

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT karena atas rahmat dan hidayah-Nya, penyusun dapat menyelesaikan penelitian industri di PT. Indorama Polychem Indonesia beserta laporannya dengan baik. Penelitian industri ini merupakan salah satu persyaratan dalam menyelesaikan Program Studi D-IV Teknik Kimia Polimer, Politeknik STMI Jakarta.

Penyusun menyampaikan rasa terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu atas terlaksananya penelitian dan penyelesaian laporan ini, antara lain:

1. Allah SWT karena telah mengabulkan doa-doa penulis untuk bisa menjalani penelitian dan menyusun laporan ini.
2. Orangtua, kakak dan adik penulis yang selalu mendoakan dan mendukung untuk terus semangat dalam melakukan penelitian dan menyusun laporan ini.
3. Dr. Mustofa, S.T., M.T., selaku Ketua Politeknik STMI Jakarta Kementerian Perindustrian RI.
4. Ir. Roosmariharso, MBA., selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Polimer Politeknik STMI Jakarta Kementerian Perindustrian RI.
5. Sakri Widhianto, S.Teks., MM., selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan demi terselesaikannya laporan kerja praktek ini.
6. Ir. H. Rahmat Suryanto selaku Kepala Departemen Poly PT. Indorama Polychem Indonesia.
7. Dwi Candra Kusuma, S.T., M.Pd., selaku pembimbing di Departemen Poly PT. Indorama Polychem Indonesia.
8. Yurni Ridwan selaku bagian personalia dan seluruh karyawan PT. Indorama Polychem Indonesia.
9. Achmad Faisal dan Gilang Kurniawan yang telah membantu penyusun untuk menyelesaikan laporan penelitian ini.
10. Aisah Siti Rahmatillah, Leily Dita Delvian, Shely Inastuti Shiagian dan Teman-teman dari Teknik Kimia Polimer Politeknik STMI Jakarta yang telah memberikan semangat kepada penyusun hingga terselesaikannya laporan ini.

11. Serta semua pihak yang tak dapat penyusun sebutkan satu persatu yang telah membantu pada proses penelitian ini.

Penyusun menyadari terdapat kekurangan dan keterbatasan kemampuan serta pengetahuan dalam penyusunan laporan ini. Untuk itu dengan segala kerendahan hati penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan laporan ini. Penulis mengharapkan laporan ini dapat menjadi kontribusi yang bermanfaat bagi semua pihak.

Jakarta, November 2016

Penyusun

ABSTRAK

PT. Indorama Polychem Indonesia merupakan industri *polyester* terbesar di Indonesia. Bahan baku utama yang digunakan untuk menghasilkan produk chip polyester adalah *Purified Terephthalic Acid* (PTA) dan *Ethylene Glycol* (EG). *Separation column* merupakan salah satu unit yang digunakan untuk proses pemisahan produk samping reaksi esterifikasi yaitu air, EG, *Di Ethylene Glycol* (DEG), asetaldehid dan *undefined half ester*. Berdasarkan data *Laboratorium Quality Control Chemical* (QCC), komposisi EG di *reflux tank* adalah 0,3% –0,8%. Hal ini diduga menjadi penyebab tingginya nilai *Chemical Oxygen Demand* (COD) pada *reflux tank*. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui variabel berpengaruh terhadap komposisi EG di *reflux tank* dan menentukan kondisi operasi optimal proses pemisahan EG pada *separation column*. Penentuan variabel berpengaruh dilakukan melalui simulasi multivariabel yang dianggap berpengaruh terhadap komposisi EG di *reflux tank*. Hasil simulasi menggunakan program Polymath versi 6.0 menghasilkan variabel berpengaruh yaitu laju refluks, laju *top column* dan laju *water* di aliran *organic stripping column*. Variabel yang dapat diatur secara operasional di industri adalah laju refluks. Penentuan kondisi operasi optimal dilakukan melalui simulasi menggunakan program Aspen Hysys versi 8.0. Hasil simulasi menghasilkan kondisi operasi optimal pada laju refluks 5200 kg/jam dengan konsentrasi EG di *reflux tank* sebesar 0,01376%

Kata kunci: Pemisahan, *ethylene glycol*, refluks

ABSTRACT

PT. Indorama Polychem Indonesia is the biggest of the polyester industry in Indonesia. The main raw materials used are Purified Terephthalic Acid (PTA) and Ethylene Glycol (EG) while the product is polyester chips. Separation column is one of units used to separate by product of esterification. By product of esterification process are water, EG, Di Ethylene Glycol (DEG), acetaldehyde and undefined half ester. Based on Quality Control Chemical Laboratory, composition of EG at reflux tank ranging from 0,3% to 0,8%. This data is estimated to Chemical Oxygen Demand (COD) at reflux tank. The objectives of this study are to knowing variables that influen to composition of EG at reflux tank and determining optimum operating condition for separation process of EG. Variables that influen to composition of EG are determined through simulation of influential variables to the composition of EG at reflux tank. The result of simulation using Polymath program version 6.0 produces influential variabel of reflux flow rate, top column of flow rate and water to OSC of flow rate. Variable which can be set in industry is reflux flow rate. The optimum operating condition is determined by using Aspen Hysys Program Version 8.0. The result of simulation produces reflux flow rate optimum of 5200 kg/hr with composition of EG is 0,01376%

Keywords: Separation, ethylene glycol, reflux

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
ABSTRAK.....	iii
ABSTRACT.....	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR TABEL.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR ISTILAH.....	ix
DAFTAR LAMPIRAN.....	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	2
1.5 Manfaat Penelitian	2
BAB 11 TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Proses Produksi <i>Polyester</i> di PT. Indorama Polychem Indonesia ..	3
2.2 Prinsip Distilasi	4
2.2.1 Persamaan Neraca Massa <i>Overall</i> pada Kolom Distilasi	7
2.2.2 Persamaan Neraca Massa pada Bagian Rektifikasi	7
2.2.3 Volatilitas Relatif.....	9
2.3 Deskripsi <i>Separation Column</i>	9
2.3.1 Jenis-jenis <i>Separation Column</i>	10
2.3.2 Bagian-bagian <i>Separation Column</i>	12
2.4 Sistem Proses <i>Separation Column</i> pada Unit Esterifikasi.....	13
2.5 Karakteristik Zat pada <i>Separation Column</i>	14
2.5.1 <i>Ethylene Glycol</i> (EG).....	14
2.5.2 Air (H ₂ O).....	15
2.5.3 Asetaldehid	15
2.5.4 <i>Di Ethylene Glycol</i> (DEG)	16

2.6	<i>Chemical Oxygen Demand</i>	16
2.7	Program <i>Polymath</i>	17
2.8	Program <i>Aspen Hysys 8.0</i>	19
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		21
3.1	Tempat Waktu Dan Penelitian.....	21
3.2	Variabel Penelitian.....	21
3.2.1	Variabel Bebas.....	21
3.2.2	Variabel Tak Bebas.....	21
3.2.3	Variabel Berpengaruh	21
3.2.4	Variabel Tetap.....	21
3.3	Alat Yang Digunakan.....	21
3.4	Bahan Yang Digunakan.....	22
3.5	Metodologi Penelitian.....	22
3.5.1	Tahap Persiapan.....	23
3.5.2	Tahap Pengambilan Data.....	23
3.5.3	Tahap Pengolahan Data	23
3.5.4	Tahap Penyusunan Laporan.....	25
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		26
4.1	Penentuan Variabel Berpengaruh	26
4.2	Validasi Variabel Berpengaruh.....	40
4.3	Simulasi Penentuan Kondisi Optimal Pemisahan <i>Ethylene Glicol</i> Menggunakan Variabel Berpengaruh.....	41
4.3.1	Validasi Data Simulasi.....	41
4.3.2	Pengaruh Laju <i>Reflux</i> terhadap Komposisi <i>Ethylene Glycol</i> pada <i>Reflux Tank</i>	42
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		44
5.1	Kesimpulan.....	44
5.2	Saran.....	44
DAFTAR PUSTAKA		45

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Karakteristik <i>Ethylenen Glycol</i>	14
Tabel 2.2	Karakteristik Air	15
Tabel 2.3	Karakteristik Asetaldehid	15
Tabel 2.4	Karakteristik <i>Di Ethylene Glycol</i>	16
Tabel 4.1	Hasil Simulasi Pengolahan Data 1	28
Tabel 4.2	Hasil Simulasi Pengolahan Data 2	30
Tabel 4.3	Hasil Simulasi Pengolahan Data 3	32
Tabel 4.4	Hasil Simulasi Pengolahan Data 4	35
Tabel 4.5	Hasil Simulasi Pengolahan Data 5	38
Tabel 4.6	Hasil Simulasi Dengan Polymath	39
Tabel 4.7	Hasil Validasi Data Aktual	40
Tabel 4.8	Tabel Validasi Data Desain	42

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	<i>Flowsheet</i> Sistem Proses <i>Chips Polyester</i>	4
Gamabr 2.2	Kolom Distilasi dengan Aliran Neraca Massa	6
Gambar 2.3	Neraca Massa dan Garis Operasi Bagian Rektifikasi	8
Gambar 2.4	Unit Esterifikasi dan <i>Separation Column</i>	10
Gambar 2.5	Aliran Proses pada <i>Separation Colum</i> ni.....	14
Gambar 2.6	Tampilan Pilihan pada <i>Polymath</i> 6.0.....	18
Gamabr 2.7	Tampilan <i>Aspen Hysys</i> 8.0.....	19
Gambar 2.8	Penggunaan Metode pada <i>Hysys</i> 8.0.....	20
Gambar 3.1	Diagram Alir Proses Penelitian.....	22
Gambar 3.2	Diagram Alir Penentuan Vafriabel Berpengaruh.....	24
Gambar 3.3	Diagram Alir Penentuan Kondisi Optimal.....	25
Gambar 4.1	Model Simulasi Pengolahan Data 1.....	28
Gambar 4.2	Hasil Simulasi Pengolahan Data 1.....	29
Gambar 4.3	Model Simulasi Pengolahan Data 2.....	30
Gambar 4.4	Hasil Simulasi Pengolahan Data 2.....	31
Gambar 4.5	Model Simulasi Pengolahan Data 3.....	32
Gambar 4.6	Hasil Simulasi Pengolahan Data 3.....	32
Gambar 4.7	Neraca Massa di <i>Reflux Tank</i>	34
Gambar 4.8	Model Simulasi Pengolahan Data 4.....	35
Gambar 4.9	Hasil Simulasi Pengolahan Data 4.....	36
Gambar 4.10	Model Simulasi Pengolahan Data 5.....	37
Gambar 4.11	Hasil Simulasi Pengolahan Data 5.....	37
Gambar 4.12	Kurva Pengaruh Laju <i>Reflux</i> terhadap Komposisi EG.....	43

DAFTAR ISTILAH

C		
COD	:	<i>Chemical Oxygen Demand</i>
D		
DEG	:	<i>Diethylene Glycol</i>
DP	:	<i>Differential Pressure</i>
E		
EG	:	<i>Ethylene Glycol</i>
F		
F EG	:	Laju massa <i>ethylene glycol</i>
F refluks	:	Laju aliran refluks
F top	:	Laju massa aliran <i>top column</i>
F water	:	Laju massa air di aliran OSC
<i>Free EG</i>	:	Konsentrasi <i>ethylene glycol</i>
M		
MV EEGT	:	<i>Manipulated Variable</i> aliran esterifier <i>EG tank</i>
MV OSC	:	<i>Manipulated Variable</i> aliran OSC
O		
OSC	:	Organic Stripping Column
P		
P top	:	Tekanan <i>top column</i>
P feed	:	Tekanan umpan
T		
T bottom	:	Temperatur <i>bottom column</i>
T esterifier/T EEGT	:	Temperatur esterifier <i>EG tank</i>
T refluks	:	Temperatur refluks tank
T top	:	Temperatur <i>top column</i>
T tray1	:	Temperatur <i>tray 1</i>
T tray12	:	Temperatur <i>tray 12</i>
TO Cond	:	Temperatur <i>Out Condensor</i>
TO Eco	:	Temperatur <i>Out Economizer</i>

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A	Penentuan Hubungan COD dan EG.....	46
Lampiran B	Data Pengamatan.....	69
	B.1 Kondisi Operasi Harian <i>Separation Column</i>	70
	B.1.1 Januari 2016.....	70
	B.1.2 Februari 2016.....	72
	B.2 Data Analisa Air di <i>Reflux Tank</i> dari Departemen QCC.....	74
	B.2.1 Januari 2016.....	74
	B.2.2 Februari 2016.....	75
	B.3 Data Desain Komposisi Umpan <i>Separation Column</i>	76
	B.4 Perhitungan Neraca Massa Aliran <i>Reflux Tank</i>	77
Lampiran C	Hasil Simulasi Polymath 6.0.....	79
	C.1 Hasil Perhitungan Pengolahan Data 1.....	80
	C.2 Hasil Perhitungan Pengolahan Data 2.....	83
	C.3 Hasil Perhitungan Pengolahan Data 3.....	87
	C.4 Hasil Perhitungan Pengolahan Data 4.....	90
	C.5 Hasil Perhitungan Pengolahan Data 5.....	93
Lampiran D	Hasil Simulasi Aspen Hysys 8.0.....	96
	D.1 <i>Input Data Umpan</i>	97
	D.2. <i>Pemilihan Fluid Package</i>	97
	D.3 <i>Input Data Operasi</i>	98
	D.4. <i>Run Simulasi</i>	98
	D.5 Hasil Variasi Laju Refluks.....	99
Lampiran E	Form Perbaikan.....	100

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

PT. Indorama Polychem Indonesia merupakan produsen dan eksportir *polyester* terbesar di Indonesia yang didirikan pada tanggal 29 September 2011 dan mulai beroperasi secara komersil pada tanggal 11 Desember 2013. Produk yang dihasilkan adalah *chips*, benang setengah jadi dan serat *stapel* dengan kapasitas produksi yaitu 850 ton/hari.

Teknologi yang digunakan di PT. Indorama Polychem adalah teknologi *Dupont* dari Amerika yang terdiri dari tiga reaktor utama yaitu reaktor esterifikasi, *vertical processor* dan *finisher*. Reaktor esterifikasi merupakan tempat terjadinya reaksi esterifikasi yang terdiri dari tiga unit alat yaitu *heat exchanger* yang berfungsi sebagai alat penukar panas, *vapor separator* berfungsi untuk memisahkan *olygomer* dan hasil samping yang berfase uap seperti air, *Ethylene Glicol* (EG), *Di Ethylene Glycol* (DEG) dan asetaldehid serta *separation column* sebagai unit pemurnian yang berfungsi untuk memisahkan EG dan air. Sedangkan *vertical processor* dan *finisher* merupakan tempat terjadinya reaksi prepolimerisasi dan polimerisasi akhir.

Proses pemisahan EG pada *separation column* terjadi pada suhu 148°C. EG menjadi produk bawah yang ditampung di *esterifier EG tank*. Sedangkan air menjadi produk atas yang kemudian ditampung dalam *reflux tank*. Air dalam *reflux tank* harus bebas dari EG.

