanta mengindikasikan bahwa laju reaksi yang diwakili oleh konstanta tersebut berlangsung lambat. Sedangkan nilai konstanta yang besar mengindikasikan bahwa laju reaksi yang diwakili oleh konstanta tersebut berlangsung cepat. Semakin cepat laju reaksi pembentukan produk, maka semakin cepat

dihadirkannya produk biodiesel. Karena  $K_M$  merupakan parameter yang mewakili konstanta – konstanta dari laju reaksi elementer yaitu  $k_1$ ,  $k_{-1}$ , dan  $k_2$  maka lebih besarnya nilai  $K_M$  yang diperoleh terhadap nilai  $V_{max}$  pada masing – masing data mengindikasikan bahwa konstanta laju reaksi pembentukan produk memiliki nilai yang sangat kecil bila dibandingkan dengan konstanta laju reaksi pembentukan kompleks enzim – substrat.

Pengaruh dari nilai konstanta tersebut terhadap laju reaksi pembentukan biodiesel, dapat dilihat pada kurva hasil plot antara data eksperimen terhadap model kinetika Michaelis – Menten yang ditunjukkan oleh garis lurus **Gambar 4.1 – 4.8**. Pada kurva tersebut terlihat, bahwa data yang menghasilkan konstanta dengan nilai yang lebih besar memiliki laju reaksi pembentukan biodiesel yang lebih besar pula, hal tersebut ditandai dengan peningkatan kurva yang signifikan dalam jangka waktu kurang dari 10 jam.

Berdasarkan teori tentang laju reaksi pembentukan produk, suatu produk yang terbentuk akan semakin besar jika waktu reaksi yang digunakan semakin lama. Kurva-kurva hasil pemodelan yang terbentuk hampir seluruhnya mengikuti bentuk kurva hiperbola yang rectangular seperti pada umumnya mekanisme reaksi enzimatik. Peningkatan konsentrasi biodiesel yang dihasilkan pada hampir setiap kurva di setiap penambahan waktu masih terlihat meningkat. Peningkatan konsentrasi biodiesel tersebut mengindikasikan bahwa kemampuan enzim untuk mengikat substrat masih sangat efektif dan tingkat aktivitas enzim belum mengalami penurunan. Ada kemungkinan kurva dari produk yang dihasilkan akan turun, saat inilah kinerja enzim sebagai biokatalis sudah terdeaktivasi, dimana enzim sudah tidak mampu mengikat substrat dan enzim sudah mengalami kejemuhan.

Melalui **Gambar 4.1 – 4.8**, dapat dilihat laju pembentukan biodiesel terhadap waktu, dimana banyaknya jumlah konsentrasi biodiesel yang terbentuk dalam waktu tertentu dapat menunjukkan kinerja optimal dari suatu enzim sebagai biokatalis. Dari profil laju reaksi konsentrasi trigliserida (mol/L) yang terbentuk maka didapatkan *trend* profil konsentrasi yang terus menurun. Penurunan konsentrasi trigliserida menunjukkan adanya laju reaksi pembentukan produk selama reaksi. Hal ini terlihat dari profil konsentrasi biodiesel yang semakin terus

meningkat seiring dengan meningkatnya waktu. Berdasarkan teori laju reaksi dengan semakin lamanya waktu reaksi maka produk yang dihasilkan akan semakin besar. Konsentrasi biodiesel pun akan terus mengalami peningkatan seiring berjalannya reaksi untuk kemudian akhirnya konstan yang menandakan reaksi telah mencapai kesetimbangan.

Melalui **Gambar 4.1 – 4.8** dapat dilihat pula pada saat konsentrasi trigliserida awal mulai meningkat, terjadi penurunan laju reaksi yang dipertimbangkan akibat adanya biodiesel yang telah dihasilkan yang kemudian menginhibisi reaksi. Inhibitor berupa produk dapat mengurangi atau bahkan menghentikan aktivitas katalitik enzim dalam reaksi pembentukan produk selanjutnya, karena produk yang terbentuk ini dapat menghalangi atau menganggu *active site*, yang dapat mencegah molekul substrat untuk terikat pada enzim, dimana produk biodiesel yang terbentuk dapat “berkompetisi” dengan substrat untuk berikatan dengan *active site* pada enzim. Selain dapat mengganggu *active site* enzim, inhibitor berupa produk dapat pula menempel pada bagian enzim lainnya yang mampu mengubah bentuk enzim, sehingga substrat tidak mampu “mengenali” enzim.

Secara umum, berdasarkan kurva yang dihasilkan melalui pemodelan menunjukkan hasil yang tidak terlalu sesuai antara data percobaan dengan hasil pemodelan. Dapat dilihat penyimpangan yang cukup besar terjadi pada beberapa kurva hasil pemodelan biodiesel yang terbentuk, dimana produk biodiesel yang terbentuk tidak terlalu besar, sedangkan berdasarkan hasil pemodelan seharusnya produk biodiesel yang dihasilkan dapat lebih besar. Konsentrasi biodiesel yang dihasilkan dari perhitungan dengan model ini mempunyai nilai yang lebih tinggi, disebabkan karena berdasarkan fenomena yang terjadi pada eksperimen, enzim yang diimmobilisasi menyebabkan enzim tidak dapat dapat mengkonversi substrat trigliserida secara total menjadi biodiesel sehingga konsentrasi trigliserida pada eksperimen di atas tidak habis dan cenderung tetap setelah reaksi mencapai waktu 50 jam. Oleh karena itu dibutuhkan suatu model yang mempertimbangkan laju adsorpsi pada reaksi biokatalitik dengan metode immobilisasi.

#### 4.1.2 Analisis Sensitivitas

Setelah nilai konstanta kinetika reaksi diperolah, selanjutnya dilakukan analisis sensitivitas untuk menguji sensitivitas dan kelayakan terhadap konstanta-konstanta yang diperoleh melalui *fitting* antara hasil perhitungan dengan hasil eksperimen untuk menilai *reliability* dari model yang digunakan.

**Tabel 4.18** Analisis Sensitivitas Konstanta Laju Reaksi Menggunakan Pemodelan Michealis – Menten

Data 1 <sup>[27]</sup>							
Parameter	Nilai	S	Deviasi	Parameter	Nilai	S	Deviasi
$V_{MAX}$	1.4026E-01	10.6681	465.9542	$K_M$	8.0260E-01	12.7863	578.3248
	2.8052E-01	1.8850	min		1.6052E+00	1.8850	min
	4.2078E-01	10.7958	472.7284		2.4078E+00	7.1261	278.0482
Data 2 <sup>[27]</sup>							
Parameter	Nilai	S	Deviasi	Parameter	Nilai	S	Deviasi
$V_{MAX}$	2.1182E+02	9.1309	63.5096	$K_M$	2.8173E+03	8.3606	49.7151
	4.2364E+02	5.5843	min		5.6345E+03	5.5843	min
	6.3546E+02	6.5507	17.3049		8.4518E+03	6.8915	23.4081
Data 3 <sup>[27]</sup>							
Parameter	Nilai	S	Deviasi	Parameter	Nilai	S	Deviasi
$V_{MAX}$	6.4291E-01	11.9047	226.7836	$K_M$	3.4860E+00	14.4310	296.1330
	1.2858E+00	3.6430	min		6.9720E+00	3.6430	min
	1.9287E+00	12.7200	249.1643		1.0458E+01	8.9813	146.5384
Data 4 <sup>[10]</sup>							
Parameter	Nilai	S	Deviasi	Parameter	Nilai	S	Deviasi
$V_{MAX}$	4.4376E-01	14.9595	467.8279	$K_M$	1.5435E+00	18.4212	599.2236
	8.8753E-01	2.6345	min		3.0869E+00	2.6345	min
	1.3313E+00	15.5616	490.6829		4.6304E+00	12.4233	371.5605
Data 5 <sup>[10]</sup>							
Parameter	Nilai	S	Deviasi	Parameter	Nilai	S	Deviasi
$V_{MAX}$	9.5534E+01	10.8416	56.9814	$K_M$	1.0965E+03	9.8269	42.2893
	1.9107E+02	6.9063	min		2.1930E+03	6.9063	min
	2.8660E+02	7.9094	14.5247		3.2894E+03	8.2589	19.5854
Data 6 <sup>[11]</sup>							
Parameter	Nilai	S	Deviasi	Parameter	Nilai	S	Deviasi
$V_{MAX}$	1.0622E+02	10.4567	161.7487	$K_M$	9.8994E+02	12.2999	207.8881
	2.1243E+02	3.9949	min		1.9799E+03	3.9949	min
	3.1865E+02	7.6505	91.5051		2.9698E+03	7.5305	88.5014
Data 7 <sup>[11]</sup>							
Parameter	Nilai	S	Deviasi	Parameter	Nilai	S	Deviasi
$V_{MAX}$	1.5050E+01	7.7233	77.8043	$K_M$	2.0829E+02	10.5145	142.0631
	3.0100E+01	4.3437	min		4.1658E+02	4.3437	min
	4.5150E+01	6.7094	54.4621		6.2487E+02	5.9507	36.9966
Data 8 <sup>[5]</sup>							
Parameter	Nilai	S	Deviasi	Parameter	Nilai	S	Deviasi
$V_{MAX}$	9.9828E-02	11.4328	319.9493	$K_M$	1.0095E+00	12.4341	356.7278
	1.9966E-01	2.7224	min		2.0189E+00	2.7224	min
	2.9949E-01	8.0051	194.0440		3.0284E+00	6.8489	151.5719

Analisis sensitivitas dilakukan dengan mengubah nilai satu konstanta sebesar 50% lebih rendah dan 50% lebih tinggi dari nilai estimasi tanpa mengubah nilai konstanta yang lain. Kemudian dibandingkan nilai jumlah kuadrat error relatif, S, dari ketiga nilai konstanta tersebut, dimana suatu konstanta dikatakan sensitif (baik) jika memiliki nilai S minimum terhadap nilai konstanta yang telah disimpangkan. Melalui analisis ini dapat diketahui apakah nilai konstanta yang diperoleh merupakan nilai yang tepat.

Model kinetika Michaelis – Menten memiliki dua buah konstanta yang akan diuji sensitifitasnya, yaitu  $K_M$  dan  $V_{MAX}$ . Hasil analisis sensitivitas berdasarkan model kinetika Michaelis – Menten ditunjukkan pada **Tabel 4.18**.

Pada tabel terlihat bahwa seluruh nilai S dari konstanta  $K_M$  pada seluruh data menunjukkan nilai yang lebih besar dibandingkan dengan  $S_{min}$  yang diperoleh berdasarkan hasil *fitting*, dimana nilai deviasi yang diperoleh berkisar antara 19.5854 hingga 599.2236. Deviasi minimum sebesar 19.5854 terdapat pada data 6<sup>[10]</sup> yaitu nilai S yang disimpangkan menjadi 50% lebih besar. Sedangkan untuk nilai S yang disimpangkan menjadi 50% lebih kecil pada data 6<sup>[10]</sup> tersebut, diperolah deviasi sebesar 42.2893. Lebih rendahnya deviasi nilai error (S) yang dihasilkan pada data 6<sup>[10]</sup>, menunjukkan bahwa konstanta  $K_M$  pada data tersebut kurang sensitif dibandingkan dengan konstanta  $K_M$  pada data yang lainnya. Sedangkan nilai deviasi maksimum sebesar 599.2236, terdapat pada data 5<sup>[10]</sup> yaitu nilai S yang disimpangkan menjadi 50% lebih kecil. Sedangkan untuk nilai S yang disimpangkan menjadi 50% lebih besar pada data 5<sup>[10]</sup> tersebut, diperolah deviasi sebesar 371.5605. Lebih besarnya deviasi nilai error (S) yang dihasilkan pada data 5<sup>[10]</sup>, menunjukkan bahwa konstanta  $K_M$  pada data tersebut lebih sensitif dibandingkan dengan konstanta  $K_M$  pada data yang lainnya.

Pada tabel terlihat pula bahwa seluruh nilai S dari  $V_{MAX}$  pada seluruh data menunjukkan nilai yang lebih besar dibandingkan dengan  $S_{min}$  yang diperoleh berdasarkan hasil *fitting*, dimana nilai deviasi yang diperoleh berkisar antara 14.5247 hingga 490.6829. Deviasi minimum sebesar 14.5247 juga terdapat pada data 6<sup>[10]</sup> yaitu nilai S yang disimpangkan menjadi 50% lebih besar. Sedangkan untuk nilai S yang disimpangkan menjadi 50% lebih kecil pada data 6<sup>[10]</sup> tersebut, diperolah deviasi sebesar 56.9814. Lebih rendahnya deviasi nilai error (S) yang

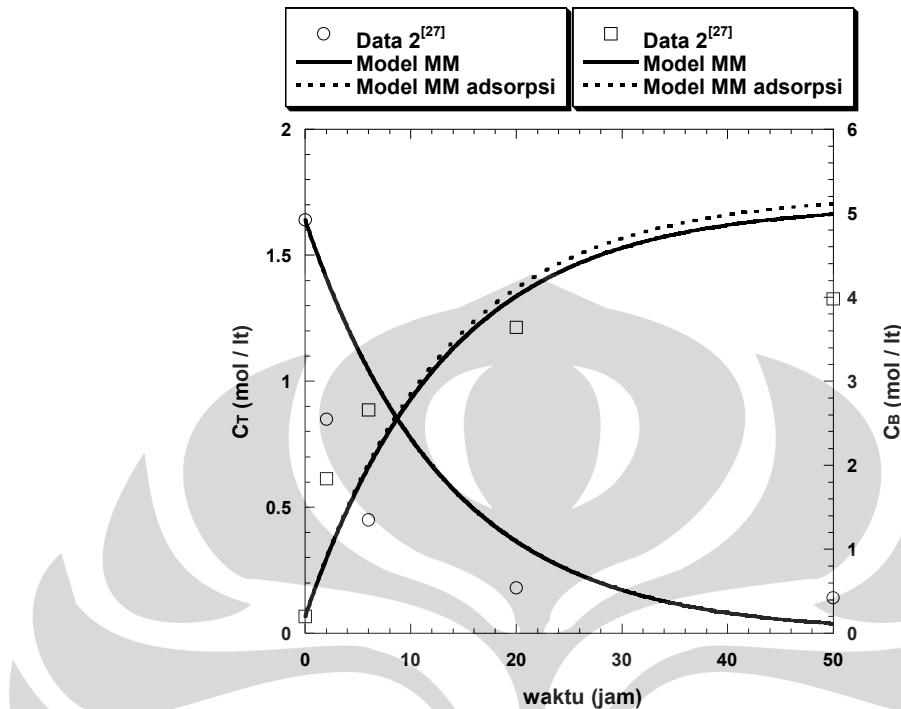
dihasilkan pada data 6<sup>[10]</sup>, menunjukkan bahwa  $V_{MAX}$  pada data tersebut kurang sensitif dibandingkan dengan konstanta  $V_{MAX}$  pada data yang lainnya. Sedangkan nilai deviasi maksimum sebesar 490.6829, terdapat pada data 5<sup>[10]</sup> yaitu nilai S yang disimpangkan menjadi 50% lebih besar. Sedangkan untuk nilai S yang disimpangkan menjadi 50% lebih kecil pada data 5<sup>[10]</sup> tersebut, diperoleh deviasi sebesar 467.8279. Lebih besarnya deviasi nilai error (S) yang dihasilkan pada data 5<sup>[10]</sup>, menunjukkan bahwa konstanta  $V_{MAX}$  pada data tersebut lebih sensitif dibandingkan dengan konstanta  $V_{MAX}$  pada data yang lainnya.

Untuk itu, berdasarkan hasil analisis sensitivitas dari keseluruhan konstanta yang diperoleh berdasarkan model kinetika Michaelis – Menten, menunjukkan *reliability* dari konstanta hasil pemodelan.

## 4.2 Model Kinetika Berbasis Michaelis–Menten Adsorpsi

### 4.2.1 Fitting Kurva Dan Estimasi Parameter

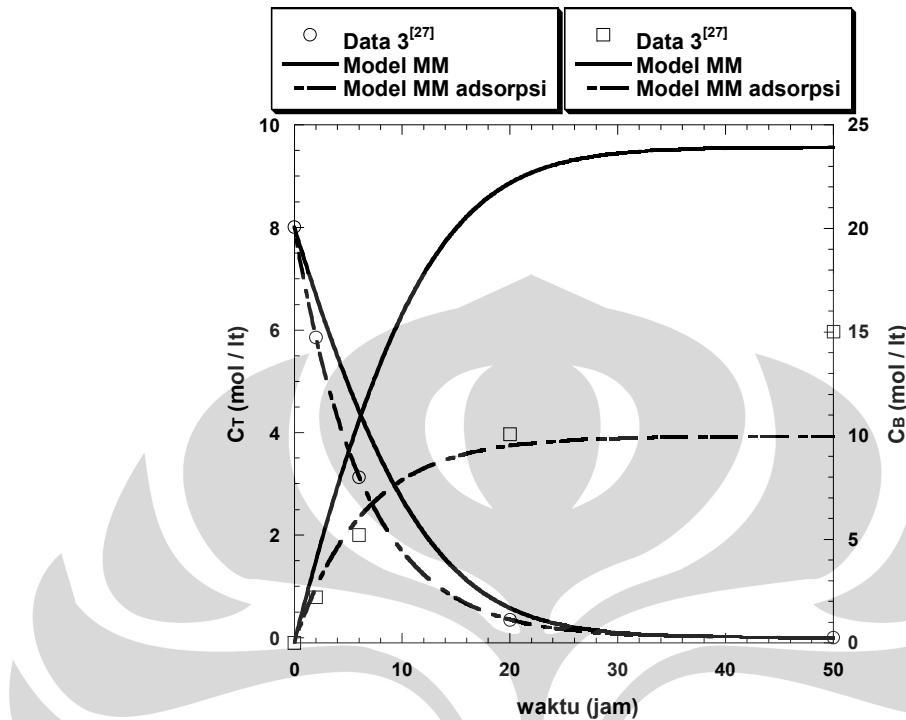
Model Michaelis – Menten adsorpsi ini diturunkan agar mampu menjelaskan adanya mekanisme reaksi di bulk dan permukaan katalis sehingga mampu menggambarkan dengan baik mekanisme yang direpresentasikan oleh data hasil eksperimen sintesis biodiesel dengan biokatalis terimmobilisasi. Berikut merupakan hasil plot antara data hasil eksperimen dengan data yang diperoleh melalui pemodelan berbasis Michaelis – Menten adsorpsi, yang ditunjukkan pada **Gambar 4.9 – 4.13**.

**Data 2<sup>[27]</sup>****Gambar 4.9** Hasil Fitting Model Kinetika Michaelis–Menten Adsorpsi terhadap Data 2<sup>[27]</sup>.

Hasil estimasi parameter yang diperoleh melalui *fitting* di atas adalah sebagai berikut.

**Tabel 4.19** Parameter Hasil Estimasi Menggunakan Model Kinetika Michaelis – Menten adsorpsi terhadap Data 2<sup>[27]</sup>.

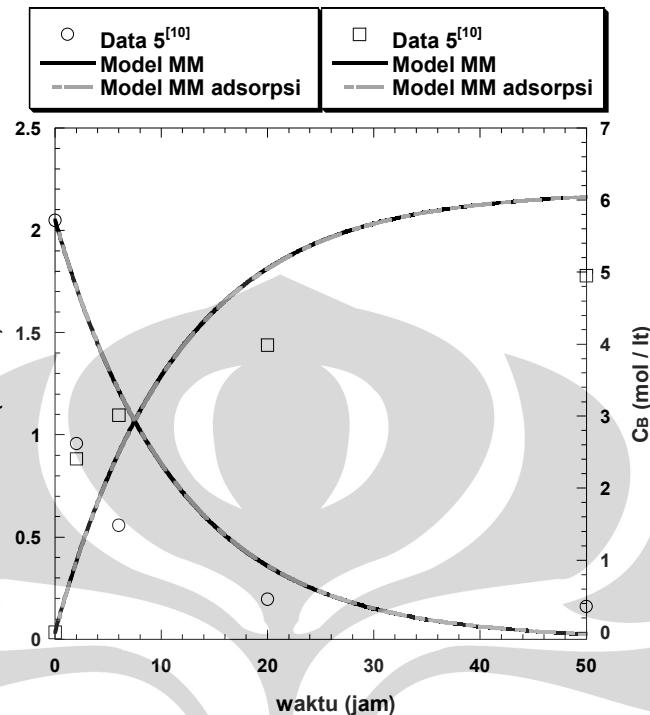
Parameter	Nilai	Error	Parameter	Nilai	Error
V <sub>max</sub>	2.023E+02	5.5546	K <sub>S</sub>	2.663E-02	5.5546
K <sub>M</sub>	7.002E+01	5.5546	K <sub>B</sub>	1.000E-10	5.5546

**Data 3<sup>[27]</sup>****Gambar 4.10** Hasil Fitting Model Kinetika Michaelis–Menten Adsorpsi terhadap Data 3<sup>[27]</sup>.

Hasil estimasi parameter yang diperoleh melalui *fitting* di atas adalah sebagai berikut.

**Tabel 4.20** Parameter Hasil Estimasi Menggunakan Model Kinetika Michaelis – Menten adsorpsi terhadap Data 3<sup>[27]</sup>.

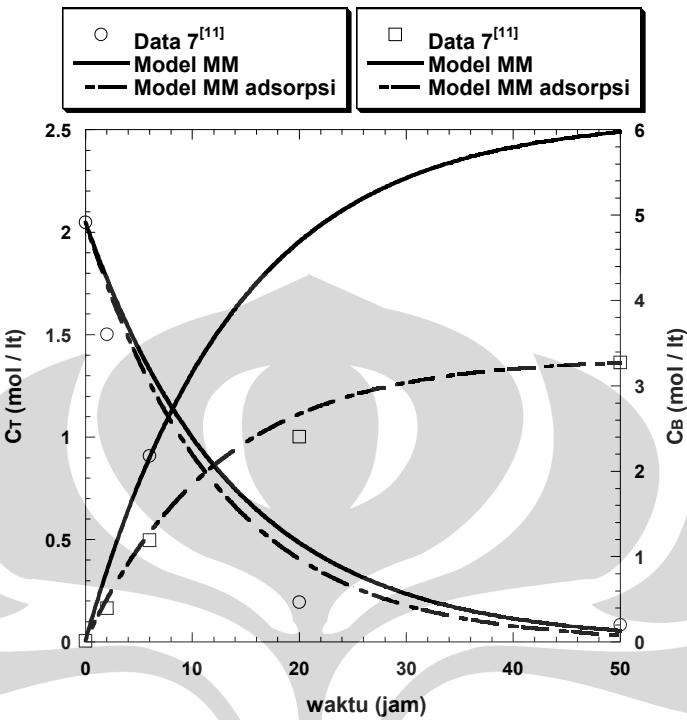
Parameter	Nilai	Error	Parameter	Nilai	Error
$V_{max}$	4.635E+02	0.3179	$K_s$	2.653E-04	0.3179
$K_M$	7.891E-01	0.3179	$K_B$	1.394E+00	0.3179

**Data 5<sup>[10]</sup>****Gambar 4.11** Hasil Fitting Model Kinetika Michaelis–Menton Adsorpsi terhadap Data 5<sup>[10]</sup>.

Hasil estimasi parameter yang diperoleh melalui *fitting* di atas adalah sebagai berikut.

**Tabel 4.21** Parameter Hasil Estimasi Menggunakan Model Kinetika Michaelis – Menten adsorpsi terhadap Data 5<sup>[10]</sup>.

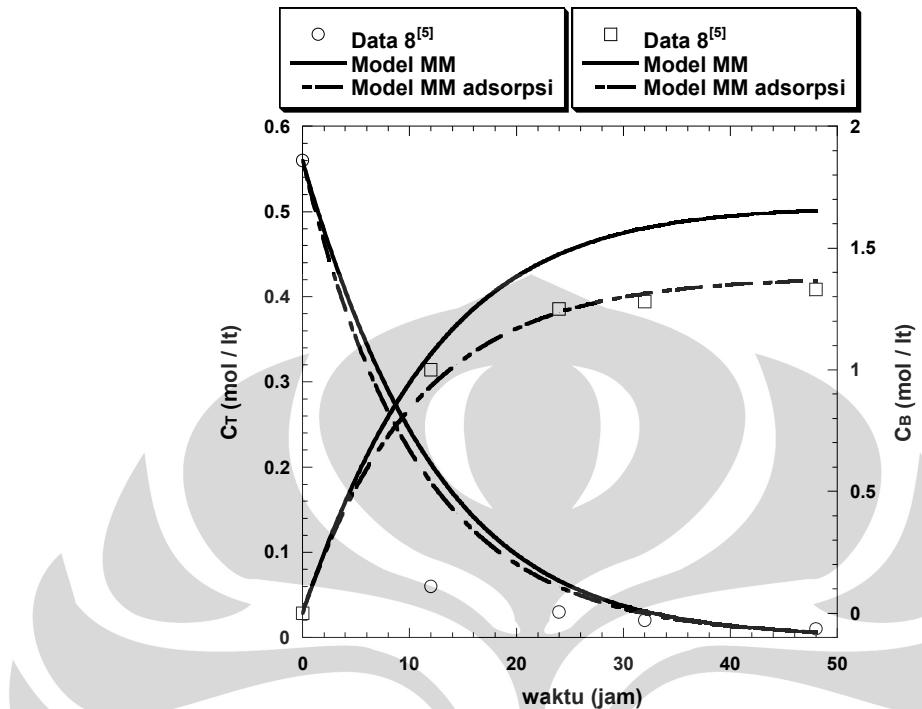
Parameter	Nilai	Error	Parameter	Nilai	Error
$V_{max}$	1.135E+03	6.9035	$K_s$	1.099E-04	6.9035
$K_M$	1.436E+00	6.9035	$K_B$	1.000E-10	6.9035

**Data 7<sup>[11]</sup>****Gambar 4.12** Hasil Fitting Model Kinetika Michaelis–Menten Adsorpsi terhadap Data 7<sup>[11]</sup>.

Hasil estimasi parameter yang diperoleh melalui *fitting* di atas adalah sebagai berikut.

**Tabel 4.22** Parameter Hasil Estimasi Menggunakan Model Kinetika Michaelis – Menten adsorpsi terhadap Data 7<sup>[11]</sup>.

Parameter	Nilai	Error	Parameter	Nilai	Error
$V_{max}$	1.382E+02	2.2783	$K_s$	5.154E-04	2.2783
$K_M$	8.773E-01	2.2783	$K_B$	8.610E-01	2.2783

**Data 8<sup>[5]</sup>**

**Gambar 4.13** Hasil Fitting Model Kinetika Michaelis–Menton Adsorpsi terhadap Data 8<sup>[5]</sup>.

Hasil estimasi parameter yang diperoleh melalui *fitting* di atas adalah sebagai berikut.

**Tabel 4.23** Parameter Hasil Estimasi Menggunakan Model Kinetika Michaelis – Menten adsorpsi terhadap Data 8<sup>[5]</sup>.

Parameter	Nilai	Error	Parameter	Nilai	Error
V <sub>max</sub>	8.208E+02	2.1542	K <sub>S</sub>	1.041E-04	2.1542
K <sub>M</sub>	9.138E-01	2.1542	K <sub>B</sub>	2.098E-01	2.1542

Melalui prosedur *fitting* kurva, diperoleh parameter – parameter yang tidak diketahui dalam pemodelan kinetika Michaelis – Menten adsorpsi, yaitu K<sub>M</sub>, K<sub>S</sub>, K<sub>B</sub>, dan V<sub>max</sub>, dimana K<sub>S</sub> dan K<sub>B</sub> masing – masing mewakili konstanta adsorpsi dari substrat dan produk biodiesel. Parameter yang diperoleh dari berbagai data penelitian menggunakan prosedur *fitting* tersebut ditunjukkan melalui **Tabel 4.19 – 4.23**. Pada nilai V<sub>MAX</sub> yang diperoleh berdasarkan hasil *fitting* kurva memiliki nilai yang bervariasi mulai dari 1.383E+02 hingga 1.135E+03, dimana nilai terkecil tersebut diperoleh pada data 7<sup>[11]</sup>, dan nilai terbesar diperoleh pada data 5<sup>[10]</sup>. Nilai konstanta K<sub>M</sub> yang diperoleh berdasarkan hasil *fitting* kurva memiliki nilai yang bervariasi mulai dari 7.891E-01 hingga 7.002E+01, dimana konstanta

Universitas Indonesia

terkecil tersebut diperoleh pada data 3<sup>[27]</sup>, dan konstanta terbesar diperoleh pada data 2<sup>[27]</sup>. Sedangkan untuk nilai konstanta adsorpsi  $K_s$  yang diperoleh berdasarkan kasil *fitting* kurva memiliki nilai yang bervariasi mulai dari 1.041E-04 hingga 2.653E-04, dimana konstanta terkecil tersebut diperoleh pada data 8<sup>[5]</sup>, dan konstanta terbesar diperoleh pada data 3<sup>[27]</sup>. Untuk nilai konstanta adsorpsi  $K_B$  yang diperoleh berdasarkan kasil *fitting* kurva memiliki nilai yang bervariasi mulai dari 1.000E-10 hingga 1.394E+00, dimana konstanta terkecil tersebut diperoleh pada data 2<sup>[27]</sup>, 5<sup>[10]</sup> dan konstanta terbesar diperoleh pada data 3<sup>[27]</sup>. Kecilnya nilai konstanta mengindikasikan bahwa laju reaksi yang diwakili oleh konstanta tersebut berlangsung lambat. Sedangkan nilai konstanta yang besar mengindikasikan bahwa laju reaksi yang diwakili oleh konstanta tersebut berlangsung cepat. Besarnya nilai konstanta adsorpsi yang diperoleh mengindikasikan kecepatan adsorpsi suatu komponen.

Kurva hasil plot antara data eksperimen terhadap model kinetika Michaelis – Menten adsorpsi ditunjukkan oleh garis putus - putus pada **Gambar 4.9 – 4.13**. Melalui gambar tersebut dapat dilihat laju pembentukan biodiesel terhadap waktu, dimana banyaknya jumlah konsentrasi biodiesel yang terbentuk dalam waktu tertentu dapat menunjukkan kinerja optimal dari suatu enzim sebagai biokatalis. Dari profil laju reaksi konsentrasi trigliserida (mol/L) yang terbentuk maka didapatkan *trend* profil konsentrasi yang terus menurun. Penurunan konsentrasi trigliserida menunjukkan adanya laju reaksi pembentukan produk selama reaksi. Hal ini terlihat dari profil konsentrasi biodiesel yang semakin terus meningkat seiring dengan meningkatnya waktu. Berdasarkan teori laju reaksi dengan semakin lamanya waktu reaksi maka produk yang dihasilkan akan semakin besar.

Melalui **Gambar 4.9 – 4.13** dapat dilihat pula pada saat konsentrasi trigliserida awal mulai meningkat, terjadi penurunan laju reaksi yang dipertimbangkan akibat adanya biodiesel yang telah dihasilkan yang kemudian menginhibisi reaksi. Inhibitor berupa produk dapat mengurangi atau bahkan menghentikan aktivitas katalitik enzim dalam reaksi pembentukan produk selanjutnya, karena produk yang terbentuk ini dapat menghalangi atau menganggu *active site*, yang dapat mencegah molekul substrat untuk terikat pada enzim, dimana produk biodiesel yang terbentuk dapat “berkompetisi” dengan substrat

untuk berikatan dengan *active site* pada enzim. Selain dapat mengganggu *active site* enzim, inhibitor berupa produk dapat pula menempel pada bagian enzim lainnya yang mampu mengubah bentuk enzim, sehingga substrat tidak mampu “mengenali” enzim.

Karena adsorpsi didasari pada kontak antara enzim dengan permukaan *support*, maka kecenderungan kurva pada data yang menggunakan lipase terimmobilisasi metode adsorpsi untuk terus mengalami peningkatan konsentrasi tersebut disebabkan oleh adanya sebagian *free* lipase yang tidak terikat secara sempurna pada *support*. Selain itu dapat pula akibat pengaruh luas kontak biokatalis diperlukan *support* untuk mengikat substrat yang menyebabkan rendahnya konsentrasi biodiesel yang terbentuk dari immobilisasi metode adsorpsi. Perbedaan dapat dilihat melalui kurva laju pembentukan biodiesel dengan lipase terimobilisasi metode adsorpsi pada data  $2^{[27]}$ ,  $3^{[27]}$ ,  $5^{[10]}$   $7^{[11]}$ ,  $8^{[5]}$ , dimana terlihat bahwa pembentukan produk biodiesel masih terus mengalami peningkatan bahkan pada  $t = 50$  jam, jika dibandingkan dengan pembentukan produk biodiesel yang dihasilkan dengan menggunakan lipase tersuspensi pada data  $1^{[27]}$ ,  $3^{[27]}$   $4^{[5]}$   $5^{[10]}$ ,  $7^{[11]}$ , terlihat bahwa laju pembentukan produk biodiesel cenderung sudah konstan sebelum memasuki  $t = 50$  jam.

Dari **Gambar 4.9 – 4.13** terlihat bahwa kurva konsentrasi biodiesel yang dihasilkan melalui pemodelan dengan mekanisme Michaelis – Menten tanpa mempertimbangkan adanya faktor adsorpsi, yang ditunjukkan melalui garis lurus mempunyai nilai yang lebih tinggi pada akhir reaksi dibandingkan dengan kurva konsentrasi biodiesel yang dihasilkan melalui pemodelan dengan mekanisme Michaelis – Menten yang mempertimbangkan adanya faktor adsorpsi, yang ditunjukkan melalui garis putus – putus, dimana pada beberapa data cenderung untuk mendekati data eksperimen yang sebenarnya. Hal tersebut karena berdasarkan fenomena yang terjadi pada eksperimen, enzim yang diimmobilisasi menyebabkan enzim tidak dapat dapat mengkonversi substrat trigliserida secara total menjadi biodiesel, sehingga konsentrasi trigliserida pada eksperimen tidak habis dan cenderung tetap setelah reaksi mencapai waktu 50 jam. Oleh karena itu, model Michaelis – Menten adsorpsi digunakan untuk menjelaskan adanya fenomena reaksi di bulk dan permukaan katalis sehingga mampu menggambarkan

dengan baik fenomena yang direpresentasikan oleh data hasil eksperimen sintesis biodiesel dengan biokatalis terimmobilisasi, seperti yang ditunjukkan oleh garis putus – putus pada **Gambar 4.9 – 4.13**.

Secara umum, berdasarkan kurva yang dihasilkan melalui pemodelan menunjukkan hasil yang cukup sesuai antara data percobaan dengan hasil pemodelan menggunakan mekanisme Michaelis – Menten adsorpsi, tidak ditemukan penyimpangan yang terlalu signifikan pada beberapa data khususnya data 3<sup>[27]</sup>, 7<sup>[11]</sup>, 8<sup>[5]</sup>, hal tersebut menandakan bahwa pemodelan ini mampu menggambarkan laju reaksi pembentukan produk biodiesel dengan cukup baik. Hal tersebut ditunjukkan pula dengan hasil estimasi konstanta yang memiliki nilai kesalahan relatif yang sangat rendah untuk masing-masing data, seperti yang terlihat pada **Tabel 4.24**.

#### 4.2.2 Analisis Sensitivitas

Setelah nilai konstanta kinetika reaksi diperolah, selanjutnya dilakukan analisis sensitivitas untuk menguji sensitivitas dan kelayakan terhadap konstanta - konstanta yang diperoleh melalui *fitting* antara hasil perhitungan dengan hasil eksperimen untuk menilai *reliability* dari model yang digunakan.

Setelah nilai konstanta kinetika reaksi diperolah, selanjutnya dilakukan analisis sensitivitas untuk menguji sensitivitas dan kelayakan terhadap konstanta - konstanta yang diperoleh melalui *fitting* antara hasil perhitungan dengan hasil eksperimen untuk menilai *reliability* dari model yang digunakan.

Analisis sensitivitas dilakukan dengan mengubah nilai satu konstanta sebesar 50% lebih rendah dan 50% lebih tinggi dari nilai estimasi tanpa mengubah nilai konstanta yang lain. Kemudian dibandingkan nilai jumlah kuadrat error relatif, S, dari ketiga nilai konstanta tersebut, dimana suatu konstanta dikatakan sensitif (baik) jika memiliki nilai S minimum terhadap nilai konstanta yang telah disimpangkan. Melalui analisis ini dapat diketahui apakah nilai konstanta yang diperoleh merupakan nilai yang tepat.

Model kinetika Michaelis – Menten adsorpsi memiliki empat buah konstanta yang akan diuji sensitifitasnya, yaitu  $K_M$ ,  $K_S$ ,  $K_B$ , dan  $V_{MAX}$ . Hasil analisis sensitivitas berdasarkan model kinetika Michaelis – Menten adsorpsi ditunjukkan pada **Tabel 4.24**.

**Universitas Indonesia**

**Tabel 4.24** Analisis Sensitivitas Konstanta Laju Reaksi Menggunakan Pemodelan Michealis – Menten Adsorpsi

Data 2 <sup>[27]</sup>							
Parameter	Nilai	S	Deviasi	Parameter	Nilai	S	Deviasi
$V_{max}$	1.012E+02	9.0629	63.1590	$K_s$	1.331E-02	8.9962	61.9578
	2.023E+02	5.5546	min		2.663E-02	5.5546	min
	3.035E+02	6.5438	17.8078		3.994E-02	6.4896	16.8323
$K_m$	3.501E+01	8.3685	50.6584	$K_b$	5.000E-11	5.5546	2.305E-09
	7.002E+01	5.5546	min		1.000E-10	5.5546	min
	1.050E+02	6.8425	23.1848		1.500E-10	5.5546	4.204E-09
Data 3 <sup>[27]</sup>							
Parameter	Nilai	S	Deviasi	Parameter	Nilai	S	Deviasi
$V_{max}$	2.318E+02	10.0723	3067.9351	$K_s$	1.327E-04	10.0636	3065.1984
	4.635E+02	0.3179	min		2.653E-04	0.3179	min
	6.953E+02	9.9546	3030.8932		3.980E-04	9.9425	3027.0865
$K_m$	3.945E-01	15.7582	4856.2479	$K_b$	6.971E-01	1.0706	236.7305
	7.891E-01	0.3179	min		1.394E+00	0.3179	min
	1.184E+00	6.4996	1944.2447		2.091E+00	0.7692	141.9273
Data 5 <sup>[10]</sup>							
Parameter	Nilai	S	Deviasi	Parameter	Nilai	S	Deviasi
$V_{max}$	5.677E+02	10.8666	57.4067	$K_s$	5.494E-05	10.8657	57.3935
	1.135E+03	6.9035	min		1.099E-04	6.9035	min
	1.703E+03	7.8932	14.3365		1.648E-04	7.8930	14.3337
$K_m$	7.181E-01	9.8034	42.0057	$K_b$	5.000E-11	6.9035	1.727E-09
	1.436E+00	6.9035	min		1.000E-10	6.9035	min
	2.154E+00	8.2770	19.8953		1.500E-10	6.9035	1.170E-09
Data 7 <sup>[11]</sup>							
Parameter	Nilai	S	Deviasi	Parameter	Nilai	S	Deviasi
$V_{max}$	6.912E+01	7.8010	242.4093	$K_s$	2.577E-04	7.7949	242.1423
	1.382E+02	2.2783	min		5.154E-04	2.2783	min
	2.074E+02	4.4996	97.5027		7.731E-04	4.4960	97.3446
$K_m$	4.387E-01	8.2617	262.6300	$K_b$	4.305E-01	2.7106	18.9769
	8.773E-01	2.2783	min		8.610E-01	2.2783	min
	1.316E+00	4.6864	105.6989		1.291E+00	2.5464	11.7697
Data 8 <sup>[5]</sup>							
Parameter	Nilai	S	Deviasi	Parameter	Nilai	S	Deviasi
$V_{max}$	4.104E+02	10.8282	402.6586	$K_s$	5.203E-05	10.8275	402.6246
	8.208E+02	2.1542	min		1.041E-04	2.1542	min
	1.231E+03	7.3981	243.4290		1.561E-04	7.3970	243.3791
$K_m$	4.569E-01	12.6105	485.3912	$K_b$	1.049E-01	10.5804	391.1560
	9.138E-01	2.1542	min		2.098E-01	2.1542	min
	1.371E+00	6.6363	208.0647		3.147E-01	11.1326	416.7855

Pada tabel terlihat bahwa seluruh nilai S dari konstanta  $K_m$ ,  $K_s$ ,  $K_b$ , dan  $V_{max}$  pada seluruh data menunjukkan nilai yang lebih besar dibandingkan dengan  $S_{min}$  yang diperoleh berdasarkan hasil *fitting*, dimana nilai deviasi yang diperoleh untuk  $K_m$  berkisar antara 19.8953 hingga 4,856.2479. Deviasi minimum sebesar 19.8953 terdapat pada data 5<sup>[10]</sup> yaitu nilai S yang disimpangkan menjadi 50%

Universitas Indonesia

lebih besar. Sedangkan untuk nilai S yang disimpangkan menjadi 50% lebih kecil pada data tersebut, diperolah deviasi sebesar 42.0057. Lebih rendahnya deviasi nilai error (S) yang dihasilkan pada data 5<sup>[10]</sup>, menunjukkan bahwa K<sub>M</sub> pada data tersebut kurang sensitif dibandingkan dengan K<sub>M</sub> pada data yang lainnya.