Hingga saat ini, berdasarkan data analisa kandungan air di *reflux tank* oleh Departemen *Quality Control* (QCC), pada air tersebut terdapat kandungan EG yang mencapai 0,65% seperti ditunjukkan pada lampiran B. Hal ini diduga yang menyebabkan tingginya konsentrasi *Chemical Oxygen Demand* (COD) pada air di *reflux tank* sehingga beban pengolahan limbah cair menjadi besar.

Berdasarkan permasalahan yang telah dipaparkan diatas, maka dilakukan penelitian dengan judul “**Optimalisasi Proses Pemisahan *Ethylene Glycol* pada *Separation Column* di PT. Indorama Polychem Indonesia**”.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut dapat dirumuskan pokok permasalahan yaitu bagaimana cara meminimalisir kandungan EG pada *reflux tank* sehingga konsentrasi COD tidak terdapat lagi EG dan beban pengolahan limbah menjadi kecil.

1.3 Batasan Masalah

Permasalahan yang ada pada proses pemisahan *ethylene glycol* di *separation column* adalah sebagai berikut:

- a) Terdapat kandungan EG pada *reflux tank*
- b) Belum diketahui variabel yang berpengaruh pada proses pemisahan di *separation column*
- c) Belum diketahui kondisi optimal pada proses pemisahan di *separation column*

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan pada penelitian ini adalah:

- a) Memperoleh variabel berpengaruh pada proses pemisahan EG
- b) Memperoleh kondisi optimal proses pemisahan EG di *separation column* menggunakan simulasi dengan program Aspen Hysys versi 8.0

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut:

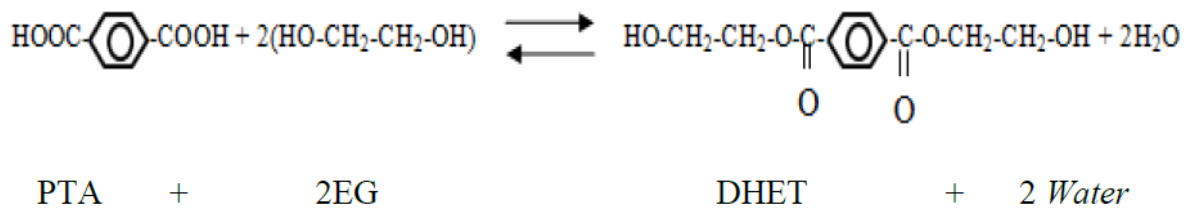
- a) Untuk menghemat biaya penggunaan EG virgin pada proses pembuatan *Polyester*.
- b) Untuk mengurangi beban pengolahan limbah cair.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

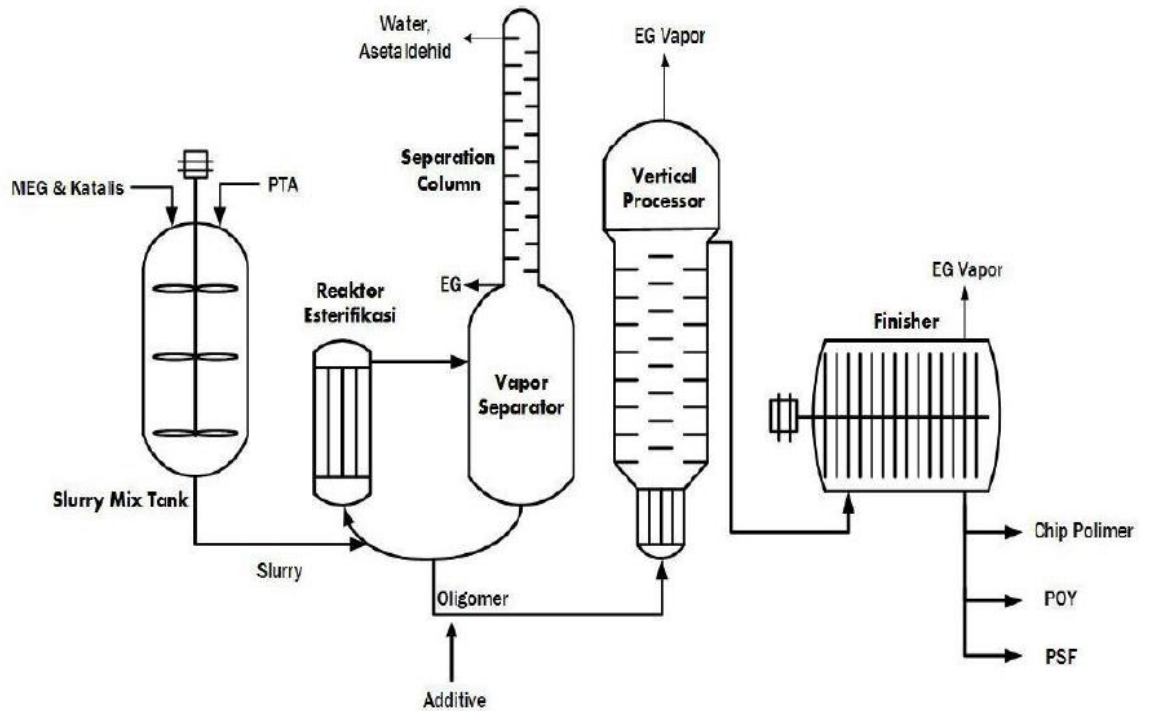
2.1 Proses Produksi *Polyester* di PT. Indorama Polychem Indonesia

Pabrik *polyester* PT. Indorama Polychem Indonesia menggunakan *Purified Terephthalate Acid* (PTA) dan EG sebagai bahan baku utama. Dalam proses produksi *polyester*, tahap pertama adalah pembuatan pasta yang mana PTA dan EG dicampur dalam *slurry mix tank* dengan perbandingan mol 1:2 pada temperatur 85°C. Setelah pasta terbentuk, maka dilanjutkan dengan proses esterifikasi. Reaksi esterifikasi ini dilakukan dalam *heat exchanger* hingga menghasilkan senyawa ester yaitu *Di Hydroxyl Ethylene Terephthalate* (DHET) atau disebut oligomer. Reaksi esterifikasi bersifat endoterm dan terjadi pada temperatur 280°C. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



Hasil samping reaksi ini adalah uap EG, air (H₂O), asetaldehid dan DEG. Keluaran dari *heat exchanger* yang berupa oligomer masuk ke *vapor separator* untuk memisahkan oligomer dan hasil samping. Dalam *heat exchanger* dan *vapor separator* terjadi proses *thermosyphon* yaitu sirkulasi oligomer dari *vapor separator* ke dalam *heat exchanger*. Setelah oligomer terpisah, hasil samping yang berupa uap masuk ke dalam *separation column*. Pada *separation column*, air (H₂O) dan asetaldehid menjadi produk atas sedangkan EG dan DEG menjadi produk bawah. Oligomer hasil esterifikasi kemudian masuk dalam *vertical processor* dan *finisher* untuk proses polimerisasi. Hasil dari proses polimerisasi disebut *melt polymer* yang selanjutnya mengalami proses pendinginan dan pemotongan pada *chipper system* menjadi *chips polymer*.

Secara umum, *flowsheet* sistem proses pembuatan *polyester* disajikan pada Gambar 2.1 sebagai berikut:



Gambar 2.1 *Flowsheet* Sistem Proses Chips Polyester

2.2 Prinsip Distilasi

Distilasi didefinisikan sebagai suatu proses yang mana campuran antara fase cair (*liquid*) dan fase uap (*vapour*) dari dua atau lebih substansi dipisahkan menjadi fraksi-fraksi komponen pembentuknya dengan memanfaatkan perpindahan panas^[11]. Proses distilasi didasarkan bahwa pada fase uap akan diperoleh lebih banyak komponen pembentuk campuran dengan titik didih lebih rendah dari titik didih campuran. Jika fase uap ini didinginkan dan dikondensasi, maka akan diperoleh komponen yang lebih mudah menguap.

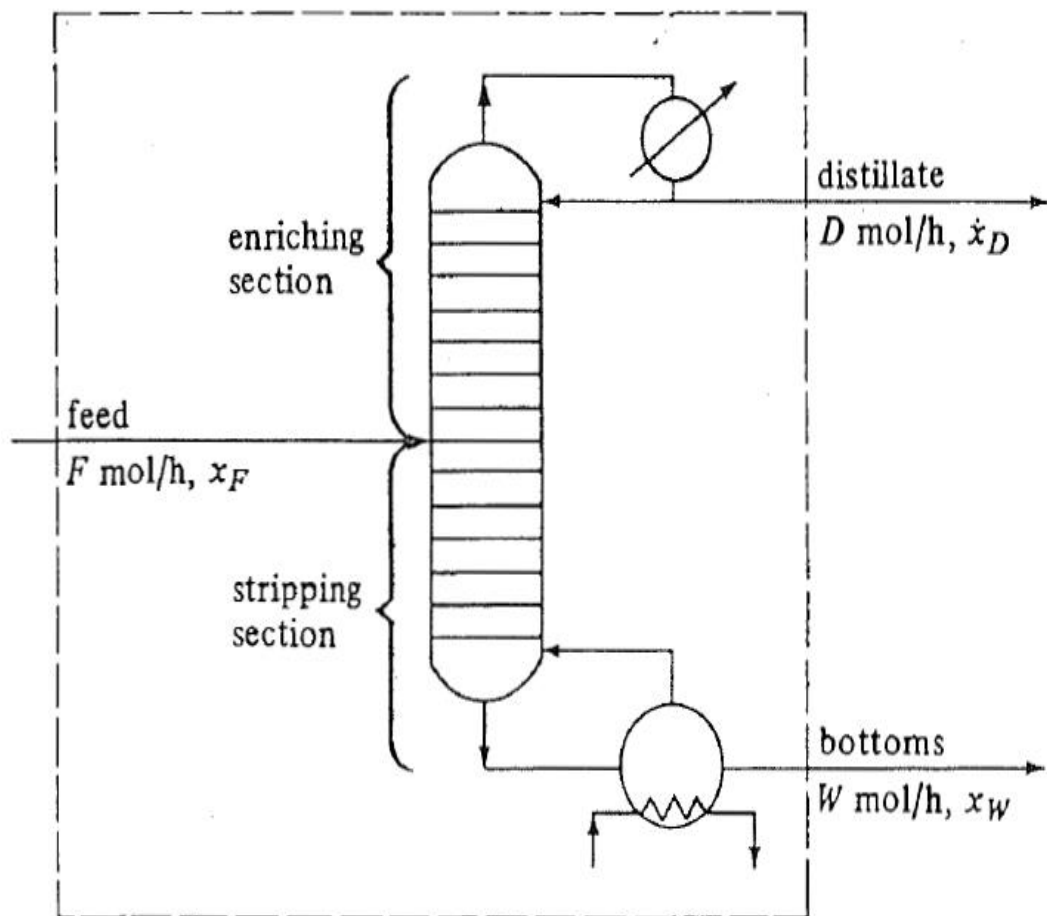
Pemisahan komponen dari campuran cair (*liquid mixture*) bergantung pada perbedaan titik didih dari masing-masing komponen. Selain itu, juga tergantung dari konsentrasi komponen tersebut. Dengan alasan inilah, maka proses distilasi dikatakan tergantung pada karakteristik tekanan uap campuran^[11]. Tekanan uap

cairan pada suatu temperatur tertentu merupakan tekanan setimbang yang digunakan oleh molekul untuk meninggalkan dan memasuki permukaan cairan.

Berikut beberapa hal penting menyangkut tekanan uap:

- a. *Input* energi meningkatkan tekanan uap.
- b. Tekanan uap mempengaruhi titik didih uap.
- c. Cairan dikatakan mendidih jika tekanan uap sama dengan tekanan sekitar.
- d. Kemudahan cairan untuk mendidih tergantung pada volatilitasnya.
- e. Cairan dengan tekanan uap tinggi akan mendidih pada temperatur rendah.
- f. Tekanan uap dan titik didih dari campuran cairan tergantung dari jumlah komponen pada campuran tersebut.
- g. Distilasi terjadi karena perbedaan volatilitas komponen pada campuran *liquid*.

Secara umum, kolom distilasi yang merupakan kolom fraksionasi kontinyu dilengkapi dengan berbagai perlengkapan yang diperlukan dan mempunyai bagian rektifikasi (*enriching*) dan bagian *stripping*. Umpan dimasukkan di sekitar pertengahan kolom dengan laju tertentu. *Tray* tempat masuk umpan dinamakan *feed plate*. Semua *tray* yang terletak di atas *tray* umpan adalah bagian rektifikasi (*enriching section*) dan semua *tray* di bawahnya, termasuk *feed plate* sendiri, adalah bagian *stripping*. Umpan mengalir ke bawah pada *stripping section* ini sampai di dasar kolom di mana permukaan ditetapkan pada ketinggian tertentu. Cairan itu lalu mengalir dengan gaya gravitasi ke dalam *reboiler*. *Reboiler* adalah suatu penguap (*vaporizer*) dengan pemansan uap (*steam*) yang dapat menghasilkan komponen uap (*vapor*) dan mengembalikannya ke dasar kolom. Komponen uap tersebut lalu mengalir ke atas sepanjang kolom.



Gambar 2.2 Kolom Distilasi dengan Aliran Neraca Massa
 (Sumber: Geankoplis-Transport Process and Unit Operation, 1993)

Uap yang mengalir naik melalui bagian rektifikasi dikondensasi seluruhnya oleh kondensor dan kondensatnya dikumpulkan dalam akumulator yang mana permukaan zat cair dijaga pada ketinggian tertentu. Cairan tersebut kemudian dipompa oleh pompa *reflux* dari akumulator ke *tray* teratas. Arus ini menjadi cairan yang mengalir ke bawah di bagian rektifikasi, yang diperlukan untuk berinteraksi dengan uap yang mengalir ke atas. Tanpa *reflux* tidak akan ada rektifikasi yang dapat berlangsung dan kondensasi produk atas tidak akan lebih besar dari konsentrasi uap yang mengalir naik dari *feed plate*. Kondensat yang tidak terbawa pompa *reflux* didinginkan dalam penukar kalor yang disebut *product cooler* dan dikeluarkan sebagai produk atas. Karena tidak terjadi azeotrop, produk atas dan

produk bawah dapat terus dimurnikan sampai tercapai kemurnian yang diinginkan dengan mengatur jumlah *tray* dan *reflux ratio*.

2.2.1 Persamaan Neraca Massa *Overall* pada Kolom Distilasi

Neraca massa *overall* pada kolom distilasi dapat dilihat pada Gambar 2.2. Umpan (F) masuk ke dalam kolom (mol/jam) yang berkonsentrasi x_f , dan menghasilkan distilat (D) yang berkonsentrasi x_d dan produk bawah (W) yang berkonsentrasi x_w .

$$F = D + W \quad (2.1)$$

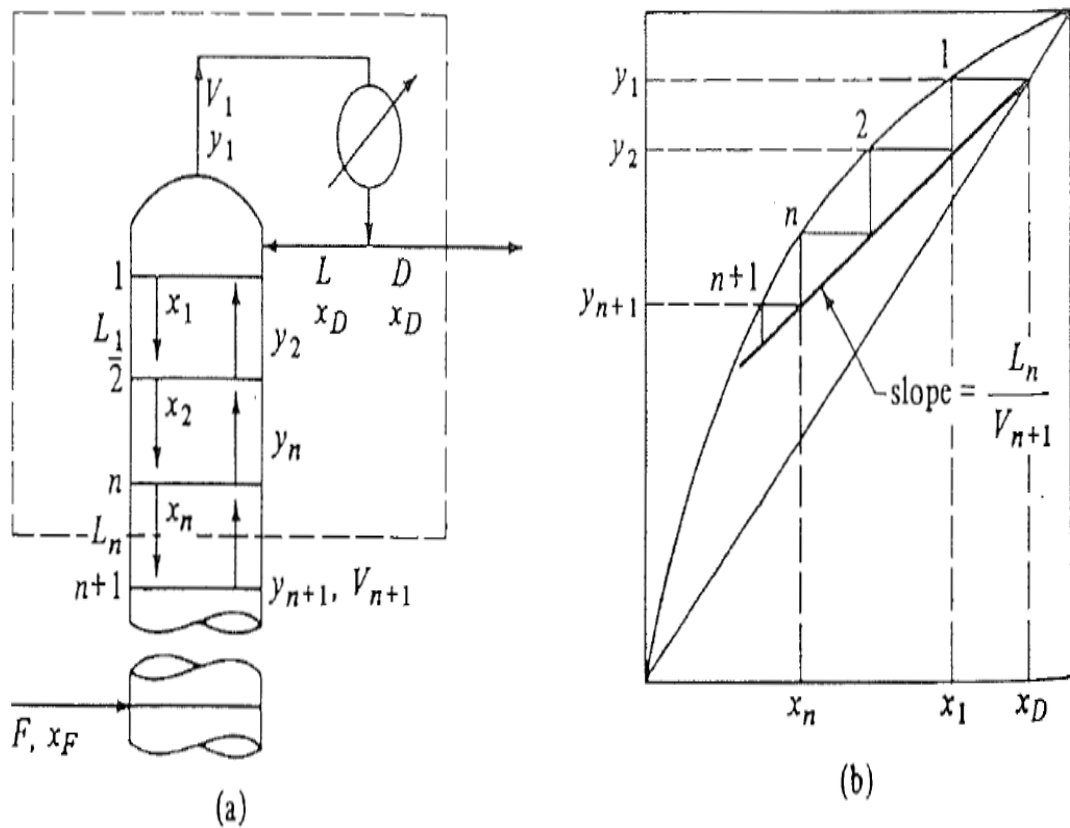
Neraca Komponen:

$$F \cdot x_f = D \cdot x_d + W \cdot x_w \quad (2.2)$$

2.2.2 Persamaan Neraca Massa pada Bagian Rektifikasi

Skema aliran neraca massa pada bagian rektifikasi disajikan pada Gambar 2.3. Uap dari *top tray* mempunyai komposisi y_1 yang kemudian melewati kondensor. Aliran *reflux* L (mol/jam) dan distilat D (mol/jam) mempunyai komposisi yang sama yaitu $y_1 = x_d$. Secara equimolal, $L_1=L_2=L_n$ dan $V_1=V_2=V_n=V_{n+1}$. L_n merupakan cairan atau *liquid* dari tray n dan V_{n+1} merupakan uap atau *vapor* dari tray n+1. Persamaan neraca massa berdasarkan Gambar 2.3 adalah sebagai berikut:

$$V_{n+1} = L_n + D \quad (2.3)$$



Gambar 2.3 Neraca Massa dan Garis Operasi Bagian Rektifikasi: (a) Aliran Dalam Kolom (b) Garis Operasi dan Kestimbangan
(Sumber: Geankoplis-Transport Process and Unit Operation)

Persamaan neraca massa komponen:

$$V_{n+1} \cdot y_{n+1} = L_n \cdot x_n + D \cdot x_D \quad (2.4)$$

Y_{n+1} merupakan faksi mol dari komponen pada V_{n+1} .

Persamaan garis operasi untuk bagian rektifikasi:

$$Y_{n+1} = \frac{L_n}{V_{n+1}} \cdot X_n + \frac{D \cdot x_D}{V_{n+1}} \quad (2.5)$$

Karena $V_{n+1} = L_n + D$, $L_n / (V_{n+1}) = R / (R + 1)$, maka persamaan (2.5) menjadi:

$$Y_{n+1} = \frac{R}{R+1} \cdot X_n + \frac{x_d}{R+1} \quad (2.6)$$

dimana $R = L_n/D = \text{reflux ratio}$.^[4]

Titik potong y dari garis ini adalah $x_d/(R+1)$. Konsentrasi x_d ditentukan kondisi rancangan, dan R merupakan variabel operasi yang dapat dikendalikan dengan mengatur pembagian antara *reflux* dan hasil atas. Semakin besar *reflux ratio* maka pengaruhnya terhadap konsentrasi distilat semakin tinggi^[3].

2.2.3 Volatilitas Relatif

Hubungan komposisi uap dan cairan dalam keadaan setimbang dapat dinyatakan dengan volatilitas relatif yang didefinisikan sebagai berikut:

$$\alpha_{AB} = \frac{y_A/x_A}{y_B/x_B} = \frac{y_A/x_A}{(1-y_A)/(1-x_B)} \quad (2.7)$$

y_A = konsentrasi A dalam uap

x_A = konsentrasi A dalam *liquid*

y_B = konsentrasi B dalam uap

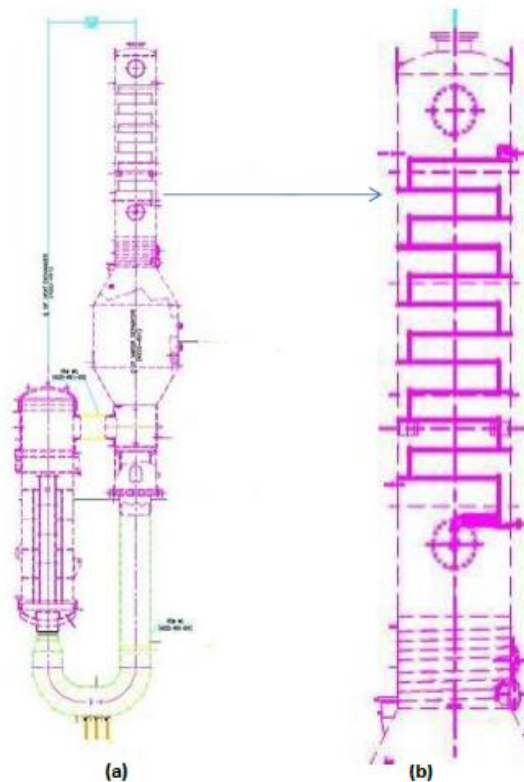
x_B = konsentrasi B dalam *liquid*

α_{AB} = volatilitas relatif A terhadap B

Jika harga $\alpha_{AB} = 1$, maka komponen tersebut tidak dapat dipisahkan secara distilasi^[3].

2.3 Deskripsi *Separation Column*

Separation column merupakan alat proses umumnya berupa silinder tegak yang digunakan pada proses pemisahan seperti pada proses distilasi, absorpsi maupun desorpsi. PT. Indorama Polychem Indonesia memiliki satu unit *separation column* pada proses utama. *Separation column* ini merupakan satu kesatuan dengan unit esterifikasi. Pemisahan pada *separation column* di PT. Indorama Polychem Indonesia dilakukan berdasarkan prinsip distilasi. Gambar skematik *separation column* PT. Indorama Polychem Indonesia disajikan pada Gambar 2.4 sebagai berikut:



Gambar 2.4 Unit Esterifikasi (a) dan Separation Column (b)

Sumber: Poly Maintenance Department PT. Indorama Polychem Indonesia)

2.3.1 Jenis-jenis Separation Column

Separation column / kolom pemisahan yang digunakan pada operasi pemisahan dapat berupa sejumlah *tray* yang disusun pada jarak tertentu sepanjang kolom atau sejumlah *packing* dengan ketinggian tertentu baik tersusun secara acak maupun tertentu.

2.3.1.1 Tray Column

Tray atau *plate column* adalah kolom pemisah berupa silinder tegak yang mana bagian dalam dari kolom berisi sejumlah *tray* atau *plate* yang disusun pada jarak tertentu (*tray/plate spacing*) di sepanjang kolom. Cairan dimasukkan dari puncak kolom dan dalam perjalanannya cairan akan mengalir dari *tray* yang satu ke *tray* yang lain yang ada di bawahnya. Selama proses berlangsung, di setiap *tray* akan terjadi kontak antara fasa cair dengan fasa uap yang dimasukkan dari dasar kolom ^[10].

Kecepatan aliran uap/gas akan berpengaruh terhadap keberhasilan proses pemisahan. Jika kecepatan gas terlalu rendah, maka gelembung-gelembung gas akan mengembang sehingga luas permukaan bidang kontak tiap satuan volume menjadi kecil sehingga menurunkan efisiensi pemisahan. Sebaliknya gas dengan kecepatan tinggi cenderung akan terdispersi lebih sempurna sehingga efisiensi pemisahan meningkat. Namun, aliran gas dengan kecepatan tertentu akan membawa percikan cairan masuk ke dalam *tray* yang ada di atasnya. Peristiwa ini disebut *liquid entrainment*. Jika *entrainment* terjadi berlebihan akan mengakibatkan *flooding* yang menyebabkan efisiensi pemisahan menurun.

Secara umum, terdapat tiga tipe *tray/plate column* yang dapat dipilih untuk proses distilasi yaitu:

a) *Bubble Cap Tray*

Bubble cap tray merupakan *tray* yang menggunakan *bubble cap* untuk mencapai tahap keseimbangan. *Bubble cap* berupa mangkok terbalik yang terletak di atas *riser*, yang mana uap dapat masuk dari bagian bawah *tray* dan terdispersi pada permukaan bawah cairan melalui celah-celah atau *slot*. Antara *plate* atas dan bawah dihubungkan dengan pipa (*downcomer / downflow*) untuk menyalurkan *liquid* dari atas ke bawah yang menyebabkan terjadinya kontak antara *liquid* dan gas^[12]. Keuntungan penggunaan *bubble cap tray* yaitu banyaknya data teknis dan pengalaman tentang *bubble cap tray* juga memungkinkan peralatan beroperasi pada kondisi yang beragam dengan efisiensi relatif tetap.

b) *Sieve Tray*

Sieve tray atau *perforated tray* adalah *tray* yang terbuat dari lapisan logam datar dengan sejumlah lubang. Setiap *tray* dilengkapi dengan satu atau lebih *downcomer* untuk membawa cairan turun dari *tray* yang satu ke *tray* lainnya yang ada di bawahnya. Pada operasi normal, uap mengalir melalui lobang-lobang sehingga menyebabkan turbulensi cairan membentuk *froth* sepanjang *tray*, hingga perpindahan massa uap cairan lebih efisien. Dibandingkan dengan *bubble cap tray*, kelebihan *sieve tray* adalah bahwa lobang-lobang yang terdapat dalam *tray* dapat dipasang *cap-cap* seperti halnya pada konstruksi *bubble cap tray* ^[12].

c) *Valve Tray*

Valve tray serupa dengan *sieve tray*, hanya di setiap lubang dipasang *cap* yang dapat diangkat atau berupa *valve* yang dapat naik turun tergantung variasi kecepatan aliran uap. Gerak vertikal dari *cap* yang diizinkan antara $\frac{1}{4}$ - $\frac{1}{2}$ inchi.

2.3.1.2 *Packed Column*

Sebuah kolom yang dilengkapi *packing* bertujuan memperluas bidang kontak dan membuat turbulensi aliran sehingga kontak lebih sempurna. Syarat *packing* yang baik adalah:

- (a) *Bulk density* kecil (tidak terlalu membebani kolom)
- (b) Luas yang terbasahi besar
- (c) Volume rongga besar (mengurangi *pressure drop*)
- (d) Sifat pembasahan baik
- (e) Tahan korosi
- (f) Memiliki struktur yang kuat untuk menahan beban tumpukan
- (g) Ekonomis

Jenis-jenis *packing* yang sering digunakan antara lain: *rasching ring*, *pall ring* dan *berl saddle*.

2.3.2 *Bagian-bagian Separation Column*

Separation column mempunyai beberapa bagian yang mempunyai fungsi tertentu. Jenis *separation column* di PT. Indorama Polychem Indonesia yaitu *valve tray*. Bagian-bagian *separation column* ini terdiri dari:

a) *Downcomer*

Downcomer merupakan lubang tempat masuknya cairan dari atas berupa liquid (*tray* atas) ke *tray* bawah.

b) *Downflow*

Downflow merupakan tempat keluaran *liquid* dari *tray* atas ke *tray* di bawahnya.

c) *Slot*

Slot merupakan tempat bukaan pada *tray* yang mempunyai macam-macam bentuk yang berfungsi mengatur bukaan gas yang keluar ke atas sehingga terjadi kontak antara gas dan *liquid*.

d) *Baffle*

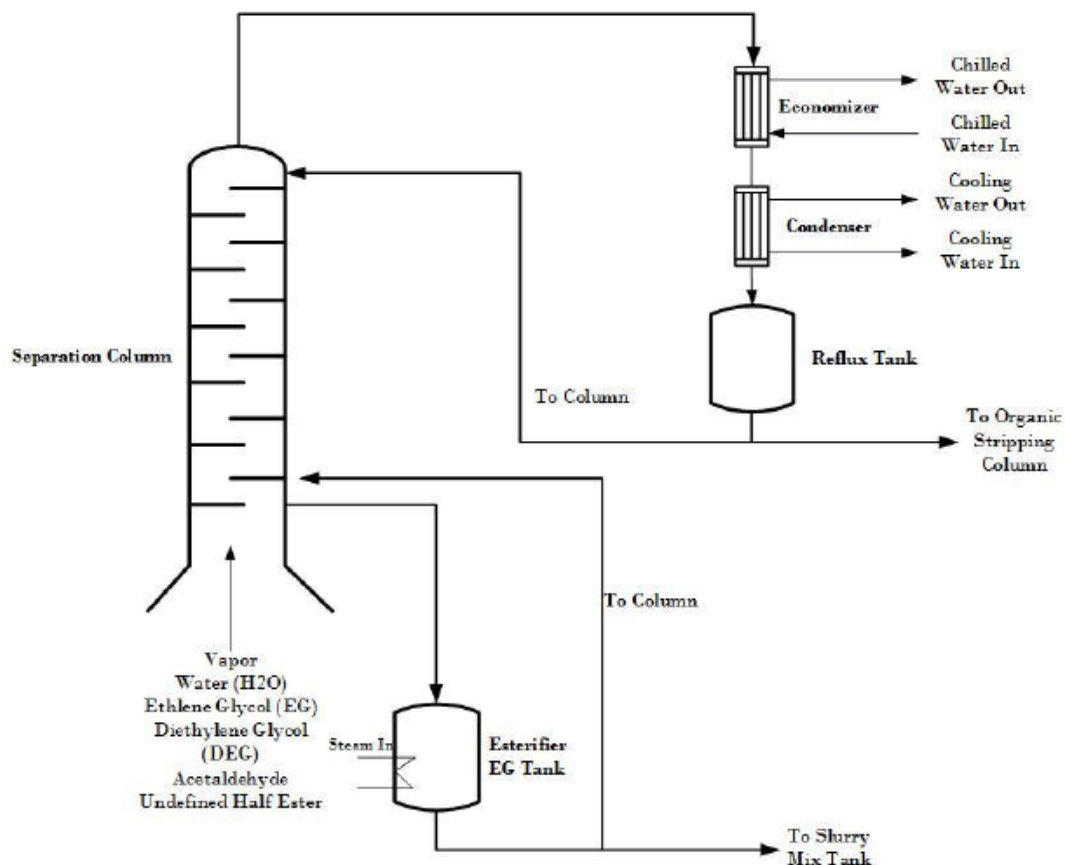
Baffle merupakan penghalang yang berada di tengah-tengah tray untuk membuat aliran lebih lama berada di tray.

e) *Weir*

Weir merupakan penghalang yang dipasang di sisi *downflow* supaya volume *liquid* yang tertampung dalam tray banyak sehingga efektif terjadinya kontak antara *liquid* dan gas.