Nilai deviasi yang diperoleh untuk K<sub>S</sub> berkisar antara 14.3337 hingga 3,065.1984. Deviasi minimum sebesar 14.3337 terdapat pada data 5<sup>[10]</sup> yaitu nilai S yang disimpangkan menjadi 50% lebih besar. Sedangkan untuk nilai S yang disimpangkan menjadi 50% lebih kecil pada data tersebut, diperolah deviasi sebesar 57.3935. Lebih rendahnya deviasi nilai error (S) yang dihasilkan pada data 5<sup>[10]</sup>, menunjukkan bahwa K<sub>S</sub> pada data tersebut kurang sensitif dibandingkan dengan K<sub>S</sub> pada data yang lainnya.

Nilai deviasi yang diperoleh untuk K<sub>B</sub> berkisar antara 1.170E-09 hingga 416.7855. Deviasi minimum sebesar 1.170E-09 terdapat pada data 5<sup>[10]</sup> yaitu nilai S yang disimpangkan menjadi 50% lebih besar. Sedangkan untuk nilai S yang disimpangkan menjadi 50% lebih kecil pada data tersebut, diperolah deviasi sebesar 1.173E-09. Lebih rendahnya deviasi nilai error (S) yang dihasilkan pada data 5<sup>[10]</sup>, menunjukkan bahwa K<sub>B</sub> pada data tersebut kurang sensitif dibandingkan dengan K<sub>B</sub> pada data yang lainnya.

Nilai deviasi yang diperoleh untuk V<sub>MAX</sub> berkisar antara 14.3365 hingga 3,067.9351. Deviasi minimum sebesar 14.3365 terdapat pada data 5<sup>[10]</sup> yaitu nilai S yang disimpangkan menjadi 50% lebih besar. Sedangkan untuk nilai S yang disimpangkan menjadi 50% lebih kecil pada data tersebut, diperolah deviasi sebesar 57.4067. Lebih rendahnya deviasi nilai error (S) yang dihasilkan pada data 5<sup>[10]</sup>, menunjukkan bahwa konstanta V<sub>MAX</sub> pada data tersebut kurang sensitif dibandingkan dengan konstanta V<sub>MAX</sub> pada data yang lainnya.

Berdasarkan hasil analisis sensitivitas konstanta pada berbagai data, diketahui bahwa data 5<sup>[10]</sup> memiliki sensitivitas yang lebih rendah dibandingkan dengan data lainnya. Sedangkan data yang memiliki sensitivitas paling baik ialah data 3<sup>[27]</sup>. Secara umum, berdasarkan hasil analisis sensitivitas dari keseluruhan konstanta yang diperoleh berdasarkan model kinetika Michaelis – Menten adsorpsi, menunjukkan *reliability* dari konstanta hasil pemodelan.

## BAB 5

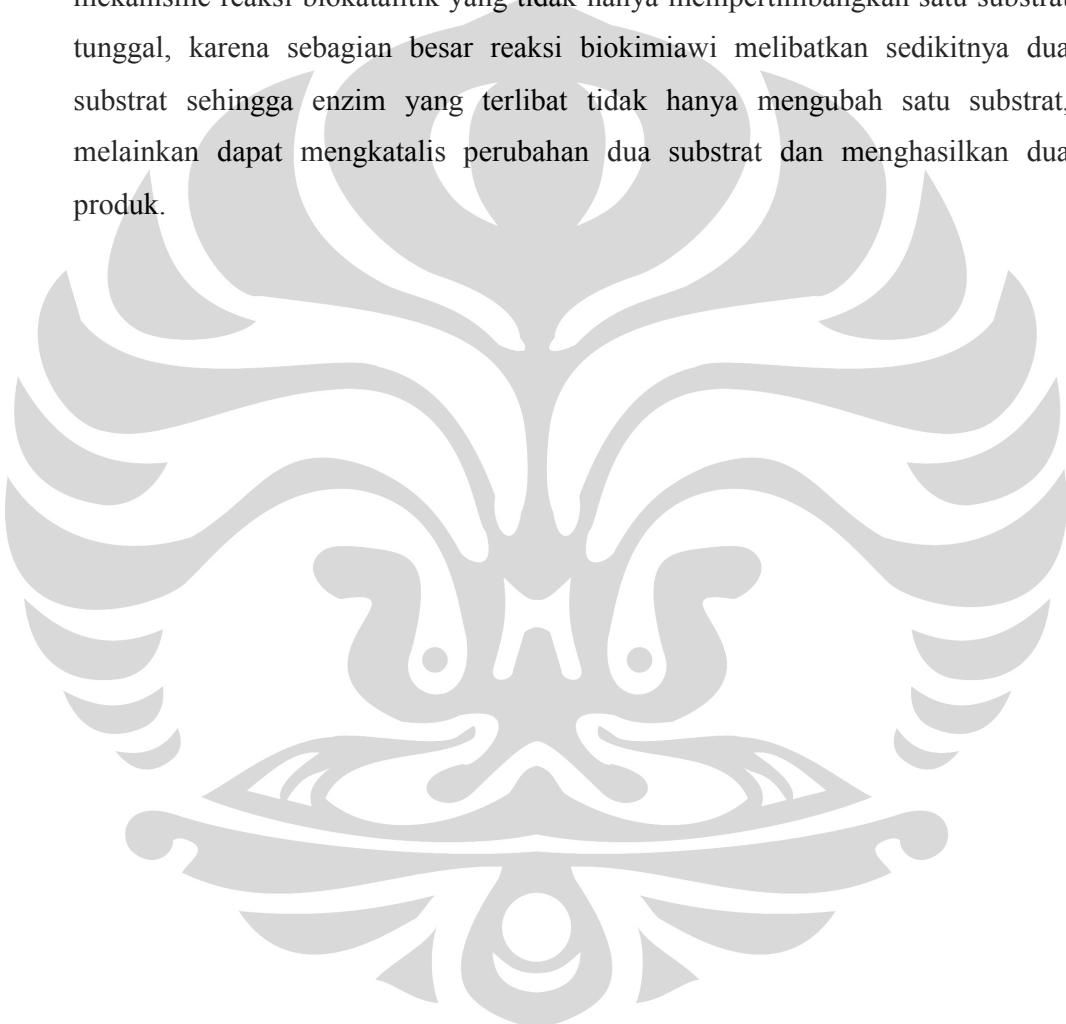
### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

- ▶ Pemodelan matematis untuk sintesis biodiesel menggunakan mekanisme Michaelis-Menten memiliki validitas yang belum cukup baik, khususnya dalam menggambarkan profil konsentrasi reaktan, dan produk dalam sintesis biodiesel rute non-alkohol dengan menggunakan biokatalis terimmobilisasi, hal tersebut dapat dilihat dari nilai error yang dihasilkan.
- ▶ Nilai error paling kecil untuk pemodelan Michaelis – Menten dihasilkan oleh data 1<sup>[27]</sup> dengan nilai 1.8850, dimana nilai parameter hasil estimasi yang dihasilkan yaitu  $V_{max}$  sebesar 2.8052E-01 dan  $K_M$  sebesar 1.6052E+00.
- ▶ Pemodelan matematis untuk sintesis biodiesel menggunakan mekanisme Michaelis-Menten dengan mempertimbangkan adanya faktor adsorpsi yang diaplikasikan pada data sintesis biodiesel dengan menggunakan biokatalis terimmobilisasi memiliki validitas yang lebih baik daripada model Michaelis-Menten yang tidak mempertimbangkan faktor adsorpsi, hal tersebut dapat dilihat dari nilai error yang dihasilkan.
- ▶ Nilai error paling kecil untuk pemodelan Michaelis – Menten adsorpsi dihasilkan oleh data 3<sup>[27]</sup> dengan nilai 0.3179, dimana nilai parameter hasil estimasi yang dihasilkan yaitu  $V_{max}$  sebesar 4.635E+02,  $K_M$  sebesar 7.891E-01,  $K_S$  sebesar 2.653E-04, dan  $K_B$  sebesar 1.394E+00.
- ▶ Secara umum, berdasarkan hasil analisis sensitivitas dari keseluruhan konstanta yang diperoleh baik berdasarkan model kinetika Michaelis – Menten yang mempertimbangkan adanya faktor adsorpsi maupun tanpa pertimbangan adanya faktor adsorpsi, menunjukkan sensitivitas yang cukup tinggi dari konstanta hasil pemodelan tersebut.

## 5.2 Saran

Pada dasarnya, reaksi dari suatu enzim dengan suatu substrat akan melibatkan pembentukan produk tengah (intermediate) yang kemudian beraksi kembali dengan substrat yang lain atau terdekomposisi untuk membentuk produk. Sehingga untuk mengetahui sifat dan perilaku dari reaksi enzimatik dalam sintesa biodiesel secara lebih valid, sebaiknya digunakan pemodelan menggunakan mekanisme reaksi biokatalitik yang tidak hanya mempertimbangkan satu substrat tunggal, karena sebagian besar reaksi biokimiawi melibatkan sedikitnya dua substrat sehingga enzim yang terlibat tidak hanya mengubah satu substrat, melainkan dapat mengkatalis perubahan dua substrat dan menghasilkan dua produk.



## DAFTAR ACUAN

- [1]. Tatang H. Soerawidjaja, *Membangun Industri Biodiesel Di Indonesia, Beberapa Skenario dan Persoalan Pengembangan yang Perlu Dicermati*, (Bandung, 2005).
- [2]. A. Suryana, et al., *Prospek dan Arah Pengembangan Agribisnis Kelapa Sawit di Indonesia*, (Jakarta: Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian Departemen Pertanian Republik Indonesia, 2005).
- [3]. Heri Hermansyah, dkk. (2008). “Pengembangan Rute Sintesis Biodiesel Non Alkohol Menggunakan Biokatalis: State of the Art”. Depok: Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.
- [4]. Wei Du, et al. (2004). “Comparative Study on Lipase – Catalyzed Transformation of Soybean Oil for Biodiesel Production with Different Acyl Acceptor”. *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic*, 30(2004): 125–129.
- [5]. Yuanyuan Xu, Wei Du, and Dehua Liu. (2005). “Study on the Kinetics of Enzymatic Interesterification of Triglycerides for Biodiesel Production with Methyl Acetate as the Acyl Acceptor”. *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic*, 32(2005): 241–245.
- [6]. Sunil S. Bhagwat. (2005). “Transesterification of Substituted Ethanol-Modelling Studies”. *Biochemical Engineering Journal*, 22 (2005) 253.259.
- [7]. Mukesh Kumar Modi. (2007). ‘Lipase-Mediated Conversion of Vegetable Oils Into Biodiesel Using Ethyl Acetate as Acyl Acceptor’. *Bioresource Technology*, 98 (2007): 1260-1264.
- [8]. Heri Hermasnyah, dkk. (2008). “Sintesis Biodiesel Rute Non Alkohol Menggunakan *Candida rugosa* lipase dalam Bentuk Tersuspensi”. Depok: Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.
- [9]. Heri Hermasnyah, dkk. (2008). “Sintesis Biodiesel Rute Non Alkohol Menggunakan *Candida rugosa* lipase yang diimobilisasi melalui Metode Adsorpsi”. Depok: Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.
- [10]. M. Ekky Rizkiyadi, “Reaksi Interesterifikasi Minyak Jelantah dengan Metil Asetat Menggunakan Biokatalis *Candida rugosa* Lipase untuk Memproduksi Biodiesel”, Skripsi, Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik UI, Depok, 2008.
- [11]. Risan A. Surendro, “Reaksi Interesterifikasi Minyak Jelantah dengan Metil Asetat Menggunakan Biokatalis *Porcine pancreatic* Lipase Untuk Memproduksi Biodiesel” Skripsi, Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik UI, Depok, 2008.
- [12]. Anonim. *Biodiesel Sebagai Pengganti Solar*. Diakses tanggal 15 Januari 2009, dari terranet. <http://www.terranet.or.id>

- [13]. Haryanto, Bode, *Bahan Bakar Alternatif Biodiesel*, (Jurusan Teknik Kimia Universitas Sumetera Utara: USU digital library, 2002).
- [14]. Adustinus Zandy, *Intensifikasi Proses Produksi Biodiesel*, (Bandung: Institut Teknologi Bandung, 2002).
- [15]. Anjana Srivastava and Prasad Ram, *Triglycerides-Based Diesel Fuels*, (PERGAMON, 1999).
- [16]. Fangrui Ma and Milford A. Hanna. (1999). "Biodiesel Production: A Review". *Bioresource Technology*, 70 (1999): 1-15.
- [17]. Tomi Hendartono. 2005. *Pemanfaatan Minyak dari Tumbuhan untuk Pembuatan Biodiesel*. Diakses tanggal 28 maret 2007.
- [18]. Ulf Schuchardt. et al. (1998). "Transesterification of Vegetable Oils: a Review". *J. Braz. Chem. Sec.*, Vol. 9 No. 1, 199-210.1998.
- [19]. Endang Sukara. *Pemanfaatan Biodiversity*. Diakses tanggal 5 Mei 2009. <http://www.biotech.lipi.go.id>
- [20]. Johan Nasiri. *Biodiesel : Upaya Mengurangi Ketergantungan Minyak Bumi*. Diakses tanggal 15 Januari 2009. <http://www.sentrapolimer.com>
- [21]. Takaaki Watanabe, et al. (2003). "Optimization of Reaction Conditions for the Production of DAG Using Immobilized 1,3-Regiospecific Lipase Lipozyme RM IM". *JAACS*, 80 (2003): 1201-1207.
- [22]. Hideki Fukuda, A. Kondo, and H. Noda. (2001). "Biodiesel Fuel Production by Transesterification of Oils". *J. Biosci. Bioeng.*, 92(2001):405–416.
- [23]. A. R. MacRae. (1983). "Lipase Catalysed Interesterification of Oil and Fats". *JAAC*, 60(2):291-294.
- [24]. G. Vicente, M. Martinez, and J. Aracil. (2004). "Integrated Biodiesel Production: A Comparison of Different Homogeneous Catalysts Systems." *Bioresource Technology*, 92(3) 297-305 (2004).
- [25]. Anonim. *Tips Memilih Enzim Sebagai Ingredien Pangan*. Diakses tanggal 20 Februari 2009. <http://pipimm.org/cetak>
- [26]. Anonim. *Ilustrasi Metode Immobilisasi Enzim*. Diakses tanggal 15 Maret 2009. <http://www.lsbu.ac.uk/biology/enztech/immmethod.html>
- [27]. Septhian Marno, "Interesterifikasi Minyak Kelapa Sawit dengan Metil Asetat Menggunakan Biokatalis untuk Memproduksi Biodiesel", Skripsi, Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik UI, Depok 2008.
- [28]. Valerie Dossat, Didier Combes, and Alain Marty. (2002). "Lipase-catalysed Transesterification of High Oleic Sunflower Oil". *Enzyme and Microbial Technology*, 30 (2002): 90–94.
- [29]. P. J. Worsfold, *Classification and Chemical Characteristic of Immobilized Enzymes*, (United Kingdom: Department of Environmental Sciences, University of Plymouth, Plymouth, Devon,1995).

- [<sup>30</sup>]. Knothe, et al., *Biodiesel: The Use of Vegetable Oils and Their Derivatives as Alternative Diesel Fuels Oil Research*. National Center for Agricultural Utilization Research. (Agricultural Research Service, U.S. Department of Agriculture, Peoria, 1996).
- [<sup>31</sup>]. Supranto, *Pengaruh Suhu dan Perbandingan Reaksi pada Pembuatan Metil Ester Biodiesel dari Destilat Asam Lemak Minyak Sawit*, (Pusat Studi Energi Universitas Gadjah Mada, 2002).
- [<sup>32</sup>]. G. Vicente, Martinez, M., & Aracil, J. (2004). "Integrated Biodiesel Production: A Comparison of Different Homogeneous Catalysts Systems." *Bioresource Technology*, 92(3) 297-305 (2004).
- [<sup>33</sup>]. M. Diasakou, A. Louloudi, and N. Papayannakos. (1997). "Kinetics of the Non – catalytic Transesterification of Soybean Oil". *Elsevier Science*, 16-2361 (98) 25-8.
- [<sup>34</sup>]. K.S. Karmee, et al. (2004). "Kinetic Study of the Base - Catalyzed Transesterification of Monoglycerides from Pongamia Oil". *JAOCS*, 81 (2004): 425 -430.
- [<sup>35</sup>]. D. Kusdiana, and S. Saka. (1999). "Kinetics of Transesterification in Rapeseed Oil to Biodiesel Fuel as Treated in Supercritical Methanol". *Elsevier Science*, Fuel 80 (2001): 693±698.
- [<sup>36</sup>]. G. Vicente, et al. (2005). "Kinetics of Sunflower Oil Methanolysis". *Ind. Eng. Chem. Res.*, 44 (2005): 5447-5454.
- [<sup>37</sup>]. G. Vicente, Mercedes Martinez, and Jose Aracil. (2006). "Kinetics of Brassica carinata Oil Methanolysis". *Energy and Fuels*, 2006, 20, 1722-1726.
- [<sup>38</sup>]. H. Noureddini and D.Zhu. (1997). "Kinetics of Transesterification of Soybean Oil". *JAOCS*, 74 (1997): 1457-1463.
- [<sup>39</sup>]. José A., Colucci, Ernesto E. Borrero, and Fabio Alape. (2005). "Biodiesel from an Alkaline Transesterification Reaction of Soybean Oil Using Ultrasonic Mixing". *JAOCS*, 82(2005): 525-530.
- [<sup>40</sup>]. D. Darnoko. and Munir Cheryan. (2000). Kinetics of Palm Oil Transesterification in a Batch Reactor". *JAOCS*, 77(2000): 1263-1267.
- [<sup>41</sup>]. Sulaiman Al-Zuhair. (2005). "Production of Biodiesel by Lipase-Catalyzed Transesterification of Vegetable Oils: A Kinetics Study". *Biotechnol. Prog.*, 21(2005): 1442-1448.
- [<sup>42</sup>]. Benjamas Cheirsilpa, Aran H-Kittikuna, and Suchart Limkatanyub. (2008). "Impact of Transesterification Mechanisms on the Kinetic Modeling of Biodiesel Production by Immobilized Lipase". *Biochemical Engineering Journal* , xxx (2008) xxx-xxx.
- [<sup>43</sup>]. Sulaiman Al-Zuhair. (2006). "The Effect of Substrate Concentrations on the Production of Biodiesel by Lipase-catalysed Transesterification of Vegetable Oils". *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, 81 (2006): 299-30.

- [44]. Li Deng, *et al.* 2003. "Enzymatic production of Fatty Acid Alkyl Esters with a Lipase Preparation from *Candida* Sp. 99-125". *Eur. J. Lipid Sci. Technol.*, 105 (2003) 727–734.
- [45]. Heri Hermansyah, dkk. (2009). "Kinetic Model Based on Ping Pong Bi-Bi Mechanism for Enzymatic Interesterification to Produce Biodiesel". Depok: Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.
- [46]. Ozan Kose, *et al.* "Immobilized *Candida antarctica* lipase-catalyzed alcoholysis of cotton seed oil in a solvent-free medium". *Bioresource Technology*, 83 (2002) 125–129.
- [47]. C.K.Torres, *et al.* "Lipase – Catalyzed Ethanolysis of Borage Oil: A Kinetic Study". *Biotechol. Prog*, 20 (2004), 756- 763.
- [48]. Nevena Ognjanovic, *et. al.* "Enzymatic Conversion of Sunflower Oil to Biodiesel in a Solvent- Free System Process Optimization and the immobilized system stability". *Bioresource Technology*, 100 (2009) 5146- 5154.
- [49]. H. Zeng, *et al.* "Characterization of the Lipase Immobilized on Mg-Al Hidrotalcite for Biodiesel Process". *Biochemistry*, 44 (2009) 791 – 798.
- [50]. M.G. De Paola, *et al.* "Factor Analysis of Transesterification Reaction of Waste Oil for Biodiesel Production". *Bioresource Technology*, 100 (2009) 5126 - 5131.
- [51]. G.N. Kraai, *et al.* "Kinetic Study on the *Rhizomucor miehei* lipase Catalyzed Estereification Reaction of Oelic Acid with 1-Butanol in a Biphasic System. *Biochemical Engineering Journal*, 41 (2008) 87 – 94.
- [52]. Heri Hermansyah, *et al.* (2006). "Mathematical Model for Stepwise Hydrolysis of Triolein using *Candida rugosa* lipase in Biphasic oil – Water System". *Biochemical Engineering Journal*, 31(2006): 125–132.

## DAFTAR PUSTAKA

- Al-Zuhair, Sulaiman. (2005). "Production of Biodiesel by Lipase-Catalyzed Transesterification of Vegetable Oils: A Kinetics Study". *Biotechnol. Prog.*, 21(2005): 1442-1448.
- Al-Zuhair, Sulaiman. (2006). "The Effect of Substrate Concentrations on the Production of Biodiesel by Lipase-catalysed Transesterification of Vegetable Oils". *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, 81 (2006): 299–30.
- Anonim. *Biodiesel*. Diakses tanggal 15 Januari 2009, dari Wikipedia online. <http://id.wikipedia.org/wiki/biodiesel>
- Anonim. *Biodiesel Sebagai Pengganti Solar*. Diakses tanggal 15 Januari 2009, dari terranet. <http://www.terranet.or.id>
- Anonim. *Tips Memilih Enzim Sebagai Ingridien Pangan*. Diakses tanggal 20 Februari 2009. <http://pipimm.org/cetak>
- Anonim. *Ilustrasi Metode Immobilisasi Enzim*. Diakses tanggal 15 Maret 2009. <http://www.lsbu.ac.uk/biology/enztech/immmethod.html>
- Bhagwat, Sunil S. (2005). "Transesterification of Substituted Ethanols-Modelling Studies". *Biochemical Engineering Journal*, 22 (2005) 253.259.
- Blanch W, Harvey, and Douglas Clarck S, *Biochemical Engineering* (New York: Marcel Decker, Inc., 1997).
- Boyd, Mike. *Biodiesel in British Columbia Feasibility Study Report*. Diakses tanggal 22 Maret 2009, dari scribd. <http://www.scribd.com>
- Cheirsilp, Benjamas, Aran H-Kittikuna, and Suchart Limkatanyub. (2008). "Impact of Transesterification Mechanisms on the Kinetic Modeling of Biodiesel Production by Immobilized Lipase". *Biochemical Engineering Journal* , xxx (2008) xxx–xxx.
- Colucci, José A., Ernesto E. Borrero, and Fabio Alape. (2005). "Biodiesel from an Alkaline Transesterification Reaction of Soybean Oil Using Ultrasonic Mixing". *JAOCS*, 82(2005): 525–530.
- Darnoko, D., and Munir Cheryan. (2000). Kinetics of Palm Oil Transesterification in a Batch Reactor". *JAOCS*, 77(2000): 1263–1267.
- Deng, Li, et al. 2003. "Enzymatic production of Fatty Acid Alkyl Esters with a Lipase Preparation from Candida Sp. 99-125". *Eur. J. Lipid Sci. Technol*, 105 (2003) 727–734.
- Diasakou, M., A. Louloudi, and N. Papayannakos. (1997). "Kinetics of the Non – catalytic Transesterification of Soybean Oil". *Elsevier Science*, 16-2361 (98) 25-8.
- Dossat, Valerie, Didier Combes, and Alain Marty. (2002). "Lipase-catalysed Transesterification of High Oleic Sunflower Oil". *Enzyme and Microbial Technology*, 30 (2002): 90–94.

- Du Wei, et al. (2004). "Comparative Study on Lipase-Catalyzed Transformation of Soybean Oil for Biodiesel Production with Different Acyl Acceptors". *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic*, 30 (2004): 125–129.
- Fukuda, H, A. Kondo, and H. Noda. *Biodiesel Fuel Production by Transesterification of Oils*. J. Biosci. Bioeng., 92(2001): 405–416.
- Haryanto, Bode, *Bahan Bakar Alternatif Biodiesel*, (Jurusan Teknik Kimia Universitas Sumatera Utara: USU digital library, 2002).
- Hendartono, Tomi. 2005. *Pemanfaatan Minyak dari Tumbuhan untuk Pembuatan Biodiesel*. Diakses tanggal 28 maret 2007.
- Hermansyah, Heri, dkk. (2009). "Kinetic Model Based on Ping Pong Bi-Bi Mechanism for Enzimatic Interesterification to Produce Biodiesel". Depok: Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.
- Hermansyah, Heri, et al. (2006). "Mathematical Model for Stepwise Hydrolysis of Triolein using *Candida rugosa* lipase in Biphasic oil – Water System". *Biochemical Engineering Journal*, 31(2006): 125–132.
- Hermansyah, Heri, dkk. (2008). "Pengembangan Rute Sintesis Biodiesel Non Alkohol Menggunakan Biokatalis: State of the Art". Depok: Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.
- Hermasnyah, Heri, dkk. (2008). "Sintesis Biodiesel Rute Non Alkohol Menggunakan *Candida rugosa* lipase dalam Bentuk Tersuspensi". Depok: Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.
- Hermasnyah, Heri, dkk. (2008). "Sintesis Biodiesel Rute Non Alkohol Menggunakan *Candida rugosa* lipase yang diimobilisasi melalui Metode Adsorpsi". Depok: Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.
- Kaieda, Masaru et al. (1999). "Biodiesel Fuel Production from Plant Oil Catalyzed by *Rhizopus oryzae* Lipase on a Water-Containing System Without an Organic Solvent". *Journal Of Bioscience And Bioengineering*, Vol. 88, No. 6, 627-631
- Kaieda, M., Samukawa T, Kondo A, and Fukuda H. (2001). "Effect of Methanol and Water Contents on Production of Biodiesel Fuel from Plant Oil Catalyzed by Various Lipases in a Solvent-Free System". *J Biosci.Bioeng.*, 91(2001): 12–5.
- Karmee, K.S., et al. (2004). "Kinetic Study of the Base - Catalyzed Transesterification of Monoglycerides from Pongamia Oil". *JAOCs*, 8 (2004): 425 -430.
- Khan Karl, Adam, *Kinetics and Catalyst Development*, (Brisbane-Queensland: Departement of Chemical Engineering University of Queensland, 2002).
- Knothe, et al. *Biodiesel: The Use of Vegetable Oils and Their Derivatives as Alternative Diesel Fuels Oil Research. National Center for Agricultural Utilization Research*. (Agricultural Research Service, U.S. Department of Agriculture, Peoria, 1996).

- Kose, Ozanur, et al. (2002). "Immobilized *Candida antarctica* lipase-catalyzed alcoholysis of cotton seed oil in a solvent-free medium". *Bioresource Technology*, 83 (2002) 125–129.
- Kusdiana, D., and S. Saka. (1999). "Kinetics of Transesterification in Rapeseed Oil to Biodiesel Fuel as Treated in Supercritical Methanol". *Elsevier Science, Fuel* 80 (2001): 693±698.
- Kraai, G.N. et al. "Kinetic Study on the *Rhizomucor miehei* lipase Catalized Esterification Reaction of Oelic Acid with 1-Butanol in a Biphasic System. *Biochemical Engineering Journal*, 41 (2008) 87 – 94.
- Ma, Fangrui dan Milford A. Hanna. (1999). "Biodiesel Production: A Review". *Bioresourche Technology*, 70 (1999) 1-15.
- MacRae, A.R. (1983). "Lipase Catalysed Interesterification of Oil and Fats". *JAOAC*, 60(2):291-294.
- Modi, Mukesh Kumar. (2007). 'Lipase-Mediated Conversion of Vegetable Oils Into Biodiesel Using Ethyl Acetate as Acyl Acceptor'. *Bioresource Technology*, 98 (2007) 1260-1264.
- Nasiri, Johan. *Biodiesel : Upaya Mengurangi Ketergantungan Minyak Bumi*. Diakses tanggal 15 Januari 2009. <http://www.sentrapolimer.com>
- Noureddini, H. and D.Zhu. (1997). "Kinetics of Transesterification of Soybean Oil". *JAOCS*, 74(1997): 1457–1463.
- Noureddini, H. et al. (2005). "Immobilized *Pseudomonas cepacia* lipase for Biodiesel Fuel Production from Soybean Oil". *Bioresource Technology*, 96(2005): 769-777.
- Ognjanovic, Nevena. et. al. "Enzymatic Conversion of Sunflower Oil to Biodiesel in a Solvent- Free System Process Optimization and the immobilized system stability". *Bioresource Technology*, 100 (2009) 5146-5154.
- Paola, M.G. De. et al. "Factor Analysis of Transestereification Reaction of Waste Oil for Biodiesel Production". *Bioresource Technology*, 100 (2009) 5126 - 5131.
- Rizkiyadi, M. Ekky, "Reaksi Interesterifikasi Minyak Jelantah dengan Metil Asetat Menggunakan Biokatalis *Candida rugosa* Lipase untuk Memproduksi Biodiesel", Skripsi, Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik UI, Depok, 2008.
- Schuchardt, Ulf. et al. (1998). "Transesterification of Vegetable Oils: a Review". *J. Braz. Chem. Sec.*, Vol. 9 No. 1, 199-210.1998.
- Marno, Septhian, "Interestefikasi Minyak Kelapa Sawit dengan Metil Asetat Menggunakan Biokatalis untuk Memproduksi Biodiesel", Skripsi, Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik UI, Depok 2008.
- Shimada, Y., et al.(1999). "Conversion of Vegetable Oil to Biodiesel Using Immobilized *Candida Antarctica* Lipase". *JAOCS*, 76(7):789-793.1999.

- Soerawidjaja, Tatang H., *Membangun Industri Biodiesel di Indonesia, Beberapa Skenario dan Persoalan Pengembangan yang Perlu Dicermati.* (Bandung, 2005).
- Srivastava, Anjana and Prasad Ram, *Triglycerides-Based Diesel Fuels,* (PERGAMON, 1999).
- Sukara, Endang. *Pemanfaatan Biodiversity.* Diakses tanggal 5 Mei 2009. <http://www.biotech.lipi.go.id>
- Supranto, *Pengaruh Suhu dan Perbandingan Reaksi pada Pembuatan Metil Ester Biodiesel dari Destilat Asam Lemak Minyak Sawit,* (Pusat Studi Energi Universitas Gadjah Mada, 2002).
- Surendro, Risan A., "Reaksi Interesterifikasi Minyak Jelantah dengan Metil Asetat Menggunakan Biokatalis *Porcine pancreatic* Lipase Untuk Memproduksi Biodiesel" Skripsi, Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik UI, Depok, 2008.
- Suryana, A., et al., *Prospek dan Arah Pengembangan Agribisnis Kelapa Sawit di Indonesia,* (Jakarta: Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian Departemen Pertanian Republik Indonesia, 2005).
- Torres, C.K., et al. "Lipase – Catalyzed Ethanolysis of Borage Oil: A Kinetic Study". *Biotechol. Prog,* 20 (2004), 756- 763.
- Tambun, Rondang, *Proses Pembuatan Asam Lemak Secara Langsung dari Buah Kelapa Sawit,* (Sumatera: USU digital library, 2002).
- Vicente, G., Martinez, M., & Aracil, J. (2004). "Integrated Biodiesel Production: A Comparison of Different Homogeneous Catalysts Systems." *Bioresource Technology*, 92(3) 297-305 (2004).
- Vicente, G., et al. (2005). "Kinetics of Sunflower Oil Methanolysis". *Ind. Eng. Chem. Res.*, 44 (2005): 5447-5454.
- Vicente, G., Mercedes Martinez, and Jose Aracil. (2006). "Kinetics of *Brassica carinata* Oil Methanolysis". *Energy and Fuels*, 2006, 20, 1722-1726.
- Watanabe, Takaaki, et al. (2003). "Optimization of Reaction Conditions for the Production of DAG Using Immobilized 1,3-Regiospecific Lipase Lipozyme RM IM". *JAOCS*, 80 (2003): 1201-1207.
- Worsfold, P. J., *Classification and Chemical Characteristic of Immobilized Enzymes,* (United Kingdom: Department of Environmental Sciences, University of Plymouth, Plymouth, Devon, 1995).
- Xu Y, Wei Du, and Dehua Liu. (2005). "Study on the Kinetics of Enzymatic Interesterification of Triglycerides for Biodiesel Production with Methyl Acetate as the Acyl Acceptor". *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic*, 32(2005): 241–245.
- Zandy, Adustinus, *Intensifikasi Proses Produksi Biodiesel,* (Bandung: Institut Teknologi Bandung, 2002).
- Zeng, H. et al. "Characterization of the Lipase Immobilized on Mg-Al Hidrotalcite for Biodiesel Process". *Biochemistry*, 44 (2009) 791 – 798.

## LAMPIRAN

**Lampiran 1.** Hasil *Fitting* Menggunakan Model Michaelis – Menten

**Data 1<sup>[27]</sup>**

t (jam)	C <sub>T</sub> (mol/Lt)	C <sub>B</sub> (mol/Lt)												
0.00	1.6400000	0.0000000												
0.10	1.6258541	0.0423465	10.10	0.5526890	3.2514435	20.10	0.1256247	4.5249230	30.10	0.0233240	4.8293797	40.10	0.0041120	4.8865220
0.20	1.6117691	0.0845099	10.20	0.5455390	3.2727896	20.20	0.1236039	4.5309398	30.20	0.0229257	4.8305647	40.20	0.0040409	4.8867334
0.30	1.5977453	0.1264894	10.30	0.5384582	3.2939282	20.30	0.1216134	4.5368665	30.30	0.0225340	4.8317297	40.30	0.0039711	4.8869410
0.40	1.5837828	0.1682843	10.40	0.5314465	3.3148600	20.40	0.1196527	4.5427043	30.40	0.0221489	4.8328751	40.40	0.0039025	4.8871451
0.50	1.5698821	0.2098938	10.50	0.5245036	3.3355856	20.50	0.1177214	4.5484544	30.50	0.0217704	4.8340011	40.50	0.0038350	4.8873457
0.60	1.5560433	0.2513170	10.60	0.5176293	3.3561059	20.60	0.1158192	4.5541177	30.60	0.0213982	4.8351082	40.60	0.0037687	4.8875428
0.70	1.5422667	0.2925531	10.70	0.5108233	3.3764215	20.70	0.1139457	4.5596955	30.70	0.0210323	4.8361966	40.70	0.0037036	4.8877365
0.80	1.5285526	0.3336015	10.80	0.5040855	3.3965332	20.80	0.1121005	4.5651889	30.80	0.0206726	4.8372666	40.80	0.0036396	4.8879269
0.90	1.5149012	0.3744612	10.90	0.4974155	3.4164417	20.90	0.1102833	4.5705990	30.90	0.0203189	4.8383185	40.90	0.0035767	4.8881140
1.00	1.5013129	0.4151316	11.00	0.4908131	3.4361478	21.00	0.1084937	4.5759268	31.00	0.0199712	4.8393527	41.00	0.0035149	4.8882979
1.10	1.4877878	0.4556117	11.10	0.4842780	3.4556524	21.10	0.1067313	4.5811735	31.10	0.0196294	4.8403693	41.10	0.0034541	4.8884786
1.20	1.4743262	0.4959010	11.20	0.4778099	3.4749562	21.20	0.1049958	4.5863401	31.20	0.0192934	4.8413688	41.20	0.0033944	4.8886562
1.30	1.4609283	0.5359986	11.30	0.4714087	3.4940601	21.30	0.1032868	4.5914277	31.30	0.0189631	4.8423514	41.30	0.0033357	4.8888307
1.40	1.4475945	0.5759038	11.40	0.4650739	3.5129650	21.40	0.1016039	4.5964373	31.40	0.0186384	4.8433173	41.40	0.0032780	4.8890022
1.50	1.4343250	0.6156158	11.50	0.4588053	3.5316717	21.50	0.0999469	4.6013700	31.50	0.0183191	4.8442669	41.50	0.0032214	4.8891707
1.60	1.4211199	0.6551339	11.60	0.4526027	3.5501811	21.60	0.0983153	4.6062269	31.60	0.0180053	4.8452004	41.60	0.0031657	4.8893364
1.70	1.4079797	0.6944573	11.70	0.4464656	3.5684942	21.70	0.0967089	4.6110089	31.70	0.0176968	4.8461180	41.70	0.0031109	4.8894992
1.80	1.3949044	0.7335853	11.80	0.4403939	3.5866118	21.80	0.0951272	4.6157171	31.80	0.0173935	4.8470201	41.80	0.0030571	4.8896591
1.90	1.3818944	0.7725172	11.90	0.4343871	3.6045349	21.90	0.0935700	4.6203524	31.90	0.0170953	4.8479069	41.90	0.0030043	4.8898163
2.00	1.3689499	0.8112523	12.00	0.4284450	3.6222645	22.00	0.0920369	4.6249159	32.00	0.0168023	4.8487787	42.00	0.0029523	4.8899708

Universitas Indonesia

(lanjutan)

2.10	1.3560711	0.8497898	12.10	0.4225672	3.6398016	22.10	0.0905276	4.6294086	32.10	0.0165141	4.8496356	42.10	0.0029013	4.8901227
2.20	1.3432583	0.8881291	12.20	0.4167535	3.6571471	22.20	0.0890417	4.6338314	32.20	0.0162309	4.8504780	42.20	0.0028511	4.8902719
2.30	1.3305116	0.9262695	12.30	0.4110034	3.6743021	22.30	0.0875789	4.6381853	32.30	0.0159525	4.8513061	42.30	0.0028018	4.8904185
2.40	1.3178314	0.9642103	12.40	0.4053167	3.6912676	22.40	0.0861390	4.6424712	32.40	0.0156788	4.8521202	42.40	0.0027533	4.8905626
2.50	1.3052178	1.0019508	12.50	0.3996930	3.7080446	22.50	0.0847215	4.6466902	32.50	0.0154098	4.8529204	42.50	0.0027057	4.8907042
2.60	1.2926712	1.0394903	12.60	0.3941319	3.7246342	22.60	0.0833262	4.6508431	32.60	0.0151453	4.8537070	42.60	0.0026589	4.8908434
2.70	1.2801916	1.0768282	12.70	0.3886332	3.7410375	22.70	0.0819528	4.6549309	32.70	0.0148854	4.8544802	42.70	0.0026129	4.8909801
2.80	1.2677793	1.1139638	12.80	0.3831963	3.7572555	22.80	0.0806009	4.6589545	32.80	0.0146298	4.8552402	42.80	0.0025678	4.8911145
2.90	1.2554346	1.1508966	12.90	0.3778210	3.7732894	22.90	0.0792703	4.6629148	32.90	0.0143786	4.8559874	42.90	0.0025233	4.8912466
3.00	1.2431575	1.1876258	13.00	0.3725069	3.7891402	23.00	0.0779606	4.6668126	33.00	0.0141317	4.8567218	43.00	0.0024797	4.8913764
3.10	1.2309485	1.2241508	13.10	0.3672537	3.8048091	23.10	0.0766716	4.6706490	33.10	0.0138890	4.8574437	43.10	0.0024368	4.8915040
3.20	1.2188076	1.2604711	13.20	0.3620609	3.8202972	23.20	0.0754030	4.6744248	33.20	0.0136504	4.8581533	43.20	0.0023947	4.8916293
3.30	1.2067350	1.2965860	13.30	0.3569281	3.8356057	23.30	0.0741544	4.6781407	33.30	0.0134159	4.8588508	43.30	0.0023532	4.8917525
3.40	1.1947311	1.3324949	13.40	0.3518551	3.8507358	23.40	0.0729255	4.6817978	33.40	0.0131854	4.8595364	43.40	0.0023125	4.8918736
3.50	1.1827958	1.3681973	13.50	0.3468413	3.8656885	23.50	0.0717162	4.6853968	33.50	0.0129588	4.8602104	43.50	0.0022725	4.8919926
3.60	1.1709295	1.4036926	13.60	0.3418864	3.8804652	23.60	0.0705261	4.6889387	33.60	0.0127361	4.8608728	43.60	0.0022332	4.8921095
3.70	1.1591324	1.4389802	13.70	0.3369901	3.8950669	23.70	0.0693549	4.6924241	33.70	0.0125171	4.8615240	43.70	0.0021946	4.8922244
3.80	1.1474045	1.4740596	13.80	0.3321518	3.9094950	23.80	0.0682024	4.6958540	33.80	0.0123020	4.8621640	43.80	0.0021566	4.8923373
3.90	1.1357461	1.5089303	13.90	0.3273712	3.9237505	23.90	0.0670682	4.6992291	33.90	0.0120904	4.8627932	43.90	0.0021193	4.8924483
4.00	1.1241574	1.5435918	14.00	0.3226480	3.9378348	24.00	0.0659522	4.7025503	34.00	0.0118825	4.8634115	44.00	0.0020826	4.8925573
4.10	1.1126386	1.5780434	14.10	0.3179816	3.9517491	24.10	0.0648540	4.7058183	34.10	0.0116782	4.8640194	44.10	0.0020466	4.8926645
4.20	1.1011897	1.6122848	14.20	0.3133716	3.9654946	24.20	0.0637734	4.7090340	34.20	0.0114773	4.8646168	44.20	0.0020112	4.8927698
4.30	1.0898110	1.6463155	14.30	0.3088178	3.9790726	24.30	0.0627102	4.7121980	34.30	0.0112798	4.8652040	44.30	0.0019764	4.8928732
4.40	1.0785027	1.6801349	14.40	0.3043195	3.9924843	24.40	0.0616640	4.7153112	34.40	0.0110858	4.8657812	44.40	0.0019422	4.8929749
4.50	1.0672648	1.7137427	14.50	0.2998765	4.0057311	24.50	0.0606346	4.7183744	34.50	0.0108950	4.8663486	44.50	0.0019086	4.8930749
4.60	1.0560975	1.7471384	14.60	0.2954882	4.0188141	24.60	0.0596218	4.7213882	34.60	0.0107075	4.8669062	44.60	0.0018756	4.8931731
4.70	1.0450010	1.7803215	14.70	0.2911543	4.0317347	24.70	0.0586253	4.7243534	34.70	0.0105233	4.8674543	44.70	0.0018431	4.8932696
4.80	1.0339755	1.8132917	14.80	0.2868743	4.0444942	24.80	0.0576449	4.7272708	34.80	0.0103421	4.8679930	44.80	0.0018112	4.8933645

Universitas Indonesia

(lanjutan)

4.90	1.0230209	1.8460486	14.90	0.2826478	4.0570938	24.90	0.0566803	4.7301410	34.90	0.0101641	4.8685225	44.90	0.0017799	4.8934577
5.00	1.0121376	1.8785917	15.00	0.2784744	4.0695349	25.00	0.0557314	4.7329647	35.00	0.0099891	4.8690430	45.00	0.0017491	4.8935493
5.10	1.0013256	1.9109208	15.10	0.2743536	4.0818188	25.10	0.0547978	4.7357427	35.10	0.0098171	4.8695545	45.10	0.0017188	4.8936393
5.20	0.9905849	1.9430354	15.20	0.2702850	4.0939468	25.20	0.0538793	4.7384757	35.20	0.0096480	4.8700573	45.20	0.0016891	4.8937277
5.30	0.9799159	1.9749352	15.30	0.2662682	4.1059201	25.30	0.0529757	4.7411643	35.30	0.0094819	4.8705515	45.30	0.0016598	4.8938147
5.40	0.9693184	2.0066200	15.40	0.2623026	4.1177402	25.40	0.0520868	4.7438092	35.40	0.0093186	4.8710372	45.40	0.0016311	4.8939001
5.50	0.9587927	2.0380893	15.50	0.2583880	4.1294083	25.50	0.0512124	4.7464111	35.50	0.0091581	4.8715146	45.50	0.0016029	4.8939840
5.60	0.9483389	2.0693430	15.60	0.2545237	4.1409259	25.60	0.0503522	4.7489706	35.60	0.0090003	4.8719839	45.60	0.0015751	4.8940665
5.70	0.9379570	2.1003806	15.70	0.2507095	4.1522941	25.70	0.0495060	4.7514883	35.70	0.0088452	4.8724450	45.70	0.0015479	4.8941476
5.80	0.9276471	2.1312021	15.80	0.2469448	4.1635144	25.80	0.0486736	4.7539650	35.80	0.0086928	4.8728983	45.80	0.0015211	4.8942273
5.90	0.9174094	2.1618072	15.90	0.2432291	4.1745881	25.90	0.0478548	4.7564012	35.90	0.0085430	4.8733438	45.90	0.0014948	4.8943056
6.00	0.9072438	2.1921955	16.00	0.2395622	4.1855165	26.00	0.0470494	4.7587976	36.00	0.0083958	4.8737817	46.00	0.0014689	4.8943825
6.10	0.8971505	2.2223670	16.10	0.2359434	4.1963010	26.10	0.0462571	4.7611548	36.10	0.0082511	4.8742121	46.10	0.0014435	4.8944581
6.20	0.8871295	2.2523214	16.20	0.2323723	4.2069429	26.20	0.0454779	4.7634733	36.20	0.0081089	4.8746350	46.20	0.0014185	4.8945324
6.30	0.8771809	2.2820587	16.30	0.2288486	4.2174435	26.30	0.0447114	4.7657539	36.30	0.0079691	4.8750508	46.30	0.0013939	4.8946054
6.40	0.8673047	2.3115785	16.40	0.2253718	4.2278043	26.40	0.0439574	4.7679970	36.40	0.0078317	4.8754594	46.40	0.0013698	4.8946772
6.50	0.8575010	2.3408809	16.50	0.2219413	4.2380265	26.50	0.0432159	4.7702032	36.50	0.0076967	4.8758610	46.50	0.0013461	4.8947477
6.60	0.8477698	2.3699656	16.60	0.2185568	4.2481115	26.60	0.0424865	4.7723732	36.60	0.0075640	4.8762556	46.60	0.0013228	4.8948170
6.70	0.8381112	2.3988327	16.70	0.2152178	4.2580607	26.70	0.0417692	4.7745075	36.70	0.0074335	4.8766436	46.70	0.0012999	4.8948851
6.80	0.8285251	2.4274819	16.80	0.2119239	4.2678753	26.80	0.0410636	4.7766066	36.80	0.0073054	4.8770248	46.80	0.0012774	4.8949520
6.90	0.8190117	2.4559134	16.90	0.2086746	4.2775568	26.90	0.0403697	4.7786711	36.90	0.0071794	4.8773995	46.90	0.0012553	4.8950178
7.00	0.8095708	2.4841270	17.00	0.2054694	4.2871065	27.00	0.0396872	4.7807016	37.00	0.0070555	4.8777678	47.00	0.0012335	4.8950824
7.10	0.8002026	2.5121227	17.10	0.2023080	4.2965256	27.10	0.0390160	4.7826985	37.10	0.0069338	4.8781298	47.10	0.0012122	4.8951459
7.20	0.7909070	2.5399006	17.20	0.1991898	4.3058156	27.20	0.0383559	4.7846624	37.20	0.0068142	4.8784855	47.20	0.0011912	4.8952083
7.30	0.7816840	2.5674606	17.30	0.1961145	4.3149778	27.30	0.0377067	4.7865939	37.30	0.0066967	4.8788351	47.30	0.0011706	4.8952696
7.40	0.7725336	2.5948028	17.40	0.1930815	4.3240135	27.40	0.0370682	4.7884934	37.40	0.0065811	4.8791787	47.40	0.0011503	4.8953299
7.50	0.7634559	2.6219273	17.50	0.1900905	4.3329241	27.50	0.0364403	4.7903614	37.50	0.0064676	4.8795164	47.50	0.0011304	4.8953891
7.60	0.7544506	2.6488341	17.60	0.1871410	4.3417108	27.60	0.0358228	4.7921984	37.60	0.0063560	4.8798484	47.60	0.0011108	4.8954473

Universitas Indonesia

(lanjutan)

7.70	0.7455180	2.6755234	17.70	0.1842326	4.3503750	27.70	0.0352155	4.7940050	37.70	0.0062463	4.8801746	47.70	0.0010916	4.8955045
7.80	0.7366578	2.7019953	17.80	0.1813647	4.3589181	27.80	0.0346183	4.7957816	37.80	0.0061385	4.8804951	47.80	0.0010727	4.8955607
7.90	0.7278700	2.7282499	17.90	0.1785371	4.3673413	27.90	0.0340311	4.7975287	37.90	0.0060326	4.8808102	47.90	0.0010541	4.8956159
8.00	0.7191547	2.7542874	18.00	0.1757491	4.3756459	28.00	0.0334536	4.7992468	38.00	0.0059284	4.8811199	48.00	0.0010359	4.8956702
8.10	0.7105117	2.7801080	18.10	0.1730005	4.3838333	28.10	0.0328856	4.8009362	38.10	0.0058261	4.8814242	48.10	0.0010180	4.8957235
8.20	0.7019409	2.8057119	18.20	0.1702907	4.3919048	28.20	0.0323272	4.8025976	38.20	0.0057255	4.8817233	48.20	0.0010003	4.8957759
8.30	0.6934424	2.8310993	18.30	0.1676194	4.3998616	28.30	0.0317780	4.8042312	38.30	0.0056267	4.8820173	48.30	0.0009830	4.8958274
8.40	0.6850159	2.8562705	18.40	0.1649860	4.4077050	28.40	0.0312380	4.8058377	38.40	0.0055295	4.8823062	48.40	0.0009660	4.8958780
8.50	0.6766616	2.8812258	18.50	0.1623903	4.4154364	28.50	0.0307070	4.8074173	38.50	0.0054341	4.8825901	48.50	0.0009493	4.8959278
8.60	0.6683791	2.9059653	18.60	0.1598316	4.4230570	28.60	0.0301849	4.8089706	38.60	0.0053403	4.8828692	48.60	0.0009328	4.8959767
8.70	0.6601685	2.9304896	18.70	0.1573097	4.4305681	28.70	0.0296715	4.8104979	38.70	0.0052480	4.8831434	48.70	0.0009167	4.8960247
8.80	0.6520296	2.9547988	18.80	0.1548241	4.4379710	28.80	0.0291666	4.8119997	38.80	0.0051574	4.8834129	48.80	0.0009008	4.8960719
8.90	0.6439623	2.9788934	18.90	0.1523743	4.4452669	28.90	0.0286702	4.8134764	38.90	0.0050684	4.8836778	48.90	0.0008852	4.8961183
9.00	0.6359665	3.0027737	19.00	0.1499600	4.4524570	29.00	0.0281821	4.8149284	39.00	0.0049808	4.8839381	49.00	0.0008699	4.8961639
9.10	0.6280420	3.0264401	19.10	0.1475808	4.4595427	29.10	0.0277022	4.8163561	39.10	0.0048948	4.8841939	49.10	0.0008548	4.8962086
9.20	0.6201888	3.0498930	19.20	0.1452361	4.4665251	29.20	0.0272303	4.8177599	39.20	0.0048103	4.8844454	49.20	0.0008400	4.8962527
9.30	0.6124067	3.0731330	19.30	0.1429257	4.4734056	29.30	0.0267663	4.8191401	39.30	0.0047272	4.8846925	49.30	0.0008255	4.8962959
9.40	0.6046955	3.0961603	19.40	0.1406490	4.4801853	29.40	0.0263101	4.8204972	39.40	0.0046455	4.8849353	49.40	0.0008112	4.8963384
9.50	0.5970551	3.1189756	19.50	0.1384057	4.4868654	29.50	0.0258615	4.8218316	39.50	0.0045653	4.8851740	49.50	0.0007971	4.8963802
9.60	0.5894852	3.1415794	19.60	0.1361955	4.4934472	29.60	0.0254205	4.8231435	39.60	0.0044864	4.8854085	49.60	0.0007833	4.8964212
9.70	0.5819858	3.1639720	19.70	0.1340177	4.4999318	29.70	0.0249869	4.8244334	39.70	0.0044089	4.8856390	49.70	0.0007698	4.8964616
9.80	0.5745567	3.1861542	19.80	0.1318722	4.5063206	29.80	0.0245605	4.8257016	39.80	0.0043327	4.8858656	49.80	0.0007564	4.8965012
9.90	0.5671977	3.2081265	19.90	0.1297585	4.5126146	29.90	0.0241413	4.8269485	39.90	0.0042579	4.8860882	49.90	0.0007433	4.8965402
10.00	0.5599085	3.2298894	20.00	0.1276761	4.5188150	30.00	0.0237292	4.8281744	40.00	0.0041843	4.8863070	50.00	0.0007305	4.8965784

V<sub>max</sub> : 2.8052E-01K<sub>M</sub> : 1.6052E+00

Error : 1.8850

Universitas Indonesia

**Data 2<sup>[27]</sup>**

<b>t (jam)</b>	<b>C<sub>T</sub> (mol/Lt)</b>	<b>C<sub>B</sub> (mol/Lt)</b>												
0.00	1.6400000	0.2000000												
0.10	1.6277193	0.2367038	10.10	0.7675696	2.8074685	20.10	0.3619270	4.0198282	30.10	0.1706506	4.5915033	40.10	0.0804612	4.8610554
0.20	1.6155305	0.2731329	10.20	0.7618210	2.8246496	20.20	0.3592162	4.0279300	30.20	0.1693724	4.5953235	40.20	0.0798585	4.8628567
0.30	1.6034330	0.3092893	10.30	0.7561154	2.8417021	20.30	0.3565257	4.0359712	30.30	0.1681037	4.5991151	40.30	0.0792604	4.8646444
0.40	1.5914261	0.3451750	10.40	0.7504526	2.8586269	20.40	0.3538554	4.0439522	30.40	0.1668446	4.6028783	40.40	0.0786667	4.8664188
0.50	1.5795090	0.3807920	10.50	0.7448321	2.8754249	20.50	0.3512050	4.0518734	30.50	0.1655949	4.6066133	40.50	0.0780775	4.8681799
0.60	1.5676812	0.4161424	10.60	0.7392538	2.8920971	20.60	0.3485745	4.0597353	30.60	0.1643546	4.6103203	40.60	0.0774926	4.8699277
0.70	1.5559419	0.4512282	10.70	0.7337172	2.9086445	20.70	0.3459637	4.0675383	30.70	0.1631235	4.6139996	40.70	0.0769122	4.8716625
0.80	1.5442904	0.4860512	10.80	0.7282221	2.9250680	20.80	0.3433725	4.0752828	30.80	0.1619017	4.6176513	40.80	0.0763361	4.8733843
0.90	1.5327262	0.5206136	10.90	0.7227681	2.9413685	20.90	0.3408006	4.0829694	30.90	0.1606890	4.6212756	40.90	0.0757643	4.8750932
1.00	1.5212486	0.5549173	11.00	0.7173550	2.9575469	21.00	0.3382481	4.0905984	31.00	0.1594854	4.6248728	41.00	0.0751968	4.8767893
1.10	1.5098569	0.5889641	11.10	0.7119824	2.9736042	21.10	0.3357146	4.0981702	31.10	0.1582909	4.6284431	41.10	0.0746336	4.8784727
1.20	1.4985505	0.6227561	11.20	0.7066500	2.9895412	21.20	0.3332001	4.1056854	31.20	0.1571052	4.6319866	41.20	0.0740746	4.8801435
1.30	1.4873287	0.6562951	11.30	0.7013576	3.0053589	21.30	0.3307045	4.1131442	31.30	0.1559285	4.6355036	41.30	0.0735197	4.8818018
1.40	1.4761910	0.6895830	11.40	0.6961048	3.0210582	21.40	0.3282275	4.1205472	31.40	0.1547606	4.6389943	41.40	0.0729690	4.8834476
1.50	1.4651366	0.7226216	11.50	0.6908914	3.0366398	21.50	0.3257691	4.1278947	31.50	0.1536014	4.6424588	41.50	0.0724225	4.8850812
1.60	1.4541650	0.7554130	11.60	0.6857169	3.0521048	21.60	0.3233291	4.1351873	31.60	0.1524509	4.6458973	41.60	0.0718800	4.8867024
1.70	1.4432755	0.7879588	11.70	0.6805813	3.0674540	21.70	0.3209074	4.1424251	31.70	0.1513090	4.6493101	41.70	0.0713416	4.8883116
1.80	1.4324676	0.8202610	11.80	0.6754841	3.0826882	21.80	0.3185038	4.1496088	31.80	0.1501757	4.6526974	41.80	0.0708072	4.8899087
1.90	1.4217405	0.8523213	11.90	0.6704250	3.0978083	21.90	0.3161182	4.1567387	31.90	0.1490508	4.6560592	41.90	0.0702769	4.8914938
2.00	1.4110938	0.8841416	12.00	0.6654039	3.1128153	22.00	0.3137505	4.1638152	32.00	0.1479344	4.6593959	42.00	0.0697505	4.8930671
2.10	1.4005268	0.9157237	12.10	0.6604203	3.1277098	22.10	0.3114005	4.1708387	32.10	0.1468263	4.6627076	42.10	0.0692280	4.8946285
2.20	1.3900389	0.9470694	12.20	0.6554741	3.1424928	22.20	0.3090681	4.1778096	32.20	0.1457266	4.6659945	42.20	0.0687095	4.8961783
2.30	1.3796295	0.9781804	12.30	0.6505649	3.1571651	22.30	0.3067532	4.1847283	32.30	0.1446350	4.6692568	42.30	0.0681948	4.8977165
2.40	1.3692980	1.0090584	12.40	0.6456925	3.1717275	22.40	0.3044556	4.1915951	32.40	0.1435517	4.6724946	42.40	0.0676840	4.8992431

Universitas Indonesia

(lanjutan)

2.50	1.3590439	1.0397053	12.50	0.6408565	3.1861809	22.50	0.3021752	4.1984105	32.50	0.1424765	4.6757082	42.50	0.0671770	4.9007583
2.60	1.3488666	1.0701227	12.60	0.6360568	3.2005260	22.60	0.2999120	4.2051749	32.60	0.1414093	4.6788977	42.60	0.0666739	4.9022622
2.70	1.3387655	1.1003124	12.70	0.6312930	3.2147637	22.70	0.2976656	4.2118886	32.70	0.1403501	4.6820633	42.70	0.0661745	4.9037548
2.80	1.3287399	1.1302761	12.80	0.6265649	3.2288948	22.80	0.2954361	4.2185521	32.80	0.1392989	4.6852052	42.80	0.0656788	4.9052362
2.90	1.3187895	1.1600154	12.90	0.6218722	3.2429200	22.90	0.2932233	4.2251656	32.90	0.1382555	4.6883236	42.90	0.0651868	4.9067065
3.00	1.3089135	1.1895321	13.00	0.6172147	3.2568402	23.00	0.2910270	4.2317296	33.00	0.1372199	4.6914186	43.00	0.0646986	4.9081658
3.10	1.2991115	1.2188278	13.10	0.6125920	3.2706562	23.10	0.2888472	4.2382444	33.10	0.1361921	4.6944905	43.10	0.0642140	4.9096142
3.20	1.2893829	1.2479041	13.20	0.6080039	3.2843687	23.20	0.2866838	4.2447105	33.20	0.1351720	4.6975393	43.20	0.0637330	4.9110517
3.30	1.2797271	1.2767628	13.30	0.6034502	3.2979785	23.30	0.2845365	4.2511281	33.30	0.1341595	4.7005653	43.30	0.0632556	4.9124785
3.40	1.2701436	1.3054054	13.40	0.5989306	3.3114864	23.40	0.2824053	4.2574976	33.40	0.1331547	4.7035686	43.40	0.0627818	4.9138946
3.50	1.2606319	1.3338335	13.50	0.5944449	3.3248932	23.50	0.2802901	4.2638195	33.50	0.1321573	4.7065495	43.50	0.0623115	4.9153000
3.60	1.2511913	1.3620488	13.60	0.5899927	3.3381995	23.60	0.2781907	4.2700940	33.60	0.1311674	4.7095080	43.60	0.0618448	4.9166950
3.70	1.2418215	1.3900529	13.70	0.5855739	3.3514062	23.70	0.2761071	4.2763215	33.70	0.1301849	4.7124443	43.70	0.0613816	4.9180795
3.80	1.2325218	1.4178473	13.80	0.5811882	3.3645140	23.80	0.2740390	4.2825023	33.80	0.1292098	4.7153587	43.80	0.0609218	4.9194536
3.90	1.2232917	1.4454336	13.90	0.5768353	3.3775236	23.90	0.2719865	4.2886369	33.90	0.1282420	4.7182512	43.90	0.0604655	4.9208174
4.00	1.2141307	1.4728133	14.00	0.5725150	3.3904358	24.00	0.2699493	4.2947255	34.00	0.1272815	4.7211221	44.00	0.0600126	4.9221711
4.10	1.2050384	1.4999880	14.10	0.5682271	3.4032513	24.10	0.2679273	4.3007685	34.10	0.1263281	4.7239715	44.10	0.0595631	4.9235145
4.20	1.1960141	1.5269593	14.20	0.5639713	3.4159708	24.20	0.2659206	4.3067663	34.20	0.1253819	4.7267995	44.20	0.0591169	4.9248479
4.30	1.1870574	1.5537287	14.30	0.5597473	3.4285951	24.30	0.2639288	4.3127191	34.30	0.1244427	4.7296063	44.30	0.0586741	4.9261714
4.40	1.1781677	1.5802976	14.40	0.5555550	3.4411248	24.40	0.2619520	4.3186274	34.40	0.1235106	4.7323921	44.40	0.0582346	4.9274849
4.50	1.1693446	1.6066675	14.50	0.5513941	3.4535607	24.50	0.2599899	4.3244914	34.50	0.1225855	4.7351571	44.50	0.0577984	4.9287886
4.60	1.1605875	1.6328401	14.60	0.5472643	3.4659035	24.60	0.2580426	4.3303114	34.60	0.1216673	4.7379013	44.60	0.0573655	4.9300825
4.70	1.1518961	1.6588167	14.70	0.5431655	3.4781538	24.70	0.2561098	4.3360879	34.70	0.1207560	4.7406250	44.70	0.0569358	4.9313667
4.80	1.1432697	1.6845987	14.80	0.5390974	3.4903124	24.80	0.2541916	4.3418212	34.80	0.1198515	4.7433283	44.80	0.0565093	4.9326413
4.90	1.1347078	1.7101878	14.90	0.5350597	3.5023799	24.90	0.2522877	4.3475114	34.90	0.1189538	4.7460113	44.90	0.0560861	4.9339063
5.00	1.1262101	1.7355852	15.00	0.5310523	3.5143571	25.00	0.2503980	4.3531591	35.00	0.1180628	4.7486743	45.00	0.0556660	4.9351619
5.10	1.1177761	1.7607925	15.10	0.5270748	3.5262446	25.10	0.2485225	4.3587645	35.10	0.1171785	4.7513173	45.10	0.0552490	4.9364081

Universitas Indonesia

(lanjutan)

5.20	1.1094051	1.7858111	15.20	0.5231272	3.5380430	25.20	0.2466611	4.3643279	35.20	0.1163008	4.7539405	45.20	0.0548352	4.9376449
5.30	1.1010969	1.8106423	15.30	0.5192092	3.5497531	25.30	0.2448135	4.3698496	35.30	0.1154297	4.7565440	45.30	0.0544245	4.9388725
5.40	1.0928508	1.8352876	15.40	0.5153204	3.5613754	25.40	0.2429799	4.3753299	35.40	0.1145651	4.7591281	45.40	0.0540168	4.9400909
5.50	1.0846665	1.8597484	15.50	0.5114608	3.5729108	25.50	0.2411599	4.3807692	35.50	0.1137069	4.7616927	45.50	0.0536122	4.9413001
5.60	1.0765435	1.8840260	15.60	0.5076301	3.5843597	25.60	0.2393536	4.3861678	35.60	0.1128552	4.7642382	45.60	0.0532106	4.9425003
5.70	1.0684813	1.9081218	15.70	0.5038281	3.5957229	25.70	0.2375609	4.3915260	35.70	0.1120099	4.76667647	45.70	0.0528121	4.9436915
5.80	1.0604794	1.9320372	15.80	0.5000546	3.6070011	25.80	0.2357815	4.3968440	35.80	0.1111709	4.7692721	45.80	0.0524165	4.9448738
5.90	1.0525375	1.9557736	15.90	0.4963093	3.6181947	25.90	0.2340155	4.4021221	35.90	0.1103383	4.7717609	45.90	0.0520239	4.9460472
6.00	1.0446551	1.9793322	16.00	0.4925921	3.6293045	26.00	0.2322627	4.4073608	36.00	0.1095118	4.7742309	46.00	0.0516342	4.9472119
6.10	1.0368316	2.0027144	16.10	0.4889027	3.6403311	26.10	0.2305230	4.4125602	36.10	0.1086915	4.7766825	46.10	0.0512474	4.9483678
6.20	1.0290668	2.0259215	16.20	0.4852409	3.6512752	26.20	0.2287964	4.4177207	36.20	0.1078774	4.7791157	46.20	0.0508636	4.9495150
6.30	1.0213601	2.0489549	16.30	0.4816066	3.6621372	26.30	0.2270827	4.4228425	36.30	0.1070694	4.7815307	46.30	0.0504826	4.9506537
6.40	1.0137110	2.0718158	16.40	0.4779995	3.6729180	26.40	0.2253818	4.4279259	36.40	0.1062674	4.7839276	46.40	0.0501044	4.9517838
6.50	1.0061193	2.0945056	16.50	0.4744194	3.6836180	26.50	0.2236937	4.4329713	36.50	0.1054714	4.7863065	46.50	0.0497292	4.9529055
6.60	0.9985844	2.1170254	16.60	0.4708661	3.6942378	26.60	0.2220182	4.4379789	36.60	0.1046814	4.7886677	46.60	0.0493567	4.9540188
6.70	0.9911059	2.1393766	16.70	0.4673394	3.7047781	26.70	0.2203553	4.4429490	36.70	0.1038973	4.7910111	46.70	0.0489870	4.9551237
6.80	0.9836835	2.1615605	16.80	0.4638391	3.7152395	26.80	0.2187048	4.4478818	36.80	0.1031191	4.7933370	46.80	0.0486200	4.9562203
6.90	0.9763166	2.1835782	16.90	0.4603651	3.7256225	26.90	0.2170666	4.4527778	36.90	0.1023467	4.7956455	46.90	0.0482559	4.9573088
7.00	0.9690048	2.2054311	17.00	0.4569171	3.7359278	27.00	0.2154408	4.4576370	37.00	0.1015801	4.7979366	47.00	0.0478944	4.9583891
7.10	0.9617478	2.2271203	17.10	0.4534948	3.7461559	27.10	0.2138271	4.4624599	37.10	0.1008193	4.8002106	47.10	0.0475357	4.9594613
7.20	0.9545452	2.2486472	17.20	0.4500983	3.7563074	27.20	0.2122255	4.4672466	37.20	0.1000641	4.8024676	47.20	0.0471796	4.9605254
7.30	0.9473965	2.2700128	17.30	0.4467271	3.7663829	27.30	0.2106359	4.4719975	37.30	0.0993146	4.8047077	47.30	0.0468262	4.9615816
7.40	0.9403013	2.2912185	17.40	0.4433812	3.7763829	27.40	0.2090583	4.4767127	37.40	0.0985707	4.8069310	47.40	0.0464755	4.9626299
7.50	0.9332592	2.3122654	17.50	0.4400604	3.7863080	27.50	0.2074924	4.4813927	37.50	0.0978324	4.8091376	47.50	0.0461274	4.9636703
7.60	0.9262699	2.3331547	17.60	0.4367644	3.7961588	27.60	0.2059382	4.4860376	37.60	0.0970996	4.8113278	47.60	0.0457818	4.9647030
7.70	0.9193329	2.3538875	17.70	0.4334931	3.8059358	27.70	0.2043957	4.4906478	37.70	0.0963723	4.8135015	47.70	0.0454389	4.9657279
7.80	0.9124479	2.3744652	17.80	0.4302463	3.8156396	27.80	0.2028648	4.4952234	37.80	0.0956504	4.8156589	47.80	0.0450986	4.9667451

Universitas Indonesia

(lanjutan)

7.90	0.9056144	2.3948887	17.90	0.4270239	3.8252707	27.90	0.2013453	4.4997647	37.90	0.0949340	4.8178002	47.90	0.0447608	4.9677547
8.00	0.8988320	2.4151593	18.00	0.4238255	3.8348297	28.00	0.1998372	4.5042720	38.00	0.0942229	4.8199254	48.00	0.0444255	4.9687567
8.10	0.8921005	2.4352781	18.10	0.4206512	3.8443171	28.10	0.1983404	4.5087456	38.10	0.0935171	4.8220347	48.10	0.0440927	4.9697513
8.20	0.8854194	2.4552463	18.20	0.4175005	3.8537335	28.20	0.1968548	4.5131857	38.20	0.0928167	4.8241282	48.20	0.0437625	4.9707384
8.30	0.8787883	2.4750649	18.30	0.4143735	3.8630793	28.30	0.1953803	4.5175925	38.30	0.0921215	4.8262061	48.30	0.0434347	4.9717181
8.40	0.8722068	2.4947352	18.40	0.4112699	3.8723551	28.40	0.1939169	4.5219662	38.40	0.0914314	4.8282684	48.40	0.0431093	4.9726904
8.50	0.8656746	2.5142581	18.50	0.4081896	3.8815615	28.50	0.1924644	4.5263073	38.50	0.0907466	4.8303152	48.50	0.0427864	4.9736555
8.60	0.8591914	2.5336349	18.60	0.4051323	3.8906989	28.60	0.1910229	4.5306158	38.60	0.0900669	4.8323467	48.60	0.0424659	4.9746133
8.70	0.8527567	2.5528665	18.70	0.4020979	3.8997678	28.70	0.1895921	4.5348920	38.70	0.0893922	4.8343629	48.70	0.0421479	4.9755640
8.80	0.8463702	2.5719542	18.80	0.3990863	3.9087689	28.80	0.1881720	4.5391363	38.80	0.0887227	4.8363641	48.80	0.0418322	4.9765075
8.90	0.8400315	2.5908989	18.90	0.3960972	3.9177025	28.90	0.1867626	4.5433487	38.90	0.0880581	4.8383503	48.90	0.0415188	4.9774440
9.00	0.8337402	2.6097018	19.00	0.3931304	3.9265693	29.00	0.1853637	4.5475296	39.00	0.0873985	4.8403216	49.00	0.0412078	4.9783735
9.10	0.8274961	2.6283638	19.10	0.3901860	3.9353696	29.10	0.1839753	4.5516791	39.10	0.0867439	4.8422782	49.10	0.0408992	4.9792960
9.20	0.8212987	2.6468862	19.20	0.3872635	3.9441040	29.20	0.1825973	4.5557976	39.20	0.0860942	4.8442201	49.20	0.0405928	4.9802116
9.30	0.8151478	2.6652698	19.30	0.3843629	3.9527730	29.30	0.1812296	4.5598853	39.30	0.0854493	4.8461474	49.30	0.0402888	4.9811203
9.40	0.8090429	2.6835157	19.40	0.3814841	3.9613771	29.40	0.1798722	4.5639423	39.40	0.0848093	4.8480603	49.40	0.0399870	4.9820223
9.50	0.8029837	2.7016250	19.50	0.3786268	3.9699168	29.50	0.1785249	4.5679689	39.50	0.0841740	4.8499589	49.50	0.0396875	4.9829174
9.60	0.7969699	2.7195988	19.60	0.3757910	3.9783924	29.60	0.1771877	4.5719654	39.60	0.0835435	4.8518432	49.60	0.0393902	4.9838059
9.70	0.7910011	2.7374379	19.70	0.3729763	3.9868047	29.70	0.1758606	4.5759320	39.70	0.0829178	4.8537135	49.70	0.0390952	4.9846877
9.80	0.7850770	2.7551434	19.80	0.3701828	3.9951539	29.80	0.1745433	4.5798688	39.80	0.0822967	4.8555697	49.80	0.0388023	4.9855629
9.90	0.7791973	2.7727164	19.90	0.3674101	4.0034405	29.90	0.1732360	4.5837761	39.90	0.0816803	4.8574121	49.90	0.0385117	4.9864316
10.00	0.7733616	2.7901577	20.00	0.3646583	4.0116651	30.00	0.1719384	4.5876542	40.00	0.0810684	4.8592406	50.00	0.0382232	4.9872937

 $V_{\max}$  : 4.2364E+02 $K_M$  : 5.6345E+03

Error : 5.5843

Universitas Indonesia

**Data 3<sup>[27]</sup>**

<b>t (jam)</b>	<b>C<sub>T</sub> (mol/Lt)</b>	<b>C<sub>B</sub> (mol/Lt)</b>												
0.00	8.0070000	0.0000000	10.10	2.6720043	15.9553084	20.10	0.5711571	22.2190638	30.10	0.0966864	23.6305406	40.10	0.0154696	23.8719864
0.20	7.8700856	0.4099144	10.20	2.6365507	16.0611548	20.20	0.5614975	22.2478146	30.20	0.0949433	23.6357229	40.20	0.0151875	23.8728249
0.30	7.8020439	0.6136219	10.30	2.6014398	16.1659746	20.30	0.5519893	22.2761141	30.30	0.0932313	23.6408131	40.30	0.0149106	23.8736481
0.40	7.7342810	0.8164907	10.40	2.5666706	16.2697705	20.40	0.5426304	22.3039685	30.40	0.0915497	23.6458127	40.40	0.0146387	23.8744563
0.50	7.6667985	1.0185165	10.50	2.5322422	16.3725450	20.50	0.5334190	22.3313837	30.50	0.0898981	23.6507232	40.50	0.0143717	23.8752498
0.60	7.5995977	1.2196949	10.60	2.4981539	16.4743010	20.60	0.5243530	22.3583655	30.60	0.0882759	23.6555462	40.60	0.0141097	23.8760289
0.70	7.5326800	1.4200219	10.70	2.4644046	16.5750412	20.70	0.5154305	22.3849198	30.70	0.0866826	23.6602832	40.70	0.0138523	23.8767938
0.80	7.4660468	1.6194932	10.80	2.4309934	16.6747688	20.80	0.5066495	22.4110524	30.80	0.0851177	23.6649357	40.80	0.0135997	23.8775447
0.90	7.3996996	1.8181045	10.90	2.3979192	16.7734868	20.90	0.4980081	22.4367689	30.90	0.0835807	23.6695053	40.90	0.0133517	23.8782820
1.00	7.3336397	2.0158518	11.00	2.3651810	16.8711985	21.00	0.4895045	22.4620752	31.00	0.0820712	23.6739932	41.00	0.0131081	23.8790059
1.10	7.2678686	2.2127306	11.10	2.3327778	16.9679071	21.10	0.4811367	22.4869767	31.10	0.0805886	23.6784010	41.10	0.0128690	23.8797166
1.20	7.2023876	2.4087371	11.20	2.3007083	17.0636160	21.20	0.4729028	22.5114792	31.20	0.0791325	23.6827301	41.20	0.0126343	23.8804144
1.30	7.1371981	2.6038668	11.30	2.2689714	17.1583289	21.30	0.4648011	22.5355882	31.30	0.0777024	23.6869818	41.30	0.0124038	23.8810994
1.40	7.0723015	2.7981158	11.40	2.2375659	17.2520494	21.40	0.4568296	22.5593091	31.40	0.0762979	23.6911574	41.40	0.0121776	23.8817720
1.50	7.0076993	2.9914798	11.50	2.2064907	17.3447811	21.50	0.4489865	22.5826474	31.50	0.0749185	23.6952584	41.50	0.0119554	23.8824323
1.60	6.9433926	3.1839548	11.60	2.1757443	17.4365280	21.60	0.4412701	22.6056084	31.60	0.0735637	23.6992860	41.60	0.0117373	23.8830806
1.70	6.8793831	3.3755367	11.70	2.1453256	17.5272941	21.70	0.4336786	22.6281976	31.70	0.0722333	23.7032415	41.70	0.0115232	23.8837171
1.80	6.8156719	3.5662213	11.80	2.1152332	17.6170833	21.80	0.4262101	22.6504202	31.80	0.0709266	23.7071261	41.80	0.0113130	23.8843420
1.90	6.7522604	3.7560048	11.90	2.0854657	17.7058999	21.90	0.4188629	22.6722814	31.90	0.0696434	23.7109412	41.90	0.0111066	23.8849556
2.00	6.6891500	3.9448829	12.00	2.0560217	17.7937480	22.00	0.4116354	22.6937864	32.00	0.0683831	23.7146879	42.00	0.0109039	23.8855579
2.10	6.6263421	4.1328518	12.10	2.0268997	17.8806322	22.10	0.4045257	22.7149404	32.10	0.0671454	23.7183675	42.10	0.0107050	23.8861493
2.20	6.5638379	4.3199074	12.20	1.9980984	17.9665567	22.20	0.3975322	22.7357483	32.20	0.0659299	23.7219810	42.20	0.0105097	23.8867299
2.30	6.5016388	4.5060458	12.30	1.9696162	18.0515263	22.30	0.3906531	22.7562153	32.30	0.0647363	23.7255298	42.30	0.0103179	23.8872999
2.40	6.4397460	4.6912631	12.40	1.9414516	18.1355454	22.40	0.3838869	22.7763464	32.40	0.0635640	23.7290148	42.40	0.0101296	23.8878595
2.50	6.3781610	4.8755553	12.50	1.9136029	18.2186189	22.50	0.3772319	22.7961463	32.50	0.0624128	23.7324373	42.50	0.0099448	23.8884090
2.60	6.3168850	5.0589186	12.60	1.8860687	18.3007516	22.60	0.3706864	22.8156200	32.60	0.0612822	23.7357983	42.60	0.0097633	23.8889484

Universitas Indonesia

(lanjutan)

2.70	6.2559192	5.2413492	12.70	1.8588472	18.3819484	22.70	0.3642489	22.8347724	32.70	0.0601719	23.7390990	42.70	0.0095852	23.8894780
2.80	6.1952650	5.4228432	12.80	1.8319369	18.4622143	22.80	0.3579177	22.8536080	32.80	0.0590816	23.7423404	42.80	0.0094102	23.8899979
2.90	6.1349236	5.6033969	12.90	1.8053361	18.5415545	22.90	0.3516913	22.8721318	32.90	0.0580109	23.7455235	42.90	0.0092385	23.8905084
3.00	6.0748963	5.7830066	13.00	1.7790429	18.6199740	23.00	0.3455680	22.8903483	33.00	0.0569594	23.7486494	43.00	0.0090699	23.8910096
3.10	6.0151843	5.9616685	13.10	1.7530558	18.6974782	23.10	0.3395464	22.9082620	33.10	0.0559269	23.7517190	43.10	0.0089044	23.8915016
3.20	5.9557888	6.1393789	13.20	1.7273729	18.7740723	23.20	0.3336250	22.9258777	33.20	0.0549129	23.7547335	43.20	0.0087419	23.8919846
3.30	5.8967110	6.3161344	13.30	1.7019924	18.8497619	23.30	0.3278022	22.9431997	33.30	0.0539172	23.7576937	43.30	0.0085823	23.8924589
3.40	5.8379522	6.4919312	13.40	1.6769125	18.9245524	23.40	0.3220765	22.9602325	33.40	0.0529393	23.7606006	43.40	0.0084257	23.8929245
3.50	5.7795135	6.6667659	13.50	1.6521314	18.9984494	23.50	0.3164465	22.9769805	33.50	0.0519791	23.7634552	43.50	0.0082719	23.8933816
3.60	5.7213962	6.8406349	13.60	1.6276472	19.0714586	23.60	0.3109107	22.9934480	33.60	0.0510362	23.7662583	43.60	0.0081209	23.8938304
3.70	5.6636013	7.0135348	13.70	1.6034580	19.1435856	23.70	0.3054677	23.0096393	33.70	0.0501102	23.7690110	43.70	0.0079727	23.8942710
3.80	5.6061299	7.1854622	13.80	1.5795619	19.2148362	23.80	0.3001160	23.0255587	33.80	0.0492009	23.7717141	43.80	0.0078272	23.8947036
3.90	5.5489834	7.3564137	13.90	1.5559570	19.2852164	23.90	0.2948543	23.0412103	33.90	0.0483081	23.7743685	43.90	0.0076843	23.8951283
4.00	5.4921626	7.5263860	14.00	1.5326412	19.3547319	24.00	0.2896812	23.0565982	34.00	0.0474313	23.7769750	44.00	0.0075440	23.8955452
4.10	5.4356688	7.6953759	14.10	1.5096126	19.4233889	24.10	0.2845952	23.0717266	34.10	0.0465703	23.7795345	44.10	0.0074063	23.8959546
4.20	5.3795031	7.8633802	14.20	1.4868692	19.4911933	24.20	0.2795951	23.0865994	34.20	0.0457248	23.7820479	44.20	0.0072711	23.8963564
4.30	5.3236663	8.0303957	14.30	1.4644090	19.5581513	24.30	0.2746796	23.1012206	34.30	0.0448946	23.7845159	44.30	0.0071384	23.8967510
4.40	5.2681597	8.1964193	14.40	1.4422299	19.6242690	24.40	0.2698472	23.1155943	34.40	0.0440794	23.7869393	44.40	0.0070081	23.8971383
4.50	5.2129843	8.3614479	14.50	1.4203298	19.6895526	24.50	0.2650967	23.1297241	34.50	0.0432789	23.7893191	44.50	0.0068802	23.8975186
4.60	5.1581410	8.5254787	14.60	1.3987068	19.7540084	24.60	0.2604269	23.1436140	34.60	0.0424928	23.7916558	44.60	0.0067545	23.8978920
4.70	5.1036308	8.6885086	14.70	1.3773586	19.8176427	24.70	0.2558364	23.1572677	34.70	0.0417210	23.7939504	44.70	0.0066312	23.8982585
4.80	5.0494547	8.8505349	14.80	1.3562832	19.8804619	24.80	0.2513240	23.1706890	34.80	0.0409630	23.7962036	44.80	0.0065102	23.8986183
4.90	4.9956136	9.0115547	14.90	1.3354784	19.9424724	24.90	0.2468884	23.1838815	34.90	0.0402188	23.7984160	44.90	0.0063913	23.8989716
5.00	4.9421084	9.1715652	15.00	1.3149421	20.0036807	25.00	0.2425286	23.1968489	35.00	0.0394880	23.8005885	45.00	0.0062746	23.8993185
5.10	4.8889402	9.3305639	15.10	1.2946722	20.0640931	25.10	0.2382431	23.2095947	35.10	0.0387704	23.8027217	45.10	0.0061601	23.8996590
5.20	4.8361096	9.4885481	15.20	1.2746664	20.1237164	25.20	0.2340310	23.2221225	35.20	0.0380658	23.8048163	45.20	0.0060476	23.8999933
5.30	4.7836176	9.6455153	15.30	1.2549226	20.1825570	25.30	0.2298909	23.2344358	35.30	0.0373739	23.8068731	45.30	0.0059372	23.9003215
5.40	4.7314651	9.8014631	15.40	1.2354386	20.2406215	25.40	0.2258217	23.2465379	35.40	0.0366945	23.8088927	45.40	0.0058288	23.9006437