2.4 Sistem Proses *Separation Column* pada Unit Esterifikasi

Unit *separation column* merupakan salah satu unit yang terlibat pada proses esterifikasi yang berperan pada operasi pemisahan hasil samping reaksi esterifikasi. Proses pemisahan dilakukan berdasarkan prinsip distilasi. Umpan berupa *vapor* yang terdiri dari air (H_2O), *ethylene glycol* (EG), *diethylene glycol* (DEG), asetaldehid dan *undefined half ester* masuk pada bagian bawah kolom dengan temperatur $280^{\circ}C$. Temperatur *bottom* kolom diatur pada temperatur $148^{\circ}C$. Sedangkan temperatur *top* kolom diatur pada temperatur $110^{\circ}C - 114^{\circ}C$. Air dan asetaldehid berubah menjadi fase cair sebagai produk atas dan EG berubah fase menjadi fase cair sebagai produk bawah. Air dan asetaldehid yang telah berubah fase menjadi cair masuk ke *reflux tank*. Setelah ditampung pada *reflux tank*, maka produk atas ini dialirkan ke *organic stripping column* dan sebagian kembali ke *separation column*. Sedangkan EG yang merupakan produk bawah ditampung dalam *esterifier EG tank* yang kemudian dialirkan ke unit lain yaitu *slurry mix tank* dan sebagian kembali ke *separation column*. Aliran proses pada *separation column* disajikan pada Gambar 2.5 sebagai berikut:



Gambar 2.5 Aliran Proses pada Separation Column

2.5 Karakteristik Zat pada Separation Column

2.5.1 Ethylene Glycol (EG)

Ethylene glycol atau *ethane-1,2 diol* mempunyai rumus molekul $C_2H_4(OH)_2$ yang merupakan bahan baku utama dalam pembuatan *polyester*. Karakteristik *ethylene glycol* disajikan pada Tabel 2.1 sebagai berikut:

Tabel 2.1 Karakteristik *Ethylene Glycol*

Fisika dan Kimia	Karakteristik
Rumus Molekul	$C_2H_4(OH)_2$
Nama Kimia	<i>Ethane-1,2 diol</i>
Titik Didih	197°C
Massa Jenis	1,1132 g/cm ³
Titik Lebur	-12,9°C
Titik Nyala	240,8°F
Indeks Bias Pada 25°C	1,43
Viskositas	1,61 x 10 ⁻² pa.s

(Sumber: MSDS PT. Indorama Polychem Indonesia)

2.5.2 Air (H₂O)

Air merupakan hasil samping dari reaksi esterifikasi. Air harus dipisahkan pada *separation column* karena akan mempengaruhi kesetimbangan reaksi. Karakteristik air disajikan pada Tabel 2.2 sebagai berikut:

Tabel 2.2 Karakteristik Air (H₂O)

Sifat Fisika dan Kimia	Karakteristik
Rumus Molekul	H ₂ O
Nama Alternatif	<i>Aqua</i>
Titik Didih	100°C
Massa Jenis	0,998 g/cm ³ (cairan pada 20°C)
Kalor Jenis	4184 J/Kg.K (20°C)

(Sumber: <https://id.wikipedia.org/wiki/Air>)

2.5.3 Asetaldehid

Asetaldehid merupakan produk samping yang dihasilkan pada reaksi esterifikasi. Asetaldehid terbentuk dari *ethylene glycol*. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



(Sumber: *Manual Book Departemen Poly PT. Indorama Polychem Indonesia*)

Karakteristik asetaldehid disajikan pada Tabel 2.3 sebagai berikut:

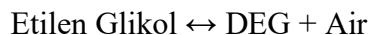
Tabel 2.3 Karakteristik Asetaldehid

Sifat Fisika dan Kimia	Karakteristik
Rumus Molekul	C ₂ H ₄ O
Berat Molekul	44,05 g/mol
Bentuk Fisik	Cairan tak berwarna
Densitas	0,788 g/cm ³
Titik Lebur	-123,5°C
Titik Didih	20°C
Kelarutan dalam air	Larut dalam segala perbandingan

(Sumber: <https://id.wikipedia.org/wiki/Asetaldehid>)

2.5.4 Di Ethylene Glycol (DEG)

Di ethylene glycol merupakan produk samping yang dihasilkan pada reaksi esterifikasi. Asetaldehid terbentuk dari *ethylene glycol*. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



(Sumber: Manual Book Departemen Poly PT. Indorama Polychem Indonesia)

Karakteristik DEG disajikan pada Tabel 2.4 sebagai berikut:

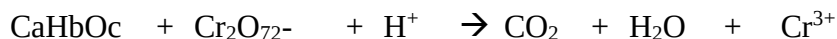
Tabel 2.4 Karakteristik *Di Ethylene Glycol* (DEG)

Sifat Fisika dan Kimia	Karakteristik
Rumus Molekul	(HOCH ₂ CH ₂) ₂ O
Berat Molekul	106,12 g/mol
Bentuk Fisik	tidak berwarna, tidak berbau
Densitas	1,12 g/cm ³
Titik Didih	245,8oC
Kelarutan dalam air	Mudah larut

(Sumber: <https://id.wikipedia.org/wiki/Air>)

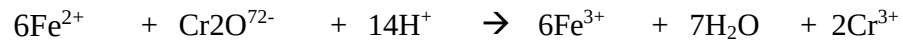
2.6 Chemical Oxygen Demand

Chemical Oxygen Demand (COD) merupakan banyaknya oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi senyawa kimia (biasanya organik) dalam air melalui reaksi kimia. Pengukuran COD didasarkan pada kenyataan bahwa hampir semua bahan organik dapat dioksidasi menjadi CO₂ dan H₂O dengan bantuan oksidator kuat dalam suasana asam (Efendi, 2003). Senyawa pengoksidasi yang umum digunakan adalah kalium bikromat (K₂Cr₂O₇), Oksidasi terhadap senyawa organik dalam air limbah dijelaskan dalam reaksi berikut ini:



Reaksi tersebut berlangsung menggunakan katalis perak sulfat (Ag₂SO₄) serta memerlukan pemanasan ^[14]. Untuk memastikan bahwa hampir semua zat organik habis teroksidasi maka zat pengoksidasi K₂Cr₂O₇ harus tersisa. K₂Cr₂O₇ yang tersisa di dalam larutan tersebut digunakan untuk menentukan jumlah oksigen

yang telah terpakai dengan metode titrasi menggunakan fero ammonium sulfat (FAS), dimana reaksi yang berlangsung adalah sebagai berikut:



Indikator feroin digunakan untuk menentukan titik akhir titrasi yaitu disaat warna hijau-biru larutan berubah menjadi coklat-merah ^[1]. Warna larutan sampel air limbah yang mengandung bahan organik sebelum reaksi oksidasi adalah kuning, sedangkan setelah oksidasi selesai akan berubah warna menjadi hijau.

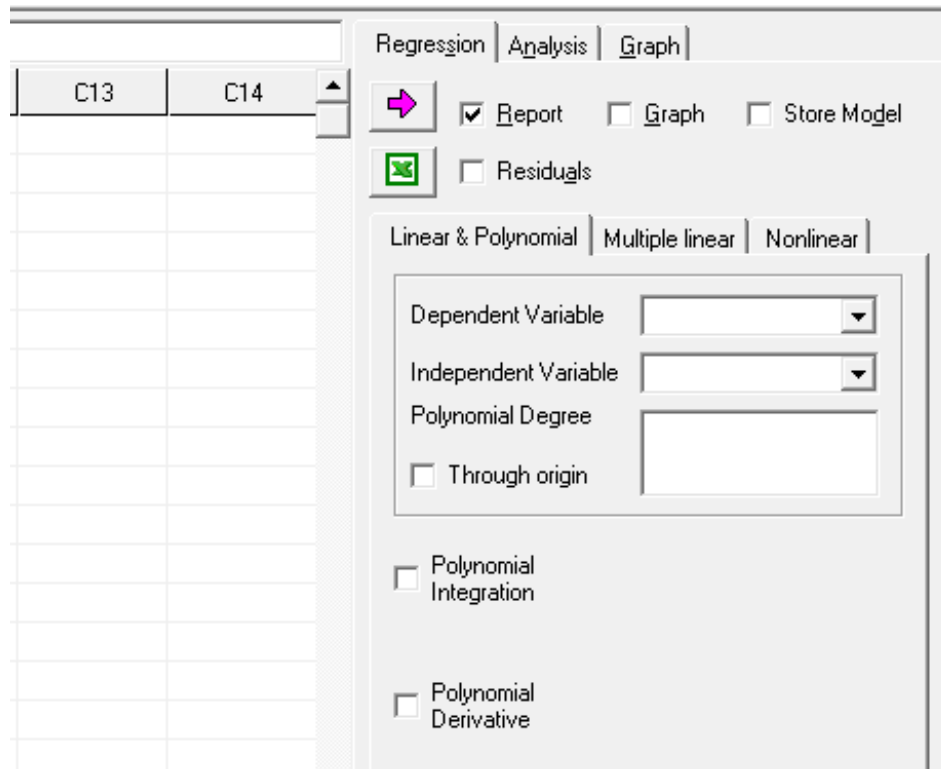
Jumlah oksigen yang diperlukan untuk mengoksidasi bahan organik setara dengan jumlah $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ yang terpakai ^[14]. Sehingga semakin banyak oksigen yang diperlukan, semakin banyak zat organik yang mencemari sampel air limbah.

2.7 Program *Polymath* 6.0

Polymath merupakan aplikasi yang berfungsi sebagai solusi numerikal dari permasalahan matematika di bidang sains dan teknik. Beberapa program *polymath* dapat menyelesaikan data-data sehingga pengguna mampu menganalisis data numerikal dalam penyelesaian suatu masalah secara efektif.

Secara umum terdapat tiga program pada *polymath*, yaitu *linear equalitation solver* (penyelesaian persamaan linear), *nonlinear equalitation solver* (penyelesaian persamaan non linier) dan *differential equalitaition solver* (penyelesaian persamaan diferensial). Persamaan linier dan non linier dapat dilakukan regresi sedangkan untuk persamaan diferensial tidak dapat dilakukan regresi.

Pada aplikasi *polymath* terdapat beberapa pilihan ketika pengguna akan mengeksekusi (*run*) data. Adapun tampilan pilihan tersebut disajikan pada Gambar 2.6 sebagai berikut:



Gambar 2.6 Tampilan Pilihan Pada *Polymath 6.0*

Penjelasan menu pilihan yang tercantum pada gambar diatas adalah sebagai berikut:

a) *Report*

Jika pilihan ini ditandai, sebuah laporan akan menunjukkan model regresi nilai numerik, *confidence* interval dari parameter dan beberapa informasi statistik tambahan lainnya dapat disajikan dan ditampilkan.

b) *Graph*

Jika pilihan ini ditandai, sebuah grafik hasil perhitungan akan muncul.

c) *Store Model*

Pilihan ini berfungsi menyimpan model regresi dan parameter yang dihitung pada kolom kosong yang tersedia berikutnya.

d) *Dependent Variable*

Dependent variable merupakan nama lain dari variabel terikat dengan memilih satu kolom data.

e) *Independent Variable*

Independent variable merupakan nama lain dari variabel bebas.

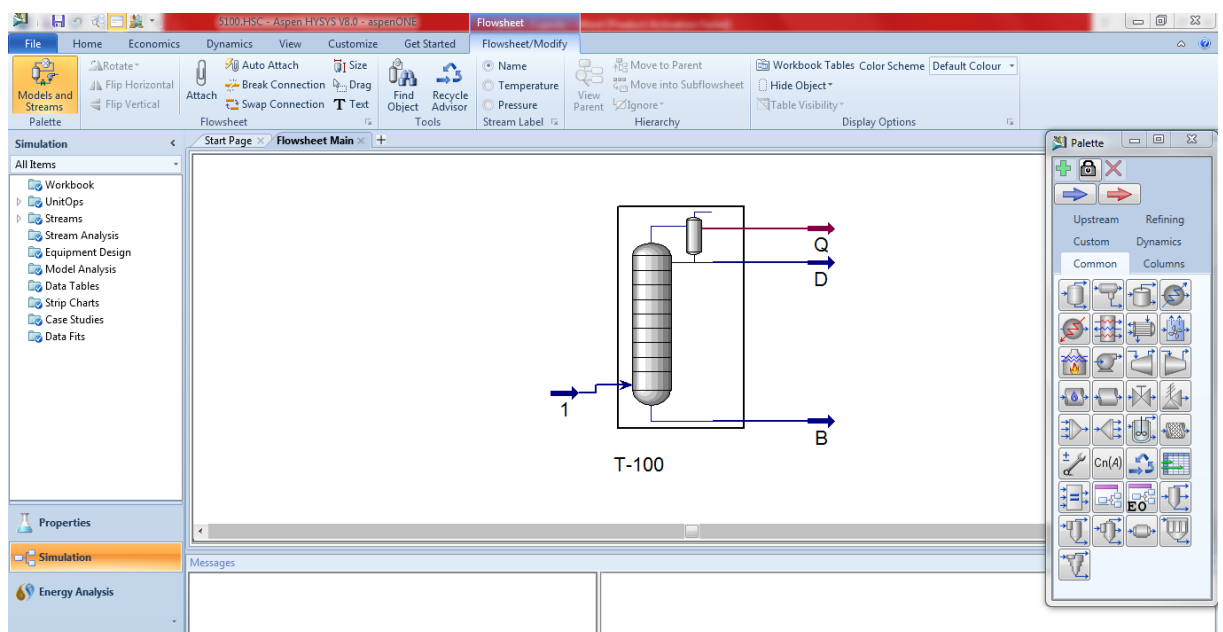
f) *Solve* (→)

Solve berfungsi melakukan regresi dan perhitungan / mengeksekusi data.

Korelasi multi/ganda (R) merupakan parameter untuk mengetahui hubungan antara dua atau lebih variabel bebas terhadap variabel terikat. Nilai R berkisar antara 0 sampai 1. Apabila nilai R mendekati 1, maka hubungan yang terjadi semakin kuat. Sebaliknya apabila nilai R semakin mendekati 0, maka hubungan yang terjadi semakin lemah.

2.8 Program Hysys 8.0

Aspen *Hysys* adalah program yang dirancang untuk mensimulasikan proses di dalam suatu pabrik. *Software* ini dikembangkan oleh AspenTech yang semula merupakan Divisi Pengembangan Teknologi Komersial pada Advanced System for Process Engineering (ASPEN), yaitu sebuah laboratorium sistem proses tingkat lanjut milik Massachusetts Institute of Technology (MIT). Dengan menggunakan program ini, perhitungan-perhitungan untuk mendesain suatu proses yang rumit dan memerlukan waktu yang lama bila dikerjakan secara manual (*by hand*) dapat dengan cepat dilakukan.



Gambar 2.7 Tampilan Apen Hysys 8.0

Hysys merupakan singkatan dari *hyphothetical system* (sistem hipotesa). *Hysys* digunakan untuk melakukan simulasi proses yang berarti membuat suatu

proses produksi suatu bahan ke dalam diagram alir proses (*process flow diagram*) dan menghitung neraca massa dan neraca panas/energi pada masing-masing peralatan yang digunakan. *Hysys* dapat digunakan untuk merancang beberapa peralatan pada pabrik yang baru atau akan didirikan (*sizing*) atau mengevaluasi kinerja suatu peralatan pada pabrik yang sudah ada (*rating*). *Hysys* memiliki kelebihan daripada program-program simulasi proses lainnya. Program ini bersifat interaktif karena langsung memberikan informasi input yang kurang pada saat penggunaanya mendesain suatu proses dan juga langsung memberikan informasi apabila terdapat kesalahan.

Penggunaan *Hysys* untuk keperluan simulasi harus memperhatikan *fluid package* yang merupakan kumpulan berbagai macam metode dan model dengan memperhatikan aspek termodinamika. Pemilihan metode dalam penelitian ini dilakukan berdasarkan data yang diperoleh dari *Aspen Guide*. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah NRTL. Pertimbangan penggunaan metode tersebut disajikan pada Gambar 2.8 sebagai berikut:

Chemicals	
Application	Recommended Property Methods
Azeotropic separations Alcohol separation	WILSON, NRTL, UNIQUAC and their variances [†]
Carboxylic acids Acetic acid plant	WILS-HOC, NRTL-HOC, UNIQ-HOC
Phenol plant	WILSON, NRTL, UNIQUAC and their variances [†]
Liquid phase reactions Esterification	WILSON, NRTL, UNIQUAC and their variances [†]
Ammonia plant	PENG-ROB, RK-SOAVE
Fluorochemicals	WILS-HF
Inorganic Chemicals Caustic Acids Phosphoric acid Sulphuric acid Nitric acid Hydrochloric acid	ELECNRTL
Hydrofluoric acid	ENRTL-HF

Gambar 2.8 Metode Penggunaan pada Hysys 8.0

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di PT. Indorama Polychem Indonesia yang berlokasi di Jl. Kembang Kuning, Desa Ubrug, Kecamatan Jatiluhur, PO BOX 7 Kabupaten Purwakarta, Jawa Barat, pada tanggal 1 Februari – 29 Februari 2016.

3.2 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari tiga, yaitu variabel bebas, variabel berpengaruh dan variabel tetap.

3.2.1 Variabel Bebas

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah laju *esterifier*, tekanan *top column*, temperatur pada *top column*, *tray 1&12*, *esterifier*, *reflux*, *defferensial pressure* dan *manipulated variable* OSC.

3.2.2 Variabel Tak Bebas

Variabel tak bebas dalam penelitian ini adalah laju EG

3.2.3 Variabel Berpengaruh

- 1) Laju *top column*
- 2) Laju *reflux*
- 3) Laju *water*

3.2.4 Variable Tetap

- 1) P *top column* 0,1 kg/cm²g
- 2) P *feed* 0,17 kg/cm²g

3.3 Alat Yang Digunakan

Alat yang digunakan adalah:

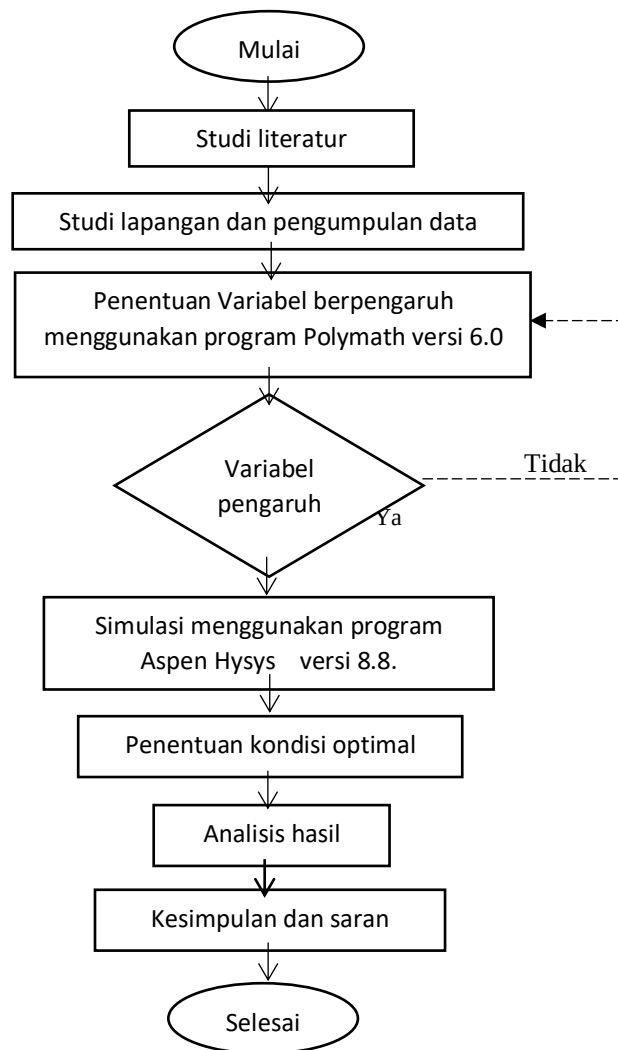
- a) *Software Polymath* 6.0 untuk menentukan variabel berpengaruh.
- b) *Software Aspen Hysys* 8.0 untuk mencari nilai optimasi menggunakan variabel berpengaruh.

3.4 Bahan Yang Digunakan

Untuk menyelesaikan penelitian ini menggunakan bahan berupa data *sheet* dari *Quality Control Chemical* (QCC) serta data aktual dari *Distributed Control System* (DCS) dan data desain dari *manual book separation column* PT. Indorama Polychem Indonesia.

3.5 Metodologi Penelitian

Alur proses penelitian dapat dilihat pada diagram sebagai berikut:



Gambar 3.1 Daiagram Alir Proses Penelitian

Berdasarkan diagram alur proses penelitian, pelaksanaan penelitian dilakukan dalam tiga tahap yaitu tahap persiapan, tahap pengumpulan data dan tahap pengolahan data sebagai berikut:

3.5.1 Tahap Persiapan

Studi literatur dilakukan untuk memperoleh informasi dan referensi yang relevan untuk menunjang proses penyusunan penelitian. Tahap persiapan ini meliputi:

- a. Studi literatur dengan mengumpulkan informasi dan data yang terkait dengan masalah penelitian.
- b. Studi lapangan yang dilakukan di industri tempat studi kasus dilaksanakan yaitu di Departemen Poly PT. Indorama Polychem Indonesia untuk memperoleh gambaran umum tentang unit yang menjadi objek penelitian dan memahami permasalahan yang telah dirumuskan.

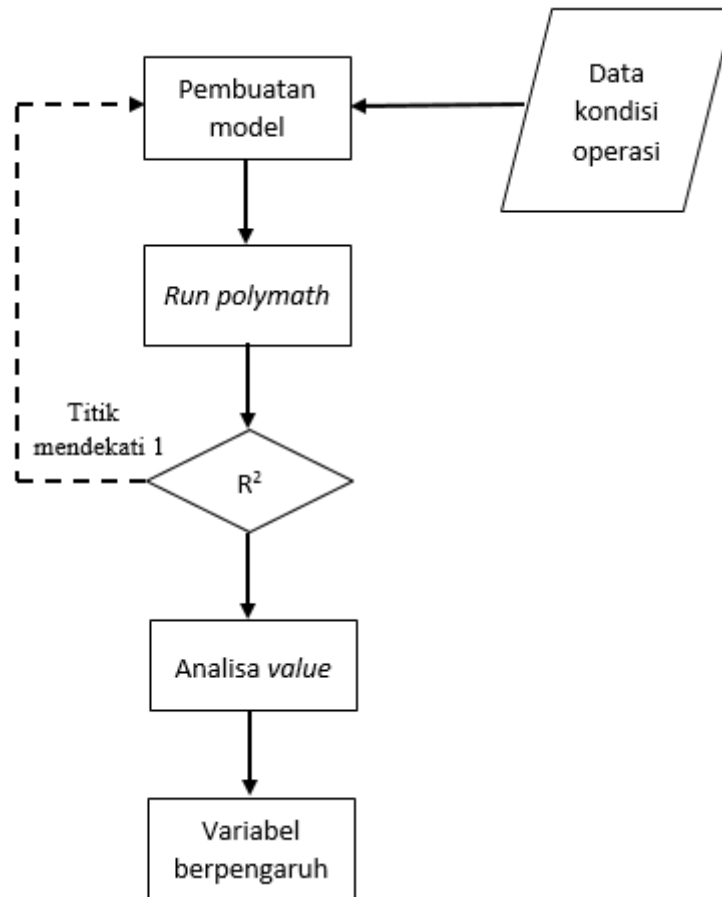
3.5.2 Tahap Pengambilan Data

Pengambilan data ini terdiri dari data desain, data lapangan serta pendukung literatur. Adapun untuk data penelitian di lapangan meliputi:

- a. Pengumpulan data harian kondisi operasi pada unit *separation column* DCS (*Distributed Control System*) Departemen Poly PT. Indorama Polychem Indonesia.
- b. Data evaluasi harian kandungan air di *reflux tank* yang diperoleh dari laporan Departemen QCC berupa kandungan EG pada bulan Januari 2016 – Februari 2016.,

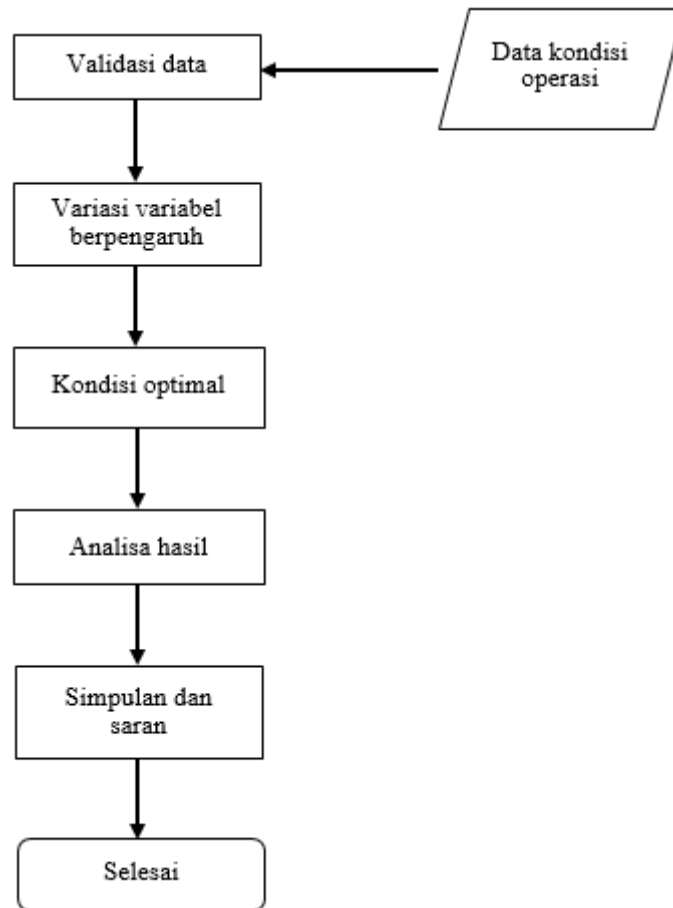
3.5.3 Tahap Pengolahan Data

- a. Menentukan variabel berpengaruh menggunakan program Aplikasi *Polymath* versi 6.0 dari data harian *Distributed Control System* (DCS) dan Departemen QCC.



Gambar 3.2 Diagram Alir Penentuan Variabel Berpengaruh

- b. Melakukan simulasi kondisi optimal menggunakan program Aspen Hysys versi 8.0 dari data desain DCS (*Distributed Control System*) Departemen Poly.



Gambar 3.3 Diagram Alir Penentuan Kondisi Optimal

3.5.4 Tahap Penyusunan Laporan

Laporan penelitian disusun dalam bentuk laporan ilmiah berdasarkan tata cara penulisan laporan ilmiah. Data yang diperoleh diolah berdasarkan literatur yang diperoleh. Data hasil pengolahan dituangkan dalam pembahasan disertai dengan tinjauan pustaka untuk mendukung dan memperkuat pembahasan, yang kemudian dapat ditarik kesimpulan yang merupakan jawaban dari tujuan penelitian industri.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Penentuan Variabel Berpengaruh

Penentuan variabel berpengaruh dalam penelitian ini dilakukan menggunakan program Polymath 6.0 dengan persamaan linier multivariabel. Penentuan tersebut, dilakukan tidak pada semua variabel dari kondisi operasi yang terlibat pada *separation column*, tetapi hanya pada variabel yang diduga berpengaruh.

Hasil pengolahan data dari polymath adalah berupa kurva hasil eksperimen yang merupakan data aktual dilapangan, kurva hasil perhitungan dari simulasi dengan polymath, koefisien determinasi yang menunjukkan seberapa besar hubungan antara variabel terikat dan variabel bebas, dan persamaan matematis dengan *value* dari setiap variabel yang disajikan dalam sebuah tabel.

Untuk menentukan seberapa besar pengaruh dari setiap variabel bebas, perlu dilakukan analisa pada setiap hasil pengolahan data sehingga diperoleh variabel bebas paling berpengaruh. Hal ini ditunjukkan dengan kurva hasil perhitungan berimpit dengan kurva hasil eksperimen, koefisien determinasi terbesar, dan *value* terbesar dari variabel bebas yang disimulasikan.