Universitas Indonesia

(lanjutan)

5.50	4.6796527	9.9563890	15.50	1.2162122	20.2979167	25.50	0.2218224	23.2584323	35.50	0.0360274	23.8108757	45.50	0.0057224	23.9009601
5.60	4.6281814	10.1102907	15.60	1.1972411	20.3544491	25.60	0.2178918	23.2701223	35.60	0.0353724	23.8128229	45.60	0.0056179	23.9012707
5.70	4.5770518	10.2631660	15.70	1.1785232	20.4102254	25.70	0.2140287	23.2816113	35.70	0.0347292	23.8147349	45.70	0.0055153	23.9015756
5.80	4.5262648	10.4150128	15.80	1.1600561	20.4652525	25.80	0.2102321	23.2929024	35.80	0.0340977	23.8166122	45.80	0.0054146	23.9018749
5.90	4.4758209	10.5658289	15.90	1.1418377	20.5195369	25.90	0.2065009	23.3039989	35.90	0.0334776	23.8184556	45.90	0.0053157	23.9021688
6.00	4.4257209	10.7156124	16.00	1.1238657	20.5730856	26.00	0.2028341	23.3149039	36.00	0.0328687	23.8202656	46.00	0.0052187	23.9024573
6.10	4.3759655	10.8643613	16.10	1.1061379	20.6259052	26.10	0.1992306	23.3256206	36.10	0.0322709	23.8220428	46.10	0.0051234	23.9027406
6.20	4.3265552	11.0120738	16.20	1.0886519	20.6780027	26.20	0.1956893	23.3361520	36.20	0.0316838	23.8237879	46.20	0.0050298	23.9030187
6.30	4.2774907	11.1587481	16.30	1.0714055	20.7293847	26.30	0.1922093	23.3465011	36.30	0.0311074	23.8255013	46.30	0.0049380	23.9032917
6.40	4.2287725	11.3043826	16.40	1.0543964	20.7800582	26.40	0.1887896	23.3566709	36.40	0.0305415	23.8271837	46.40	0.0048478	23.9035597
6.50	4.1804012	11.4489756	16.50	1.0376224	20.8300300	26.50	0.1854291	23.3666644	36.50	0.0299858	23.8288357	46.50	0.0047593	23.9038228
6.60	4.1323773	11.5925258	16.60	1.0210811	20.8793069	26.60	0.1821269	23.3764845	36.60	0.0294401	23.8304577	46.60	0.0046724	23.9040812
6.70	4.0847012	11.7350316	16.70	1.0047704	20.9278958	26.70	0.1788820	23.3861340	36.70	0.0289044	23.8320503	46.70	0.0045870	23.9043348
6.80	4.0373735	11.8764918	16.80	0.9886878	20.9758036	26.80	0.1756936	23.3956157	36.80	0.0283783	23.8336140	46.80	0.0045033	23.9045838
6.90	3.9903946	12.0169051	16.90	0.9728311	21.0230371	26.90	0.1725606	23.4049325	36.90	0.0278618	23.8351494	46.90	0.0044210	23.9048282
7.00	3.9437648	12.1562704	17.00	0.9571980	21.0696032	27.00	0.1694821	23.4140869	37.00	0.0273547	23.8366569	47.00	0.0043403	23.9050682
7.10	3.8974845	12.2945866	17.10	0.9417862	21.1155088	27.10	0.1664573	23.4230818	37.10	0.0268567	23.8381371	47.10	0.0042610	23.9053038
7.20	3.8515541	12.4318530	17.20	0.9265935	21.1607607	27.20	0.1634852	23.4319198	37.20	0.0263678	23.8395905	47.20	0.0041832	23.9055351
7.30	3.8059737	12.5680684	17.30	0.9116175	21.2053658	27.30	0.1605650	23.4406034	37.30	0.0258878	23.8410175	47.30	0.0041068	23.9057622
7.40	3.7607438	12.7032324	17.40	0.8968560	21.2493310	27.40	0.1576959	23.4491353	37.40	0.0254164	23.8424186	47.40	0.0040318	23.9059852
7.50	3.7158645	12.8373441	17.50	0.8823067	21.2926630	27.50	0.1548768	23.4575181	37.50	0.0249536	23.8437943	47.50	0.0039582	23.9062040
7.60	3.6713361	12.9704031	17.60	0.8679672	21.3353688	27.60	0.1521071	23.4657541	37.60	0.0244993	23.8451450	47.60	0.0038859	23.9064189
7.70	3.6271586	13.1024089	17.70	0.8538354	21.3774551	27.70	0.1493859	23.4738458	37.70	0.0240531	23.8464713	47.70	0.0038149	23.9066299
7.80	3.5833322	13.2333611	17.80	0.8399089	21.4189288	27.80	0.1467123	23.4817957	37.80	0.0236151	23.8477734	47.80	0.0037453	23.9068370
7.90	3.5398571	13.3632596	17.90	0.8261855	21.4597966	27.90	0.1440857	23.4896062	37.90	0.0231850	23.8490519	47.90	0.0036769	23.9070403
8.00	3.4967333	13.4921042	18.00	0.8126630	21.5000653	28.00	0.1415051	23.4972796	38.00	0.0227627	23.8503072	48.00	0.0036097	23.9072399
8.10	3.4539607	13.6198949	18.10	0.7993390	21.5397418	28.10	0.1389698	23.5048181	38.10	0.0223480	23.8515397	48.10	0.0035438	23.9074359
8.20	3.4115395	13.7466317	18.20	0.7862113	21.5788326	28.20	0.1364791	23.5122242	38.20	0.0219410	23.8527499	48.20	0.0034790	23.9076283

Universitas Indonesia

(lanjutan)

8.30	3.3694695	13.8723148	18.30	0.7732776	21.6173446	28.30	0.1340322	23.5195000	38.30	0.0215413	23.8539380	48.30	0.0034155	23.9078171
8.40	3.3277507	13.9969446	18.40	0.7605359	21.6552844	28.40	0.1316284	23.5266477	38.40	0.0211488	23.8551046	48.40	0.0033531	23.9080026
8.50	3.2863829	14.1205214	18.50	0.7479837	21.6926587	28.50	0.1292668	23.5336695	38.50	0.0207635	23.8562500	48.50	0.0032919	23.9081846
8.60	3.2453661	14.2430458	18.60	0.7356189	21.7294742	28.60	0.1269469	23.5405675	38.60	0.0203852	23.8573745	48.60	0.0032317	23.9083633
8.70	3.2046999	14.3645184	18.70	0.7234393	21.7657374	28.70	0.1246679	23.5473439	38.70	0.0200137	23.8584787	48.70	0.0031727	23.9085388
8.80	3.1643843	14.4849398	18.80	0.7114427	21.8014549	28.80	0.1224291	23.5540007	38.80	0.0196490	23.8595627	48.80	0.0031148	23.9087111
8.90	3.1244189	14.6043111	18.90	0.6996269	21.8366333	28.90	0.1202298	23.5605399	38.90	0.0192910	23.8606271	48.90	0.0030579	23.9088802
9.00	3.0848034	14.7226330	19.00	0.6879897	21.8712792	29.00	0.1180694	23.5669636	39.00	0.0189394	23.8616721	49.00	0.0030020	23.9090462
9.10	3.0455374	14.8399067	19.10	0.6765290	21.9053989	29.10	0.1159472	23.5732737	39.10	0.0185943	23.8626982	49.10	0.0029472	23.9092092
9.20	3.0066207	14.9561334	19.20	0.6652425	21.9389991	29.20	0.1138624	23.5794722	39.20	0.0182554	23.8637056	49.20	0.0028934	23.9093692
9.30	2.9680528	15.0713144	19.30	0.6541282	21.9720860	29.30	0.1118146	23.5855609	39.30	0.0179226	23.8646946	49.30	0.0028405	23.9095263
9.40	2.9298333	15.1854510	19.40	0.6431838	22.0046660	29.40	0.1098031	23.5915418	39.40	0.0175959	23.8656657	49.40	0.0027886	23.9096805
9.50	2.8919616	15.2985448	19.50	0.6324074	22.0367456	29.50	0.1078271	23.5974168	39.50	0.0172752	23.8666191	49.50	0.0027377	23.9098319
9.60	2.8544372	15.4105975	19.60	0.6217967	22.0683311	29.60	0.1058862	23.6031875	39.60	0.0169603	23.8675552	49.60	0.0026877	23.9099806
9.70	2.8172596	15.5216107	19.70	0.6113498	22.0994286	29.70	0.1039798	23.6088559	39.70	0.0166511	23.8684743	49.70	0.0026386	23.9101265
9.80	2.7804282	15.6315864	19.80	0.6010644	22.1300445	29.80	0.1021071	23.6144237	39.80	0.0163475	23.8693766	49.80	0.0025904	23.9102698
9.90	2.7439423	15.7405265	19.90	0.5909385	22.1601849	29.90	0.1002677	23.6198926	39.90	0.0160495	23.8702626	49.90	0.0025431	23.9104104
10.00	2.7078012	15.8484331	20.00	0.5809701	22.1898560	30.00	0.0984610	23.6252643	40.00	0.0157569	23.8711324	50.00	0.0024966	23.9105485

 $V_{\max}$  : 1.2858E+00 $K_M$  : 6.9720E+00

Error : 3.6430

**Data 4<sup>[10]</sup>**

<b>t (jam)</b>	<b>C<sub>T</sub> (mol/Lt)</b>	<b>C<sub>B</sub> (mol/Lt)</b>												
0.00	2.0494214	0.0000000												
0.10	2.0141928	0.1051331	10.10	0.2042175	5.4908106	20.10	0.0122588	6.0589848	30.10	0.0006941	6.0931845	40.10	0.0000392	6.0951213
0.20	1.9793331	0.2091575	10.20	0.1987794	5.5069188	20.20	0.0119127	6.0600083	30.20	0.0006744	6.0932427	40.20	0.0000381	6.0951245
0.30	1.9448435	0.3120699	10.30	0.1934777	5.5226227	20.30	0.0115763	6.0610031	30.30	0.0006553	6.0932992	40.30	0.0000370	6.0951277
0.40	1.9107252	0.4138671	10.40	0.1883092	5.5379312	20.40	0.0112494	6.0619699	30.40	0.0006368	6.0933541	40.40	0.0000359	6.0951308
0.50	1.8769790	0.5145463	10.50	0.1832710	5.5528531	20.50	0.0109317	6.0629095	30.50	0.0006187	6.0934075	40.50	0.0000349	6.0951338
0.60	1.8436060	0.6141047	10.60	0.1783603	5.5673970	20.60	0.0106230	6.0638226	30.60	0.0006012	6.0934593	40.60	0.0000339	6.0951368
0.70	1.8106070	0.7125400	10.70	0.1735741	5.5815714	20.70	0.0103229	6.0647100	30.70	0.0005841	6.0935097	40.70	0.0000330	6.0951396
0.80	1.7779828	0.8098498	10.80	0.1689097	5.5953847	20.80	0.0100313	6.0655724	30.80	0.0005676	6.0935586	40.80	0.0000320	6.0951424
0.90	1.7457340	0.9060322	10.90	0.1643644	5.6088451	20.90	0.0097479	6.0664106	30.90	0.0005515	6.0936062	40.90	0.0000311	6.0951451
1.00	1.7138614	1.0010855	11.00	0.1599353	5.6219606	21.00	0.0094724	6.0672251	31.00	0.0005359	6.0936524	41.00	0.0000302	6.0951477
1.10	1.6823653	1.0950081	11.10	0.1556198	5.6347391	21.10	0.0092048	6.0680167	31.10	0.0005207	6.0936973	41.10	0.0000294	6.0951502
1.20	1.6512464	1.1877989	11.20	0.1514154	5.6471886	21.20	0.0089446	6.0687860	31.20	0.0005059	6.0937410	41.20	0.0000285	6.0951527
1.30	1.6205049	1.2794568	11.30	0.1473193	5.6593167	21.30	0.0086918	6.0695336	31.30	0.0004916	6.0937834	41.30	0.0000277	6.0951550
1.40	1.5901412	1.3699813	11.40	0.1433291	5.6711308	21.40	0.0084462	6.0702601	31.40	0.0004777	6.0938245	41.40	0.0000269	6.0951574
1.50	1.5601553	1.4593718	11.50	0.1394424	5.6826384	21.50	0.0082074	6.0709661	31.50	0.0004641	6.0938646	41.50	0.0000262	6.0951596
1.60	1.5305475	1.5476282	11.60	0.1356566	5.6938468	21.60	0.0079754	6.0716523	31.60	0.0004510	6.0939035	41.60	0.0000254	6.0951618
1.70	1.5013177	1.6347506	11.70	0.1319694	5.7047630	21.70	0.0077499	6.0723191	31.70	0.0004382	6.0939413	41.70	0.0000247	6.0951640
1.80	1.4724658	1.7207395	11.80	0.1283784	5.7153940	21.80	0.0075308	6.0729670	31.80	0.0004258	6.0939780	41.80	0.0000240	6.0951660
1.90	1.4439917	1.8055955	11.90	0.1248813	5.7257466	21.90	0.0073179	6.0735968	31.90	0.0004137	6.0940137	41.90	0.0000233	6.0951680
2.00	1.4158951	1.8893195	12.00	0.1214759	5.7358277	22.00	0.0071110	6.0742087	32.00	0.0004020	6.0940483	42.00	0.0000227	6.0951700
2.10	1.3881756	1.9719129	12.10	0.1181599	5.7456437	22.10	0.0069099	6.0748034	32.10	0.0003906	6.0940820	42.10	0.0000220	6.0951719
2.20	1.3608326	2.0533772	12.20	0.1149311	5.7552011	22.20	0.0067145	6.0753813	32.20	0.0003795	6.0941147	42.20	0.0000214	6.0951737
2.30	1.3338658	2.1337143	12.30	0.1117875	5.7645062	22.30	0.0065246	6.0759428	32.30	0.0003688	6.0941466	42.30	0.0000208	6.0951755
2.40	1.3072744	2.2129263	12.40	0.1087270	5.7735653	22.40	0.0063400	6.0764886	32.40	0.0003583	6.0941775	42.40	0.0000202	6.0951773
2.50	1.2810576	2.2910156	12.50	0.1057475	5.7823843	22.50	0.0061607	6.0770189	32.50	0.0003482	6.0942075	42.50	0.0000196	6.0951790
2.60	1.2552145	2.3679850	12.60	0.1028470	5.7909692	22.60	0.0059864	6.0775342	32.60	0.0003383	6.0942367	42.60	0.0000191	6.0951806

Universitas Indonesia

(lanjutan)

2.70	1.2297443	2.4438375	12.70	0.1000236	5.7993258	22.70	0.0058171	6.0780350	32.70	0.0003287	6.0942650	42.70	0.0000185	6.0951822
2.80	1.2046458	2.5185764	12.80	0.0972753	5.8074599	22.80	0.0056525	6.0785217	32.80	0.0003194	6.0942926	42.80	0.0000180	6.0951838
2.90	1.1799179	2.5922054	12.90	0.0946003	5.8153769	22.90	0.0054926	6.0789946	32.90	0.0003104	6.0943193	42.90	0.0000175	6.0951853
3.00	1.1555594	2.6647284	13.00	0.0919967	5.8230823	23.00	0.0053372	6.0794542	33.00	0.0003016	6.0943453	43.00	0.0000170	6.0951868
3.10	1.1315688	2.7361497	13.10	0.0894627	5.8305815	23.10	0.0051862	6.0799008	33.10	0.0002930	6.0943706	43.10	0.0000165	6.0951882
3.20	1.1079447	2.8064737	13.20	0.0869967	5.8378796	23.20	0.0050394	6.0803347	33.20	0.0002847	6.0943952	43.20	0.0000161	6.0951896
3.30	1.0846856	2.8757052	13.30	0.0845968	5.8449817	23.30	0.0048968	6.0807564	33.30	0.0002766	6.0944190	43.30	0.0000156	6.0951909
3.40	1.0617898	2.9438494	13.40	0.0822613	5.8518929	23.40	0.0047583	6.0811662	33.40	0.0002688	6.0944422	43.40	0.0000152	6.0951922
3.50	1.0392555	3.0109116	13.50	0.0799888	5.8586180	23.50	0.0046236	6.0815644	33.50	0.0002612	6.0944647	43.50	0.0000147	6.0951935
3.60	1.0170810	3.0768976	13.60	0.0777774	5.8651617	23.60	0.0044928	6.0819514	33.60	0.0002538	6.0944866	43.60	0.0000143	6.0951947
3.70	0.9952642	3.1418132	13.70	0.0756258	5.8715287	23.70	0.0043656	6.0823274	33.70	0.0002466	6.0945079	43.70	0.0000139	6.0951959
3.80	0.9738032	3.2056647	13.80	0.0735322	5.8777236	23.80	0.0042420	6.0826928	33.80	0.0002396	6.0945285	43.80	0.0000135	6.0951971
3.90	0.9526959	3.2684586	13.90	0.0714954	5.8837508	23.90	0.0041220	6.0830478	33.90	0.0002328	6.0945486	43.90	0.0000131	6.0951982
4.00	0.9319399	3.3302017	14.00	0.0695137	5.8896145	24.00	0.0040053	6.0833929	34.00	0.0002262	6.0945681	44.00	0.0000128	6.0951993
4.10	0.9115330	3.3909010	14.10	0.0675857	5.8953192	24.10	0.0038919	6.0837281	34.10	0.0002198	6.0945871	44.10	0.0000124	6.0952004
4.20	0.8914729	3.4505638	14.20	0.0657101	5.9008688	24.20	0.0037818	6.0840539	34.20	0.0002136	6.0946055	44.20	0.0000120	6.0952014
4.30	0.8717569	3.5091977	14.30	0.0638855	5.9062674	24.30	0.0036747	6.0843705	34.30	0.0002075	6.0946234	44.30	0.0000117	6.0952024
4.40	0.8523827	3.5668105	14.40	0.0621106	5.9115190	24.40	0.0035707	6.0846781	34.40	0.0002016	6.0946408	44.40	0.0000114	6.0952034
4.50	0.8333475	3.6234102	14.50	0.0603840	5.9166274	24.50	0.0034696	6.0849771	34.50	0.0001959	6.0946577	44.50	0.0000111	6.0952044
4.60	0.8146487	3.6790050	14.60	0.0587046	5.9215964	24.60	0.0033714	6.0852675	34.60	0.0001904	6.0946741	44.60	0.0000107	6.0952053
4.70	0.7962834	3.7336035	14.70	0.0570709	5.9264297	24.70	0.0032759	6.0855498	34.70	0.0001850	6.0946901	44.70	0.0000104	6.0952062
4.80	0.7782487	3.7872145	14.80	0.0554820	5.9311307	24.80	0.0031832	6.0858241	34.80	0.0001797	6.0947056	44.80	0.0000101	6.0952071
4.90	0.7605418	3.8398467	14.90	0.0539365	5.9357030	24.90	0.0030930	6.0860906	34.90	0.0001746	6.0947206	44.90	0.0000099	6.0952079
5.00	0.7431595	3.8915095	15.00	0.0524334	5.9401501	25.00	0.0030055	6.0863496	35.00	0.0001697	6.0947353	45.00	0.0000096	6.0952088
5.10	0.7260989	3.9422121	15.10	0.0509715	5.9444752	25.10	0.0029204	6.0866012	35.10	0.0001649	6.0947495	45.10	0.0000093	6.0952096
5.20	0.7093567	3.9919641	15.20	0.0495497	5.9486815	25.20	0.0028377	6.0868458	35.20	0.0001602	6.0947633	45.20	0.0000090	6.0952103
5.30	0.6929298	4.0407751	15.30	0.0481669	5.9527722	25.30	0.0027573	6.0870834	35.30	0.0001557	6.0947767	45.30	0.0000088	6.0952111
5.40	0.6768149	4.0886551	15.40	0.0468222	5.9567505	25.40	0.0026792	6.0873143	35.40	0.0001513	6.0947898	45.40	0.0000085	6.0952118

Universitas Indonesia

(lanjutan)

5.50	0.6610087	4.1356142	15.50	0.0455144	5.9606192	25.50	0.0026034	6.0875386	35.50	0.0001470	6.0948025	45.50	0.0000083	6.0952125
5.60	0.6455078	4.1816625	15.60	0.0442427	5.9643814	25.60	0.0025296	6.0877566	35.60	0.0001428	6.0948148	45.60	0.0000081	6.0952132
5.70	0.6303087	4.2268103	15.70	0.0430060	5.9680399	25.70	0.0024580	6.0879685	35.70	0.0001388	6.0948267	45.70	0.0000078	6.0952139
5.80	0.6154080	4.2710683	15.80	0.0418034	5.9715974	25.80	0.0023884	6.0881743	35.80	0.0001348	6.0948384	45.80	0.0000076	6.0952146
5.90	0.6008022	4.3144471	15.90	0.0406340	5.9750567	25.90	0.0023207	6.0883743	35.90	0.0001310	6.0948497	45.90	0.0000074	6.0952152
6.00	0.5864877	4.3569573	16.00	0.0394969	5.9784204	26.00	0.0022550	6.0885687	36.00	0.0001273	6.0948607	46.00	0.0000072	6.0952158
6.10	0.5724608	4.3986098	16.10	0.0383912	5.9816911	26.10	0.0021912	6.0887576	36.10	0.0001237	6.0948713	46.10	0.0000070	6.0952164
6.20	0.5587181	4.4394157	16.20	0.0373161	5.9848713	26.20	0.0021291	6.0889411	36.20	0.0001202	6.0948817	46.20	0.0000068	6.0952170
6.30	0.5452557	4.4793859	16.30	0.0362708	5.9879635	26.30	0.0020688	6.0891194	36.30	0.0001168	6.0948918	46.30	0.0000066	6.0952176
6.40	0.5320700	4.5185317	16.40	0.0352544	5.9909700	26.40	0.0020102	6.0892927	36.40	0.0001135	6.0949015	46.40	0.0000064	6.0952181
6.50	0.5191573	4.5568642	16.50	0.0342662	5.9938931	26.50	0.0019533	6.0894611	36.50	0.0001102	6.0949111	46.50	0.0000062	6.0952187
6.60	0.5065137	4.5943948	16.60	0.0333054	5.9967352	26.60	0.0018979	6.0896247	36.60	0.0001071	6.0949203	46.60	0.0000060	6.0952192
6.70	0.4941356	4.6311347	16.70	0.0323713	5.9994984	26.70	0.0018442	6.0897836	36.70	0.0001041	6.0949293	46.70	0.0000059	6.0952197
6.80	0.4820192	4.6670955	16.80	0.0314631	6.0021848	26.80	0.0017919	6.0899381	36.80	0.0001011	6.0949380	46.80	0.0000057	6.0952202
6.90	0.4701605	4.7022884	16.90	0.0305801	6.0047966	26.90	0.0017412	6.0900882	36.90	0.0000983	6.0949465	46.90	0.0000055	6.0952207
7.00	0.4585559	4.7367251	17.00	0.0297217	6.0073357	27.00	0.0016919	6.0902341	37.00	0.0000955	6.0949547	47.00	0.0000054	6.0952211
7.10	0.4472015	4.7704170	17.10	0.0288871	6.0098042	27.10	0.0016439	6.0903758	37.10	0.0000928	6.0949627	47.10	0.0000052	6.0952216
7.20	0.4360934	4.8033756	17.20	0.0280758	6.0122040	27.20	0.0015974	6.0905135	37.20	0.0000901	6.0949705	47.20	0.0000051	6.0952220
7.30	0.4252278	4.8356124	17.30	0.0272870	6.0145370	27.30	0.0015521	6.0906473	37.30	0.0000876	6.0949780	47.30	0.0000049	6.0952225
7.40	0.4146009	4.8671390	17.40	0.0265202	6.0168050	27.40	0.0015082	6.0907773	37.40	0.0000851	6.0949854	47.40	0.0000048	6.0952229
7.50	0.4042088	4.8979669	17.50	0.0257748	6.0190098	27.50	0.0014654	6.0909036	37.50	0.0000827	6.0949925	47.50	0.0000047	6.0952233
7.60	0.3940477	4.9281075	17.60	0.0250502	6.0211531	27.60	0.0014239	6.0910264	37.60	0.0000804	6.0949994	47.60	0.0000045	6.0952237
7.70	0.3841138	4.9575724	17.70	0.0243458	6.0232366	27.70	0.0013836	6.0911457	37.70	0.0000781	6.0950062	47.70	0.0000044	6.0952240
7.80	0.3744032	4.9863729	17.80	0.0236610	6.0252619	27.80	0.0013444	6.0912616	37.80	0.0000759	6.0950127	47.80	0.0000043	6.0952244
7.90	0.3649121	5.0145206	17.90	0.0229954	6.0272307	27.90	0.0013063	6.0913742	37.90	0.0000737	6.0950191	47.90	0.0000042	6.0952248
8.00	0.3556368	5.0420267	18.00	0.0223483	6.0291444	28.00	0.0012693	6.0914837	38.00	0.0000716	6.0950253	48.00	0.0000040	6.0952251
8.10	0.3465735	5.0689025	18.10	0.0217194	6.0310047	28.10	0.0012333	6.0915900	38.10	0.0000696	6.0950313	48.10	0.0000039	6.0952255
8.20	0.3377183	5.0951594	18.20	0.0211080	6.0328130	28.20	0.0011984	6.0916933	38.20	0.0000676	6.0950371	48.20	0.0000038	6.0952258

Universitas Indonesia

(lanjutan)

8.30	0.3290676	5.1208085	18.30	0.0205137	6.0345707	28.30	0.0011644	6.0917937	38.30	0.0000657	6.0950428	48.30	0.0000037	6.0952261
8.40	0.3206177	5.1458610	18.40	0.0199360	6.0362792	28.40	0.0011314	6.0918913	38.40	0.0000638	6.0950483	48.40	0.0000036	6.0952264
8.50	0.3123648	5.1703278	18.50	0.0193745	6.0379399	28.50	0.0010994	6.0919861	38.50	0.0000620	6.0950536	48.50	0.0000035	6.0952267
8.60	0.3043052	5.1942201	18.60	0.0188287	6.0395541	28.60	0.0010682	6.0920782	38.60	0.0000603	6.0950588	48.60	0.0000034	6.0952270
8.70	0.2964354	5.2175485	18.70	0.0182982	6.0411231	28.70	0.0010380	6.0921677	38.70	0.0000586	6.0950639	48.70	0.0000033	6.0952273
8.80	0.2887517	5.2403240	18.80	0.0177826	6.0426482	28.80	0.0010086	6.0922546	38.80	0.0000569	6.0950688	48.80	0.0000032	6.0952276
8.90	0.2812506	5.2625572	18.90	0.0172814	6.0441304	28.90	0.0009800	6.0923391	38.90	0.0000553	6.0950735	48.90	0.0000031	6.0952278
9.00	0.2739284	5.2842588	19.00	0.0167943	6.0455712	29.00	0.0009522	6.0924213	39.00	0.0000537	6.0950782	49.00	0.0000030	6.0952281
9.10	0.2667817	5.3054393	19.10	0.0163208	6.0469715	29.10	0.0009252	6.0925010	39.10	0.0000522	6.0950827	49.10	0.0000029	6.0952284
9.20	0.2598069	5.3261090	19.20	0.0158606	6.0483325	29.20	0.0008990	6.0925786	39.20	0.0000507	6.0950871	49.20	0.0000029	6.0952286
9.30	0.2530007	5.3462782	19.30	0.0154133	6.0496554	29.30	0.0008736	6.0926539	39.30	0.0000493	6.0950913	49.30	0.0000028	6.0952288
9.40	0.2463597	5.3659571	19.40	0.0149786	6.0509411	29.40	0.0008488	6.0927271	39.40	0.0000479	6.0950954	49.40	0.0000027	6.0952291
9.50	0.2398803	5.3851558	19.50	0.0145561	6.0521907	29.50	0.0008248	6.0927982	39.50	0.0000465	6.0950995	49.50	0.0000026	6.0952293
9.60	0.2335594	5.4038842	19.60	0.0141454	6.0534053	29.60	0.0008014	6.0928673	39.60	0.0000452	6.0951034	49.60	0.0000026	6.0952295
9.70	0.2273937	5.4221521	19.70	0.0137463	6.0545857	29.70	0.0007787	6.0929344	39.70	0.0000439	6.0951071	49.70	0.0000025	6.0952297
9.80	0.2213798	5.4399691	19.80	0.0133583	6.0557329	29.80	0.0007566	6.0929997	39.80	0.0000427	6.0951108	49.80	0.0000024	6.0952299
9.90	0.2155145	5.4573450	19.90	0.0129813	6.0568479	29.90	0.0007352	6.0930631	39.90	0.0000415	6.0951144	49.90	0.0000023	6.0952301
10.00	0.2097948	5.4742890	20.00	0.0126149	6.0579316	30.00	0.0007143	6.0931247	40.00	0.0000403	6.0951179	50.00	0.0000023	6.0952303

V<sub>max</sub> : 8.8753E-01  
K<sub>M</sub> : 3.0869E+00  
Error : 2.6345

Universitas Indonesia

**Data 5<sup>[10]</sup>**

<b>t (jam)</b>	<b>C<sub>T</sub> (mol/Lt)</b>	<b>C<sub>B</sub> (mol/Lt)</b>												
0.00	2.0494214	0.0000000												
0.10	2.0316593	0.0530550	10.10	0.8505382	3.5810246	20.10	0.3559597	5.0583093	30.10	0.1489535	5.6766269	40.10	0.0623271	5.9353758
0.20	2.0140509	0.1056506	10.20	0.8431627	3.6030550	20.20	0.3528722	5.0675313	30.20	0.1476615	5.6804863	40.20	0.0617864	5.9369907
0.30	1.9965951	0.1577908	10.30	0.8358511	3.6248944	20.30	0.3498116	5.0766734	30.30	0.1463806	5.6843121	40.30	0.0612505	5.9385917
0.40	1.9792904	0.2094795	10.40	0.8286029	3.6465445	20.40	0.3467775	5.0857361	30.40	0.1451108	5.6881048	40.40	0.0607191	5.9401787
0.50	1.9621355	0.2607206	10.50	0.8214175	3.6680069	20.50	0.3437697	5.0947203	30.50	0.1438521	5.6918647	40.50	0.0601924	5.9417520
0.60	1.9451292	0.3115179	10.60	0.8142944	3.6892833	20.60	0.3407880	5.1036265	30.60	0.1426043	5.6955918	40.60	0.0596703	5.9433117
0.70	1.9282702	0.3618754	10.70	0.8072331	3.7103753	20.70	0.3378321	5.1124555	30.70	0.1413673	5.6992867	40.70	0.0591526	5.9448578
0.80	1.9115572	0.4117968	10.80	0.8002329	3.7312844	20.80	0.3349019	5.1212080	30.80	0.1401410	5.7029495	40.80	0.0586395	5.9463905
0.90	1.8949889	0.4612858	10.90	0.7932935	3.7520123	20.90	0.3319971	5.1298845	30.90	0.1389254	5.7065806	40.90	0.0581308	5.9479099
1.00	1.8785640	0.5103463	11.00	0.7864142	3.7725604	21.00	0.3291175	5.1384858	31.00	0.1377203	5.7101801	41.00	0.0576266	5.9494161
1.10	1.8622815	0.5589819	11.10	0.7795945	3.7929305	21.10	0.3262628	5.1470125	31.10	0.1365256	5.7137485	41.10	0.0571267	5.9509092
1.20	1.8461399	0.6071963	11.20	0.7728340	3.8131240	21.20	0.3234329	5.1554652	31.20	0.1353414	5.7172858	41.20	0.0566311	5.9523894
1.30	1.8301381	0.6549932	11.30	0.7661320	3.8331424	21.30	0.3206276	5.1638447	31.30	0.1341674	5.7207925	41.30	0.0561399	5.9538568
1.40	1.8142749	0.7023761	11.40	0.7594882	3.8529872	21.40	0.3178466	5.1721514	31.40	0.1330035	5.7242688	41.40	0.0556529	5.9553114
1.50	1.7985491	0.7493486	11.50	0.7529019	3.8726601	21.50	0.3150897	5.1803862	31.50	0.1318498	5.7277149	41.50	0.0551701	5.9567535
1.60	1.7829595	0.7959143	11.60	0.7463728	3.8921624	21.60	0.3123567	5.1885495	31.60	0.1307061	5.7311312	41.60	0.0546915	5.9581830
1.70	1.7675049	0.8420767	11.70	0.7399003	3.9114956	21.70	0.3096474	5.1966420	31.70	0.1295723	5.7345178	41.70	0.0542171	5.9596001
1.80	1.7521842	0.8878393	11.80	0.7334838	3.9306612	21.80	0.3069616	5.2046643	31.80	0.1284483	5.7378750	41.80	0.0537468	5.9610049
1.90	1.7369962	0.9332055	11.90	0.7271230	3.9496607	21.90	0.3042991	5.2126171	31.90	0.1273341	5.7412031	41.90	0.0532805	5.9623975
2.00	1.7219397	0.9781788	12.00	0.7208173	3.9684955	22.00	0.3016597	5.2205009	32.00	0.1262296	5.7445023	42.00	0.0528183	5.9637781
2.10	1.7070136	1.0227626	12.10	0.7145663	3.9871670	22.10	0.2990432	5.2283163	32.10	0.1251346	5.7477730	42.10	0.0523601	5.9651466
2.20	1.6922168	1.0669602	12.20	0.7083695	4.0056766	22.20	0.2964493	5.2360640	32.20	0.1240491	5.7510152	42.20	0.0519059	5.9665033
2.30	1.6775481	1.1107750	12.30	0.7022264	4.0240257	22.30	0.2938780	5.2437444	32.30	0.1229731	5.7542293	42.30	0.0514557	5.9678483
2.40	1.6630066	1.1542103	12.40	0.6961366	4.0422158	22.40	0.2913290	5.2513582	32.40	0.1219063	5.7574156	42.40	0.0510093	5.9691815
2.50	1.6485909	1.1972693	12.50	0.6900996	4.0602481	22.50	0.2888020	5.2589061	32.50	0.1208489	5.7605742	42.50	0.0505668	5.9705032
2.60	1.6343002	1.2399553	12.60	0.6841149	4.0781242	22.60	0.2862970	5.2663884	32.60	0.1198006	5.7637054	42.60	0.0501282	5.9718135

Universitas Indonesia

(lanjutan)

2.70	1.6201332	1.2822716	12.70	0.6781821	4.0958452	22.70	0.2838138	5.2738059	32.70	0.1187614	5.7668095	42.70	0.0496933	5.9731124
2.80	1.6060890	1.3242214	12.80	0.6723007	4.1134127	22.80	0.2813520	5.2811590	32.80	0.1177312	5.7698866	42.80	0.0492622	5.9744000
2.90	1.5921664	1.3658077	12.90	0.6664703	4.1308278	22.90	0.2789116	5.2884483	32.90	0.1167099	5.7729370	42.90	0.0488349	5.9756764
3.00	1.5783644	1.4070339	13.00	0.6606905	4.1480919	23.00	0.2764924	5.2956745	33.00	0.1156975	5.7759610	43.00	0.0484113	5.9769418
3.10	1.5646819	1.4479029	13.10	0.6549607	4.1652064	23.10	0.2740941	5.3028379	33.10	0.1146939	5.7789588	43.10	0.0479913	5.9781961
3.20	1.5511180	1.4884178	13.20	0.6492807	4.1821725	23.20	0.2717167	5.3099393	33.20	0.1136990	5.7819305	43.20	0.0475750	5.9794396
3.30	1.5376716	1.5285818	13.30	0.6436499	4.1989915	23.30	0.2693598	5.3169790	33.30	0.1127127	5.7848765	43.30	0.0471623	5.9806724
3.40	1.5243417	1.5683979	13.40	0.6380679	4.2156646	23.40	0.2670234	5.3239577	33.40	0.1117350	5.7877969	43.40	0.0467532	5.9818944
3.50	1.5111272	1.6078690	13.50	0.6325343	4.2321933	23.50	0.2647073	5.3308759	33.50	0.1107657	5.7906920	43.50	0.0463476	5.9831058
3.60	1.4980273	1.6469982	13.60	0.6270487	4.2485786	23.60	0.2624113	5.3377341	33.60	0.1098049	5.7935620	43.60	0.0459455	5.9843067
3.70	1.4850408	1.6857884	13.70	0.6216106	4.2648218	23.70	0.2601351	5.3445328	33.70	0.1088524	5.7964070	43.70	0.0455470	5.9854972
3.80	1.4721668	1.7242426	13.80	0.6162197	4.2809243	23.80	0.2578788	5.3512725	33.80	0.1079082	5.7992274	43.80	0.0451519	5.9866774
3.90	1.4594044	1.7623636	13.90	0.6108755	4.2968871	23.90	0.2556419	5.3579537	33.90	0.1069721	5.8020234	43.90	0.0447602	5.9878473
4.00	1.4467525	1.8001543	14.00	0.6055777	4.3127115	24.00	0.2534245	5.3645771	34.00	0.1060442	5.8047951	44.00	0.0443719	5.9890071
4.10	1.4342102	1.8376177	14.10	0.6003258	4.3283987	24.10	0.2512263	5.3711430	34.10	0.1051243	5.8075427	44.10	0.0439870	5.9901568
4.20	1.4217766	1.8747565	14.20	0.5951194	4.3439499	24.20	0.2490472	5.3776519	34.20	0.1042124	5.8102665	44.20	0.0436054	5.9912966
4.30	1.4094507	1.9115735	14.30	0.5899582	4.3593663	24.30	0.2468870	5.3841044	34.30	0.1033084	5.8129667	44.30	0.0432271	5.9924264
4.40	1.3972316	1.9480715	14.40	0.5848417	4.3746490	24.40	0.2447455	5.3905009	34.40	0.1024123	5.8156434	44.40	0.0428522	5.9935465
4.50	1.3851184	1.9842533	14.50	0.5797696	4.3897992	24.50	0.2426226	5.3968419	34.50	0.1015239	5.8182970	44.50	0.0424804	5.9946568
4.60	1.3731101	2.0201217	14.60	0.5747414	4.4048180	24.60	0.2405181	5.4031280	34.60	0.1006432	5.8209275	44.60	0.0421119	5.9957576
4.70	1.3612059	2.0556792	14.70	0.5697569	4.4197066	24.70	0.2384318	5.4093595	34.70	0.0997702	5.8235352	44.70	0.0417466	5.9968487
4.80	1.3494048	2.0909287	14.80	0.5648156	4.4344662	24.80	0.2363637	5.4155370	34.80	0.0989047	5.8261203	44.80	0.0413845	5.9979304
4.90	1.3377059	2.1258728	14.90	0.5599171	4.4490977	24.90	0.2343135	5.4216609	34.90	0.0980468	5.8286830	44.90	0.0410255	5.9990027
5.00	1.3261084	2.1605141	15.00	0.5550611	4.4636024	25.00	0.2322810	5.4277317	35.00	0.0971962	5.8312234	45.00	0.0406696	6.0000658
5.10	1.3146114	2.1948552	15.10	0.5502472	4.4779813	25.10	0.2302662	5.4337499	35.10	0.0963531	5.8337418	45.10	0.0403168	6.0011196
5.20	1.3032140	2.2288988	15.20	0.5454750	4.4922356	25.20	0.2282689	5.4397158	35.20	0.0955173	5.8362384	45.20	0.0399670	6.0021642
5.30	1.2919154	2.2626474	15.30	0.5407442	4.5063663	25.30	0.2262889	5.4456300	35.30	0.0946887	5.8387132	45.30	0.0396203	6.0031998
5.40	1.2807147	2.2961036	15.40	0.5360544	4.5203744	25.40	0.2243260	5.4514929	35.40	0.0938673	5.8411667	45.40	0.0392766	6.0042264

Universitas Indonesia

(lanjutan)

5.50	1.2696110	2.3292699	15.50	0.5314053	4.5342611	25.50	0.2223802	5.4573050	35.50	0.0930531	5.8435988	45.50	0.0389359	6.0052441
5.60	1.2586035	2.3621488	15.60	0.5267965	4.5480273	25.60	0.2204513	5.4630666	35.60	0.0922459	5.8460099	45.60	0.0385982	6.0062530
5.70	1.2476914	2.3947429	15.70	0.5222277	4.5616742	25.70	0.2185391	5.4687783	35.70	0.0914457	5.8484000	45.70	0.0382633	6.0072531
5.80	1.2368739	2.4270544	15.80	0.5176985	4.5752028	25.80	0.2166434	5.4744404	35.80	0.0906524	5.8507694	45.80	0.0379314	6.0082445
5.90	1.2261501	2.4590860	15.90	0.5132085	4.5886141	25.90	0.2147643	5.4800534	35.90	0.0898661	5.8531183	45.90	0.0376024	6.0092274
6.00	1.2155192	2.4908401	16.00	0.5087575	4.6019091	26.00	0.2129014	5.4856178	36.00	0.0890865	5.8554467	46.00	0.0372762	6.0102017
6.10	1.2049805	2.5223189	16.10	0.5043451	4.6150888	26.10	0.2110546	5.4911339	36.10	0.0883137	5.8577550	46.10	0.0369528	6.0111676
6.20	1.1945331	2.5535250	16.20	0.4999709	4.6281542	26.20	0.2092239	5.4966021	36.20	0.0875477	5.8600433	46.20	0.0366323	6.0121251
6.30	1.1841762	2.5844607	16.30	0.4956347	4.6411063	26.30	0.2074091	5.5020229	36.30	0.0867882	5.8623117	46.30	0.0363145	6.0130743
6.40	1.1739090	2.6151283	16.40	0.4913361	4.6539462	26.40	0.2056100	5.5073967	36.40	0.0860354	5.8645604	46.40	0.0359995	6.0140152
6.50	1.1637308	2.6455301	16.50	0.4870747	4.6666746	26.50	0.2038265	5.5127239	36.50	0.0852890	5.8667897	46.50	0.0356872	6.0149480
6.60	1.1536409	2.6756685	16.60	0.4828503	4.6792928	26.60	0.2020585	5.5180049	36.60	0.0845492	5.8689995	46.60	0.0353776	6.0158727
6.70	1.1436383	2.7055457	16.70	0.4786625	4.6918015	26.70	0.2003058	5.5232401	36.70	0.0838158	5.8711903	46.70	0.0350707	6.0167894
6.80	1.1337225	2.7351640	16.80	0.4745111	4.7042017	26.80	0.1985683	5.5284298	36.80	0.0830887	5.8733620	46.80	0.0347665	6.0176981
6.90	1.1238926	2.7645256	16.90	0.4703956	4.7164944	26.90	0.1968459	5.5335746	36.90	0.0823679	5.8755149	46.90	0.0344649	6.0185989
7.00	1.1141478	2.7936328	17.00	0.4663158	4.7286805	27.00	0.1951385	5.5386747	37.00	0.0816534	5.8776491	47.00	0.0341659	6.0194919
7.10	1.1044875	2.8224877	17.10	0.4622714	4.7407610	27.10	0.1934458	5.5437307	37.10	0.0809451	5.8797648	47.10	0.0338695	6.0203772
7.20	1.0949110	2.8510926	17.20	0.4582621	4.7527367	27.20	0.1917678	5.5487427	37.20	0.0802429	5.8818621	47.20	0.0335757	6.0212548
7.30	1.0854174	2.8794495	17.30	0.4542875	4.7646086	27.30	0.1901044	5.5537113	37.30	0.0795469	5.8839412	47.30	0.0332844	6.0221248
7.40	1.0760061	2.9075607	17.40	0.4503474	4.7763775	27.40	0.1884554	5.5586368	37.40	0.0788568	5.8860023	47.40	0.0329957	6.0229873
7.50	1.0666763	2.9354283	17.50	0.4464415	4.7880443	27.50	0.1868207	5.5635195	37.50	0.0781728	5.8880456	47.50	0.0327095	6.0238422
7.60	1.0574275	2.9630544	17.60	0.4425694	4.7996100	27.60	0.1852002	5.5683599	37.60	0.0774947	5.8900711	47.60	0.0324257	6.0246898
7.70	1.0482587	2.9904410	17.70	0.4387309	4.8110754	27.70	0.1835937	5.5731584	37.70	0.0768224	5.8920790	47.70	0.0321444	6.0255299
7.80	1.0391695	3.0175903	17.80	0.4349257	4.8224414	27.80	0.1820012	5.5779152	37.80	0.0761560	5.8940695	47.80	0.0318656	6.0263628
7.90	1.0301590	3.0445043	17.90	0.4311535	4.8337088	27.90	0.1804225	5.5826307	37.90	0.0754954	5.8960428	47.90	0.0315892	6.0271885
8.00	1.0212266	3.0711850	18.00	0.4274140	4.8448785	28.00	0.1788574	5.5873054	38.00	0.0748405	5.8979989	48.00	0.0313151	6.0280070
8.10	1.0123716	3.0976345	18.10	0.4237069	4.8559513	28.10	0.1773060	5.5919395	38.10	0.0741913	5.8999381	48.10	0.0310435	6.0288184
8.20	1.0035934	3.1238547	18.20	0.4200320	4.8669282	28.20	0.1757680	5.5965334	38.20	0.0735477	5.9018605	48.20	0.0307742	6.0296228

Universitas Indonesia

(lanjutan)

8.30	0.9948912	3.1498477	18.30	0.4163890	4.8778098	28.30	0.1742433	5.6010875	38.30	0.0729097	5.9037661	48.30	0.0305072	6.0304202
8.40	0.9862645	3.1756154	18.40	0.4127775	4.8885971	28.40	0.1727319	5.6056020	38.40	0.0722772	5.9056553	48.40	0.0302426	6.0312107
8.50	0.9777125	3.2011598	18.50	0.4091973	4.8992908	28.50	0.1712336	5.6100774	38.50	0.0716503	5.9075280	48.50	0.0299802	6.0319943
8.60	0.9692347	3.2264828	18.60	0.4056482	4.9098918	28.60	0.1697483	5.6145140	38.60	0.0710287	5.9093845	48.60	0.0297202	6.0327711
8.70	0.9608303	3.2515863	18.70	0.4021299	4.9204009	28.70	0.1682758	5.6189122	38.70	0.0704126	5.9112250	48.70	0.0294623	6.0335412
8.80	0.9524988	3.2764722	18.80	0.3986421	4.9308189	28.80	0.1668162	5.6232721	38.80	0.0698018	5.9130494	48.80	0.0292068	6.0343046
8.90	0.9442395	3.3011424	18.90	0.3951845	4.9411465	28.90	0.1653692	5.6275943	38.90	0.0691963	5.9148580	48.90	0.0289534	6.0350614
9.00	0.9360518	3.3255988	19.00	0.3917570	4.9513845	29.00	0.1639347	5.6318789	39.00	0.0685960	5.9166509	49.00	0.0287022	6.0358116
9.10	0.9279351	3.3498432	19.10	0.3883591	4.9615338	29.10	0.1625127	5.6361264	39.10	0.0680010	5.9184283	49.10	0.0284532	6.0365553
9.20	0.9198887	3.3738774	19.20	0.3849907	4.9715950	29.20	0.1611030	5.6403371	39.20	0.0674111	5.9201903	49.20	0.0282064	6.0372926
9.30	0.9119120	3.3977034	19.30	0.3816515	4.9815690	29.30	0.1597055	5.6445112	39.30	0.0668263	5.9219369	49.30	0.0279617	6.0380235
9.40	0.9040045	3.4213228	19.40	0.3783413	4.9914565	29.40	0.1583202	5.6486491	39.40	0.0662466	5.9236685	49.40	0.0277192	6.0387480
9.50	0.8961655	3.4447375	19.50	0.3750598	5.0012582	29.50	0.1569469	5.6527512	39.50	0.0656719	5.9253850	49.50	0.0274787	6.0394662
9.60	0.8883945	3.4679492	19.60	0.3718067	5.0109750	29.60	0.1555855	5.6568176	39.60	0.0651023	5.9270866	49.60	0.0272403	6.0401782
9.70	0.8806909	3.4909598	19.70	0.3685818	5.0206075	29.70	0.1542359	5.6608488	39.70	0.0645375	5.9287734	49.70	0.0270040	6.0408841
9.80	0.8730540	3.5137709	19.80	0.3653850	5.0301565	29.80	0.1528980	5.6648450	39.80	0.0639777	5.9304457	49.80	0.0267698	6.0415838
9.90	0.8654833	3.5363842	19.90	0.3622158	5.0396226	29.90	0.1515717	5.6688066	39.90	0.0634227	5.9321034	49.90	0.0265376	6.0422774
10.00	0.8579782	3.5588016	20.00	0.3590741	5.0490067	30.00	0.1502569	5.6727338	40.00	0.0628725	5.9337467	50.00	0.0263073	6.0429650

 $V_{\max}$  : 1.9107E+02 $K_M$  : 2.1930E+03

Error : 6.9063

Universitas Indonesia

**Data 6<sup>[11]</sup>**

<b>t (jam)</b>	<b>C<sub>T</sub> (mol/Lt)</b>	<b>C<sub>B</sub> (mol/Lt)</b>												
0.00	2.0494000	0.0128000												
0.10	2.0275507	0.0779976	10.10	0.6938797	4.0576137	20.10	0.2373582	5.4198474	30.10	0.0811817	5.8858680	40.10	0.0277645	6.0452616
0.20	2.0059341	0.1425008	10.20	0.6864770	4.0797029	20.20	0.2348253	5.4274052	30.20	0.0803154	5.8884532	40.20	0.0274682	6.0461458
0.30	1.9845478	0.2063169	10.30	0.6791533	4.1015565	20.30	0.2323195	5.4348824	30.30	0.0794583	5.8910107	40.30	0.0271751	6.0470205
0.40	1.9633892	0.2694534	10.40	0.6719077	4.1231771	20.40	0.2298404	5.4422798	30.40	0.0786103	5.8935410	40.40	0.0268850	6.0478859
0.50	1.9424560	0.3319174	10.50	0.6647393	4.1445670	20.50	0.2273878	5.4495983	30.50	0.0777714	5.8960443	40.50	0.0265981	6.0487420
0.60	1.9217457	0.3937160	10.60	0.6576474	4.1657289	20.60	0.2249614	5.4568387	30.60	0.0769414	5.8985208	40.60	0.0263143	6.0495890
0.70	1.9012561	0.4548564	10.70	0.6506312	4.1866650	20.70	0.2225608	5.4640019	30.70	0.0761203	5.9009710	40.70	0.0260334	6.0504270
0.80	1.8809847	0.5153455	10.80	0.6436897	4.2073778	20.80	0.2201858	5.4710886	30.80	0.0753080	5.9033949	40.80	0.0257556	6.0512560
0.90	1.8609293	0.5751903	10.90	0.6368223	4.2278698	20.90	0.2178362	5.4780997	30.90	0.0745043	5.9057930	40.90	0.0254807	6.0520762
1.00	1.8410874	0.6343975	11.00	0.6300282	4.2481431	21.00	0.2155117	5.4850360	31.00	0.0737092	5.9081656	41.00	0.0252088	6.0528876
1.10	1.8214570	0.6929741	11.10	0.6233065	4.2682003	21.10	0.2132119	5.4918983	31.10	0.0729226	5.9105128	41.10	0.0249398	6.0536904
1.20	1.8020357	0.7509267	11.20	0.6166565	4.2880435	21.20	0.2109367	5.4986874	31.20	0.0721444	5.9128349	41.20	0.0246736	6.0544846
1.30	1.7828212	0.8082618	11.30	0.6100774	4.3076751	21.30	0.2086858	5.5054040	31.30	0.0713745	5.9151323	41.30	0.0244103	6.0552703
1.40	1.7638115	0.8649862	11.40	0.6035685	4.3270973	21.40	0.2064589	5.5120490	31.40	0.0706128	5.9174052	41.40	0.0241498	6.0560477
1.50	1.7450042	0.9211063	11.50	0.5971290	4.3463124	21.50	0.2042557	5.5186230	31.50	0.0698592	5.9196538	41.50	0.0238921	6.0568167
1.60	1.7263974	0.9766285	11.60	0.5907582	4.3653225	21.60	0.2020761	5.5251269	31.60	0.0691137	5.9218784	41.60	0.0236371	6.0575776
1.70	1.7079887	1.0315591	11.70	0.5844554	4.3841298	21.70	0.1999197	5.5315615	31.70	0.0683761	5.9240792	41.70	0.0233848	6.0583303
1.80	1.6897762	1.0859046	11.80	0.5782198	4.4027366	21.80	0.1977863	5.5379273	31.80	0.0676464	5.9262566	41.80	0.0231353	6.0590750
1.90	1.6717578	1.1396710	11.90	0.5720506	4.4211448	21.90	0.1956757	5.5442253	31.90	0.0669245	5.9284108	41.90	0.0228884	6.0598117
2.00	1.6539313	1.1928646	12.00	0.5659473	4.4393568	22.00	0.1935876	5.5504560	32.00	0.0662103	5.9305419	42.00	0.0226441	6.0605406
2.10	1.6362947	1.2454914	12.10	0.5599091	4.4573745	22.10	0.1915218	5.5566203	32.10	0.0655037	5.9326503	42.10	0.0224024	6.0612617
2.20	1.6188461	1.2975574	12.20	0.5539353	4.4752000	22.20	0.1894780	5.5627187	32.20	0.0648046	5.9347362	42.20	0.0221633	6.0619751
2.30	1.6015833	1.3490688	12.30	0.5480252	4.4928354	22.30	0.1874561	5.5687521	32.30	0.0641131	5.9367999	42.30	0.0219268	6.0626809
2.40	1.5845045	1.4000312	12.40	0.5421782	4.5102826	22.40	0.1854557	5.5747212	32.40	0.0634289	5.9388415	42.40	0.0216928	6.0633791
2.50	1.5676077	1.4504507	12.50	0.5363935	4.5275438	22.50	0.1834767	5.5806265	32.50	0.0627519	5.9408614	42.50	0.0214613	6.0640699
2.60	1.5508909	1.5003329	12.60	0.5306705	4.5446208	22.60	0.1815187	5.5864688	32.60	0.0620823	5.9428597	42.60	0.0212323	6.0647534

Universitas Indonesia

(lanjutan)

2.70	1.5343523	1.5496835	12.70	0.5250086	4.5615157	22.70	0.1795817	5.5922488	32.70	0.0614197	5.9448366	42.70	0.0210057	6.0654295
2.80	1.5179899	1.5985083	12.80	0.5194070	4.5782304	22.80	0.1776653	5.5979671	32.80	0.0607643	5.9467925	42.80	0.0207815	6.0660984
2.90	1.5018018	1.6468128	12.90	0.5138652	4.5947668	22.90	0.1757694	5.6036244	32.90	0.0601158	5.9487275	42.90	0.0205597	6.0667602
3.00	1.4857862	1.6946026	13.00	0.5083825	4.6111268	23.00	0.1738937	5.6092214	33.00	0.0594742	5.9506418	43.00	0.0203403	6.0674150
3.10	1.4699414	1.7418831	13.10	0.5029583	4.6273123	23.10	0.1720380	5.6147586	33.10	0.0588395	5.9525357	43.10	0.0201232	6.0680627
3.20	1.4542653	1.7886597	13.20	0.4975920	4.6433252	23.20	0.1702022	5.6202367	33.20	0.0582116	5.9544094	43.20	0.0199085	6.0687035
3.30	1.4387563	1.8349379	13.30	0.4922829	4.6591672	23.30	0.1683859	5.6256564	33.30	0.0575904	5.9562632	43.30	0.0196960	6.0693375
3.40	1.4234126	1.8807228	13.40	0.4870304	4.6748403	23.40	0.1665890	5.6310182	33.40	0.0569758	5.9580971	43.40	0.0194858	6.0699647
3.50	1.4082324	1.9260199	13.50	0.4818340	4.6903461	23.50	0.1648113	5.6363229	33.50	0.0563677	5.9599114	43.50	0.0192779	6.0705852
3.60	1.3932140	1.9708342	13.60	0.4766930	4.7056866	23.60	0.1630525	5.6415709	33.60	0.0557662	5.9617064	43.60	0.0190721	6.0711991
3.70	1.3783557	2.0151709	13.70	0.4716068	4.7208634	23.70	0.1613125	5.6467629	33.70	0.0551710	5.9634823	43.70	0.0188686	6.0718065
3.80	1.3636556	2.0590351	13.80	0.4665749	4.7358784	23.80	0.1595911	5.6518995	33.80	0.0545823	5.9652392	43.80	0.0186672	6.0724074
3.90	1.3491123	2.1024317	13.90	0.4615967	4.7507331	23.90	0.1578880	5.6569814	33.90	0.0539998	5.9669773	43.90	0.0184680	6.0730018
4.00	1.3347240	2.1453659	14.00	0.4566716	4.7654294	24.00	0.1562031	5.6620089	34.00	0.0534235	5.9686969	44.00	0.0182709	6.0735899
4.10	1.3204890	2.1878425	14.10	0.4517990	4.7799690	24.10	0.1545362	5.6669829	34.10	0.0528534	5.9703981	44.10	0.0180759	6.0741718
4.20	1.3064057	2.2298664	14.20	0.4469784	4.7943534	24.20	0.1528871	5.6719038	34.20	0.0522893	5.9720812	44.20	0.0178830	6.0747474
4.30	1.2924725	2.2714423	14.30	0.4422092	4.8085844	24.30	0.1512556	5.6767721	34.30	0.0517313	5.9737463	44.30	0.0176921	6.0753169
4.40	1.2786879	2.3125751	14.40	0.4374908	4.8226636	24.40	0.1496415	5.6815885	34.40	0.0511792	5.9753937	44.40	0.0175033	6.0758803
4.50	1.2650501	2.3532695	14.50	0.4328229	4.8365925	24.50	0.1480446	5.6863535	34.50	0.0506330	5.9770235	44.50	0.0173165	6.0764377
4.60	1.2515578	2.3935302	14.60	0.4282047	4.8503729	24.60	0.1464647	5.6910677	34.60	0.0500927	5.9786358	44.60	0.0171317	6.0769891
4.70	1.2382092	2.4333617	14.70	0.4236358	4.8640063	24.70	0.1449018	5.6957316	34.70	0.0495581	5.9802310	44.70	0.0169489	6.0775347
4.80	1.2250029	2.4727686	14.80	0.4191156	4.8774943	24.80	0.1433554	5.7003457	34.80	0.0490292	5.9818092	44.80	0.0167680	6.0780744
4.90	1.2119374	2.5117555	14.90	0.4146436	4.8908384	24.90	0.1418256	5.7049105	34.90	0.0485060	5.9833705	44.90	0.0165891	6.0786084
5.00	1.1990111	2.5503269	15.00	0.4102194	4.9040401	25.00	0.1403121	5.7094267	35.00	0.0479883	5.9849151	45.00	0.0164120	6.0791367
5.10	1.1862227	2.5884871	15.10	0.4058423	4.9171010	25.10	0.1388148	5.7138947	35.10	0.0474762	5.9864433	45.10	0.0162369	6.0796593
5.20	1.1735705	2.6262405	15.20	0.4015119	4.9300225	25.20	0.1373334	5.7183149	35.20	0.0469695	5.9879551	45.20	0.0160636	6.0801764
5.30	1.1610533	2.6635914	15.30	0.3972278	4.9428062	25.30	0.1358679	5.7226881	35.30	0.0464683	5.9894508	45.30	0.0158922	6.0806879
5.40	1.1486694	2.7005442	15.40	0.3929893	4.9554536	25.40	0.1344180	5.7270145	35.40	0.0459723	5.9909306	45.40	0.0157226	6.0811940

Universitas Indonesia

(lanjutan)

5.50	1.1364176	2.7371031	15.50	0.3887960	4.9679660	25.50	0.1329835	5.7312948	35.50	0.0454817	5.9923946	45.50	0.0155548	6.0816947
5.60	1.1242964	2.7732723	15.60	0.3846475	4.9803449	25.60	0.1315644	5.7355294	35.60	0.0449963	5.9938429	45.60	0.0153888	6.0821900
5.70	1.1123043	2.8090559	15.70	0.3805433	4.9925918	25.70	0.1301604	5.7397189	35.70	0.0445161	5.9952758	45.70	0.0152245	6.0826801
5.80	1.1004402	2.8444580	15.80	0.3764828	5.0047080	25.80	0.1287714	5.7438636	35.80	0.0440411	5.9966934	45.80	0.0150621	6.0831649
5.90	1.0887025	2.8794828	15.90	0.3724656	5.0166949	25.90	0.1273972	5.7479641	35.90	0.0435711	5.9980959	45.90	0.0149013	6.0836446
6.00	1.0770899	2.9141341	16.00	0.3684913	5.0285540	26.00	0.1260377	5.7520208	36.00	0.0431061	5.9994834	46.00	0.0147423	6.0841191
6.10	1.0656011	2.9484160	16.10	0.3645594	5.0402866	26.10	0.1246927	5.7560343	36.10	0.0426460	6.0008561	46.10	0.0145849	6.0845886
6.20	1.0542348	2.9823325	16.20	0.3606695	5.0518939	26.20	0.1233620	5.7600049	36.20	0.0421909	6.0022141	46.20	0.0144293	6.0850530
6.30	1.0429897	3.0158874	16.30	0.3568210	5.0633775	26.30	0.1220455	5.7639331	36.30	0.0417407	6.0035577	46.30	0.0142753	6.0855125
6.40	1.0318645	3.0490845	16.40	0.3530136	5.0747385	26.40	0.1207431	5.7678195	36.40	0.0412952	6.0048869	46.40	0.0141230	6.0859671
6.50	1.0208579	3.0819277	16.50	0.3492469	5.0859784	26.50	0.1194546	5.7716643	36.50	0.0408545	6.0062019	46.50	0.0139722	6.0864169
6.60	1.0099686	3.1144208	16.60	0.3455203	5.0970983	26.60	0.1181798	5.7754682	36.60	0.0404185	6.0075029	46.60	0.0138231	6.0868618
6.70	0.9991954	3.1465674	16.70	0.3418334	5.1080996	26.70	0.1169186	5.7792314	36.70	0.0399872	6.0087900	46.70	0.0136756	6.0873020
6.80	0.9885371	3.1783714	16.80	0.3381859	5.1189835	26.80	0.1156709	5.7829545	36.80	0.0395604	6.0100634	46.80	0.0135296	6.0877375
6.90	0.9779924	3.2098362	16.90	0.3345773	5.1297514	26.90	0.1144365	5.7866379	36.90	0.0391382	6.0113232	46.90	0.0133853	6.0881684
7.00	0.9675601	3.2409655	17.00	0.3310072	5.1404043	27.00	0.1132153	5.7902819	37.00	0.0387205	6.0125695	47.00	0.0132424	6.0885946
7.10	0.9572391	3.2717630	17.10	0.3274752	5.1509436	27.10	0.1120071	5.7938871	37.10	0.0383073	6.0138026	47.10	0.0131011	6.0890163
7.20	0.9470281	3.3022321	17.20	0.3239809	5.1613704	27.20	0.1108118	5.7974538	37.20	0.0378985	6.0150224	47.20	0.0129613	6.0894335
7.30	0.9369260	3.3323763	17.30	0.3205239	5.1716860	27.30	0.1096293	5.8009824	37.30	0.0374940	6.0162293	47.30	0.0128229	6.0898463
7.40	0.9269316	3.3621991	17.40	0.3171037	5.1818915	27.40	0.1084594	5.8044734	37.40	0.0370939	6.0174233	47.40	0.0126861	6.0902546
7.50	0.9170437	3.3917040	17.50	0.3137201	5.1919882	27.50	0.1073019	5.8079271	37.50	0.0366980	6.0186045	47.50	0.0125507	6.0906586
7.60	0.9072613	3.4208942	17.60	0.3103725	5.2019772	27.60	0.1061568	5.8113440	37.60	0.0363064	6.0197732	47.60	0.0124168	6.0910583
7.70	0.8975832	3.4497732	17.70	0.3070606	5.2118595	27.70	0.1050240	5.8147244	37.70	0.0359189	6.0209293	47.70	0.0122842	6.0914537
7.80	0.8880083	3.4783443	17.80	0.3037841	5.2216365	27.80	0.1039032	5.8180687	37.80	0.0355356	6.0220732	47.80	0.0121531	6.0918449
7.90	0.8785354	3.5066107	17.90	0.3005426	5.2313091	27.90	0.1027944	5.8213774	37.90	0.0351564	6.0232048	47.90	0.0120234	6.0922319
8.00	0.8691636	3.5345757	18.00	0.2973356	5.2408785	28.00	0.1016974	5.8246507	38.00	0.0347812	6.0243243	48.00	0.0118951	6.0926148
8.10	0.8598917	3.5622426	18.10	0.2941628	5.2503458	28.10	0.1006121	5.8278892	38.10	0.0344100	6.0254319	48.10	0.0117682	6.0929936
8.20	0.8507187	3.5896144	18.20	0.2910239	5.2597122	28.20	0.0995384	5.8310930	38.20	0.0340428	6.0265277	48.20	0.0116426	6.0933684

Universitas Indonesia

(lanjutan)

8.30	0.8416435	3.6166943	18.30	0.2879185	5.2689786	28.30	0.0984761	5.8342627	38.30	0.0336795	6.0276118	48.30	0.0115183	6.0937391
8.40	0.8326651	3.6434855	18.40	0.2848462	5.2781461	28.40	0.0974252	5.8373985	38.40	0.0333200	6.0286843	48.40	0.0113954	6.0941059
8.50	0.8237824	3.6699911	18.50	0.2818067	5.2872158	28.50	0.0963855	5.8405009	38.50	0.0329644	6.0297454	48.50	0.0112738	6.0944688
8.60	0.8149944	3.6962139	18.60	0.2787996	5.2961888	28.60	0.0953569	5.8435702	38.60	0.0326126	6.0307951	48.60	0.0111535	6.0948278
8.70	0.8063001	3.7221572	18.70	0.2758246	5.3050660	28.70	0.0943393	5.8466067	38.70	0.0322646	6.0318336	48.70	0.0110345	6.0951830
8.80	0.7976986	3.7478237	18.80	0.2728813	5.3138485	28.80	0.0933325	5.8496108	38.80	0.0319203	6.0328611	48.80	0.0109167	6.0955344
8.90	0.7891887	3.7732166	18.90	0.2699695	5.3225373	28.90	0.0923365	5.8525829	38.90	0.0315796	6.0338776	48.90	0.0108002	6.0958820
9.00	0.7807696	3.7983387	19.00	0.2670887	5.3311334	29.00	0.0913511	5.8555232	39.00	0.0312426	6.0348832	49.00	0.0106849	6.0962260
9.10	0.7724403	3.8231929	19.10	0.2642386	5.3396377	29.10	0.0903763	5.8584322	39.10	0.0309092	6.0358781	49.10	0.0105709	6.0965662
9.20	0.7641999	3.8477821	19.20	0.2614190	5.3480514	29.20	0.0894118	5.8613101	39.20	0.0305793	6.0368624	49.20	0.0104581	6.0969029
9.30	0.7560473	3.8721090	19.30	0.2586294	5.3563753	29.30	0.0884576	5.8641573	39.30	0.0302530	6.0378362	49.30	0.0103465	6.0972359
9.40	0.7479816	3.8961766	19.40	0.2558696	5.3646103	29.40	0.0875136	5.8669742	39.40	0.0299301	6.0387996	49.40	0.0102360	6.0975654
9.50	0.7400019	3.9199874	19.50	0.2531393	5.3727575	29.50	0.0865797	5.8697609	39.50	0.0296107	6.0397527	49.50	0.0101268	6.0978914
9.60	0.7321074	3.9435443	19.60	0.2504381	5.3808178	29.60	0.0856557	5.8725180	39.60	0.0292947	6.0406957	49.60	0.0100187	6.0982138
9.70	0.7242970	3.9668500	19.70	0.2477657	5.3887921	29.70	0.0847416	5.8752456	39.70	0.0289820	6.0416286	49.70	0.0099118	6.0985329
9.80	0.7165700	3.9899072	19.80	0.2451218	5.3966813	29.80	0.0838373	5.8779441	39.80	0.0286727	6.0425515	49.80	0.0098060	6.0988485
9.90	0.7089253	4.0127184	19.90	0.2425061	5.4044863	29.90	0.0829426	5.8806138	39.90	0.0283667	6.0434646	49.90	0.0097014	6.0991608
10.00	0.7013622	4.0352864	20.00	0.2399183	5.4122080	30.00	0.0820574	5.8832550	40.00	0.0280640	6.0443679	50.00	0.0095978	6.0994697

 $V_{\max}$  : 2.1243E+02 $K_M$  : 1.9799E+03

Error : 3.9949

Universitas Indonesia

**Data 7<sup>[11]</sup>**

<b>t (jam)</b>	<b>C<sub>T</sub> (mol/Lt)</b>	<b>C<sub>B</sub> (mol/Lt)</b>												
0.00	2.0494000	0.0128000												
0.10	2.0347170	0.0566916	10.10	0.9903528	3.1785601	20.10	0.4814128	4.6998899	30.10	0.2338691	5.4398459	40.10	0.1135783	5.7994172
0.20	2.0201387	0.1002703	10.20	0.9832395	3.1998233	20.20	0.4779509	4.7102384	30.20	0.2321863	5.4448761	40.20	0.1127608	5.8018608
0.30	2.0056643	0.1435382	10.30	0.9761772	3.2209342	20.30	0.4745137	4.7205126	30.30	0.2305156	5.4498702	40.30	0.1119492	5.8042869
0.40	1.9912931	0.1864976	10.40	0.9691655	3.2418937	20.40	0.4711013	4.7307130	30.40	0.2288569	5.4548283	40.40	0.1111435	5.8066954
0.50	1.9770245	0.2291506	10.50	0.9622040	3.2627031	20.50	0.4677134	4.7408402	30.50	0.2272101	5.4597508	40.50	0.1103435	5.8090867
0.60	1.9628576	0.2714994	10.60	0.9552924	3.2833634	20.60	0.4643498	4.7508946	30.60	0.2255752	5.4646379	40.60	0.1095493	5.8114607
0.70	1.9487917	0.3135462	10.70	0.9484304	3.3038755	20.70	0.4610104	4.7608767	30.70	0.2239521	5.4694898	40.70	0.1087608	5.8138177
0.80	1.9348262	0.3552930	10.80	0.9416175	3.3242407	20.80	0.4576950	4.7707872	30.80	0.2223406	5.4743069	40.80	0.1079779	5.8161577
0.90	1.9209602	0.3967420	10.90	0.9348535	3.3444599	20.90	0.4544034	4.7806264	30.90	0.2207407	5.4790893	40.90	0.1072008	5.8184809
1.00	1.9071932	0.4378953	11.00	0.9281380	3.3645342	21.00	0.4511355	4.7903950	31.00	0.2191523	5.4838373	41.00	0.1064292	5.8207873
1.10	1.8935245	0.4787550	11.10	0.9214705	3.3844645	21.10	0.4478910	4.8000934	31.10	0.2175753	5.4885512	41.10	0.1056631	5.8230772
1.20	1.8799532	0.5193232	11.20	0.9148509	3.4042521	21.20	0.4446698	4.8097221	31.20	0.2160097	5.4932311	41.20	0.1049026	5.8253505
1.30	1.8664788	0.5596019	11.30	0.9082788	3.4238978	21.30	0.4414718	4.8192816	31.30	0.2144553	5.4978774	41.30	0.1041475	5.8276075
1.40	1.8531005	0.5995931	11.40	0.9017537	3.4434026	21.40	0.4382967	4.8287725	31.40	0.2129121	5.5024903	41.40	0.1033979	5.8298483
1.50	1.8398177	0.6392990	11.50	0.8952754	3.4627676	21.50	0.4351445	4.8381951	31.50	0.2113800	5.5070700	41.50	0.1026537	5.8320730
1.60	1.8266297	0.6787215	11.60	0.8888436	3.4819938	21.60	0.4320149	4.8475501	31.60	0.2098589	5.5116168	41.60	0.1019148	5.8342816
1.70	1.8135358	0.7178627	11.70	0.8824578	3.5010822	21.70	0.4289078	4.8568379	31.70	0.2083488	5.5161308	41.70	0.1011812	5.8364744
1.80	1.8005354	0.7567244	11.80	0.8761179	3.5200337	21.80	0.4258230	4.8660589	31.80	0.2068495	5.5206124	41.80	0.1004529	5.8386513
1.90	1.7876278	0.7953088	11.90	0.8698234	3.5388494	21.90	0.4227604	4.8752137	31.90	0.2053611	5.5250618	41.90	0.0997299	5.8408126
2.00	1.7748123	0.8336177	12.00	0.8635740	3.5575301	22.00	0.4197198	4.8843026	32.00	0.2038833	5.5294792	42.00	0.0990121	5.8429584
2.10	1.7620883	0.8716531	12.10	0.8573694	3.5760769	22.10	0.4167010	4.8933263	32.10	0.2024161	5.5338647	42.10	0.0982994	5.8450887
2.20	1.7494551	0.9094170	12.20	0.8512094	3.5944907	22.20	0.4137039	4.9022852	32.20	0.2009595	5.5382188	42.20	0.0975918	5.8472037
2.30	1.7369121	0.9469112	12.30	0.8450935	3.6127725	22.30	0.4107284	4.9111797	32.30	0.1995134	5.5425415	42.30	0.0968894	5.8493034
2.40	1.7244587	0.9841378	12.40	0.8390214	3.6309232	22.40	0.4077742	4.9200102	32.40	0.1980777	5.5468332	42.40	0.0961920	5.8513881
2.50	1.7120942	1.0210985	12.50	0.8329929	3.6489437	22.50	0.4048413	4.9287774	32.50	0.1966523	5.5510939	42.50	0.0954996	5.8534577
2.60	1.6998181	1.0577952	12.60	0.8270076	3.6668350	22.60	0.4019294	4.9374815	32.60	0.1952371	5.5553240	42.60	0.0948122	5.8555125

Universitas Indonesia

(lanjutan)

2.70	1.6876295	1.0942299	12.70	0.8210653	3.6845980	22.70	0.3990385	4.9461230	32.70	0.1938322	5.5595237	42.70	0.0941298	5.8575524
2.80	1.6755281	1.1304044	12.80	0.8151655	3.7022336	22.80	0.3961683	4.9547025	32.80	0.1924373	5.5636932	42.80	0.0934522	5.8595777
2.90	1.6635130	1.1663205	12.90	0.8093081	3.7197428	22.90	0.3933188	4.9632204	32.90	0.1910525	5.5678327	42.90	0.0927796	5.8615884
3.00	1.6515838	1.2019801	13.00	0.8034927	3.7371263	23.00	0.3904897	4.9716770	33.00	0.1896776	5.5719424	43.00	0.0921117	5.8635847
3.10	1.6397398	1.2373849	13.10	0.7977189	3.7543852	23.10	0.3876810	4.9800728	33.10	0.1883127	5.5760226	43.10	0.0914487	5.8655665
3.20	1.6279804	1.2725368	13.20	0.7919866	3.7715203	23.20	0.3848925	4.9884083	33.20	0.1869575	5.5800734	43.20	0.0907905	5.8675341
3.30	1.6163049	1.3074376	13.30	0.7862954	3.7885325	23.30	0.3821240	4.9966839	33.30	0.1856121	5.5840951	43.30	0.0901370	5.8694876
3.40	1.6047130	1.3420891	13.40	0.7806451	3.8054227	23.40	0.3793753	5.0049001	33.40	0.1842764	5.5880878	43.40	0.0894882	5.8714270
3.50	1.5932038	1.3764930	13.50	0.7750352	3.8221918	23.50	0.3766465	5.0130572	33.50	0.1829502	5.5920518	43.50	0.0888440	5.8733524
3.60	1.5817768	1.4106510	13.60	0.7694656	3.8388405	23.60	0.3739372	5.0211556	33.60	0.1816337	5.5959874	43.60	0.0882045	5.8752640
3.70	1.5704316	1.4445650	13.70	0.7639360	3.8553698	23.70	0.3712475	5.0291959	33.70	0.1803265	5.5998946	43.70	0.0875696	5.8771618
3.80	1.5591673	1.4782366	13.80	0.7584460	3.8717806	23.80	0.3685770	5.0371784	33.80	0.1790288	5.6037736	43.80	0.0869393	5.8790460
3.90	1.5479836	1.5116676	13.90	0.7529954	3.8880736	23.90	0.3659258	5.0451035	33.90	0.1777405	5.6076248	43.90	0.0863135	5.8809166
4.00	1.5368798	1.5448597	14.00	0.7475839	3.9042498	24.00	0.3632936	5.0529716	34.00	0.1764614	5.6114483	44.00	0.0856922	5.8827737
4.10	1.5258554	1.5778146	14.10	0.7422112	3.9203099	24.10	0.3606803	5.0607832	34.10	0.1751915	5.6152443	44.10	0.0850754	5.8846175
4.20	1.5149097	1.6105339	14.20	0.7368770	3.9362547	24.20	0.3580858	5.0685387	34.20	0.1739307	5.6190130	44.20	0.0844630	5.8864480
4.30	1.5040423	1.6430193	14.30	0.7315812	3.9520852	24.30	0.3555099	5.0762384	34.30	0.1726790	5.6227545	44.30	0.0838550	5.8882654
4.40	1.4932526	1.6752725	14.40	0.7263233	3.9678021	24.40	0.3529526	5.0838828	34.40	0.1714363	5.6264692	44.40	0.0832515	5.8900696
4.50	1.4825400	1.7072952	14.50	0.7211031	3.9834063	24.50	0.3504136	5.0914723	34.50	0.1702025	5.6301571	44.50	0.0826522	5.8918609
4.60	1.4719040	1.7390889	14.60	0.7159204	3.9988985	24.60	0.3478929	5.0990071	34.60	0.1689776	5.6338185	44.60	0.0820573	5.8936393
4.70	1.4613440	1.7706554	14.70	0.7107749	4.0142795	24.70	0.3453903	5.1064879	34.70	0.1677616	5.6374536	44.70	0.0814666	5.8954049
4.80	1.4508595	1.8019961	14.80	0.7056663	4.0295502	24.80	0.3429057	5.1139148	34.80	0.1665542	5.6410625	44.80	0.0808802	5.8971578
4.90	1.4404500	1.8331128	14.90	0.7005944	4.0447113	24.90	0.3404390	5.1212884	34.90	0.1653556	5.6446454	44.90	0.0802980	5.8988980
5.00	1.4301149	1.8640069	15.00	0.6955588	4.0597636	25.00	0.3379899	5.1286090	35.00	0.1641656	5.6482026	45.00	0.0797200	5.9006258
5.10	1.4198537	1.8946802	15.10	0.6905594	4.0747079	25.10	0.3355585	5.1358770	35.10	0.1629841	5.6517342	45.10	0.0791462	5.9023411
5.20	1.4096659	1.9251341	15.20	0.6855959	4.0895450	25.20	0.3331446	5.1430927	35.20	0.1618112	5.6552404	45.20	0.0785765	5.9040440
5.30	1.3995509	1.9553702	15.30	0.6806680	4.1042755	25.30	0.3307480	5.1502565	35.30	0.1606467	5.6587213	45.30	0.0780109	5.9057347
5.40	1.3895083	1.9853900	15.40	0.6757754	4.1189004	25.40	0.3283687	5.1573689	35.40	0.1594905	5.6621772	45.40	0.0774493	5.9074133

Universitas Indonesia

(lanjutan)

5.50	1.3795375	2.0151952	15.50	0.6709179	4.1334203	25.50	0.3260064	5.1644301	35.50	0.1583427	5.6656083	45.50	0.0768918	5.9090797
5.60	1.3696380	2.0447872	15.60	0.6660954	4.1478361	25.60	0.3236611	5.1714406	35.60	0.1572031	5.6690146	45.60	0.0763383	5.9107342
5.70	1.3598093	2.0741675	15.70	0.6613074	4.1621483	25.70	0.3213327	5.1784006	35.70	0.1560718	5.6723965	45.70	0.0757888	5.9123767
5.80	1.3500510	2.1033377	15.80	0.6565538	4.1763579	25.80	0.3190210	5.1853107	35.80	0.1549486	5.6757540	45.80	0.0752433	5.9140075
5.90	1.3403624	2.1322992	15.90	0.6518343	4.1904654	25.90	0.3167260	5.1921711	35.90	0.1538334	5.6790874	45.90	0.0747017	5.9156265
6.00	1.3307431	2.1610535	16.00	0.6471486	4.2044718	26.00	0.3144474	5.1989821	36.00	0.1527263	5.6823968	46.00	0.0741639	5.9172338
6.10	1.3211927	2.1896021	16.10	0.6424967	4.2183775	26.10	0.3121852	5.2057442	36.10	0.1516271	5.6856824	46.10	0.0736301	5.9188296
6.20	1.3117106	2.2179464	16.20	0.6378780	4.2321835	26.20	0.3099393	5.2124577	36.20	0.1505359	5.6889443	46.20	0.0731001	5.9204139
6.30	1.3022963	2.2460880	16.30	0.6332926	4.2458904	26.30	0.3077096	5.2191229	36.30	0.1494525	5.6921828	46.30	0.0725739	5.9219868
6.40	1.2929494	2.2740282	16.40	0.6287401	4.2594989	26.40	0.3054958	5.2257402	36.40	0.1483769	5.6953980	46.40	0.0720515	5.9235483
6.50	1.2836693	2.3017684	16.50	0.6242202	4.2730097	26.50	0.3032980	5.2323099	36.50	0.1473090	5.6985900	46.50	0.0715328	5.9250987
6.60	1.2744557	2.3293102	16.60	0.6197328	4.2864235	26.60	0.3011160	5.2388324	36.60	0.1462488	5.7017591	46.60	0.0710179	5.9266379
6.70	1.2653080	2.3566549	16.70	0.6152776	4.2997410	26.70	0.2989496	5.2453080	36.70	0.1451963	5.7049054	46.70	0.0705067	5.9281659
6.80	1.2562258	2.3838039	16.80	0.6108543	4.3129630	26.80	0.2967989	5.2517371	36.80	0.1441513	5.7080291	46.80	0.0699992	5.9296830
6.90	1.2472085	2.4107586	16.90	0.6064629	4.3260900	26.90	0.2946635	5.2581199	36.90	0.1431138	5.7111302	46.90	0.0694953	5.9311892
7.00	1.2382558	2.4375204	17.00	0.6021029	4.3391228	27.00	0.2925436	5.2644568	37.00	0.1420838	5.7142091	47.00	0.0689951	5.9326846
7.10	1.2293672	2.4640907	17.10	0.5977743	4.3520620	27.10	0.2904389	5.2707482	37.10	0.1410612	5.7172658	47.10	0.0684984	5.9341691
7.20	1.2205422	2.4904707	17.20	0.5934767	4.3649084	27.20	0.2883493	5.2769944	37.20	0.1400460	5.7203005	47.20	0.0680053	5.9356430
7.30	1.2117803	2.5166620	17.30	0.5892100	4.3776625	27.30	0.2862747	5.2831956	37.30	0.1390381	5.7233134	47.30	0.0675158	5.9371063
7.40	1.2030812	2.5426658	17.40	0.5849739	4.3903250	27.40	0.2842151	5.2893522	37.40	0.1380374	5.7263046	47.40	0.0670298	5.9385591
7.50	1.1944443	2.5684834	17.50	0.5807682	4.4028966	27.50	0.2821703	5.2954646	37.50	0.1370439	5.7292743	47.50	0.0665473	5.9400014
7.60	1.1858693	2.5941162	17.60	0.5765927	4.4153780	27.60	0.2801401	5.3015331	37.60	0.1360576	5.7322226	47.60	0.0660683	5.9414333
7.70	1.1773556	2.6195655	17.70	0.5724472	4.4277698	27.70	0.2781246	5.3075579	37.70	0.1350783	5.7351497	47.70	0.0655927	5.9428549
7.80	1.1689029	2.6448326	17.80	0.5683315	4.4400725	27.80	0.2761236	5.3135394	37.80	0.1341061	5.7380558	47.80	0.0651205	5.9442663
7.90	1.1605107	2.6699188	17.90	0.5642453	4.4522870	27.90	0.2741369	5.3194779	37.90	0.1331410	5.7409409	47.90	0.0646517	5.9456675
8.00	1.1521787	2.6948254	18.00	0.5601884	4.4644137	28.00	0.2721645	5.3253737	38.00	0.1321827	5.7438053	48.00	0.0641863	5.9470586
8.10	1.1439062	2.7195536	18.10	0.5561607	4.4764534	28.10	0.2702064	5.3312270	38.10	0.1312313	5.7466491	48.10	0.0637243	5.9484398
8.20	1.1356930	2.7441048	18.20	0.5521619	4.4884066	28.20	0.2682623	5.3370384	38.20	0.1302868	5.7494724	48.20	0.0632656	5.9498109