Proses pemisahan pada *separation column* terjadi menggunakan prinsip distilasi. Distilasi merupakan proses pemisahan campuran berdasarkan perbedaan titik didih atau tekanan uap murni dari komponen penyusun umpan. Distilasi pada *separation column* merupakan distilasi rektifikasi (*enriching*) dimana umpan masuk melalui *bottom column*, sehingga tidak ada *tray* dibawah *tray* aliran masuk umpan.

Umpan pada *separation column* merupakan uap yang yang terpisahkan dari oligomer di *vapor separator*. Uap tersebut terdiri dari EG sisa dan hasil samping dari reaksi esterifikasi yang terdiri dari air, asetaldehid, dan DEG. Uap keluar dari *vapor separator* memiliki temperatur 280°C dan masuk pada *separation column* dari *bottom column* dengan temperatur operasi di *bottom column* yaitu 148°C. Komponen dengan titik didih diatas 148°C yaitu EG dan DEG akan menjadi produk bawah dan ditampung dalam *esterifier EG tank*, sedangkan air dan asetaldehid yang

memiliki titik didih dibawah 148°C akan menjadi produk atas dan ditampung dalam *reflux tank*.

Berdasarkan data analisa Laboratorium *Quality Control Chemical*, kandungan air di *reflux tank* selalu terdapat kandungan EG yang mana seharusnya EG merupakan produk bawah dari unit *separation column* (terlampir di lampiran B.2). Hal tersebut yang diduga oleh industri menyebabkan tingginya konsentrasi COD. Sesuai dengan tujuan awal penelitian, perlu diamati variabel-variabel yang mempengaruhi COD. Dalam penelitian ini didapatkan hasil bahwa kondisi operasi harian *separation column* ternyata tidak berpengaruh langsung terhadap COD, tetapi diduga berpengaruh langsung terhadap EG yang merupakan satu-satunya senyawa yang terukur kandungannya pada air di *reflux tank*. Penentuan hubungan kondisi operasi harian *separation column* dan EG terhadap COD terlampir pada lampiran A.

Berdasarkan lampiran A, dapat ditarik kesimpulan sementara bahwa proses pemisahan pada *separation column* tidak berhubungan langsung terhadap COD. Selain itu, EG juga tidak berhubungan langsung terhadap COD karena EG bukanlah satu-satunya senyawa tunggal yang terdapat di air *reflux tank*. Terdapat senyawa lain seperti asetaldehid, DEG, dan *undefined half* ester yang harus juga dilibatkan, sehingga penelitian ini difokuskan pada pengurangan kandungan EG di air *reflux tank*. Sebelum dilakukan optimalisasi pada proses pemisahan EG di *separation column*, terlebih dahulu perlu diketahui berbagai variabel yang berpengaruh.

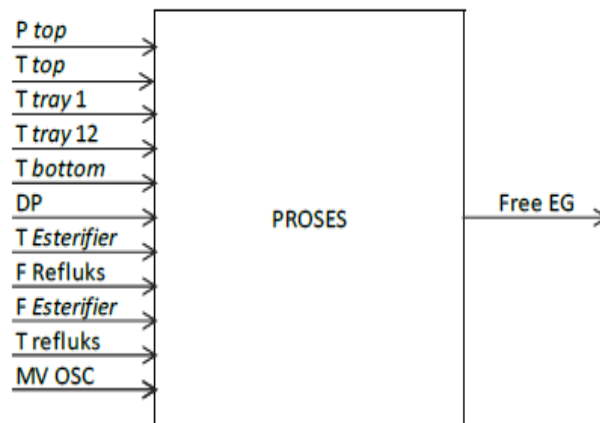
a. Pengolahan Data 1

Pengolahan data 1 melibatkan variabel terikat konsentrasi EG di *reflux tank* terhadap variabel bebas yaitu kondisi operasi harian pada *separation column* yang diduga berpengaruh meliputi tekanan *top column*, temperatur *top column*, temperatur *tray 1*, temperatur *tray 12*, temperatur *bottom column*, *differential pressure*, temperatur *esterifier EG tank*, laju *reflux*, laju *esterifier EG tank*, temperatur *reflux*, dan *manipulated variable* OSC.

Konsentrasi EG memiliki harga dengan rentang dibawah 1, sehingga untuk memperjelas hubungan antara kurva hasil perhitungan dan kurva hasil eksperimen

harga konsentrasi EG dikalikan 10^2 . Jadi, sumbu Y pada kurva hasil simulasi merupakan harga konsentrasi EG yang dikalikan 10^2 .

Model simulasi pada pengolahan data 1 disajikan pada Gambar 4.1 sebagai berikut:



Gambar 4.1 Model Simulasi Pengolahan Data 1

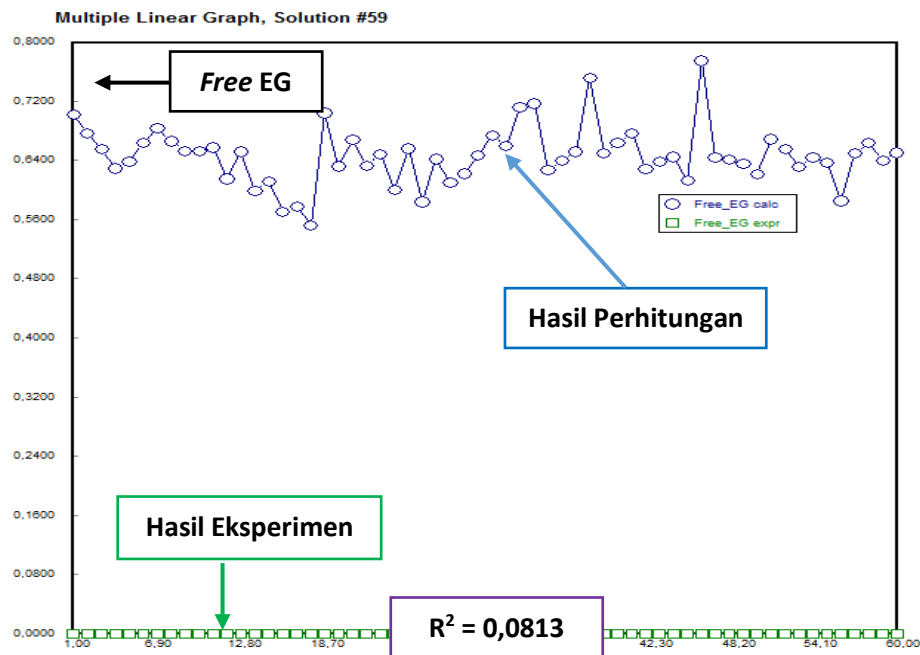
Hasil simulasi pada pengolahan data 1 disajikan pada Gambar 4.2 dan Tabel 4.1 sebagai berikut:

Tabel 4.1 Hasil Simulasi Pengolahan Data 1

<i>Variable</i>	<i>Value</i>
a0	8,803762
a1	-0,2210
a2	-0,0001866
a3	-0,1129
a4	-0,0077817
a5	-1,032
a6	0,0004879
a7	-0,03614
a8	7,8665
a9	0,003077
a10	-1,8185
a11	-0,0006836

Persamaan matematis: $\text{Free_EG} = a_0 + a_1 \cdot P_{\text{Top}} + a_2 \cdot T_{\text{Top}} + a_3 \cdot T_{\text{Tray1}} + a_4 \cdot T_{\text{Tray12}} + a_5 \cdot T_{\text{Bott}} + a_6 \cdot DP +$

$$a7*T_Esterifier + a8*F_Reflux + a9*T_Reflux + a10*F_Esterifier + a11*MV_OSC \quad (4.1)$$



Gambar 4.2 Hasil Simulasi Pengolahan Data 1

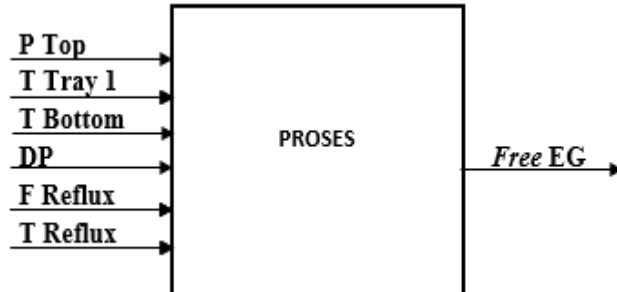
Berdasarkan hasil yang diperoleh pada pengolahan data 1, kurva hasil eksperimen dan kurva hasil perhitungan pada Gambar 4.1 tidak berimpit serta jaraknya cukup jauh. Koefisien determinasi yang diperoleh masih kecil yaitu 0,0813 yang mana berarti hubungan antara variabel terikat dan variabel bebas masih lemah. Oleh karena itu, model simulasi dengan variabel bebas pada pengolahan data 1 belum dapat dipercaya.

Berdasarkan tabel 4.1 *value* dari variabel a2, a4, a6, a7, a9 dan a11 memiliki *value* paling kecil, sehingga diduga variabel tersebut tidak berpengaruh secara langsung terhadap konsentrasi EG di *reflux tank*.

b. Pengolahan Data 2

Pengolahan data 2 melibatkan variabel bebas berdasarkan *value* yang diperoleh pada simulasi pengolahan data 1. Variabel tersebut terdiri dari tekanan *top column*, temperatur *top column*, temperatur *tray 12*, *differential pressure*, temperatur *esterifier EG tank*, temperatur *reflux*, dan *manipulated variable OSC*.

Model simulasi pada pengolahan data 2 disajikan pada Gambar 4.3 sebagai berikut:



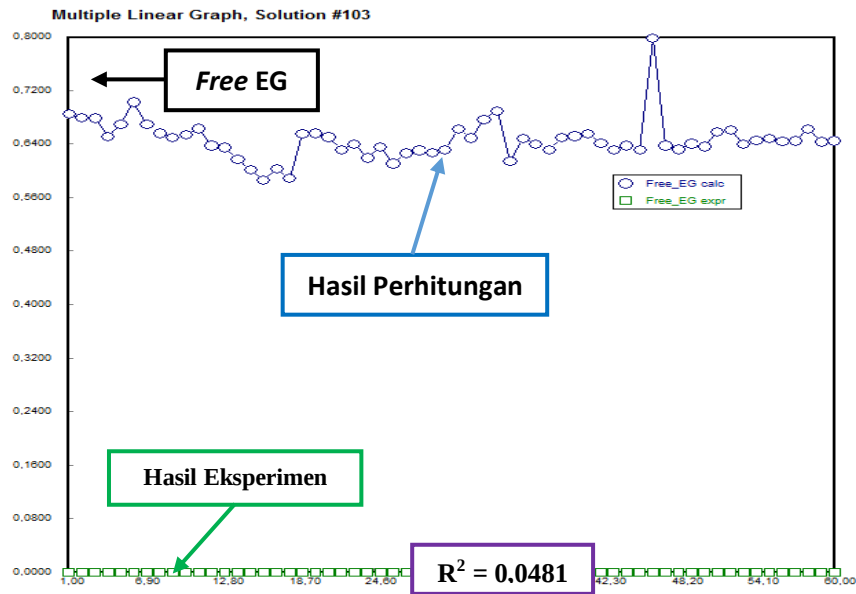
Gambar 4.3 Model Simulasi Pengolahan Data 2

Hasil simulasi pada pengolahan data 2 disajikan pada Tabel 4.2 dan Gambar 4.4 sebagai berikut:

Tabel 4.2 Hasil Simulasi Pengolahan Data 2

<i>Variable</i>	<i>Value</i>
a0	1,318271
a1	-0,2850026
a2	-0,0066098
a3	2,16E-06
a4	0,0004908
a5	-2,882E-05
a6	0,0008361

Persamaan matematis:
$$\text{Free_EG} = a_0 + a_1 \cdot P_{\text{Top}} + a_2 \cdot T_{\text{Tray1}} + a_3 \cdot T_{\text{Bott}} + a_4 \cdot DP + a_5 \cdot F_{\text{Reflux}} + a_6 \cdot T_{\text{Reflux}} \quad (4.2)$$



Gambar 4.4 Hasil Simulasi Pengolahan Data 2

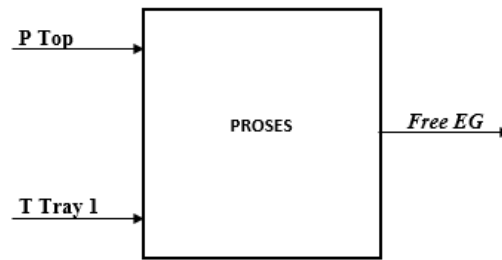
Berdasarkan hasil yang diperoleh pada pengolahan data 2, kurva hasil eksperimen dan kurva hasil perhitungan masih sangat jauh. Selain itu, koefisien determinasi yang diperoleh lebih kecil daripada pengolahan data 1 yaitu 0,0481. Hal tersebut menunjukkan hubungan antara variabel terikat dan variabel bebas lebih lemah. Dengan demikian variabel bebas pada model simulasi pengolahan data 2 masih belum dapat dipercaya.

Berdasarkan Tabel 4.2 variabel a3, a4, a5 dan a6 yang merupakan temperatur bawah *column*, *differensial pressure*, laju *reflux* dan temperatur *reflux tank* memiliki *value* paling kecil, sehingga keempat variabel bebas tersebut memiliki pengaruh yang kecil terhadap variabel terikat.

c. Pengolahan Data 3

Pengolahan data 3 melibatkan variabel terikat konsentrasi EG dan variabel bebas adalah tekanan *top column*, dan temperatur *tray* 1.