Universitas Indonesia

(lanjutan)

8.30	1.1275386	2.7684802	18.30	0.5481918	4.5002740	28.30	0.2663321	5.3428079	38.30	0.1293491	5.7522754	48.30	0.0628102	5.9511723
8.40	1.1194426	2.7926810	18.40	0.5442503	4.5120562	28.40	0.2644159	5.3485359	38.40	0.1284182	5.7550582	48.40	0.0623580	5.9525238
8.50	1.1114046	2.8167085	18.50	0.5403370	4.5237538	28.50	0.2625134	5.3542228	38.50	0.1274939	5.7578210	48.50	0.0619092	5.9538656
8.60	1.1034241	2.8405640	18.60	0.5364518	4.5353673	28.60	0.2606246	5.3598687	38.60	0.1265763	5.7605639	48.60	0.0614635	5.9551977
8.70	1.0955008	2.8642486	18.70	0.5325945	4.5468975	28.70	0.2587494	5.3654741	38.70	0.1256653	5.7632871	48.70	0.0610211	5.9565202
8.80	1.0876343	2.8877635	18.80	0.5287650	4.5583449	28.80	0.2568877	5.3710391	38.80	0.1247608	5.7659907	48.80	0.0605818	5.9578333
8.90	1.0798241	2.9111101	18.90	0.5249629	4.5697100	28.90	0.2550393	5.3765642	38.90	0.1238628	5.7686749	48.90	0.0601457	5.9591368
9.00	1.0720698	2.9342894	19.00	0.5211881	4.5809936	29.00	0.2532043	5.3820495	39.00	0.1229714	5.7713397	49.00	0.0597127	5.9604310
9.10	1.0643710	2.9573027	19.10	0.5174405	4.5921961	29.10	0.2513824	5.3874953	39.10	0.1220863	5.7739854	49.10	0.0592829	5.9617159
9.20	1.0567275	2.9801511	19.20	0.5137197	4.6033181	29.20	0.2495737	5.3929020	39.20	0.1212076	5.7766120	49.20	0.0588562	5.9629915
9.30	1.0491386	3.0028359	19.30	0.5100257	4.6143603	29.30	0.2477779	5.3982699	39.30	0.1203352	5.7792197	49.30	0.0584325	5.9642580
9.40	1.0416042	3.0253581	19.40	0.5063582	4.6253232	29.40	0.2459951	5.4035991	39.40	0.1194691	5.7818087	49.40	0.0580118	5.9655153
9.50	1.0341237	3.0477190	19.50	0.5027171	4.6362073	29.50	0.2442251	5.4088900	39.50	0.1186092	5.7843790	49.50	0.0575942	5.9667636
9.60	1.0266967	3.0699198	19.60	0.4991021	4.6470133	29.60	0.2424678	5.4141428	39.60	0.1177555	5.7869308	49.60	0.0571797	5.9680029
9.70	1.0193231	3.0919614	19.70	0.4955130	4.6577416	29.70	0.2407231	5.4193579	39.70	0.1169080	5.7894643	49.70	0.0567680	5.9692333
9.80	1.0120022	3.1138452	19.80	0.4919498	4.6683929	29.80	0.2389910	5.4245355	39.80	0.1160665	5.7919795	49.80	0.0563594	5.9704548
9.90	1.0047338	3.1355721	19.90	0.4884121	4.6789677	29.90	0.2372714	5.4296758	39.90	0.1152311	5.7944767	49.90	0.0559537	5.9716675
10.00	0.9975174	3.1571434	20.00	0.4848999	4.6894665	30.00	0.2355641	5.4347792	40.00	0.1144017	5.7969558	50.00	0.0555509	5.9728715

 $V_{\max}$  : 3.0100E+01 $K_M$  : 4.1658E+02

Error : 4.3437

Universitas Indonesia

Data 8<sup>[5]</sup>

t (jam)	C <sub>T</sub> (mol/Lt)	C <sub>B</sub> (mol/Lt)												
0.00	0.5600000	0.0000000												
0.10	0.5556777	0.0129277	9.70	0.2501692	0.9262934	19.30	0.1040764	1.3627401	28.90	0.0415428	1.5494777	38.50	0.0162788	1.6249061
0.20	0.5513815	0.0257768	9.80	0.2479765	0.9328455	19.40	0.1031020	1.3656503	29.00	0.0411422	1.5506739	38.60	0.0161199	1.6253805
0.30	0.5471115	0.0385477	9.90	0.2458010	0.9393465	19.50	0.1021363	1.3685346	29.10	0.0407453	1.5518589	38.70	0.0159625	1.6258504
0.40	0.5428676	0.0512405	10.00	0.2436426	0.9457965	19.60	0.1011791	1.3713931	29.20	0.0403522	1.5530326	38.80	0.0158067	1.6263157
0.50	0.5386497	0.0638554	10.10	0.2415010	0.9521958	19.70	0.1002306	1.3742261	29.30	0.0399629	1.5541952	38.90	0.0156523	1.6267765
0.60	0.5344576	0.0763927	10.20	0.2393763	0.9585448	19.80	0.0992905	1.3770337	29.40	0.0395772	1.5553468	39.00	0.0154994	1.6272328
0.70	0.5302914	0.0888526	10.30	0.2372683	0.9648438	19.90	0.0983588	1.3798163	29.50	0.0391951	1.5564875	39.10	0.0153481	1.6276847
0.80	0.5261510	0.1012354	10.40	0.2351769	0.9710931	20.00	0.0974354	1.3825739	29.60	0.0388167	1.5576173	39.20	0.0151982	1.6281323
0.90	0.5220362	0.1135412	10.50	0.2331021	0.9772929	20.10	0.0965203	1.3853068	29.70	0.0384419	1.5587365	39.30	0.0150497	1.6285755
1.00	0.5179471	0.1257702	10.60	0.2310437	0.9834436	20.20	0.0956134	1.3880152	29.80	0.0380706	1.5598451	39.40	0.0149027	1.6290144
1.10	0.5138835	0.1379229	10.70	0.2290016	0.9895455	20.30	0.0947147	1.3906993	29.90	0.0377028	1.5609432	39.50	0.0147571	1.6294490
1.20	0.5098453	0.1499992	10.80	0.2269757	0.9955988	20.40	0.0938240	1.3933592	30.00	0.0373385	1.5620308	39.60	0.0146129	1.6298794
1.30	0.5058326	0.1619996	10.90	0.2249660	1.0016040	20.50	0.0929414	1.3959952	30.10	0.0369777	1.5631081	39.70	0.0144702	1.6303057
1.40	0.5018451	0.1739242	11.00	0.2229723	1.0075612	20.60	0.0920667	1.3986075	30.20	0.0366203	1.5641752	39.80	0.0143288	1.6307278
1.50	0.4978828	0.1857732	11.10	0.2209945	1.0134708	20.70	0.0911998	1.4011963	30.30	0.0362663	1.5652322	39.90	0.0141888	1.6311458
1.60	0.4939457	0.1975470	11.20	0.2190325	1.0193330	20.80	0.0903408	1.4037617	30.40	0.0359156	1.5662791	40.00	0.0140501	1.6315597
1.70	0.4900336	0.2092458	11.30	0.2170863	1.0251482	20.90	0.0894895	1.4063040	30.50	0.0355683	1.5673161	40.10	0.0139128	1.6319697
1.80	0.4861465	0.2208697	11.40	0.2151557	1.0309167	21.00	0.0886459	1.4088234	30.60	0.0352243	1.5683432	40.20	0.0137768	1.6323756
1.90	0.4822842	0.2324192	11.50	0.2132406	1.0366387	21.10	0.0878100	1.4113199	30.70	0.0348836	1.5693605	40.30	0.0136421	1.6327776
2.00	0.4784468	0.2438943	11.60	0.2113410	1.0423146	21.20	0.0869815	1.4137939	30.80	0.0345461	1.5703682	40.40	0.0135088	1.6331758
2.10	0.4746341	0.2552954	11.70	0.2094566	1.0479447	21.30	0.0861606	1.4162455	30.90	0.0342118	1.5713663	40.50	0.0133767	1.6335700
2.20	0.4708461	0.2666227	11.80	0.2075876	1.0535292	21.40	0.0853471	1.4186748	31.00	0.0338807	1.5723548	40.60	0.0132459	1.6339604
2.30	0.4670826	0.2778765	11.90	0.2057336	1.0590684	21.50	0.0845410	1.4210822	31.10	0.0335527	1.5733340	40.70	0.0131164	1.6343471
2.40	0.4633435	0.2890570	12.00	0.2038947	1.0645627	21.60	0.0837422	1.4234677	31.20	0.0332279	1.5743039	40.80	0.0129882	1.6347299
2.50	0.4596289	0.3001645	12.10	0.2020707	1.0700122	21.70	0.0829507	1.4258316	31.30	0.0329062	1.5752645	40.90	0.0128612	1.6351091
2.60	0.4559385	0.3111992	12.20	0.2002616	1.0754174	21.80	0.0821663	1.4281739	31.40	0.0325875	1.5762159	41.00	0.0127354	1.6354845

Universitas Indonesia

(lanjutan)

2.70	0.4522723	0.3221615	12.30	0.1984672	1.0807785	21.90	0.0813890	1.4304950	31.50	0.0322718	1.5771583	41.10	0.0126109	1.6358564
2.80	0.4486303	0.3330515	12.40	0.1966875	1.0860958	22.00	0.0806189	1.4327950	31.60	0.0319592	1.5780917	41.20	0.0124875	1.6362246
2.90	0.4450123	0.3438695	12.50	0.1949224	1.0913696	22.10	0.0798557	1.4350740	31.70	0.0316496	1.5790161	41.30	0.0123654	1.6365892
3.00	0.4414182	0.3546159	12.60	0.1931716	1.0966001	22.20	0.0790995	1.4373322	31.80	0.0313429	1.5799318	41.40	0.0122445	1.6369503
3.10	0.4378480	0.3652909	12.70	0.1914353	1.1017877	22.30	0.0783502	1.4395699	31.90	0.0310391	1.5808387	41.50	0.0121247	1.6373078
3.20	0.4343016	0.3758946	12.80	0.1897132	1.1069327	22.40	0.0776077	1.4417871	32.00	0.0307383	1.5817370	41.60	0.0120061	1.6376619
3.30	0.4307788	0.3864275	12.90	0.1880053	1.1120352	22.50	0.0768720	1.4439841	32.10	0.0304403	1.5826267	41.70	0.0118886	1.6380126
3.40	0.4272796	0.3968898	13.00	0.1863115	1.1170957	22.60	0.0761431	1.4461610	32.20	0.0301451	1.5835079	41.80	0.0117723	1.6383598
3.50	0.4238039	0.4072818	13.10	0.1846316	1.1221144	22.70	0.0754207	1.4483180	32.30	0.0298528	1.5843806	41.90	0.0116571	1.6387037
3.60	0.4203516	0.4176037	13.20	0.1829657	1.1270915	22.80	0.0747050	1.4504552	32.40	0.0295633	1.5852451	42.00	0.0115431	1.6390442
3.70	0.4169226	0.4278558	13.30	0.1813135	1.1320275	22.90	0.0739959	1.4525729	32.50	0.0292765	1.5861012	42.10	0.0114301	1.6393814
3.80	0.4135169	0.4380383	13.40	0.1796750	1.1369224	23.00	0.0732932	1.4546712	32.60	0.0289925	1.5869492	42.20	0.0113183	1.6397153
3.90	0.4101342	0.4481517	13.50	0.1780501	1.1417767	23.10	0.0725970	1.4567503	32.70	0.0287112	1.5877890	42.30	0.0112075	1.6400460
4.00	0.4067746	0.4581961	13.60	0.1764388	1.1465906	23.20	0.0719072	1.4588102	32.80	0.0284326	1.5886209	42.40	0.0110978	1.6403734
4.10	0.4034379	0.4681718	13.70	0.1748409	1.1513643	23.30	0.0712237	1.4608513	32.90	0.0281566	1.5894447	42.50	0.0109892	1.6406977
4.20	0.4001241	0.4780792	13.80	0.1732563	1.1560982	23.40	0.0705465	1.4628736	33.00	0.0278833	1.5902607	42.60	0.0108816	1.6410188
4.30	0.3968330	0.4879184	13.90	0.1716849	1.1607926	23.50	0.0698755	1.4648773	33.10	0.0276127	1.5910689	42.70	0.0107751	1.6413367
4.40	0.3935645	0.4976898	14.00	0.1701267	1.1654476	23.60	0.0692106	1.4668626	33.20	0.0273446	1.5918693	42.80	0.0106696	1.6416516
4.50	0.3903187	0.5073937	14.10	0.1685815	1.1700636	23.70	0.0685519	1.4688296	33.30	0.0270790	1.5926620	42.90	0.0105652	1.6419634
4.60	0.3870953	0.5170304	14.20	0.1670493	1.1746409	23.80	0.0678993	1.4707785	33.40	0.0268161	1.5934472	43.00	0.0104618	1.6422722
4.70	0.3838942	0.5266000	14.30	0.1655300	1.1791797	23.90	0.0672527	1.4727094	33.50	0.0265556	1.5942248	43.10	0.0103593	1.6425780
4.80	0.3807154	0.5361031	14.40	0.1640234	1.1836803	24.00	0.0666120	1.4746225	33.60	0.0262976	1.5949950	43.20	0.0102579	1.6428808
4.90	0.3775588	0.5455397	14.50	0.1625295	1.1881430	24.10	0.0659772	1.4765180	33.70	0.0260421	1.5957577	43.30	0.0101575	1.6431806
5.00	0.3744243	0.5549102	14.60	0.1610483	1.1925680	24.20	0.0653483	1.4783959	33.80	0.0257891	1.5965132	43.40	0.0100580	1.6434776
5.10	0.3713118	0.5642150	14.70	0.1595795	1.1969555	24.30	0.0647252	1.4802566	33.90	0.0255385	1.5972614	43.50	0.0099595	1.6437716
5.20	0.3682211	0.5734543	14.80	0.1581232	1.2013060	24.40	0.0641079	1.4821000	34.00	0.0252903	1.5980024	43.60	0.0098620	1.6440627
5.30	0.3651522	0.5826283	14.90	0.1566792	1.2056196	24.50	0.0634963	1.4839263	34.10	0.0250445	1.5987363	43.70	0.0097654	1.6443511
5.40	0.3621050	0.5917374	15.00	0.1552474	1.2098966	24.60	0.0628903	1.4857358	34.20	0.0248010	1.5994632	43.80	0.0096698	1.6446366

Universitas Indonesia

(lanjutan)

5.50	0.3590794	0.6007819	15.10	0.1538278	1.2141372	24.70	0.0622899	1.4875285	34.30	0.0245599	1.6001831	43.90	0.0095751	1.6449193
5.60	0.3560753	0.6097621	15.20	0.1524203	1.2183418	24.80	0.0616952	1.4893046	34.40	0.0243211	1.6008961	44.00	0.0094813	1.6451993
5.70	0.3530926	0.6186783	15.30	0.1510247	1.2225105	24.90	0.0611059	1.4910642	34.50	0.0240846	1.6016022	44.10	0.0093884	1.6454765
5.80	0.3501312	0.6275307	15.40	0.1496411	1.2266437	25.00	0.0605221	1.4928075	34.60	0.0238503	1.6023015	44.20	0.0092965	1.6457511
5.90	0.3471910	0.6363197	15.50	0.1482693	1.2307416	25.10	0.0599437	1.4945346	34.70	0.0236183	1.6029941	44.30	0.0092054	1.6460229
6.00	0.3442718	0.6450456	15.60	0.1469091	1.2348045	25.20	0.0593706	1.4962457	34.80	0.0233886	1.6036801	44.40	0.0091152	1.6462922
6.10	0.3413737	0.6537086	15.70	0.1455607	1.2388325	25.30	0.0588029	1.4979409	34.90	0.0231610	1.6043594	44.50	0.0090259	1.6465587
6.20	0.3384964	0.6623092	15.80	0.1442237	1.2428261	25.40	0.0582405	1.4996203	35.00	0.0229357	1.6050322	44.60	0.0089375	1.6468227
6.30	0.3356400	0.6708474	15.90	0.1428983	1.2467853	25.50	0.0576833	1.5012842	35.10	0.0227125	1.6056985	44.70	0.0088499	1.6470841
6.40	0.3328042	0.6793238	16.00	0.1415842	1.2507106	25.60	0.0571313	1.5029325	35.20	0.0224914	1.6063585	44.80	0.0087632	1.6473430
6.50	0.3299890	0.6877385	16.10	0.1402814	1.2546020	25.70	0.0565844	1.5045655	35.30	0.0222725	1.6070120	44.90	0.0086773	1.6475993
6.60	0.3271944	0.6960919	16.20	0.1389899	1.2584600	25.80	0.0560426	1.5061832	35.40	0.0220557	1.6076593	45.00	0.0085923	1.6478532
6.70	0.3244201	0.7043843	16.30	0.1377094	1.2622847	25.90	0.0555059	1.5077859	35.50	0.0218410	1.6083004	45.10	0.0085081	1.6481045
6.80	0.3216661	0.7126159	16.40	0.1364400	1.2660763	26.00	0.0549741	1.5093736	35.60	0.0216284	1.6089352	45.20	0.0084247	1.6483534
6.90	0.3189323	0.7207871	16.50	0.1351816	1.2698352	26.10	0.0544474	1.5109466	35.70	0.0214178	1.6095640	45.30	0.0083422	1.6485999
7.00	0.3162186	0.7288983	16.60	0.1339341	1.2735615	26.20	0.0539255	1.5125048	35.80	0.0212092	1.6101867	45.40	0.0082604	1.6488440
7.10	0.3135248	0.7369496	16.70	0.1326974	1.2772556	26.30	0.0534085	1.5140485	35.90	0.0210026	1.6108034	45.50	0.0081794	1.6490857
7.20	0.3108510	0.7449414	16.80	0.1314714	1.2809176	26.40	0.0528964	1.5155777	36.00	0.0207981	1.6114141	45.60	0.0080993	1.6493250
7.30	0.3081969	0.7528740	16.90	0.1302560	1.2845478	26.50	0.0523890	1.5170927	36.10	0.0205955	1.6120190	45.70	0.0080199	1.6495620
7.40	0.3055625	0.7607477	17.00	0.1290512	1.2881465	26.60	0.0518864	1.5185935	36.20	0.0203948	1.6126180	45.80	0.0079413	1.6497967
7.50	0.3029477	0.7685629	17.10	0.1278569	1.2917138	26.70	0.0513885	1.5200802	36.30	0.0201961	1.6132112	45.90	0.0078634	1.6500291
7.60	0.3003524	0.7763197	17.20	0.1266730	1.2952501	26.80	0.0508952	1.5215531	36.40	0.0199993	1.6137987	46.00	0.0077864	1.6502592
7.70	0.2977765	0.7840186	17.30	0.1254994	1.2987555	26.90	0.0504066	1.5230121	36.50	0.0198044	1.6143806	46.10	0.0077100	1.6504871
7.80	0.2952198	0.7916598	17.40	0.1243360	1.3022303	27.00	0.0499225	1.5244574	36.60	0.0196114	1.6149568	46.20	0.0076344	1.6507127
7.90	0.2926823	0.7992437	17.50	0.1231828	1.3056747	27.10	0.0494430	1.5258893	36.70	0.0194203	1.6155275	46.30	0.0075596	1.6509361
8.00	0.2901639	0.8067705	17.60	0.1220397	1.3090890	27.20	0.0489679	1.5273076	36.80	0.0192310	1.6160926	46.40	0.0074855	1.6511574
8.10	0.2876644	0.8142405	17.70	0.1209066	1.3124733	27.30	0.0484974	1.5287127	36.90	0.0190435	1.6166523	46.50	0.0074121	1.6513765
8.20	0.2851838	0.8216541	17.80	0.1197834	1.3158280	27.40	0.0480312	1.5301046	37.00	0.0188578	1.6172066	46.60	0.0073394	1.6515934

Universitas Indonesia

(lanjutan)

8.30	0.2827220	0.8290116	17.90	0.1186701	1.3191533	27.50	0.0475694	1.5314834	37.10	0.0186739	1.6177556	46.70	0.0072674	1.6518083
8.40	0.2802788	0.8363132	18.00	0.1175666	1.3224493	27.60	0.0471120	1.5328492	37.20	0.0184918	1.6182992	46.80	0.0071962	1.6520210
8.50	0.2778542	0.8435593	18.10	0.1164727	1.3257163	27.70	0.0466589	1.5342022	37.30	0.0183115	1.6188376	46.90	0.0071256	1.6522317
8.60	0.2754480	0.8507502	18.20	0.1153885	1.3289546	27.80	0.0462100	1.5355425	37.40	0.0181329	1.6193708	47.00	0.0070557	1.6524403
8.70	0.2730602	0.8578862	18.30	0.1143139	1.3321643	27.90	0.0457653	1.5368702	37.50	0.0179561	1.6198988	47.10	0.0069865	1.6526468
8.80	0.2706907	0.8649676	18.40	0.1132487	1.3353457	28.00	0.0453249	1.5381853	37.60	0.0177809	1.6204217	47.20	0.0069180	1.6528514
8.90	0.2683392	0.8719947	18.50	0.1121929	1.3384990	28.10	0.0448885	1.5394881	37.70	0.0176074	1.6209396	47.30	0.0068502	1.6530539
9.00	0.2660059	0.8789678	18.60	0.1111465	1.3416244	28.20	0.0444563	1.5407786	37.80	0.0174357	1.6214524	47.40	0.0067830	1.6532545
9.10	0.2636905	0.8858872	18.70	0.1101093	1.3447222	28.30	0.0440282	1.5420570	37.90	0.0172655	1.6219603	47.50	0.0067165	1.6534531
9.20	0.2613929	0.8927532	18.80	0.1090813	1.3477925	28.40	0.0436041	1.5433233	38.00	0.0170971	1.6224633	47.60	0.0066506	1.6536498
9.30	0.2591131	0.8995662	18.90	0.1080624	1.3508356	28.50	0.0431840	1.5445776	38.10	0.0169302	1.6229614	47.70	0.0065854	1.6538445
9.40	0.2568509	0.9063263	19.00	0.1070525	1.3538517	28.60	0.0427678	1.5458201	38.20	0.0167650	1.6234547	47.80	0.0065208	1.6540373
9.50	0.2546063	0.9130341	19.10	0.1060516	1.3568410	28.70	0.0423556	1.5470509	38.30	0.0166013	1.6239432	47.90	0.0064568	1.6542283
9.60	0.2523791	0.9196896	19.20	0.1050596	1.3598037	28.80	0.0419473	1.5482701	38.40	0.0164393	1.6244270	48.00	0.0063935	1.6544174

 $V_{\max}$  : 1.9966E-01 $K_M$  : 2.0189E+00

Error : 2.7224

**Lampiran 2.** Hasil *Fitting* Menggunakan Model Michaelis – Menten Adsorpsi

**Data 2<sup>[27]</sup>**

t (jam)	C <sub>T</sub> (mol/Lt)	C <sub>B</sub> (mol/Lt)												
0.00	1.6400000	0.2000000												
0.10	1.6277621	0.2375504	10.10	0.7695548	2.8708487	20.10	0.3637588	4.1159792	30.10	0.1719301	4.7045790	40.10	0.0812595	4.9827895
0.20	1.6156155	0.2748208	10.20	0.7638104	2.8884746	20.20	0.3610431	4.1243120	30.20	0.1706465	4.7085178	40.20	0.0806527	4.9846511
0.30	1.6035595	0.3118132	10.30	0.7581089	2.9059690	20.30	0.3583476	4.1325826	30.30	0.1693724	4.7124272	40.30	0.0800505	4.9864989
0.40	1.5915934	0.3485297	10.40	0.7524499	2.9233328	20.40	0.3556723	4.1407915	30.40	0.1681078	4.7163074	40.40	0.0794528	4.9883328
0.50	1.5797165	0.3849724	10.50	0.7468332	2.9405671	20.50	0.3530169	4.1489391	30.50	0.1668527	4.7201586	40.50	0.0788596	4.9901531
0.60	1.5679282	0.4211433	10.60	0.7412583	2.9576727	20.60	0.3503814	4.1570259	30.60	0.1656069	4.7239810	40.60	0.0782708	4.9919598
0.70	1.5562278	0.4570445	10.70	0.7357251	2.9746507	20.70	0.3477655	4.1650523	30.70	0.1643704	4.7277750	40.70	0.0776864	4.9937530
0.80	1.5446147	0.4926779	10.80	0.7302332	2.9915020	20.80	0.3451692	4.1730188	30.80	0.1631432	4.7315406	40.80	0.0771063	4.9955328
0.90	1.5330881	0.5280456	10.90	0.7247822	3.0082275	20.90	0.3425922	4.1809258	30.90	0.1619251	4.7352781	40.90	0.0765306	4.9972993
1.00	1.5216476	0.5631495	11.00	0.7193719	3.0248283	21.00	0.3400345	4.1887738	31.00	0.1607161	4.7389876	41.00	0.0759592	4.9990526
1.10	1.5102924	0.5979915	11.10	0.7140020	3.0413051	21.10	0.3374959	4.1965633	31.10	0.1595162	4.7426695	41.10	0.0753920	5.0007928
1.20	1.4990218	0.6325737	11.20	0.7086722	3.0576590	21.20	0.3349762	4.2042945	31.20	0.1583252	4.7463239	41.20	0.0748291	5.0025200
1.30	1.4878354	0.6668980	11.30	0.7033821	3.0738908	21.30	0.3324754	4.2119681	31.30	0.1571431	4.7499510	41.30	0.0742704	5.0042344
1.40	1.4767323	0.7009663	11.40	0.6981315	3.0900015	21.40	0.3299932	4.2195844	31.40	0.1559698	4.7535511	41.40	0.0737159	5.0059359
1.50	1.4657121	0.7347805	11.50	0.6929201	3.1059920	21.50	0.3275295	4.2271438	31.50	0.1548053	4.7571242	41.50	0.0731655	5.0076247
1.60	1.4547740	0.7683425	11.60	0.6877476	3.1218631	21.60	0.3250842	4.2346468	31.60	0.1536495	4.7606707	41.60	0.0726192	5.0093010
1.70	1.4439176	0.8016542	11.70	0.6826137	3.1376158	21.70	0.3226572	4.2420938	31.70	0.1525023	4.7641907	41.70	0.0720770	5.0109647
1.80	1.4331421	0.8347174	11.80	0.6775182	3.1532509	21.80	0.3202483	4.2494852	31.80	0.1513637	4.7676845	41.80	0.0715388	5.0126160
1.90	1.4224470	0.8675340	11.90	0.6724606	3.1687694	21.90	0.3178574	4.2568214	31.90	0.1502335	4.7711521	41.90	0.0710047	5.0142549
2.00	1.4118316	0.9001058	12.00	0.6674408	3.1841720	22.00	0.3154843	4.2641028	32.00	0.1491118	4.7745939	42.00	0.0704745	5.0158816
2.10	1.4012955	0.9324347	12.10	0.6624584	3.1994597	22.10	0.3131289	4.2713299	32.10	0.1479985	4.7780099	42.10	0.0699483	5.0174962
2.20	1.3908379	0.9645224	12.20	0.6575133	3.2146333	22.20	0.3107912	4.2785031	32.20	0.1468935	4.7814005	42.20	0.0694260	5.0190987

Universitas Indonesia

(lanjutan)

2.30	1.3804583	0.9963708	12.30	0.6526050	3.2296936	22.30	0.3084708	4.2856227	32.30	0.1457968	4.7847657	42.30	0.0689077	5.0206893
2.40	1.3701562	1.0279817	12.40	0.6477334	3.2446415	22.40	0.3061678	4.2926891	32.40	0.1447082	4.7881058	42.40	0.0683931	5.0222680
2.50	1.3599309	1.0593567	12.50	0.6428981	3.2594779	22.50	0.3038820	4.2997028	32.50	0.1436278	4.7914210	42.50	0.0678825	5.0238348
2.60	1.3497818	1.0904978	12.60	0.6380989	3.2742036	22.60	0.3016133	4.3066642	32.60	0.1425554	4.7947114	42.60	0.0673756	5.0253900
2.70	1.3397085	1.1214065	12.70	0.6333355	3.2888194	22.70	0.2993615	4.3135735	32.70	0.1414910	4.7979773	42.70	0.0668726	5.0269336
2.80	1.3297103	1.1520847	12.80	0.6286077	3.3033261	22.80	0.2971265	4.3204313	32.80	0.1404346	4.8012188	42.80	0.0663733	5.0284657
2.90	1.3197867	1.1825341	12.90	0.6239152	3.3177245	22.90	0.2949081	4.3272379	32.90	0.1393861	4.8044361	42.90	0.0658777	5.0299863
3.00	1.3099371	1.2127563	13.00	0.6192577	3.3320154	23.00	0.2927064	4.3339937	33.00	0.1383454	4.8076293	43.00	0.0653858	5.0314956
3.10	1.3001609	1.2427531	13.10	0.6146349	3.3461998	23.10	0.2905211	4.3406991	33.10	0.1373124	4.8107987	43.10	0.0648976	5.0329935
3.20	1.2904577	1.2725261	13.20	0.6100467	3.3602782	23.20	0.2883521	4.3473544	33.20	0.1362872	4.8139445	43.20	0.0644130	5.0344804
3.30	1.2808269	1.3020771	13.30	0.6054926	3.3742516	23.30	0.2861992	4.3539600	33.30	0.1352696	4.8170668	43.30	0.0639321	5.0359561
3.40	1.2712679	1.3314076	13.40	0.6009726	3.3881207	23.40	0.2840625	4.3605163	33.40	0.1342597	4.8201657	43.40	0.0634547	5.0374208
3.50	1.2617803	1.3605193	13.50	0.5964863	3.4018862	23.50	0.2819417	4.3670237	33.50	0.1332572	4.8232415	43.50	0.0629810	5.0388745
3.60	1.2523634	1.3894138	13.60	0.5920335	3.4155491	23.60	0.2798367	4.3734825	33.60	0.1322623	4.8262944	43.60	0.0625107	5.0403174
3.70	1.2430167	1.4180928	13.70	0.5876139	3.4291099	23.70	0.2777475	4.3798930	33.70	0.1312748	4.8293245	43.70	0.0620440	5.0417495
3.80	1.2337398	1.4465579	13.80	0.5832274	3.4425696	23.80	0.2756738	4.3862558	33.80	0.1302946	4.8323319	43.80	0.0615807	5.0431710
3.90	1.2245320	1.4748106	13.90	0.5788735	3.4559288	23.90	0.2736157	4.3925710	33.90	0.1293218	4.8353169	43.90	0.0611209	5.0445818
4.00	1.2153930	1.5028526	14.00	0.5745522	3.4691883	24.00	0.2715729	4.3988390	34.00	0.1283562	4.8382796	44.00	0.0606645	5.0459821
4.10	1.2063221	1.5306854	14.10	0.5702631	3.4823488	24.10	0.2695453	4.4050603	34.10	0.1273979	4.8412202	44.10	0.0602116	5.0473719
4.20	1.1973189	1.5583105	14.20	0.5660060	3.4954111	24.20	0.2675329	4.4112352	34.20	0.1264467	4.8441388	44.20	0.0597620	5.0487514
4.30	1.1883829	1.5857296	14.30	0.5617806	3.5083759	24.30	0.2655355	4.4173639	34.30	0.1255026	4.8470356	44.30	0.0593158	5.0501205
4.40	1.1795135	1.6129441	14.40	0.5575869	3.5212440	24.40	0.2635530	4.4234469	34.40	0.1245655	4.8499109	44.40	0.0588729	5.0514795
4.50	1.1707103	1.6399555	14.50	0.5534244	3.5340160	24.50	0.2615853	4.4294845	34.50	0.1236355	4.8527646	44.50	0.0584333	5.0528283
4.60	1.1619728	1.6667655	14.60	0.5492930	3.5466927	24.60	0.2596323	4.4354770	34.60	0.1227123	4.8555970	44.60	0.0579970	5.0541670
4.70	1.1533005	1.6933755	14.70	0.5451924	3.5592747	24.70	0.2576939	4.4414247	34.70	0.1217961	4.8584083	44.70	0.0575640	5.0554957
4.80	1.1446928	1.7197869	14.80	0.5411224	3.5717629	24.80	0.2557700	4.4473281	34.80	0.1208867	4.8611986	44.80	0.0571342	5.0568145
4.90	1.1361494	1.7460014	14.90	0.5370828	3.5841579	24.90	0.2538604	4.4531874	34.90	0.1199842	4.8639681	44.90	0.0567076	5.0581234

Universitas Indonesia

(lanjutan)

5.00	1.1276697	1.7720202	15.00	0.5330734	3.5964603	25.00	0.2519651	4.4590029	35.00	0.1190883	4.8667169	45.00	0.0562842	5.0594226
5.10	1.1192533	1.7978449	15.10	0.5290939	3.6086709	25.10	0.2500839	4.4647751	35.10	0.1181991	4.8694452	45.10	0.0558639	5.0607121
5.20	1.1108996	1.8234770	15.20	0.5251440	3.6207904	25.20	0.2482167	4.4705041	35.20	0.1173166	4.8721531	45.20	0.0554468	5.0619920
5.30	1.1026083	1.8489179	15.30	0.5212237	3.6328194	25.30	0.2463635	4.4761904	35.30	0.1164407	4.8748407	45.30	0.0550328	5.0632623
5.40	1.0943788	1.8741689	15.40	0.5173326	3.6447587	25.40	0.2445242	4.4818342	35.40	0.1155713	4.8775084	45.40	0.0546219	5.0645231
5.50	1.0862108	1.8992316	15.50	0.5134706	3.6566088	25.50	0.2426986	4.4874359	35.50	0.1147084	4.8801561	45.50	0.0542141	5.0657745
5.60	1.0781036	1.9241072	15.60	0.5096374	3.6683705	25.60	0.2408865	4.4929958	35.60	0.1138519	4.8827840	45.60	0.0538093	5.0670165
5.70	1.0700570	1.9487973	15.70	0.5058328	3.6800444	25.70	0.2390881	4.4985142	35.70	0.1130019	4.8853923	45.70	0.0534075	5.0682493
5.80	1.0620704	1.9733032	15.80	0.5020566	3.6916311	25.80	0.2373030	4.5039913	35.80	0.1121581	4.8879811	45.80	0.0530087	5.0694729
5.90	1.0541433	1.9976262	15.90	0.4983086	3.7031314	25.90	0.2355313	4.5094276	35.90	0.1113207	4.8905506	45.90	0.0526129	5.0706873
6.00	1.0462755	2.0217678	16.00	0.4945885	3.7145459	26.00	0.2337728	4.5148233	36.00	0.1104896	4.8931010	46.00	0.0522201	5.0718927
6.10	1.0384663	2.0457293	16.10	0.4908963	3.7258751	26.10	0.2320274	4.5201787	36.10	0.1096646	4.8956322	46.10	0.0518302	5.0730891
6.20	1.0307154	2.0695120	16.20	0.4872315	3.7371198	26.20	0.2302951	4.5254942	36.20	0.1088458	4.8981446	46.20	0.0514432	5.0742765
6.30	1.0230223	2.0931172	16.30	0.4835942	3.7482806	26.30	0.2285757	4.5307699	36.30	0.1080331	4.9006383	46.30	0.0510591	5.0754551
6.40	1.0153866	2.1165463	16.40	0.4799840	3.7593580	26.40	0.2268691	4.5360063	36.40	0.1072265	4.9031133	46.40	0.0506779	5.0766249
6.50	1.0078079	2.1398007	16.50	0.4764007	3.7703528	26.50	0.2251753	4.5412036	36.50	0.1064259	4.9055698	46.50	0.0502995	5.0777859
6.60	1.0002857	2.1628815	16.60	0.4728442	3.7812655	26.60	0.2234941	4.5463621	36.60	0.1056313	4.9080080	46.60	0.0499239	5.0789383
6.70	0.9928196	2.1857901	16.70	0.4693142	3.7920967	26.70	0.2218255	4.5514820	36.70	0.1048426	4.9104280	46.70	0.0495511	5.0800820
6.80	0.9854093	2.2085278	16.80	0.4658106	3.8028471	26.80	0.2201693	4.5565638	36.80	0.1040598	4.9128299	46.80	0.0491812	5.0812173
6.90	0.9780542	2.2310958	16.90	0.4623331	3.8135173	26.90	0.2185255	4.5616076	36.90	0.1032828	4.9152139	46.90	0.0488139	5.0823440
7.00	0.9707540	2.2534955	17.00	0.4588816	3.8241078	27.00	0.2168940	4.5666137	37.00	0.1025117	4.9175801	47.00	0.0484495	5.0834623
7.10	0.9635083	2.2757280	17.10	0.4554558	3.8346193	27.10	0.2152746	4.5715825	37.10	0.1017463	4.9199286	47.10	0.0480877	5.0845723
7.20	0.9563167	2.2977946	17.20	0.4520556	3.8450523	27.20	0.2136673	4.5765142	37.20	0.1009866	4.9222596	47.20	0.0477287	5.0856740
7.30	0.9491787	2.3196966	17.30	0.4486808	3.8554074	27.30	0.2120721	4.5814091	37.30	0.1002326	4.9245731	47.30	0.0473723	5.0867675
7.40	0.9420939	2.3414352	17.40	0.4453312	3.8656853	27.40	0.2104887	4.5862674	37.40	0.0994842	4.9268694	47.40	0.0470186	5.0878528
7.50	0.9350621	2.3630115	17.50	0.4420066	3.8758864	27.50	0.2089172	4.5910894	37.50	0.0987414	4.9291486	47.50	0.0466675	5.0889300
7.60	0.9280827	2.3844269	17.60	0.4387068	3.8860114	27.60	0.2073574	4.5958755	37.60	0.0980041	4.9314108	47.60	0.0463191	5.0899992

Universitas Indonesia

(lanjutan)

7.70	0.9211553	2.4056825	17.70	0.4354316	3.8960608	27.70	0.2058092	4.6006258	37.70	0.0972724	4.9336560	47.70	0.0459732	5.0910604
7.80	0.9142797	2.4267795	17.80	0.4321809	3.9060352	27.80	0.2042726	4.6053407	37.80	0.0965461	4.9358845	47.80	0.0456300	5.0921136
7.90	0.9074554	2.4477191	17.90	0.4289545	3.9159351	27.90	0.2027475	4.6100203	37.90	0.0958253	4.9380964	47.90	0.0452893	5.0931590
8.00	0.9006820	2.4685024	18.00	0.4257521	3.9257612	28.00	0.2012337	4.6146651	38.00	0.0951098	4.9402917	48.00	0.0449511	5.0941966
8.10	0.8939591	2.4891306	18.10	0.4225736	3.9355139	28.10	0.1997313	4.6192751	38.10	0.0943996	4.9424706	48.10	0.0446155	5.0952265
8.20	0.8872864	2.5096050	18.20	0.4194189	3.9451938	28.20	0.1982400	4.6238507	38.20	0.0936948	4.9446333	48.20	0.0442823	5.0962486
8.30	0.8806635	2.5299265	18.30	0.4162877	3.9548014	28.30	0.1967599	4.6283922	38.30	0.0929952	4.9467799	48.30	0.0439517	5.0972631
8.40	0.8740900	2.5500964	18.40	0.4131799	3.9643373	28.40	0.1952909	4.6328998	38.40	0.0923009	4.9489104	48.40	0.0436235	5.0982701
8.50	0.8675655	2.5701159	18.50	0.4100952	3.9738021	28.50	0.1938328	4.6373737	38.50	0.0916117	4.9510250	48.50	0.0432978	5.0992695
8.60	0.8610897	2.5899859	18.60	0.4070336	3.9831962	28.60	0.1923856	4.6418142	38.60	0.0909277	4.9531238	48.60	0.0429745	5.1002615
8.70	0.8546623	2.6097077	18.70	0.4039949	3.9925202	28.70	0.1909492	4.6462216	38.70	0.0902488	4.9552069	48.70	0.0426536	5.1012460
8.80	0.8482828	2.6292823	18.80	0.4009788	4.0017746	28.80	0.1895236	4.6505960	38.80	0.0895750	4.9572745	48.80	0.0423352	5.1022232
8.90	0.8419509	2.6487108	18.90	0.3979853	4.0109599	28.90	0.1881086	4.6549378	38.90	0.0889061	4.9593267	48.90	0.0420191	5.1031931
9.00	0.8356663	2.6679944	19.00	0.3950141	4.0200766	29.00	0.1867041	4.6592472	39.00	0.0882423	4.9613635	49.00	0.0417053	5.1041558
9.10	0.8294286	2.6871340	19.10	0.3920650	4.0291253	29.10	0.1853101	4.6635244	39.10	0.0875835	4.9633851	49.10	0.0413939	5.1051113
9.20	0.8232374	2.7061309	19.20	0.3891380	4.0381065	29.20	0.1839266	4.6677697	39.20	0.0869295	4.9653916	49.20	0.0410849	5.1060596
9.30	0.8170924	2.7249860	19.30	0.3862329	4.0470206	29.30	0.1825533	4.6719833	39.30	0.0862805	4.9673832	49.30	0.0407781	5.1070009
9.40	0.8109933	2.7437003	19.40	0.3833494	4.0558681	29.40	0.1811903	4.6761654	39.40	0.0856363	4.9693599	49.40	0.0404736	5.1079352
9.50	0.8049396	2.7622751	19.50	0.3804874	4.0646497	29.50	0.1798375	4.6803163	39.50	0.0849969	4.9713218	49.50	0.0401714	5.1088624
9.60	0.7989312	2.7807112	19.60	0.3776468	4.0733656	29.60	0.1784948	4.6844362	39.60	0.0843622	4.9732691	49.60	0.0398715	5.1097828
9.70	0.7929676	2.7990098	19.70	0.3748274	4.0820165	29.70	0.1771621	4.6885254	39.70	0.0837323	4.9752018	49.70	0.0395738	5.1106962
9.80	0.7870485	2.8171718	19.80	0.3720291	4.0906029	29.80	0.1758394	4.6925840	39.80	0.0831071	4.9771201	49.80	0.0392783	5.1116029
9.90	0.7811735	2.8351983	19.90	0.3692516	4.0991251	29.90	0.1745265	4.6966124	39.90	0.0824866	4.9790241	49.90	0.0389850	5.1125027
10.00	0.7753424	2.8530902	20.00	0.3664949	4.1075837	30.00	0.1732235	4.7006106	40.00	0.0818707	4.9809138	50.00	0.0386939	5.1133959

 $V_{\max} : 2.023E+02$  $K_S : 2.663E-02$  $K_M : 7.002E+01$  $K_B : 1.000E-10$ 

Error : 5.5546

Universitas Indonesia

**Data 3<sup>[27]</sup>**

<b>t (jam)</b>	<b>C<sub>T</sub> (mol/Lt)</b>	<b>C<sub>B</sub> (mol/Lt)</b>												
0.00	8.0070000	0.0000000												
0.10	7.8835299	0.1535607	10.10	1.6630882	7.8898451	20.10	0.3502621	9.5225581	30.10	0.0737428	9.8664534	40.10	0.0155244	9.9388572
0.20	7.7619588	0.3047595	10.20	1.6373891	7.9218062	20.20	0.3448473	9.5292923	30.20	0.0726027	9.8678713	40.20	0.0152844	9.9391557
0.30	7.6422577	0.4536326	10.30	1.6120869	7.9532737	20.30	0.3395162	9.5359224	30.30	0.0714802	9.8692673	40.30	0.0150480	9.9394496
0.40	7.5243978	0.6002155	10.40	1.5871755	7.9842552	20.40	0.3342675	9.5424500	30.40	0.0703751	9.8706418	40.40	0.0148154	9.9397389
0.50	7.4083511	0.7445434	10.50	1.5626488	8.0147582	20.50	0.3290999	9.5488767	30.50	0.0692870	9.8719949	40.50	0.0145863	9.9400238
0.60	7.2940898	0.8866506	10.60	1.5385010	8.0447900	20.60	0.3240122	9.5552041	30.60	0.0682158	9.8733272	40.60	0.0143608	9.9403043
0.70	7.1815865	1.0265713	10.70	1.5147261	8.0743580	20.70	0.3190031	9.5614336	30.70	0.0671611	9.8746388	40.70	0.0141388	9.9405804
0.80	7.0708144	1.1643390	10.80	1.4913185	8.1034693	20.80	0.3140715	9.5675669	30.80	0.0661227	9.8759302	40.80	0.0139202	9.9408523
0.90	6.9617468	1.2999865	10.90	1.4682724	8.1321310	20.90	0.3092161	9.5736053	30.90	0.0651004	9.8772016	40.90	0.0137050	9.9411199
1.00	6.8543578	1.4335464	11.00	1.4455822	8.1603500	21.00	0.3044357	9.5795505	31.00	0.0640939	9.8784533	41.00	0.0134931	9.9413834
1.10	6.7486215	1.5650506	11.10	1.4232426	8.1881330	21.10	0.2997293	9.5854037	31.10	0.0631030	9.8796857	41.10	0.0132844	9.9416429
1.20	6.6445127	1.6945307	11.20	1.4012480	8.2154869	21.20	0.2950956	9.5911664	31.20	0.0621274	9.8808991	41.20	0.0130791	9.9418983
1.30	6.5420064	1.8220176	11.30	1.3795931	8.2424183	21.30	0.2905335	9.5968401	31.30	0.0611668	9.8820937	41.30	0.0128768	9.9421498
1.40	6.4410781	1.9475420	11.40	1.3582728	8.2689337	21.40	0.2860420	9.6024260	31.40	0.0602211	9.8832698	41.40	0.0126777	9.9423974
1.50	6.3417036	2.0711339	11.50	1.3372818	8.2950395	21.50	0.2816198	9.6079256	31.50	0.0592901	9.8844277	41.50	0.0124817	9.9426412
1.60	6.2438591	2.1928229	11.60	1.3166150	8.3207420	21.60	0.2772661	9.6133402	31.60	0.0583734	9.8855677	41.60	0.0122888	9.9428812
1.70	6.1475210	2.3126382	11.70	1.2962675	8.3460475	21.70	0.2729796	9.6186711	31.70	0.0574709	9.8866901	41.70	0.0120988	9.9431175
1.80	6.0526664	2.4306085	11.80	1.2762343	8.3709620	21.80	0.2687594	9.6239196	31.80	0.0565823	9.8877952	41.80	0.0119117	9.9433501
1.90	5.9592724	2.5467622	11.90	1.2565106	8.3954917	21.90	0.2646045	9.6290869	31.90	0.0557075	9.8888831	41.90	0.0117275	9.9435791
2.00	5.8673166	2.6611271	12.00	1.2370916	8.4196424	22.00	0.2605138	9.6341744	32.00	0.0548462	9.8899543	42.00	0.0115462	9.9438046
2.10	5.7767771	2.7737306	12.10	1.2179726	8.4434201	22.10	0.2564863	9.6391832	32.10	0.0539983	9.8910089	42.10	0.0113677	9.9440267
2.20	5.6876320	2.8845997	12.20	1.1991489	8.4668304	22.20	0.2525210	9.6441146	32.20	0.0531634	9.8920471	42.20	0.0111919	9.9442452
2.30	5.5998600	2.9937612	12.30	1.1806161	8.4898790	22.30	0.2486171	9.6489698	32.30	0.0523415	9.8930694	42.30	0.0110189	9.9444604
2.40	5.5134400	3.1012411	12.40	1.1623695	8.5125716	22.40	0.2447735	9.6537499	32.40	0.0515322	9.8940758	42.40	0.0108485	9.9446723
2.50	5.4283512	3.2070653	12.50	1.1444049	8.5349136	22.50	0.2409893	9.6584561	32.50	0.0507355	9.8950667	42.50	0.0106808	9.9448809
2.60	5.3445732	3.3112592	12.60	1.1267178	8.5569104	22.60	0.2372637	9.6630895	32.60	0.0499511	9.8960422	42.60	0.0105157	9.9450863

Universitas Indonesia

(lanjutan)

2.70	5.2620860	3.4138478	12.70	1.1093039	8.5785673	22.70	0.2335956	9.6676514	32.70	0.0491788	9.8970027	42.70	0.0103531	9.9452885
2.80	5.1808696	3.5148558	12.80	1.0921591	8.5998897	22.80	0.2299842	9.6721427	32.80	0.0484184	9.8979483	42.80	0.0101930	9.9454876
2.90	5.1009046	3.6143075	12.90	1.0752792	8.6208827	22.90	0.2264287	9.6765646	32.90	0.0476698	9.8988793	42.90	0.0100354	9.9456836
3.00	5.0221717	3.7122267	13.00	1.0586601	8.6415513	23.00	0.2229281	9.6809181	33.00	0.0469328	9.8997959	43.00	0.0098803	9.9458765
3.10	4.9446521	3.8086370	13.10	1.0422977	8.6619005	23.10	0.2194816	9.6852043	33.10	0.0462072	9.9006983	43.10	0.0097275	9.9460665
3.20	4.8683271	3.9035615	13.20	1.0261882	8.6819354	23.20	0.2160884	9.6894243	33.20	0.0454928	9.9015868	43.20	0.0095771	9.9462535
3.30	4.7931783	3.9970231	13.30	1.0103275	8.7016607	23.30	0.2127477	9.6935790	33.30	0.0447894	9.9024615	43.30	0.0094290	9.9464377
3.40	4.7191877	4.0890443	13.40	0.9947119	8.7210812	23.40	0.2094586	9.6976695	33.40	0.0440969	9.9033227	43.40	0.0092832	9.9466190
3.50	4.6463375	4.1796471	13.50	0.9793376	8.7402017	23.50	0.2062203	9.7016968	33.50	0.0434152	9.9041706	43.50	0.0091397	9.9467975
3.60	4.5746101	4.2688534	13.60	0.9642008	8.7590267	23.60	0.2030322	9.7056618	33.60	0.0427439	9.9050054	43.60	0.0089984	9.9469732
3.70	4.5039884	4.3566847	13.70	0.9492979	8.7775609	23.70	0.1998933	9.7095655	33.70	0.0420831	9.9058273	43.70	0.0088593	9.9471463
3.80	4.4344553	4.4431620	13.80	0.9346253	8.7958087	23.80	0.1968029	9.7134089	33.80	0.0414324	9.9066365	43.80	0.0087223	9.9473166
3.90	4.3659940	4.5283062	13.90	0.9201794	8.8137745	23.90	0.1937603	9.7171928	33.90	0.0407918	9.9074331	43.90	0.0085874	9.9474843
4.00	4.2985882	4.6121378	14.00	0.9059567	8.8314627	24.00	0.1907647	9.7209183	34.00	0.0401612	9.9082175	44.00	0.0084547	9.9476495
4.10	4.2322216	4.6946769	14.10	0.8919538	8.8488776	24.10	0.1878155	9.7245862	34.10	0.0395402	9.9089897	44.10	0.0083240	9.9478120
4.20	4.1668782	4.7759435	14.20	0.8781672	8.8660234	24.20	0.1849118	9.7281973	34.20	0.0389289	9.9097500	44.20	0.0081953	9.9479721
4.30	4.1025422	4.8559570	14.30	0.8645937	8.8829043	24.30	0.1820530	9.7317527	34.30	0.0383270	9.9104985	44.30	0.0080686	9.9481297
4.40	4.0391983	4.9347368	14.40	0.8512299	8.8995243	24.40	0.1792385	9.7352530	34.40	0.0377345	9.9112355	44.40	0.0079438	9.9482848
4.50	3.9768310	5.0123018	14.50	0.8380727	8.9158875	24.50	0.1764674	9.7386993	34.50	0.0371510	9.9119610	44.50	0.0078210	9.9484375
4.60	3.9154255	5.0886707	14.60	0.8251187	8.9319979	24.60	0.1737392	9.7420923	34.60	0.0365767	9.9126754	44.60	0.0077001	9.9485879
4.70	3.8549670	5.1638619	14.70	0.8123649	8.9478593	24.70	0.1710531	9.7454328	34.70	0.0360111	9.9133787	44.70	0.0075810	9.9487360
4.80	3.7954407	5.2378936	14.80	0.7998082	8.9634756	24.80	0.1684086	9.7487217	34.80	0.0354544	9.9140711	44.80	0.0074638	9.9488818
4.90	3.7368325	5.3107835	14.90	0.7874455	8.9788506	24.90	0.1658049	9.7519597	34.90	0.0349062	9.9147528	44.90	0.0073484	9.9490253
5.00	3.6791282	5.3825492	15.00	0.7752739	8.9939880	25.00	0.1632416	9.7551477	35.00	0.0343665	9.9154240	45.00	0.0072348	9.9491666
5.10	3.6223139	5.4532080	15.10	0.7632903	9.0088914	25.10	0.1607178	9.7582864	35.10	0.0338352	9.9160848	45.10	0.0071229	9.9493057
5.20	3.5663759	5.5227770	15.20	0.7514920	9.0235646	25.20	0.1582330	9.7613766	35.20	0.0333121	9.9167354	45.20	0.0070128	9.9494426
5.30	3.5113006	5.5912729	15.30	0.7398759	9.0380110	25.30	0.1557867	9.7644190	35.30	0.0327970	9.9173759	45.30	0.0069044	9.9495775
5.40	3.4570750	5.6587123	15.40	0.7284394	9.0522342	25.40	0.1533782	9.7674143	35.40	0.0322900	9.9180066	45.40	0.0067976	9.9497103

Universitas Indonesia

(lanjutan)

5.50	3.4036857	5.7251113	15.50	0.7171796	9.0662375	25.50	0.1510069	9.7703634	35.50	0.0317907	9.9186274	45.50	0.0066925	9.9498410
5.60	3.3511201	5.7904861	15.60	0.7060939	9.0800245	25.60	0.1486723	9.7732669	35.60	0.0312992	9.9192387	45.60	0.0065891	9.9499696
5.70	3.2993654	5.8548523	15.70	0.6951794	9.0935984	25.70	0.1463738	9.7761255	35.70	0.0308153	9.9198405	45.70	0.0064872	9.9500963
5.80	3.2484091	5.9182255	15.80	0.6844336	9.1069625	25.80	0.1441108	9.7789398	35.80	0.0303389	9.9204331	45.80	0.0063869	9.9502211
5.90	3.1982389	5.9806210	15.90	0.6738539	9.1201201	25.90	0.1418827	9.7817107	35.90	0.0298698	9.9210164	45.90	0.0062881	9.9503439
6.00	3.1488428	6.0420538	16.00	0.6634376	9.1330743	26.00	0.1396892	9.7844388	36.00	0.0294080	9.9215908	46.00	0.0061909	9.9504648
6.10	3.1002088	6.1025388	16.10	0.6531824	9.1458284	26.10	0.1375295	9.7871246	36.10	0.0289533	9.9221562	46.10	0.0060952	9.9505838
6.20	3.0523252	6.1620905	16.20	0.6430856	9.1583853	26.20	0.1354033	9.7897690	36.20	0.0285056	9.9227129	46.20	0.0060010	9.9507010
6.30	3.0051804	6.2207233	16.30	0.6331449	9.1707482	26.30	0.1333099	9.7923725	36.30	0.0280649	9.9232610	46.30	0.0059082	9.9508164
6.40	2.9587630	6.2784514	16.40	0.6233578	9.1829200	26.40	0.1312488	9.7949357	36.40	0.0276310	9.9238007	46.40	0.0058168	9.9509300
6.50	2.9130619	6.3352888	16.50	0.6137220	9.1949037	26.50	0.1292197	9.7974593	36.50	0.0272038	9.9243320	46.50	0.0057269	9.9510419
6.60	2.8680661	6.3912490	16.60	0.6042351	9.2067022	26.60	0.1272219	9.7999438	36.60	0.0267832	9.9248551	46.60	0.0056383	9.9511520
6.70	2.8237646	6.4463457	16.70	0.5948948	9.2183184	26.70	0.1252550	9.8023900	36.70	0.0263691	9.9253700	46.70	0.0055512	9.9512604
6.80	2.7801467	6.5005921	16.80	0.5856988	9.2297550	26.80	0.1233184	9.8047984	36.80	0.0259614	9.9258771	46.80	0.0054653	9.9513672
6.90	2.7372020	6.5540013	16.90	0.5766450	9.2410149	26.90	0.1214119	9.8071695	36.90	0.0255600	9.9263763	46.90	0.0053808	9.9514722
7.00	2.6949200	6.6065863	17.00	0.5677311	9.2521007	27.00	0.1195348	9.8095039	37.00	0.0251648	9.9268677	47.00	0.0052977	9.9515757
7.10	2.6532906	6.6583597	17.10	0.5589550	9.2630153	27.10	0.1176867	9.8118023	37.10	0.0247758	9.9273516	47.10	0.0052157	9.9516776
7.20	2.6123037	6.7093340	17.20	0.5503145	9.2737611	27.20	0.1158672	9.8140651	37.20	0.0243927	9.9278280	47.20	0.0051351	9.9517779
7.30	2.5719494	6.7595216	17.30	0.5418076	9.2843408	27.30	0.1140758	9.8162930	37.30	0.0240156	9.9282970	47.30	0.0050557	9.9518766
7.40	2.5322180	6.8089345	17.40	0.5334321	9.2947570	27.40	0.1123122	9.8184864	37.40	0.0236443	9.9287588	47.40	0.0049775	9.9519738
7.50	2.4930998	6.8575847	17.50	0.5251861	9.3050123	27.50	0.1105758	9.8206459	37.50	0.0232787	9.9292135	47.50	0.0049006	9.9520695
7.60	2.4545854	6.9054840	17.60	0.5170675	9.3151090	27.60	0.1088662	9.8227720	37.60	0.0229188	9.9296611	47.60	0.0048248	9.9521638
7.70	2.4166655	6.9526439	17.70	0.5090744	9.3250497	27.70	0.1071831	9.8248652	37.70	0.0225644	9.9301017	47.70	0.0047502	9.9522565
7.80	2.3793310	6.9990758	17.80	0.5012049	9.3348367	27.80	0.1055259	9.8269261	37.80	0.0222156	9.9305356	47.80	0.0046768	9.9523479
7.90	2.3425728	7.0447909	17.90	0.4934570	9.3444725	27.90	0.1038945	9.8289551	37.90	0.0218721	9.9309628	47.90	0.0046045	9.9524378
8.00	2.3063820	7.0898004	18.00	0.4858288	9.3539593	28.00	0.1022882	9.8309528	38.00	0.0215339	9.9313833	48.00	0.0045333	9.9525263
8.10	2.2707499	7.1341150	18.10	0.4783186	9.3632995	28.10	0.1007067	9.8329196	38.10	0.0212010	9.9317974	48.10	0.0044632	9.9526135
8.20	2.2356679	7.1777455	18.20	0.4709244	9.3724954	28.20	0.0991498	9.8348559	38.20	0.0208732	9.9322051	48.20	0.0043942	9.9526993

Universitas Indonesia

(lanjutan)

8.30	2.2011275	7.2207024	18.30	0.4636445	9.3815491	28.30	0.0976168	9.8367623	38.30	0.0205505	9.9326064	48.30	0.0043262	9.9527838
8.40	2.1671203	7.2629961	18.40	0.4564771	9.3904629	28.40	0.0961076	9.8386393	38.40	0.0202328	9.9330016	48.40	0.0042594	9.9528670
8.50	2.1336382	7.3046368	18.50	0.4494205	9.3992388	28.50	0.0946217	9.8404872	38.50	0.0199199	9.9333906	48.50	0.0041935	9.9529489
8.60	2.1006730	7.3456346	18.60	0.4424730	9.4078792	28.60	0.0931588	9.8423066	38.60	0.0196120	9.9337736	48.60	0.0041287	9.9530295
8.70	2.0682168	7.3859995	18.70	0.4356329	9.4163860	28.70	0.0917185	9.8440978	38.70	0.0193087	9.9341507	48.70	0.0040648	9.9531089
8.80	2.0362616	7.4257411	18.80	0.4288985	9.4247613	28.80	0.0903005	9.8458614	38.80	0.0190102	9.9345220	48.80	0.0040020	9.9531871
8.90	2.0047999	7.4648691	18.90	0.4222681	9.4330072	28.90	0.0889044	9.8475976	38.90	0.0187163	9.9348875	48.90	0.0039401	9.9532640
9.00	1.9738240	7.5033929	19.00	0.4157403	9.4411256	29.00	0.0875299	9.8493071	39.00	0.0184269	9.9352474	49.00	0.0038792	9.9533398
9.10	1.9433263	7.5413219	19.10	0.4093134	9.4491185	29.10	0.0861766	9.8509901	39.10	0.0181420	9.9356017	49.10	0.0038192	9.9534144
9.20	1.9132996	7.5786652	19.20	0.4029858	9.4569878	29.20	0.0848442	9.8526471	39.20	0.0178615	9.9359506	49.20	0.0037602	9.9534878
9.30	1.8837365	7.6154318	19.30	0.3967560	9.4647356	29.30	0.0835325	9.8542784	39.30	0.0175854	9.9362940	49.30	0.0037020	9.9535601
9.40	1.8546300	7.6516307	19.40	0.3906225	9.4723636	29.40	0.0822410	9.8558846	39.40	0.0173135	9.9366322	49.40	0.0036448	9.9536313
9.50	1.8259729	7.6872707	19.50	0.3845838	9.4798736	29.50	0.0809695	9.8574659	39.50	0.0170458	9.9369651	49.50	0.0035884	9.9537014
9.60	1.7977583	7.7223602	19.60	0.3786385	9.4872676	29.60	0.0797177	9.8590228	39.60	0.0167822	9.9372928	49.60	0.0035330	9.9537704
9.70	1.7699794	7.7569079	19.70	0.3727850	9.4945473	29.70	0.0784852	9.8605556	39.70	0.0165228	9.9376155	49.70	0.0034783	9.9538383
9.80	1.7426296	7.7909221	19.80	0.3670220	9.5017145	29.80	0.0772717	9.8620647	39.80	0.0162673	9.9379332	49.80	0.0034246	9.9539052
9.90	1.7157021	7.8244109	19.90	0.3613481	9.5087708	29.90	0.0760771	9.8635504	39.90	0.0160158	9.9382460	49.90	0.0033716	9.9539710
10.00	1.6891904	7.8573826	20.00	0.3557620	9.5157182	30.00	0.0749008	9.8650132	40.00	0.0157682	9.9385540	50.00	0.0033195	9.9540359
$V_{\max}$ : 4.635E+02			$K_S$ : 2.653E-04											
$K_M$ : 7.891E-01			$K_B$ : 1.394E+00											
Error : 0.3179														

Universitas Indonesia

**Data 5<sup>[10]</sup>**

<b>t (jam)</b>	<b>C<sub>T</sub> (mol/Lt)</b>	<b>C<sub>B</sub> (mol/Lt)</b>												
0.00	2.0494214	0.0000000												
0.10	2.0316994	0.0529412	10.10	0.8524302	3.5757965	20.10	0.3576312	5.0539188	30.10	0.1500384	5.6740645	40.10	0.0629456	5.9342384
0.20	2.0141307	0.1054248	10.20	0.8450583	3.5978187	20.20	0.3545383	5.0631584	30.20	0.1487408	5.6779409	40.20	0.0624012	5.9358647
0.30	1.9967138	0.1574545	10.30	0.8377501	3.6196505	20.30	0.3514721	5.0723181	30.30	0.1474544	5.6817838	40.30	0.0618615	5.9374769
0.40	1.9794476	0.2090344	10.40	0.8305052	3.6412935	20.40	0.3484324	5.0813986	30.40	0.1461791	5.6855934	40.40	0.0613265	5.9390752
0.50	1.9623306	0.2601683	10.50	0.8233229	3.66627493	20.50	0.3454190	5.0904005	30.50	0.1449149	5.6893701	40.50	0.0607961	5.9406596
0.60	1.9453616	0.3108602	10.60	0.8162027	3.6840196	20.60	0.3424317	5.0993247	30.60	0.1436616	5.6931141	40.60	0.0602703	5.9422303
0.70	1.9285393	0.3611137	10.70	0.8091441	3.7051059	20.70	0.3394702	5.1081716	30.70	0.1424191	5.6968258	40.70	0.0597491	5.9437875
0.80	1.9118625	0.4109327	10.80	0.8021465	3.7260099	20.80	0.3365343	5.1169420	30.80	0.1411874	5.7005053	40.80	0.0592323	5.9453312
0.90	1.8953298	0.4603210	10.90	0.7952094	3.7467331	20.90	0.3336238	5.1256366	30.90	0.1399664	5.7041530	40.90	0.0587201	5.9468615
1.00	1.8789402	0.5092823	11.00	0.7883324	3.7672771	21.00	0.3307385	5.1342560	31.00	0.1387558	5.7077692	41.00	0.0582122	5.9483786
1.10	1.8626922	0.5578202	11.10	0.7815148	3.7876435	21.10	0.3278781	5.1428008	31.10	0.1375558	5.7113541	41.10	0.0577088	5.9498826
1.20	1.8465847	0.6059385	11.20	0.7747561	3.8078337	21.20	0.3250425	5.1512717	31.20	0.1363661	5.7149080	41.20	0.0572097	5.9513736
1.30	1.8306164	0.6536408	11.30	0.7680559	3.8278494	21.30	0.3222314	5.1596694	31.30	0.1351868	5.7184311	41.30	0.0567149	5.9528516
1.40	1.8147863	0.7009305	11.40	0.7614137	3.8476919	21.40	0.3194446	5.1679945	31.40	0.1340176	5.7219238	41.40	0.0562244	5.9543169
1.50	1.7990930	0.7478115	11.50	0.7548288	3.8673629	21.50	0.3166819	5.1762475	31.50	0.1328585	5.7253863	41.50	0.0557381	5.9557696
1.60	1.7835354	0.7942870	11.60	0.7483010	3.8868638	21.60	0.3139431	5.1844292	31.60	0.1317095	5.7288188	41.60	0.0552560	5.9572096
1.70	1.7681123	0.8403607	11.70	0.7418295	3.9061960	21.70	0.3112280	5.1925401	31.70	0.1305704	5.7322217	41.70	0.0547782	5.9586372
1.80	1.7528226	0.8860361	11.80	0.7354141	3.9253610	21.80	0.3085363	5.2005809	31.80	0.1294412	5.7355951	41.80	0.0543044	5.9600525
1.90	1.7376650	0.9313165	11.90	0.7290541	3.9443603	21.90	0.3058680	5.2085522	31.90	0.1283217	5.7389393	41.90	0.0538347	5.9614555
2.00	1.7226385	0.9762054	12.00	0.7227491	3.9631953	22.00	0.3032227	5.2164545	32.00	0.1272119	5.7422547	42.00	0.0533692	5.9628464
2.10	1.7077420	1.0207062	12.10	0.7164986	3.9818674	22.10	0.3006003	5.2242884	32.10	0.1261117	5.7455413	42.10	0.0529076	5.9642252
2.20	1.6929742	1.0648223	12.20	0.7103022	4.0003781	22.20	0.2980005	5.2320546	32.20	0.1250210	5.7487995	42.20	0.0524500	5.9655922
2.30	1.6783342	1.1085568	12.30	0.7041594	4.0187287	22.30	0.2954233	5.2397537	32.30	0.1239397	5.7520296	42.30	0.0519964	5.9669473
2.40	1.6638207	1.1519132	12.40	0.6980697	4.0369206	22.40	0.2928683	5.2473862	32.40	0.1228678	5.7552317	42.40	0.0515467	5.9682907
2.50	1.6494327	1.1948948	12.50	0.6920326	4.0549551	22.50	0.2903355	5.2549526	32.50	0.1218052	5.7584061	42.50	0.0511009	5.9696224
2.60	1.6351691	1.2375047	12.60	0.6860478	4.0728337	22.60	0.2878245	5.2624536	32.60	0.1207518	5.7615531	42.60	0.0506589	5.9709427

Universitas Indonesia

(lanjutan)

2.70	1.6210289	1.2797462	12.70	0.6801147	4.0905578	22.70	0.2853353	5.2698898	32.70	0.1197074	5.7646728	42.70	0.0502208	5.9722515
2.80	1.6070109	1.3216224	12.80	0.6742330	4.1081285	22.80	0.2828676	5.2772616	32.80	0.1186721	5.7677656	42.80	0.0497865	5.9735490
2.90	1.5931141	1.3631366	12.90	0.6684021	4.1255473	22.90	0.2804212	5.2845697	32.90	0.1176458	5.7708316	42.90	0.0493559	5.9748353
3.00	1.5793375	1.4042917	13.00	0.6626216	4.1428154	23.00	0.2779960	5.2918146	33.00	0.1166283	5.7738711	43.00	0.0489290	5.9761105
3.10	1.5656800	1.4450911	13.10	0.6568911	4.1599342	23.10	0.2755917	5.2989968	33.10	0.1156197	5.7768843	43.10	0.0485058	5.9773746
3.20	1.5521406	1.4855377	13.20	0.6512101	4.1769050	23.20	0.2732083	5.3061169	33.20	0.1146197	5.7798715	43.20	0.0480863	5.9786278
3.30	1.5387182	1.5256345	13.30	0.6455783	4.1937290	23.30	0.2708455	5.3131755	33.30	0.1136284	5.7828328	43.30	0.0476705	5.9798702
3.40	1.5254119	1.5653846	13.40	0.6399952	4.2104075	23.40	0.2685031	5.3201730	33.40	0.1126457	5.7857685	43.40	0.0472582	5.9811018
3.50	1.5122207	1.6047911	13.50	0.6344604	4.2269418	23.50	0.2661809	5.3271100	33.50	0.1116715	5.7886788	43.50	0.0468495	5.9823228
3.60	1.4991435	1.6438568	13.60	0.6289734	4.2433331	23.60	0.2638789	5.3339869	33.60	0.1107057	5.7915640	43.60	0.0464443	5.9835332
3.70	1.4861794	1.6825847	13.70	0.6235339	4.2595827	23.70	0.2615967	5.3408044	33.70	0.1097482	5.7944242	43.70	0.0460426	5.9847331
3.80	1.4733274	1.7209777	13.80	0.6181414	4.2756917	23.80	0.2593343	5.3475630	33.80	0.1087991	5.7972596	43.80	0.0456444	5.9859227
3.90	1.4605866	1.7590388	13.90	0.6127956	4.2916615	23.90	0.2570914	5.3542631	33.90	0.1078581	5.8000706	43.90	0.0452496	5.9871020
4.00	1.4479559	1.7967708	14.00	0.6074960	4.3074931	24.00	0.2548680	5.3609053	34.00	0.1069253	5.8028572	44.00	0.0448583	5.9882711
4.10	1.4354344	1.8341765	14.10	0.6022422	4.3231878	24.10	0.2526638	5.3674900	34.10	0.1060005	5.8056197	44.10	0.0444703	5.9894300
4.20	1.4230211	1.8712587	14.20	0.5970339	4.3387468	24.20	0.2504786	5.3740177	34.20	0.1050838	5.8083584	44.20	0.0440857	5.9905790
4.30	1.4107153	1.9080204	14.30	0.5918706	4.3541712	24.30	0.2483124	5.3804890	34.30	0.1041749	5.8110733	44.30	0.0437044	5.9917180
4.40	1.3985158	1.9444641	14.40	0.5867519	4.3694623	24.40	0.2461648	5.3869044	34.40	0.1032740	5.8137648	44.40	0.0433264	5.9928471
4.50	1.3864218	1.9805927	14.50	0.5816775	4.3846211	24.50	0.2440359	5.3932642	34.50	0.1023808	5.8164330	44.50	0.0429517	5.9939665
4.60	1.3744324	2.0164090	14.60	0.5766470	4.3996488	24.60	0.2419253	5.3995691	34.60	0.1014954	5.8190781	44.60	0.0425803	5.9950762
4.70	1.3625466	2.0519155	14.70	0.5716600	4.4145466	24.70	0.2398330	5.4058194	34.70	0.1006176	5.8217003	44.70	0.0422120	5.9961763
4.80	1.3507636	2.0871150	14.80	0.5667161	4.4293155	24.80	0.2377588	5.4120157	34.80	0.0997474	5.8242999	44.80	0.0418469	5.9972669
4.90	1.3390826	2.1220102	14.90	0.5618150	4.4439567	24.90	0.2357026	5.4181584	34.90	0.0988847	5.8268770	44.90	0.0414850	5.9983481
5.00	1.3275025	2.1566036	15.00	0.5569563	4.4584713	25.00	0.2336641	5.4242480	35.00	0.0980295	5.8294318	45.00	0.0411262	5.9994199
5.10	1.3160225	2.1908979	15.10	0.5521396	4.4728604	25.10	0.2316433	5.4302849	35.10	0.0971817	5.8319645	45.10	0.0407705	6.0004825
5.20	1.3046418	2.2248956	15.20	0.5473645	4.4871250	25.20	0.2296399	5.4362696	35.20	0.0963412	5.8344753	45.20	0.0404179	6.0015358
5.30	1.2933596	2.2585994	15.30	0.5426307	4.5012663	25.30	0.2276539	5.4422025	35.30	0.0955080	5.8369643	45.30	0.0400684	6.0025801
5.40	1.2821748	2.2920117	15.40	0.5379379	4.5152853	25.40	0.2256850	5.4480841	35.40	0.0946820	5.8394319	45.40	0.0397218	6.0036153

Universitas Indonesia

(lanjutan)

5.50	1.2710868	2.3251352	15.50	0.5332857	4.5291830	25.50	0.2237332	5.4539149	35.50	0.0938631	5.8418781	45.50	0.0393783	6.0046415
5.60	1.2600947	2.3579722	15.60	0.5286736	4.5429606	25.60	0.2217982	5.4596952	35.60	0.0930513	5.8443032	45.60	0.0390377	6.0056589
5.70	1.2491976	2.3905252	15.70	0.5241015	4.5566190	25.70	0.2198800	5.4654256	35.70	0.0922465	5.8467072	45.70	0.0387001	6.0066675
5.80	1.2383948	2.4227968	15.80	0.5195689	4.5701593	25.80	0.2179784	5.4711064	35.80	0.0914487	5.8490905	45.80	0.0383654	6.0076674
5.90	1.2276853	2.4547893	15.90	0.5150755	4.5835825	25.90	0.2160932	5.4767380	35.90	0.0906578	5.8514532	45.90	0.0380336	6.0086586
6.00	1.2170685	2.4865052	16.00	0.5106210	4.5968896	26.00	0.2142243	5.4823210	36.00	0.0898738	5.8537955	46.00	0.0377046	6.0096412
6.10	1.2065435	2.5179468	16.10	0.5062050	4.6100816	26.10	0.2123716	5.4878556	36.10	0.0890965	5.8561174	46.10	0.0373786	6.0106154
6.20	1.1961095	2.5491166	16.20	0.5018272	4.6231596	26.20	0.2105349	5.4933424	36.20	0.0883259	5.8584194	46.20	0.0370553	6.0115811
6.30	1.1857657	2.5800168	16.30	0.4974872	4.6361244	26.30	0.2087140	5.4987818	36.30	0.0875620	5.8607014	46.30	0.0367348	6.0125385
6.40	1.1755113	2.6106499	16.40	0.4931848	4.6489772	26.40	0.2069090	5.5041741	36.40	0.0868048	5.8629636	46.40	0.0364171	6.0134875
6.50	1.1653456	2.6410180	16.50	0.4889195	4.6617187	26.50	0.2051195	5.5095198	36.50	0.0860540	5.8652063	46.50	0.0361021	6.0144284
6.60	1.1552679	2.6711235	16.60	0.4846912	4.6743501	26.60	0.2033455	5.5148192	36.60	0.0853098	5.8674296	46.60	0.0357899	6.0153612
6.70	1.1452772	2.7009688	16.70	0.4804994	4.6868723	26.70	0.2015869	5.5200728	36.70	0.0845720	5.8696337	46.70	0.0354804	6.0162858
6.80	1.1353730	2.7305559	16.80	0.4763439	4.6992862	26.80	0.1998435	5.5252810	36.80	0.0838405	5.8718187	46.80	0.0351735	6.0172025
6.90	1.1255544	2.7598872	16.90	0.4722243	4.7115927	26.90	0.1981151	5.5304441	36.90	0.0831154	5.8739848	46.90	0.0348693	6.0181113
7.00	1.1158207	2.7889649	17.00	0.4681404	4.7237927	27.00	0.1964017	5.5355626	37.00	0.0823966	5.8761322	47.00	0.0345677	6.0190122
7.10	1.1061712	2.8177911	17.10	0.4640917	4.7358873	27.10	0.1947031	5.5406368	37.10	0.0816840	5.8782610	47.10	0.0342688	6.0199053
7.20	1.0966051	2.8463681	17.20	0.4600781	4.7478773	27.20	0.1930192	5.5456671	37.20	0.0809775	5.8803714	47.20	0.0339724	6.0207906
7.30	1.0871217	2.8746979	17.30	0.4560992	4.7597636	27.30	0.1913499	5.5506540	37.30	0.0802772	5.8824635	47.30	0.0336786	6.0216684
7.40	1.0777203	2.9027828	17.40	0.4521547	4.7715471	27.40	0.1896950	5.5555977	37.40	0.0795829	5.8845376	47.40	0.0333873	6.0225385
7.50	1.0684003	2.9306248	17.50	0.4482443	4.7832287	27.50	0.1880544	5.5604986	37.50	0.0788946	5.8865937	47.50	0.0330986	6.0234011
7.60	1.0591608	2.9582261	17.60	0.4443677	4.7948093	27.60	0.1864280	5.5653572	37.60	0.0782123	5.8886320	47.60	0.0328123	6.0242562
7.70	1.0500012	2.9855886	17.70	0.4405247	4.8062897	27.70	0.1848157	5.5701737	37.70	0.0775359	5.8906527	47.70	0.0325285	6.0251040
7.80	1.0409209	3.0127146	17.80	0.4367148	4.8176708	27.80	0.1832173	5.5749486	37.80	0.0768653	5.8926560	47.80	0.0322472	6.0259444
7.90	1.0319190	3.0396060	17.90	0.4329380	4.8289535	27.90	0.1816328	5.5796822	37.90	0.0762005	5.8946419	47.90	0.0319683	6.0267775
8.00	1.0229950	3.0662649	18.00	0.4291938	4.8401387	28.00	0.1800619	5.5843748	38.00	0.0755415	5.8966106	48.00	0.0316918	6.0276035
8.10	1.0141482	3.0926932	18.10	0.4254819	4.8512271	28.10	0.1785046	5.5890269	38.10	0.0748882	5.8985623	48.10	0.0314177	6.0284223
8.20	1.0053778	3.1188930	18.20	0.4218022	4.8622196	28.20	0.1769608	5.5936387	38.20	0.0742405	5.9004971	48.20	0.0311460	6.0292340

Universitas Indonesia

(lanjutan)