Simulasi pada pengolahan data 3 dimodelkan pada Gambar 4.5 sebagai berikut:



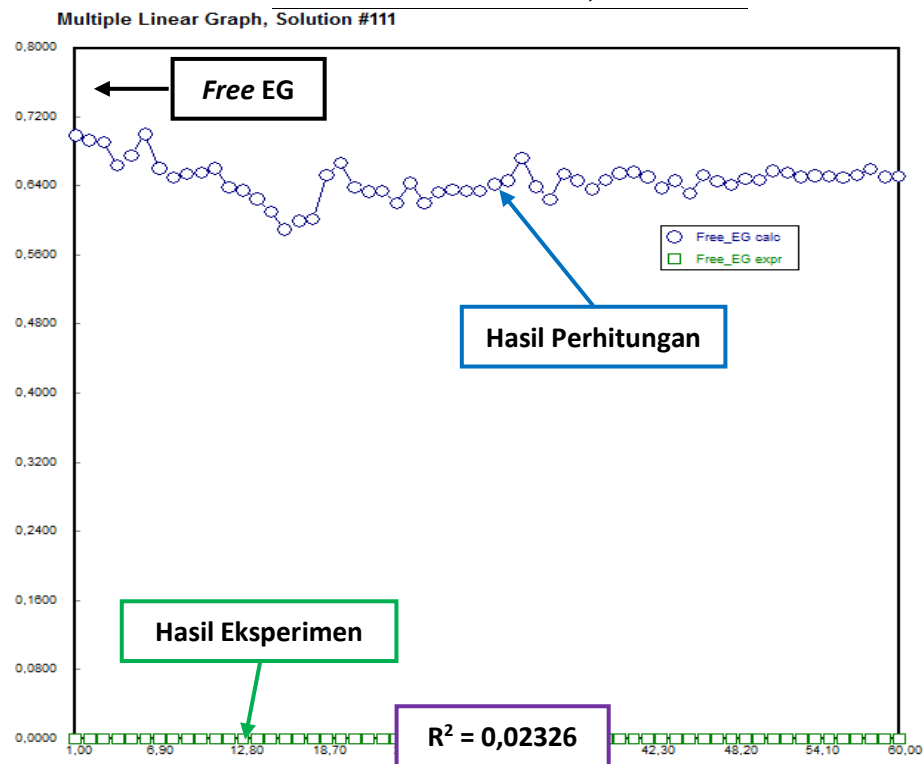
Gambar 4.5 Model Simulasi Pengolahan Data 3

Hasil simulasi pada pengolahan data 3 disajikan pada Gambar 4.6 dan Tabel 4.3 sebagai berikut:

$$\text{Persamaan matematis: } \text{Free EG} = a_0 + a_1 \cdot P_{\text{top}} + a_2 \cdot T_{\text{tray1}} \quad (4.3)$$

Tabel 4.3 Hasil Simulasi Pengolahan Data 3

<i>Variable</i>	<i>Value</i>
a0	1,364946
a1	-0,2696583
a2	-0,0044135

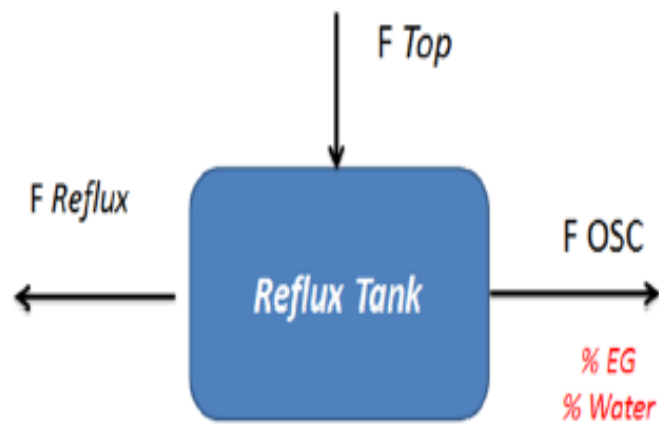


Gambar 4.6 Hasil Simulasi Pengolahan Data 3

Berdasarkan hasil yang diperoleh pada pengolahan data 3, pada Gambar 4.6 kurva hasil eksperimen dan kurva hasil perhitungan memiliki jarak lebih jauh daripada pengolahan data 1 dan 2. Koefisien determinasi yang diperoleh juga lebih kecil. Oleh karena itu, variabel bebas pada model simulasi pengolahan data 3 belum dapat dipercaya.

Berdasarkan pengolahan data 1,2 dan 3 dapat ditarik kesimpulan sementara bahwa variabel bebas yang memiliki hubungan terkuat atau paling pengaruh terhadap variabel terikat yaitu konsentrasi EG adalah model pada pengolahan data 1, jika dilihat berdasarkan hubungan antara kurva hasil eksperimen dengan kurva hasil perhitungan, dan besarnya koefisien determinasi. Akan tetapi koefisien determinasi yang diperoleh pada pengolahan data 1 masih jauh dari 1 yaitu 0,02326 yang menunjukkan hubungannya masih sangat lemah sehingga variabel bebas belum dapat dipercaya.

Faktor penyebab dari lemahnya hubungan antara variabel bebas yaitu kondisi operasi *separation column* dan variabel terikat yaitu konsentrasi EG dalam satuan persen massa yang mana hubungan tersebut diyakini bukanlah hubungan langsung. Jadi, agar hubungan antara EG dengan kondisi operasi dari *separation column* merupakan hubungan langsung perlu dilakukan perhitungan laju massa EG sesungguhnya. Perhitungan laju massa EG dari persen massa EG dilakukan dengan terlebih dahulu mengkonversi *manipulated variable* dari control valve OSC menjadi laju alir massa berdasarkan data desain *control valve* yang digunakan. Dengan menggunakan persamaan neraca massa di *reflux tank* yaitu persamaan (4.4), (4.5) dan (4.6) selain diperoleh laju EG juga diperoleh variabel bebas baru yang diduga berpengaruh yaitu laju alir uap aliran *top column*, dan laju air dialiran OSC. Neraca massa di reflux tank ditunjukkan pada Gambar 4.7 sebagai berikut:



Gambar 4.7 Neraca Massa di *Reflux Tank*

$$F_{OSC} + F_{Reflux} = F_{Top} \quad (4.4)$$

$$F_{EG} = \%Free\ EG \times F_{OSC} \quad (4.5)$$

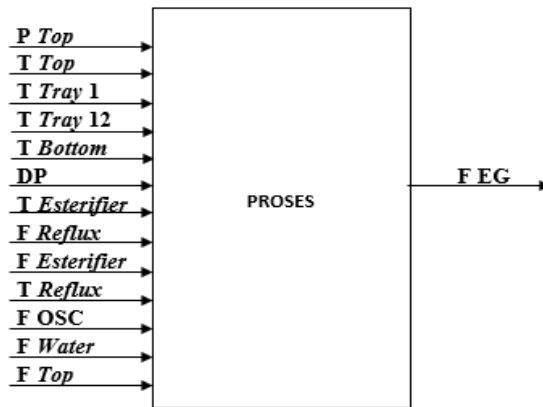
$$F_{Water} = F_{OSC} - F_{EG} \quad (4.6)$$

Hasil perhitungan neraca massa aliran di *reflux tank* dapat dilihat pada Lampiran B.4.

d. Pengolahan Data 4

Pengolahan data 4 melibatkan variabel bebas seperti pada pengolahan data 1 yaitu tekanan *top column*, temperatur *top column*, temperatur *tray 1*, temperatur *tray 12*, temperatur *bottom column*, *differential pressure*, temperatur *esterifier EG tank*, laju *reflux*, laju *esterifier EG tank*, temperatur *reflux*, dan variabel yang diperoleh pada perhitungan neraca massa di *reflux tank* yaitu laju aliran *top column*, laju *water*, dengan laju EG sebagai variabel terikat.

Simulasi pada pengolahan data 4 dimodelkan pada Gambar 4.8 sebagai berikut:



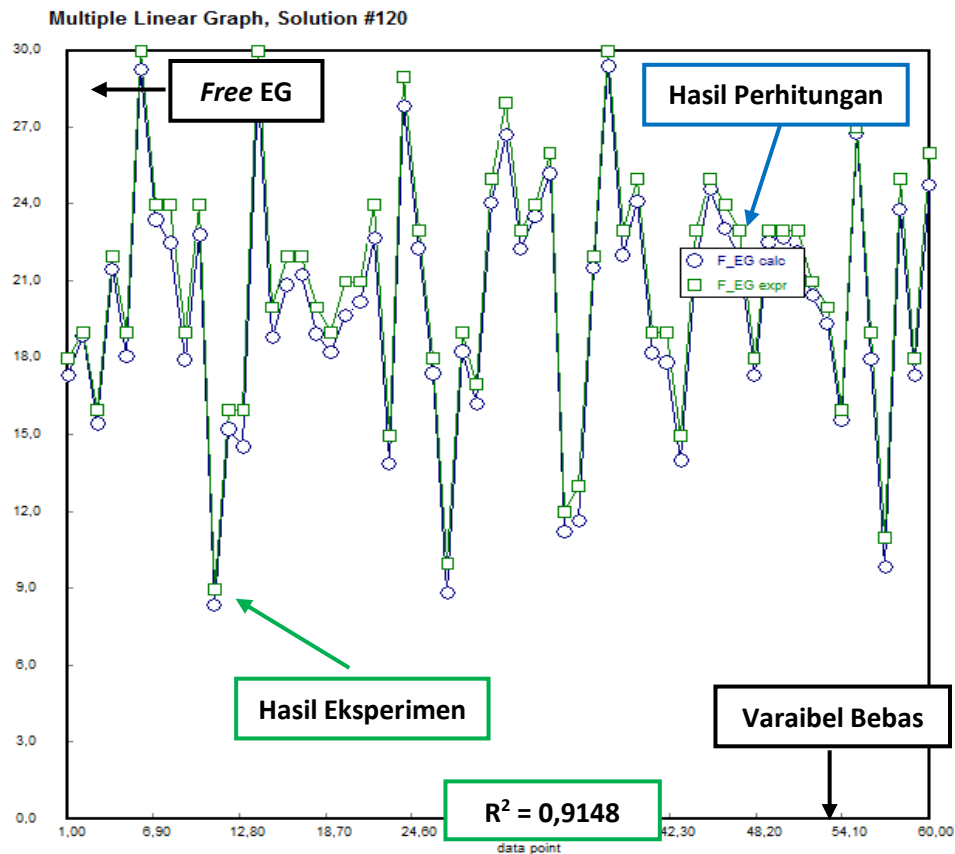
Gambar 4.8 Model Simulasi Pengolahan Data 4

Hasil simulasi pada pengolahan data 4 disajikan pada Gambar 4.9 dan Tabel 4.4 sebagai berikut:

Persamaan matematis: $F_EG = a_0 + a_1 \cdot P_Top + a_2 \cdot T_Top + a_3 \cdot T_Tray1 + a_4 \cdot T_Tray12 + a_5 \cdot T_Bott + a_6 \cdot DP + a_7 \cdot T_Esterifier + a_8 \cdot F_Reflux + a_9 \cdot T_Reflux + a_{10} \cdot F_Esterifier + a_{11} \cdot F_OSC + a_{12} \cdot F_Top + a_{13} \cdot F_Water$ (4.4)

Tabel 4.4 Hasil Simulasi Pengolahan Data 4

<i>Variable</i>	<i>Value</i>
a0	3,558E-10
a1	-8,075E-11
a2	9,152E-15
a3	-5,175E-14
a4	1,523E-12
a5	-3,223E-15
a6	7,472E-15
a7	-2,626E-13
a8	0,0036706
a9	1,395E-12
a10	-8,215E-15
a11	1,004029
a12	-0,0045167
a13	-1



Gambar 4.9 Hasil Simulasi Pengolahan Data 4

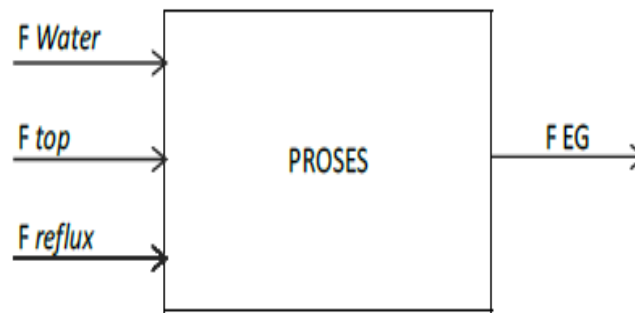
Berdasarkan Gambar 4.9, kurva hasil eksperimen dan kurva hasil perhitungan saling berdekatan atau saling berimpit. Koefisien determinasi yang diperoleh juga cukup bagus sudah mendekati 1 yaitu 0,9148. Dengan demikian variabel bebas pada model simulasi pengolahan data 4 dapat dipercaya.

Berdasarkan Tabel 4.4 variabel a8, a12, dan a13 yaitu laju *reflux*, laju *top column* dan laju air memiliki *value* paling besar daripada variabel lainnya. Hal ini menunjukkan variabel tersebut memiliki hubungan paling kuat terhadap variabel terikat, sehingga ketiga variabel tersebut dijadikan sebagai variabel bebas pada model simulasi pengolahan data 5.

e. Pengolahan Data 5

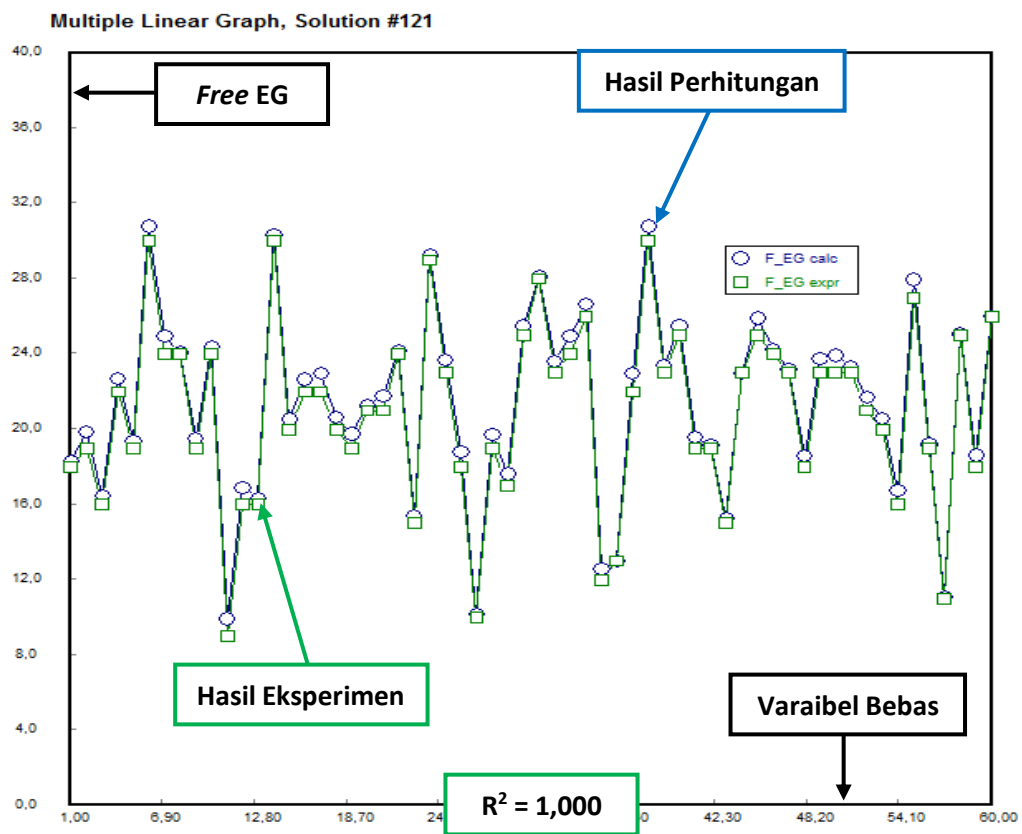
Pengolahan data 5 melibatkan variabel bebas yaitu laju *reflux*, laju laju *top column*, dan laju *water* serta laju EG sebagai variabel terikat.