8.30	0.9966833	3.1448663	18.30	0.4181543	4.8731170	28.30	0.1754304	5.5982107	38.30	0.0735984	5.9024152	48.30	0.0308766	6.0300387
8.40	0.9880640	3.1706149	18.40	0.4145380	4.8839202	28.40	0.1739132	5.6027431	38.40	0.0729619	5.9043167	48.40	0.0306096	6.0308364
8.50	0.9795192	3.1961409	18.50	0.4109529	4.8946300	28.50	0.1724091	5.6072363	38.50	0.0723309	5.9062017	48.50	0.0303449	6.0316272
8.60	0.9710483	3.2214462	18.60	0.4073988	4.9052472	28.60	0.1709180	5.6116906	38.60	0.0717053	5.9080705	48.60	0.0300824	6.0324112
8.70	0.9626507	3.2465326	18.70	0.4038755	4.9157725	28.70	0.1694398	5.6161065	38.70	0.0710851	5.9099231	48.70	0.0298222	6.0331885
8.80	0.9543257	3.2714021	18.80	0.4003826	4.9262068	28.80	0.1679744	5.6204841	38.80	0.0704704	5.9117596	48.80	0.0295643	6.0339590
8.90	0.9460726	3.2960566	18.90	0.3969199	4.9365509	28.90	0.1665217	5.6248239	38.90	0.0698609	5.9135803	48.90	0.0293086	6.0347228
9.00	0.9378910	3.3204978	19.00	0.3934872	4.9468055	29.00	0.1650815	5.6291261	39.00	0.0692567	5.9153853	49.00	0.0290552	6.0354800
9.10	0.9297801	3.3447277	19.10	0.3900842	4.9569715	29.10	0.1636538	5.6333912	39.10	0.0686577	5.9171746	49.10	0.0288039	6.0362307
9.20	0.9217393	3.3687481	19.20	0.3867106	4.9670495	29.20	0.1622384	5.6376193	39.20	0.0680639	5.9189484	49.20	0.0285548	6.0369749
9.30	0.9137680	3.3925607	19.30	0.3833661	4.9770404	29.30	0.1608353	5.6418109	39.30	0.0674753	5.9207069	49.30	0.0283078	6.0377126
9.40	0.9058657	3.4161675	19.40	0.3800506	4.9869448	29.40	0.1594443	5.6459662	39.40	0.0668917	5.9224502	49.40	0.0280630	6.0384440
9.50	0.8980317	3.4395701	19.50	0.3767638	4.9967637	29.50	0.1580653	5.6500856	39.50	0.0663132	5.9241785	49.50	0.0278203	6.0391690
9.60	0.8902655	3.4627703	19.60	0.3735054	5.0064976	29.60	0.1566983	5.6541694	39.60	0.0657397	5.9258917	49.60	0.0275797	6.0398878
9.70	0.8825664	3.4857699	19.70	0.3702752	5.0161473	29.70	0.1553431	5.6582178	39.70	0.0651711	5.9275902	49.70	0.0273411	6.0406003
9.80	0.8749339	3.5085706	19.80	0.3670729	5.0257135	29.80	0.1539996	5.6622313	39.80	0.0646075	5.9292740	49.80	0.0271047	6.0413067
9.90	0.8673674	3.5311742	19.90	0.3638983	5.0351971	29.90	0.1526677	5.6662100	39.90	0.0640487	5.9309432	49.90	0.0268703	6.0420070
10.00	0.8598664	3.5535822	20.00	0.3607511	5.0445986	30.00	0.1513474	5.6701543	40.00	0.0634948	5.9325979	50.00	0.0266379	6.0427012
$V_{\max}$ : 1.135E+03			$K_S$ : 1.099E-04											
$K_M$ : 1.436E+00			$K_B$ : 1.000E-10											
Error : 6.9035														

Universitas Indonesia

Data 7<sup>[11]</sup>

t (jam)	C <sub>T</sub> (mol/Lt)	C <sub>B</sub> (mol/Lt)												
0.00	2.0494000	0.0128000												
0.10	2.0328512	0.0393833	10.10	0.9033536	1.8537572	20.10	0.4012822	2.6602588	30.10	0.1782259	3.0185643	40.10	0.0791517	3.1777117
0.20	2.0164359	0.0657522	10.20	0.8960542	1.8654825	20.20	0.3980387	2.6654689	30.20	0.1767852	3.0208787	40.20	0.0785118	3.1787395
0.30	2.0001530	0.0919084	10.30	0.8888138	1.8771132	20.30	0.3948215	2.6706369	30.30	0.1753561	3.0231743	40.30	0.0778771	3.1797591
0.40	1.9840014	0.1178536	10.40	0.8816318	1.8886500	20.40	0.3916303	2.6757631	30.40	0.1739385	3.0254513	40.40	0.0772475	3.1807704
0.50	1.9679801	0.1435896	10.50	0.8745078	1.9000936	20.50	0.3884648	2.6808479	30.50	0.1725325	3.0277100	40.50	0.0766230	3.1817735
0.60	1.9520880	0.1691179	10.60	0.8674414	1.9114447	20.60	0.3853250	2.6858916	30.60	0.1711377	3.0299503	40.60	0.0760036	3.1827686
0.70	1.9363242	0.1944404	10.70	0.8604320	1.9227042	20.70	0.3822105	2.6908946	30.70	0.1697543	3.0321726	40.70	0.0753892	3.1837556
0.80	1.9206874	0.2195586	10.80	0.8534793	1.9338728	20.80	0.3791212	2.6958571	30.80	0.1683820	3.0343769	40.80	0.0747797	3.1847346
0.90	1.9051768	0.2444741	10.90	0.8465827	1.9449511	20.90	0.3760568	2.7007795	30.90	0.1670209	3.0365634	40.90	0.0741752	3.1857057
1.00	1.8897913	0.2691887	11.00	0.8397418	1.9559400	21.00	0.3730172	2.7056622	31.00	0.1656707	3.0387323	41.00	0.0735755	3.1866689
1.10	1.8745300	0.2937040	11.10	0.8329561	1.9668401	21.10	0.3700022	2.7105054	31.10	0.1643315	3.0408836	41.10	0.0729807	3.1876244
1.20	1.8593917	0.3180214	11.20	0.8262253	1.9776522	21.20	0.3670115	2.7153094	31.20	0.1630030	3.0430175	41.20	0.0723907	3.1885721
1.30	1.8443756	0.3421427	11.30	0.8195488	1.9883769	21.30	0.3640450	2.7200746	31.30	0.1616854	3.0451341	41.30	0.0718055	3.1895122
1.40	1.8294806	0.3660694	11.40	0.8129263	1.9990151	21.40	0.3611025	2.7248014	31.40	0.1603783	3.0472337	41.40	0.0712250	3.1904446
1.50	1.8147057	0.3898031	11.50	0.8063572	2.0095673	21.50	0.3581837	2.7294899	31.50	0.1590819	3.0493163	41.50	0.0706492	3.1913696
1.60	1.8000501	0.4133453	11.60	0.7998412	2.0200342	21.60	0.3552886	2.7341405	31.60	0.1577959	3.0513820	41.60	0.0700780	3.1922870
1.70	1.7855127	0.4366975	11.70	0.7933779	2.0304167	21.70	0.3524168	2.7387536	31.70	0.1565203	3.0534311	41.70	0.0695115	3.1931971
1.80	1.7710926	0.4598614	11.80	0.7869667	2.0407153	21.80	0.3495682	2.7433293	31.80	0.1552550	3.0554635	41.80	0.0689496	3.1940998
1.90	1.7567888	0.4828384	11.90	0.7806073	2.0509306	21.90	0.3467427	2.7478681	31.90	0.1539999	3.0574796	41.90	0.0683922	3.1949951
2.00	1.7426004	0.5056300	12.00	0.7742993	2.0610635	22.00	0.3439400	2.7523702	32.00	0.1527550	3.0594794	42.00	0.0678393	3.1958833
2.10	1.7285265	0.5282377	12.10	0.7680422	2.0711146	22.10	0.3411599	2.7568360	32.10	0.1515202	3.0614630	42.10	0.0672908	3.1967643
2.20	1.7145661	0.5506630	12.20	0.7618357	2.0810844	22.20	0.3384023	2.7612656	32.20	0.1502953	3.0634305	42.20	0.0667468	3.1976381
2.30	1.7007184	0.5729074	12.30	0.7556793	2.0909737	22.30	0.3356670	2.7656595	32.30	0.1490803	3.0653822	42.30	0.0662072	3.1985049
2.40	1.6869824	0.5949723	12.40	0.7495727	2.1007831	22.40	0.3329538	2.7700178	32.40	0.1478752	3.0673181	42.40	0.0656720	3.1993647
2.50	1.6733573	0.6168591	12.50	0.7435153	2.1105133	22.50	0.3302626	2.7743409	32.50	0.1466798	3.0692383	42.50	0.0651411	3.2002175
2.60	1.6598421	0.6385694	12.60	0.7375069	2.1201649	22.60	0.3275931	2.7786291	32.60	0.1454940	3.0711430	42.60	0.0646145	3.2010634

Universitas Indonesia

(lanjutan)

2.70	1.6464359	0.6601045	12.70	0.7315470	2.1297386	22.70	0.3249451	2.7828826	32.70	0.1443179	3.0730323	42.70	0.0640921	3.2019025
2.80	1.6331379	0.6814658	12.80	0.7256353	2.1392349	22.80	0.3223186	2.7871017	32.80	0.1431512	3.0749064	42.80	0.0635740	3.2027348
2.90	1.6199472	0.7026547	12.90	0.7197713	2.1486545	22.90	0.3197132	2.7912868	32.90	0.1419940	3.0767653	42.90	0.0630600	3.2035604
3.00	1.6068630	0.7236727	13.00	0.7139547	2.1579980	23.00	0.3171290	2.7954380	33.00	0.1408461	3.0786091	43.00	0.0625502	3.2043793
3.10	1.5938843	0.7445210	13.10	0.7081851	2.1672660	23.10	0.3145656	2.7995557	33.10	0.1397075	3.0804381	43.10	0.0620446	3.2051916
3.20	1.5810104	0.7652012	13.20	0.7024621	2.1764592	23.20	0.3120229	2.8036401	33.20	0.1385781	3.0822523	43.20	0.0615430	3.2059973
3.30	1.5682403	0.7857144	13.30	0.6967853	2.1855781	23.30	0.3095008	2.8076915	33.30	0.1374579	3.0840518	43.30	0.0610454	3.2067965
3.40	1.5555733	0.8060621	13.40	0.6911543	2.1946233	23.40	0.3069991	2.8117101	33.40	0.1363467	3.0858368	43.40	0.0605519	3.2075893
3.50	1.5430086	0.8262456	13.50	0.6855689	2.2035955	23.50	0.3045176	2.8156963	33.50	0.1352445	3.0876073	43.50	0.0600624	3.2083756
3.60	1.5305452	0.8462662	13.60	0.6800286	2.2124952	23.60	0.3020561	2.8196503	33.60	0.1341512	3.0893635	43.60	0.0595768	3.2091556
3.70	1.5181824	0.8661252	13.70	0.6745330	2.2213230	23.70	0.2996145	2.8235723	33.70	0.1330667	3.0911056	43.70	0.0590952	3.2099293
3.80	1.5059194	0.8858240	13.80	0.6690818	2.2300795	23.80	0.2971927	2.8274626	33.80	0.1319910	3.0928335	43.80	0.0586175	3.2106967
3.90	1.4937553	0.9053638	13.90	0.6636747	2.2387653	23.90	0.2947904	2.8313214	33.90	0.1309240	3.0945475	43.90	0.0581436	3.2114579
4.00	1.4816894	0.9247459	14.00	0.6583112	2.2473808	24.00	0.2924076	2.8351491	34.00	0.1298656	3.0962477	44.00	0.0576735	3.2122130
4.10	1.4697209	0.9439716	14.10	0.6529911	2.2559268	24.10	0.2900440	2.8389459	34.10	0.1288158	3.0979340	44.10	0.0572073	3.2129619
4.20	1.4578490	0.9630421	14.20	0.6477139	2.2644038	24.20	0.2876995	2.8427119	34.20	0.1277744	3.0996068	44.20	0.0567448	3.2137048
4.30	1.4460729	0.9819587	14.30	0.6424794	2.2728122	24.30	0.2853740	2.8464476	34.30	0.1267415	3.1012660	44.30	0.0562861	3.2144417
4.40	1.4343918	1.0007226	14.40	0.6372872	2.2811528	24.40	0.2830672	2.8501530	34.40	0.1257169	3.1029119	44.40	0.0558310	3.2151727
4.50	1.4228051	1.0193350	14.50	0.6321369	2.2894259	24.50	0.2807791	2.8538285	34.50	0.1247006	3.1045444	44.50	0.0553797	3.2158977
4.60	1.4113118	1.0377973	14.60	0.6270282	2.2976323	24.60	0.2785095	2.8574742	34.60	0.1236925	3.1061637	44.60	0.0549320	3.2166169
4.70	1.3999113	1.0561105	14.70	0.6219608	2.3057723	24.70	0.2762582	2.8610906	34.70	0.1226926	3.1077699	44.70	0.0544879	3.2173302
4.80	1.3886028	1.0742759	14.80	0.6169343	2.3138466	24.80	0.2740252	2.8646776	34.80	0.1217008	3.1093632	44.80	0.0540474	3.2180378
4.90	1.3773856	1.0922947	14.90	0.6119485	2.3218556	24.90	0.2718101	2.8682357	34.90	0.1207169	3.1109435	44.90	0.0536104	3.2187397
5.00	1.3662590	1.1101681	15.00	0.6070029	2.3297999	25.00	0.2696130	2.8717651	35.00	0.1197411	3.1125111	45.00	0.0531770	3.2194359
5.10	1.3552221	1.1278972	15.10	0.6020972	2.3376801	25.10	0.2674336	2.8752659	35.10	0.1187731	3.1140661	45.10	0.0527471	3.2201264
5.20	1.3442744	1.1454831	15.20	0.5972312	2.3454966	25.20	0.2652719	2.8787384	35.20	0.1178129	3.1156084	45.20	0.0523207	3.2208114
5.30	1.3334150	1.1629272	15.30	0.5924046	2.3532499	25.30	0.2631276	2.8821829	35.30	0.1168605	3.1171383	45.30	0.0518977	3.2214909
5.40	1.3226432	1.1802304	15.40	0.5876169	2.3609406	25.40	0.2610007	2.8855995	35.40	0.1159158	3.1186558	45.40	0.0514782	3.2221648

Universitas Indonesia

(lanjutan)

5.50	1.3119585	1.1973939	15.50	0.5828679	2.3685692	25.50	0.2588909	2.8889885	35.50	0.1149787	3.1201611	45.50	0.0510620	3.2228333
5.60	1.3013599	1.2144189	15.60	0.5781572	2.3761361	25.60	0.2567982	2.8923501	35.60	0.1140492	3.1216542	45.60	0.0506492	3.2234964
5.70	1.2908469	1.2313065	15.70	0.5734846	2.3836419	25.70	0.2547224	2.8956846	35.70	0.1131273	3.1231352	45.70	0.0502397	3.2241542
5.80	1.2804188	1.2480577	15.80	0.5688498	2.3910871	25.80	0.2526634	2.8989921	35.80	0.1122127	3.1246042	45.80	0.0498336	3.2248066
5.90	1.2700749	1.2646737	15.90	0.5642524	2.3984721	25.90	0.2506210	2.9022728	35.90	0.1113056	3.1260614	45.90	0.0494307	3.2254538
6.00	1.2598145	1.2811556	16.00	0.5596922	2.4057974	26.00	0.2485951	2.9055271	36.00	0.1104058	3.1275068	46.00	0.0490311	3.2260957
6.10	1.2496369	1.2975044	16.10	0.5551688	2.4130636	26.10	0.2465856	2.9087550	36.10	0.1095133	3.1289405	46.10	0.0486347	3.2267324
6.20	1.2395414	1.3137213	16.20	0.5506819	2.4202710	26.20	0.2445924	2.9119569	36.20	0.1086280	3.1303626	46.20	0.0482415	3.2273640
6.30	1.2295275	1.3298072	16.30	0.5462313	2.4274202	26.30	0.2426152	2.9151329	36.30	0.1077498	3.1317732	46.30	0.0478515	3.2279905
6.40	1.2195944	1.3457633	16.40	0.5418166	2.4345117	26.40	0.2406541	2.9182832	36.40	0.1068787	3.1331725	46.40	0.0474647	3.2286119
6.50	1.2097415	1.3615905	16.50	0.5374377	2.4415459	26.50	0.2387087	2.9214080	36.50	0.1060147	3.1345604	46.50	0.0470810	3.2292283
6.60	1.1999681	1.3772900	16.60	0.5330941	2.4485232	26.60	0.2367791	2.9245076	36.60	0.1051577	3.1359370	46.60	0.0467003	3.2298397
6.70	1.1902736	1.3928627	16.70	0.5287856	2.4554441	26.70	0.2348652	2.9275821	36.70	0.1043076	3.1373026	46.70	0.0463228	3.2304461
6.80	1.1806574	1.4083097	16.80	0.5245119	2.4623092	26.80	0.2329666	2.9306318	36.80	0.1034644	3.1386571	46.80	0.0459483	3.2310477
6.90	1.1711189	1.4236320	16.90	0.5202727	2.4691188	26.90	0.2310834	2.9336569	36.90	0.1026279	3.1400007	46.90	0.0455768	3.2316444
7.00	1.1616573	1.4388306	17.00	0.5160678	2.4758733	27.00	0.2292155	2.9366575	37.00	0.1017983	3.1413334	47.00	0.0452084	3.2322363
7.10	1.1522722	1.4539065	17.10	0.5118968	2.4825733	27.10	0.2273626	2.9396338	37.10	0.1009753	3.1426554	47.10	0.0448429	3.2328234
7.20	1.1429628	1.4688606	17.20	0.5077596	2.4892191	27.20	0.2255247	2.9425861	37.20	0.1001590	3.1439666	47.20	0.0444804	3.2334057
7.30	1.1337285	1.4836941	17.30	0.5036558	2.4958113	27.30	0.2237017	2.9455145	37.30	0.0993493	3.1452673	47.30	0.0441208	3.2339833
7.40	1.1245689	1.4984077	17.40	0.4995851	2.5023502	27.40	0.2218934	2.9484193	37.40	0.0985462	3.1465574	47.40	0.0437641	3.2345563
7.50	1.1154831	1.5130026	17.50	0.4955474	2.5088362	27.50	0.2200997	2.9513005	37.50	0.0977495	3.1478371	47.50	0.0434103	3.2351246
7.60	1.1064708	1.5274796	17.60	0.4915422	2.5152698	27.60	0.2183205	2.9541585	37.60	0.0969593	3.1491065	47.60	0.0430593	3.2356884
7.70	1.0975312	1.5418397	17.70	0.4875695	2.5216515	27.70	0.2165557	2.9569934	37.70	0.0961755	3.1503656	47.70	0.0427112	3.2362476
7.80	1.0886638	1.5560839	17.80	0.4836288	2.5279816	27.80	0.2148052	2.9598054	37.80	0.0953980	3.1516145	47.80	0.0423659	3.2368022
7.90	1.0798680	1.5702131	17.90	0.4797200	2.5342605	27.90	0.2130688	2.9625946	37.90	0.0946268	3.1528533	47.90	0.0420234	3.2373524
8.00	1.0711432	1.5842282	18.00	0.4758427	2.5404888	28.00	0.2113464	2.9653613	38.00	0.0938618	3.1540821	48.00	0.0416837	3.2378981
8.10	1.0624888	1.5981301	18.10	0.4719968	2.5466666	28.10	0.2096380	2.9681057	38.10	0.0931030	3.1553010	48.10	0.0413467	3.2384394
8.20	1.0539044	1.6119198	18.20	0.4681819	2.5527946	28.20	0.2079434	2.9708278	38.20	0.0923504	3.1565100	48.20	0.0410124	3.2389764

Universitas Indonesia

(lanjutan)

8.30	1.0453892	1.6255981	18.30	0.4643979	2.5588731	28.30	0.2062624	2.9735280	38.30	0.0916038	3.1577093	48.30	0.0406809	3.2395090
8.40	1.0369428	1.6391660	18.40	0.4606445	2.5649024	28.40	0.2045951	2.9762063	38.40	0.0908632	3.1588989	48.40	0.0403520	3.2400373
8.50	1.0285646	1.6526243	18.50	0.4569213	2.5708830	28.50	0.2029412	2.9788630	38.50	0.0901287	3.1600788	48.50	0.0400258	3.2405613
8.60	1.0202541	1.6659739	18.60	0.4532283	2.5768153	28.60	0.2013007	2.9814982	38.60	0.0894001	3.1612492	48.60	0.0397022	3.2410811
8.70	1.0120107	1.6792158	18.70	0.4495651	2.5826997	28.70	0.1996735	2.9841121	38.70	0.0886773	3.1624102	48.70	0.0393812	3.2415967
8.80	1.0038338	1.6923507	18.80	0.4459315	2.5885365	28.80	0.1980594	2.9867049	38.80	0.0879605	3.1635617	48.80	0.0390629	3.2421081
8.90	0.9957230	1.7053795	18.90	0.4423273	2.5943262	28.90	0.1964583	2.9892767	38.90	0.0872494	3.1647040	48.90	0.0387471	3.2426154
9.00	0.9876776	1.7183032	19.00	0.4387522	2.6000690	29.00	0.1948702	2.9918278	39.00	0.0865440	3.1658370	49.00	0.0384338	3.2431186
9.10	0.9796973	1.7311224	19.10	0.4352059	2.6057655	29.10	0.1932950	2.9943582	39.10	0.0858444	3.1669608	49.10	0.0381231	3.2436177
9.20	0.9717813	1.7438382	19.20	0.4316884	2.6114159	29.20	0.1917324	2.9968682	39.20	0.0851504	3.1680756	49.20	0.0378149	3.2441128
9.30	0.9639293	1.7564513	19.30	0.4281992	2.6170207	29.30	0.1901825	2.9993579	39.30	0.0844620	3.1691814	49.30	0.0375092	3.2446038
9.40	0.9561408	1.7689625	19.40	0.4247383	2.6225802	29.40	0.1886452	3.0018274	39.40	0.0837792	3.1702782	49.40	0.0372059	3.2450909
9.50	0.9484151	1.7813727	19.50	0.4213053	2.6280947	29.50	0.1871202	3.0042770	39.50	0.0831020	3.1713662	49.50	0.0369052	3.2455741
9.60	0.9407517	1.7936826	19.60	0.4179001	2.6335647	29.60	0.1856076	3.0067068	39.60	0.0824301	3.1724453	49.60	0.0366068	3.2460534
9.70	0.9331503	1.8058932	19.70	0.4145223	2.6389905	29.70	0.1841072	3.0091170	39.70	0.0817638	3.1735158	49.70	0.0363109	3.2465288
9.80	0.9256103	1.8180051	19.80	0.4111719	2.6443725	29.80	0.1826189	3.0115076	39.80	0.0811028	3.1745775	49.80	0.0360173	3.2470003
9.90	0.9181312	1.8300192	19.90	0.4078486	2.6497110	29.90	0.1811427	3.0138790	39.90	0.0804471	3.1756307	49.90	0.0357261	3.2474680
10.00	0.9107124	1.8419363	20.00	0.4045520	2.6550063	30.00	0.1796784	3.0162312	40.00	0.0797968	3.1766754	50.00	0.0354373	3.2479320
$V_{\max}$ : 1.382E+02			$K_S$ : 5.154E-04											
$K_M$ : 8.773E-01			$K_B$ : 8.610E-01											
Error : 2.2783														

Universitas Indonesia

**Data 8<sup>[5]</sup>**

<b>t (jam)</b>	<b>C<sub>T</sub> (mol/Lt)</b>	<b>C<sub>B</sub> (mol/Lt)</b>												
0.00	0.5600000	0.0000000												
0.10	0.5547909	0.0128585	9.70	0.2261966	0.8239813	19.30	0.0922217	1.1546933	28.90	0.0375990	1.2895274	38.50	0.0153292	1.3444997
0.20	0.5496303	0.0255973	9.80	0.2240925	0.8291753	19.40	0.0913639	1.1568109	29.00	0.0372493	1.2903908	38.60	0.0151866	1.3448517
0.30	0.5445176	0.0382177	9.90	0.2220079	0.8343210	19.50	0.0905140	1.1589089	29.10	0.0369028	1.2912461	38.70	0.0150453	1.3452005
0.40	0.5394525	0.0507207	10.00	0.2199427	0.8394188	19.60	0.0896720	1.1609874	29.20	0.0365595	1.2920935	38.80	0.0149053	1.3455460
0.50	0.5344346	0.0631074	10.10	0.2178968	0.8444693	19.70	0.0888378	1.1630465	29.30	0.0362194	1.2929330	38.90	0.0147667	1.3458882
0.60	0.5294633	0.0753788	10.20	0.2158698	0.8494727	19.80	0.0880114	1.1650864	29.40	0.0358824	1.2937647	39.00	0.0146293	1.3462273
0.70	0.5245382	0.0875362	10.30	0.2138617	0.8544296	19.90	0.0871927	1.1671074	29.50	0.0355486	1.2945887	39.10	0.0144932	1.3465632
0.80	0.5196589	0.0995804	10.40	0.2118723	0.8593404	20.00	0.0863815	1.1691096	29.60	0.0352180	1.2954050	39.20	0.0143584	1.3468961
0.90	0.5148251	0.1115127	10.50	0.2099014	0.8642055	20.10	0.0855780	1.1710932	29.70	0.0348903	1.2962137	39.30	0.0142248	1.3472258
1.00	0.5100362	0.1233339	10.60	0.2079488	0.8690253	20.20	0.0847819	1.1730583	29.80	0.0345658	1.2970149	39.40	0.0140925	1.3475524
1.10	0.5052918	0.1350452	10.70	0.2060144	0.8738003	20.30	0.0839932	1.1750051	29.90	0.0342442	1.2978086	39.50	0.0139614	1.3478760
1.20	0.5005916	0.1466475	10.80	0.2040980	0.8785309	20.40	0.0832119	1.1769338	30.00	0.0339257	1.2985950	39.60	0.0138315	1.3481966
1.30	0.4959351	0.1581420	10.90	0.2021994	0.8832175	20.50	0.0824378	1.1788446	30.10	0.0336101	1.2993740	39.70	0.0137029	1.3485142
1.40	0.4913219	0.1695295	11.00	0.2003185	0.8878605	20.60	0.0816709	1.1807376	30.20	0.0332974	1.3001458	39.80	0.0135754	1.3488289
1.50	0.4867516	0.1808111	11.10	0.1984551	0.8924603	20.70	0.0809112	1.1826130	30.30	0.0329877	1.3009104	39.90	0.0134491	1.3491406
1.60	0.4822238	0.1919877	11.20	0.1966090	0.8970173	20.80	0.0801585	1.1844709	30.40	0.0326808	1.3016679	40.00	0.0133240	1.3494494
1.70	0.4777381	0.2030604	11.30	0.1947800	0.9015320	20.90	0.0794128	1.1863116	30.50	0.0323768	1.3024183	40.10	0.0132000	1.3497554
1.80	0.4732942	0.2140301	11.40	0.1929681	0.9060046	21.00	0.0786741	1.1881351	30.60	0.0320756	1.3031618	40.20	0.0130772	1.3500585
1.90	0.4688916	0.2248978	11.50	0.1911731	0.9104356	21.10	0.0779422	1.1899417	30.70	0.0317772	1.3038983	40.30	0.0129556	1.3503588
2.00	0.4645299	0.2356644	11.60	0.1893947	0.9148254	21.20	0.0772172	1.1917315	30.80	0.0314816	1.3046280	40.40	0.0128351	1.3506563
2.10	0.4602088	0.2463308	11.70	0.1876329	0.9191744	21.30	0.0764989	1.1935046	30.90	0.0311887	1.3053510	40.50	0.0127157	1.3509510
2.20	0.4559280	0.2568980	11.80	0.1858875	0.9234829	21.40	0.0757873	1.1952612	31.00	0.0308986	1.3060671	40.60	0.0125974	1.3512430
2.30	0.4516869	0.2673670	11.90	0.1841583	0.9277514	21.50	0.0750822	1.1970015	31.10	0.0306112	1.3067767	40.70	0.0124802	1.3515323
2.40	0.4474853	0.2777385	12.00	0.1824452	0.9319801	21.60	0.0743838	1.1987256	31.20	0.0303264	1.3074796	40.80	0.0123641	1.3518189

Universitas Indonesia

(lanjutan)

2.50	0.4433227	0.2880136	12.10	0.1807480	0.9361695	21.70	0.0736918	1.2004337	31.30	0.0300443	1.3081760	40.90	0.0122491	1.3521028
2.60	0.4391989	0.2981931	12.20	0.1790666	0.9403199	21.80	0.0730063	1.2021258	31.40	0.0297648	1.3088659	41.00	0.0121351	1.3523841
2.70	0.4351134	0.3082779	12.30	0.1774009	0.9444318	21.90	0.0723272	1.2038023	31.50	0.0294879	1.3095494	41.10	0.0120222	1.3526627
2.80	0.4310660	0.3182689	12.40	0.1757506	0.9485053	22.00	0.0716544	1.2054631	31.60	0.0292136	1.3102265	41.20	0.0119104	1.3529388
2.90	0.4270562	0.3281670	12.50	0.1741158	0.9525410	22.10	0.0709878	1.2071085	31.70	0.0289419	1.3108973	41.30	0.0117996	1.3532123
3.00	0.4230836	0.3379730	12.60	0.1724961	0.9565392	22.20	0.0703274	1.2087386	31.80	0.0286726	1.3115619	41.40	0.0116898	1.3534832
3.10	0.4191481	0.3476878	12.70	0.1708914	0.9605001	22.30	0.0696732	1.2103535	31.90	0.0284059	1.3122203	41.50	0.0115811	1.3537517
3.20	0.4152491	0.3573123	12.80	0.1693017	0.9644242	22.40	0.0690251	1.2119534	32.00	0.0281417	1.3128726	41.60	0.0114734	1.3540176
3.30	0.4113864	0.3668472	12.90	0.1677268	0.9683118	22.50	0.0683830	1.2135384	32.10	0.0278799	1.3135188	41.70	0.0113666	1.3542811
3.40	0.4075597	0.3762934	13.00	0.1661666	0.9721632	22.60	0.0677469	1.2151086	32.20	0.0276205	1.3141590	41.80	0.0112609	1.3545421
3.50	0.4037685	0.3856518	13.10	0.1646208	0.9759788	22.70	0.0671166	1.2166643	32.30	0.0273636	1.3147933	41.90	0.0111561	1.3548007
3.60	0.4000126	0.3949231	13.20	0.1630895	0.9797590	22.80	0.0664923	1.2182055	32.40	0.0271090	1.3154216	42.00	0.0110524	1.3550568
3.70	0.3962916	0.4041081	13.30	0.1615724	0.9835039	22.90	0.0658737	1.2197323	32.50	0.0268568	1.3160441	42.10	0.0109495	1.3553106
3.80	0.3926053	0.4132078	13.40	0.1600694	0.9872140	23.00	0.0652610	1.2212450	32.60	0.0266070	1.3166608	42.20	0.0108477	1.3555621
3.90	0.3889532	0.4222228	13.50	0.1585803	0.9908896	23.10	0.0646539	1.2227436	32.70	0.0263595	1.3172718	42.30	0.0107468	1.3558112
4.00	0.3853351	0.4311539	13.60	0.1571052	0.9945310	23.20	0.0640524	1.2242282	32.80	0.0261143	1.3178771	42.40	0.0106468	1.3560579
4.10	0.3817507	0.4400020	13.70	0.1556437	0.9981386	23.30	0.0634566	1.2256990	32.90	0.0258714	1.3184767	42.50	0.0105478	1.3563024
4.20	0.3781996	0.4487677	13.80	0.1541958	1.0017126	23.40	0.0628663	1.2271562	33.00	0.0256307	1.3190708	42.60	0.0104496	1.3565446
4.30	0.3746815	0.4574519	13.90	0.1527615	1.0052533	23.50	0.0622815	1.2285997	33.10	0.0253923	1.3196594	42.70	0.0103524	1.3567846
4.40	0.3711961	0.4660554	14.00	0.1513404	1.0087611	23.60	0.0617021	1.2300299	33.20	0.0251560	1.3202425	42.80	0.0102561	1.3570223
4.50	0.3677432	0.4745788	14.10	0.1499326	1.0122363	23.70	0.0611281	1.2314468	33.30	0.0249220	1.3208201	42.90	0.0101607	1.3572578
4.60	0.3643224	0.4830229	14.20	0.1485379	1.0156791	23.80	0.0605595	1.2328504	33.40	0.0246902	1.3213924	43.00	0.0100662	1.3574911
4.70	0.3609334	0.4913885	14.30	0.1471561	1.0190899	23.90	0.0599961	1.2342410	33.50	0.0244605	1.3219594	43.10	0.0099726	1.3577223
4.80	0.3575760	0.4996763	14.40	0.1457872	1.0224690	24.00	0.0594380	1.2356187	33.60	0.0242330	1.3225210	43.20	0.0098798	1.3579513
4.90	0.3542497	0.5078870	14.50	0.1444310	1.0258167	24.10	0.0588851	1.2369836	33.70	0.0240075	1.3230775	43.30	0.0097879	1.3581782
5.00	0.3509544	0.5160213	14.60	0.1430875	1.0291332	24.20	0.0583373	1.2383358	33.80	0.0237842	1.3236288	43.40	0.0096968	1.3584029

Universitas Indonesia

(lanjutan)

5.10	0.3476898	0.5240799	14.70	0.1417564	1.0324188	24.30	0.0577946	1.2396753	33.90	0.0235630	1.3241749	43.50	0.0096066	1.3586256
5.20	0.3444555	0.5320636	14.80	0.1404377	1.0356739	24.40	0.0572570	1.2410025	34.00	0.0233438	1.3247160	43.60	0.0095173	1.3588462
5.30	0.3412513	0.5399730	14.90	0.1391313	1.0388987	24.50	0.0567244	1.2423173	34.10	0.0231266	1.3252520	43.70	0.0094287	1.3590647
5.40	0.3380770	0.5478089	15.00	0.1378371	1.0420936	24.60	0.0561967	1.2436198	34.20	0.0229115	1.3257831	43.80	0.0093410	1.3592812
5.50	0.3349321	0.5555718	15.10	0.1365549	1.0452587	24.70	0.0556739	1.2449102	34.30	0.0226983	1.3263092	43.90	0.0092541	1.3594957
5.60	0.3318165	0.5632626	15.20	0.1352846	1.0483943	24.80	0.0551560	1.2461887	34.40	0.0224872	1.3268304	44.00	0.0091680	1.3597082
5.70	0.3287299	0.5708818	15.30	0.1340261	1.0515008	24.90	0.0546429	1.2474552	34.50	0.0222780	1.3273468	44.10	0.0090827	1.3599188
5.80	0.3256720	0.5784301	15.40	0.1327793	1.0545784	25.00	0.0541346	1.2487100	34.60	0.0220708	1.3278584	44.20	0.0089983	1.3601273
5.90	0.3226425	0.5859083	15.50	0.1315442	1.0576274	25.10	0.0536310	1.2499531	34.70	0.0218654	1.3283652	44.30	0.0089145	1.3603340
6.00	0.3196412	0.5933168	15.60	0.1303205	1.0606480	25.20	0.0531321	1.2511846	34.80	0.0216620	1.3288673	44.40	0.0088316	1.3605387
6.10	0.3166678	0.6006565	15.70	0.1291082	1.0636405	25.30	0.0526379	1.2524046	34.90	0.0214605	1.3293647	44.50	0.0087495	1.3607415
6.20	0.3137221	0.6079279	15.80	0.1279072	1.0666051	25.40	0.0521482	1.2536134	35.00	0.0212609	1.3298575	44.60	0.0086681	1.3609424
6.30	0.3108038	0.6151316	15.90	0.1267173	1.0695422	25.50	0.0516631	1.2548108	35.10	0.0210631	1.3303457	44.70	0.0085874	1.3611414
6.40	0.3079127	0.6222683	16.00	0.1255386	1.0724520	25.60	0.0511825	1.2559972	35.20	0.0208672	1.3308294	44.80	0.0085076	1.3613386
6.50	0.3050484	0.6293387	16.10	0.1243707	1.0753347	25.70	0.0507064	1.2571725	35.30	0.0206730	1.3313086	44.90	0.0084284	1.3615340
6.60	0.3022108	0.6363433	16.20	0.1232138	1.0781906	25.80	0.0502347	1.2583368	35.40	0.0204807	1.3317833	45.00	0.0083500	1.3617275
6.70	0.2993995	0.6432827	16.30	0.1220676	1.0810199	25.90	0.0497674	1.2594903	35.50	0.0202902	1.3322536	45.10	0.0082723	1.3619193
6.80	0.2966144	0.6501576	16.40	0.1209321	1.0838229	26.00	0.0493044	1.2606331	35.60	0.0201015	1.3327195	45.20	0.0081954	1.3621092
6.90	0.2938553	0.6569685	16.50	0.1198071	1.0865998	26.10	0.0488457	1.2617653	35.70	0.0199145	1.3331811	45.30	0.0081191	1.3622974
7.00	0.2911218	0.6637161	16.60	0.1186926	1.0893509	26.20	0.0483914	1.2628870	35.80	0.0197292	1.3336384	45.40	0.0080436	1.3624838
7.10	0.2884137	0.6704009	16.70	0.1175885	1.0920764	26.30	0.0479412	1.2639982	35.90	0.0195457	1.3340914	45.50	0.0079688	1.3626685
7.20	0.2857308	0.6770235	16.80	0.1164946	1.0947766	26.40	0.0474952	1.2650990	36.00	0.0193639	1.3345402	45.60	0.0078947	1.3628515
7.30	0.2830728	0.6835845	16.90	0.1154110	1.0974516	26.50	0.0470534	1.2661896	36.10	0.0191837	1.3349849	45.70	0.0078212	1.3630328
7.40	0.2804396	0.6900845	17.00	0.1143374	1.1001017	26.60	0.0466157	1.2672701	36.20	0.0190053	1.3354254	45.80	0.0077485	1.3632124
7.50	0.2778309	0.6965240	17.10	0.1132737	1.1027272	26.70	0.0461820	1.2683406	36.30	0.0188285	1.3358618	45.90	0.0076764	1.3633903
7.60	0.2752465	0.7029037	17.20	0.1122200	1.1053283	26.80	0.0457524	1.2694010	36.40	0.0186533	1.3362942	46.00	0.0076050	1.3635666

Universitas Indonesia

(lanjutan)

7.70	0.2726860	0.7092239	17.30	0.1111761	1.1079052	26.90	0.0453268	1.2704516	36.50	0.0184798	1.3367225	46.10	0.0075342	1.3637413
7.80	0.2701494	0.7154854	17.40	0.1101419	1.1104581	27.00	0.0449052	1.2714925	36.60	0.0183079	1.3371469	46.20	0.0074641	1.3639143
7.90	0.2676364	0.7216887	17.50	0.1091173	1.1129872	27.10	0.0444874	1.2725236	36.70	0.0181376	1.3375673	46.30	0.0073947	1.3640857
8.00	0.2651468	0.7278342	17.60	0.1081023	1.1154929	27.20	0.0440736	1.2735452	36.80	0.0179689	1.3379838	46.40	0.0073259	1.3642555
8.10	0.2626804	0.7339226	17.70	0.1070966	1.1179752	27.30	0.0436636	1.2745572	36.90	0.0178017	1.3383964	46.50	0.0072578	1.3644237
8.20	0.2602368	0.7399544	17.80	0.1061004	1.1204344	27.40	0.0432574	1.2755599	37.00	0.0176361	1.3388052	46.60	0.0071902	1.3645903
8.30	0.2578160	0.7459300	17.90	0.1051134	1.1228708	27.50	0.0428550	1.2765532	37.10	0.0174720	1.3392101	46.70	0.0071234	1.3647555
8.40	0.2554178	0.7518500	18.00	0.1041356	1.1252844	27.60	0.0424564	1.2775373	37.20	0.0173095	1.3396113	46.80	0.0070571	1.3649190
8.50	0.2530418	0.7577150	18.10	0.1031669	1.1276757	27.70	0.0420614	1.2785122	37.30	0.0171485	1.3400088	46.90	0.0069914	1.3650811
8.60	0.2506879	0.7635255	18.20	0.1022072	1.1300447	27.80	0.0416701	1.2794780	37.40	0.0169890	1.3404026	47.00	0.0069264	1.3652416
8.70	0.2483560	0.7692818	18.30	0.1012564	1.1323916	27.90	0.0412825	1.2804349	37.50	0.0168309	1.3407927	47.10	0.0068620	1.3654007
8.80	0.2460457	0.7749847	18.40	0.1003145	1.1347167	28.00	0.0408985	1.2813829	37.60	0.0166743	1.3411792	47.20	0.0067981	1.3655582
8.90	0.2437569	0.7806345	18.50	0.0993813	1.1370202	28.10	0.0405180	1.2823220	37.70	0.0165192	1.3415621	47.30	0.0067349	1.3657144
9.00	0.2414894	0.7862317	18.60	0.0984568	1.1393023	28.20	0.0401411	1.2832524	37.80	0.0163656	1.3419414	47.40	0.0066722	1.3658690
9.10	0.2392430	0.7917769	18.70	0.0975409	1.1415631	28.30	0.0397677	1.2841742	37.90	0.0162133	1.3423172	47.50	0.0066102	1.3660222
9.20	0.2370175	0.7972704	18.80	0.0966335	1.1438029	28.40	0.0393977	1.2850874	38.00	0.0160625	1.3426895	47.60	0.0065487	1.3661740
9.30	0.2348127	0.8027129	18.90	0.0957346	1.1460219	28.50	0.0390312	1.2859920	38.10	0.0159131	1.3430584	47.70	0.0064878	1.3663244
9.40	0.2326284	0.8081048	19.00	0.0948440	1.1482202	28.60	0.0386682	1.2868883	38.20	0.0157650	1.3434238	47.80	0.0064274	1.3664734
9.50	0.2304644	0.8134465	19.10	0.0939618	1.1503981	28.70	0.0383084	1.2877762	38.30	0.0156184	1.3437858	47.90	0.0063676	1.3666210
9.60	0.2283206	0.8187385	19.20	0.0930877	1.1525557	28.80	0.0379521	1.2886559	38.40	0.0154731	1.3441444	48.00	0.0063084	1.3667672

 $V_{\max}$  : 8.208E+02 $K_S$  : 1.041E-04 $K_M$  : 9.138E-01 $K_B$  : 2.098E-01

Error : 2.1542

Universitas Indonesia