Simulasi pada pengolahan data 5 dimodelkan pada Gambar 4.10 sebagai berikut:



Gambar 4.10 Model Simulasi Pengolahan Data 5

Hasil simulasi pada pengolahan data 8 disajikan pada Gambar 4.13 dan Tabel 4.5 sebagai berikut:



Gambar 4.11 Hasil Simulasi Pengolahan Data 5

$$\text{Persamaan matematis: Free_EG} = a_0 + a_1 \cdot \text{F_Reflux} + a_2 \cdot \text{F_Top} + a_3 \cdot \text{F_Water} \quad (4.5)$$

Tabel 4.5 Hasil Simulasi Pengolahan Data 5

<i>Variable</i>	<i>Value</i>
a0	8,363E-09
a1	-1
a2	1
a3	-1

Berdasarkan hasil yang diperoleh pada pengolahan data 5, pada Gambar 4.11 kurva hasil eksperimen sama dengan kurva hasil perhitungan. Selain itu, koefisien determinasi yang diperoleh adalah 1 yang mana menunjukkan bahwa hubungan antara variabel bebas dan variabel terikat sangat kuat. Dengan demikian variabel bebas pada model simulasi pengolahan data 5 sangat dapat dipercaya. Jadi variabel yang paling berpengaruh terhadap konsentrasi EG di *reflux tank* adalah laju *top column*, laju *reflux*, dan laju *water*.

Berdasarkan Tabel 4.5 *value* dari ketiga variabel adalah 1 yang mana laju *top column* memiliki *value* 1 yang berarti berbanding lurus dengan laju EG sedangkan laju *water* dan laju *reflux* memiliki *value* -1 yang berarti berbanding terbalik dengan laju EG. Dari ketiga variabel berpengaruh tersebut, variabel yang bisa dikendalikan secara operasional di lapangan adalah laju *reflux*.

Laju *reflux* dapat dikendalikan dengan cara mengatur bukaan *control valve* pada aliran *reflux* di ruang DCS. Laju *water* tidak dapat dikendalikan secara operasional di lapangan karena laju *water* merupakan laju massa komponen di aliran OSC sehingga satu kesatuan dengan laju EG dan hubungannya adalah berbanding terbalik. Laju *top column* tidak dapat dikendalikan secara operasional di lapangan karena laju *top column* merupakan uap yang dihasilkan pada proses pemisahan umpan di *bottom column*, sedangkan umpan berupa uap yang masuk ke *separation column* bergantung pada pemisahan uap di *vapor separator* dan unit yang menghasilkan uap tersebut yaitu *heat exchanger* (reaktor esterifikasi).

Hasil simulasi dengan polymath disajikan pada Tabel 4.6 sebagai berikut:

Tabel 4.6 Hasil Simulasi dengan Polymath

No	Simulasi	Variabel Bebas	Koefisien Determinasi (R^2)	Keterangan
1	Pengolahan data 1	• Laju <i>esterifier</i> • Tekanan <i>top column</i> • Temperatur <i>top column</i> • Temperatur <i>tray 1</i> • Temperatur <i>tray 12</i> • Temperatur <i>bottom column</i> • <i>Differential Pressure</i> • Temperatur <i>esterifier</i> • Laju <i>reflux</i> • <i>Manipulated variable valve OSC</i> • Temperatur <i>reflux</i>	0,0813	Belum dapat dipercaya.
2	Pengolahan data 2	• Tekanan <i>top column</i> • Temperatur <i>tray 1</i> • Temperatur <i>bottom column</i> • <i>Differensial pressure</i> • Laju <i>reflux</i> • Temperatur <i>reflux</i>	0,0481	Belum dapat dipercaya.
3	Pengolahan data 3	• Tekanan <i>top column</i> • Temperatur <i>tray 1</i>	0,0236	Belum dapat dipercaya.
4	Pengolahan data 4	• Laju OSC • Laju <i>water</i> • Laju <i>top column</i> • Tekanan <i>top column</i> • Temperatur <i>tray 1</i> • Temperatur <i>tray 12</i> • Temperatur <i>bottom column</i> • <i>Differential Pressure</i> • Temperatur <i>esterifier</i> • Laju <i>reflux</i> • Laju <i>esterifier</i> • Temperatur <i>reflux</i>	0,9148	Bisa dipercaya
5	Pengolahan data 5	• Laju <i>reflux</i> • Laju <i>water</i> • Laju <i>top column</i>	1,000	Sangat dapat dipercaya.

4.2 Validasi Variabel Berpengaruh

Validasi adalah metode untuk mengetahui kebenaran suatu data dengan membandingkan dengan data aktual lapangan. Variabel-variabel berpengaruh yang diperoleh dari simulasi dengan polymath divalidasi menggunakan persamaan matematis yang dihasilkan.

Data aktual yang akan dijadikan sebagai variabel untuk validasi adalah laju EG sebagai variabel terikat, dan laju *water*, laju *top column*, dan laju *reflux* sebagai variabel bebas. Validasi dilakukan menggunakan persamaan matematis yang dihasilkan dari pengolahan data 5 yaitu:

$$F_{EG} = 8,363E-09 - F_{water} + F_{top} - F_{reflux} \quad (4.9)$$

Proses validasi variabel-variabel berpengaruh dengan cara menghitung laju EG dengan memasukkan data aktual dari variabel bebas. Data aktual yang digunakan yaitu pada tanggal 1 – 7 Januari 2016. Hasil dari validasi disajikan pada Tabel 4.7 sebagai berikut:

Tabel 4.7 Hasil Validasi Data Aktual

Tanggal	F EG aktual (kg/h)	F EG simulasi (kg/h)
01-Jan-16	18,291	18,291
02-Jan-16	19,88	19,88
03-Jan-16	16,472	16,472
04-Jan-16	22,703	22,703
05-Jan-16	19,392	19,392
06-Jan-16	30,8	30,8
07-Jan-16	24,96	24,96

Berdasarkan tabel diatas, laju massa EG hasil simulasi mendekati laju massa aktual, sehingga variabel laju *reflux*, laju *top column*, laju *water* valid untuk dilakukan simulasi.

4.3 Simulasi Penentuan Kondisi Optimal Pemisahan EG Menggunakan Variabel Berpengaruh

Berdasarkan pengolahan data menggunakan polymath, variabel yang paling berpengaruh terhadap konsentrasi EG di *reflux tank* adalah *F reflux*, *F water* dan *F top column*. Variabel *F reflux* dapat diatur secara langsung di pabrik. *F water* dan *F top column* tidak dapat diatur secara langsung karena *F water* merupakan laju massa komponen dialiran OSC sehingga merupakan satu kesatuan dengan laju EG, sedangkan *F top column* merupakan uap yang dihasilkan dari proses pemisahan umpan dibagian *bottom column*, semua komponen seperti EG, air, Asetaldehid, DEG dan *undifined half ester* dipisahkan di *separation column* berdasarkan titik didih dan prinsip distilasi. Air, *asetaldehid*, DEG dan *undifined half ester* menjadi fase gas karena titik didih yang lebih rendah dibandingkan EG, sedangkan EG berubah menjadi fase cair yang kemudian dialirkan ke *Esterifier EG Tank*. Namun pada nyatanya kandungan EG masih cukup banyak yang keluar ke bagian *top column* bersama air, *asetaldehid*, DEG dan *undifined half ester*, semua komponen yang keluar dari *top column* berupa fase gas dialirkan menuju tangki refluks yang sebelumnya melewati *economiser* untuk merubah fase gas menjadi cair dan *water condenser* untuk menurunkan temperaturnya dari 111°C menjadi 50°C, kemudian dari tangki refluks komponen tersebut dipompakan kembali ke *separation column* untuk memisahkan kandungan EG agar dapat dipisahkan dari komponen lain kedalam tangki penampungan EG, sedangkan komponen lainnya dari tangki refluks dialirkan menuju *waste water treatment*. Berdasarkan hasil simulasi menggunakan program Hysys 8.0, untuk meminimalisir kandungan EG yang masuk kedalam tangki refluks dengan cara mengatur laju refluks menjadi sebesar 5.200 kg/h pada tekanan 0,1 kg/cm²g.

4.3.1 Validasi Data Simulasi

Simulasi untuk menentukan kondisi optimal pemisahan EG menggunakan program Aspen Hysys versi 8.0. Data simulasi yang digunakan pada penelitian ini adalah data desain. Hasil validasi menggunakan data desain disajikan pada Tabel 4.8 sebagai berikut:

Tabel 4.8 Tabel Validasi Data Desain

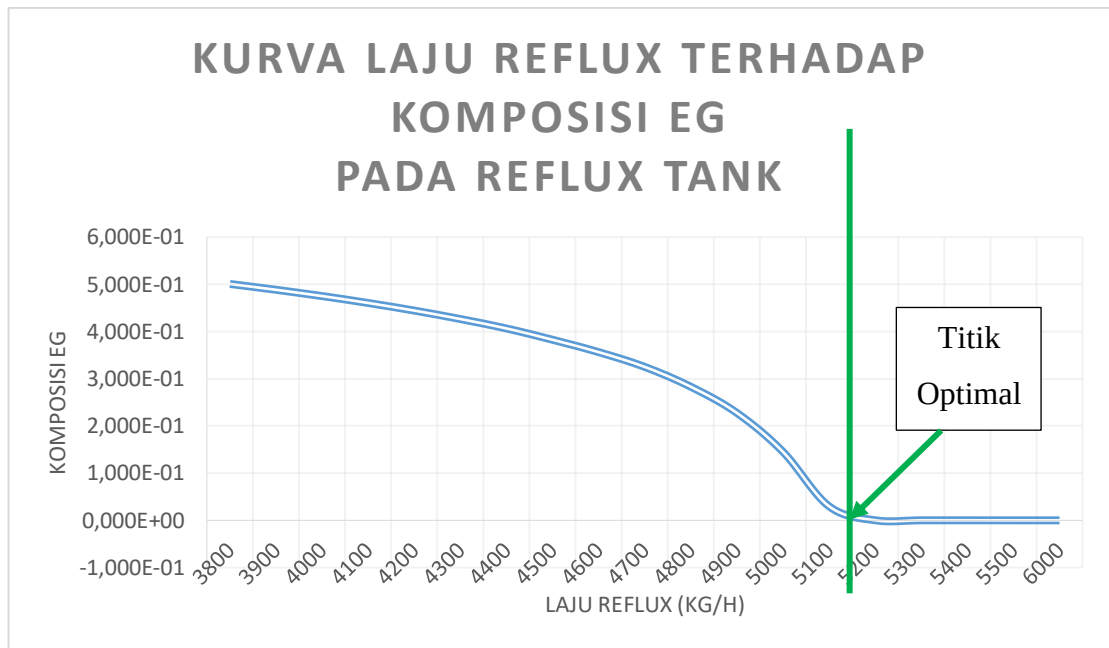
Kondisi Operasi						
P top	0,1 kg/cm ² g					
P feed	0,17 kg/cm ² g					
F feed	14.607 kg/h					
	Komposisi					
	Umpan (% berat)		Distilat (% berat)		Bottom (%berat)	
	Desain	Simulasi	Desain	Simulasi	Desain	Simulasi
EG	61,85	61,85	0,11	0,01	91,4	89,75
Air*)	36,91	36,91	97,32	97,4	8	9,62
Asetaldehid	0,83	0,83	2,57	2,59	0	0,03
DEG	0,41	0,41	0	0	0,6	0,6

*) Terdapat kandungan *undefined half ester* dalam air

Tabel 4.8 menunjukkan perbandingan data komposisi desain dengan data komposisi hasil simulasi. Hasil simulasi untuk semua komponen mendekati data desain kecuali komposisi EG distilat. Data desain menunjukkan komposisi EG distilat adalah 0,11% sedangkan komposisi EG hasil simulasi adalah 0,01%. Hal ini disebabkan terdapat satu komponen desain yang tidak diketahui sifat fisik dan kimianya sehingga tidak dimasukkan dalam simulasi yaitu *undefined half ester* (lihat lampiran B.3).

4.3.2 Pengaruh Laju *Reflux* terhadap Komposisi EG pada *Reflux Tank*

Laju *reflux* merupakan variabel yang paling berpengaruh dalam pemisahan EG. Laju *reflux* dapat diatur secara operasional untuk memperoleh komposisi minimal EG pada *reflux tank*. Pengaruh laju *reflux* terhadap komposisi EG pada *reflux tank* disajikan pada Gambar 4.13 sebagai berikut:



Gambar 4.12 Kurva Pengaruh Laju *Reflux* terhadap Komposisi EG

Berdasarkan Gambar 4.12 semakin tinggi laju *reflux* maka semakin rendah komposisi EG pada *reflux tank* sampai pada kondisi optimal pemisahan. Hal ini disebabkan karena dengan tingginya laju *reflux* maka semakin banyak EG di *reflux tank* yang dilakukan proses pemisahan kembali pada *separation column* sehingga EG yang terbawa ke *reflux tank* dapat diminimalisasi sekecil mungkin. Kondisi optimal berdasarkan simulasi program *Hysys* 8.0 adalah pada laju refluks sebesar 5.200 kg/h dan tekanan 0,1 kg/cm²g dengan hasil komposisi yang optimal yaitu *ethylene glycol* 0,01376%.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan:

1. Variabel-variabel yang berpengaruh pada proses pemisahan *ethylene glycol* di *separation column* berdasarkan pengolahan data dengan program *Polymath* versi 6.0 adalah laju *water*, laju *top column*, dan laju *reflux*. Variabel yang dapat diatur secara operasional di lapangan adalah laju *reflux*.
2. Kondisi optimal berdasarkan simulasi program *Hysys* 8.0 adalah pada laju refluks sebesar 5.200 kg/h dan tekanan 0,1 kg/cm² dengan hasil komposisi *ethylene glycol* yang optimal yaitu 0,01376%.

5.2 Saran

Dari simulasi program *Aspen Hysys* 8.0 menunjukkan bahwa pengaturan laju *reflux* sebesar 5.200 kg/jam dapat menurunkan kandungan EG pada *reflux tank* sampai dengan 0,01376%, sehubungan dengan itu apabila perusahaan ingin menurunkan kandungan EG pada *reflux tank* secara optimal disarankan untuk mengatur laju *reflux*.

DAFTAR PUSTAKA

1. Alaerts. 1987. Metode Penelitian Air. Surabaya : Usaha Nasional.
2. AspenTech. *Penggunaan Metode pada Aspen. Aspen Guide*
3. Fitriana. 2010. *Pengaruh Kenaikan Reflux Ratio terhadap Kebutuhan Panas Kolom Distilasi dengan Distributed Control System (DCS)*. Semarang: Universitas Diponegoro
4. Geankoplis,C.J. 1993. *Transport Processes and Unit Operations. Third edition*. New Jersey: PTR Pretince Hall, Inc.
5. Karakteristik air. <https://id.wikipedia.org/wiki/air> [diakses 27 Januari 2016]
6. Karakteristik asetaldehid. <https://id.wikipedia.org/wiki/Asetaldehida> [diakses 27 Januari 2016]
7. Karakteristik DEG. https://en.wikipedia.org/wiki/Diethylene_glycol [diakses 27 Januari 2016]
8. Karakteristik *ethylene glycol*. Material Safety Data Sheet. PT. Indorama Polychem Indonesia
9. Mancy, K.H., 1971. *Instrumental Anaysis for Water Pollution Control*, Ann Arbor Science Publishers, Inc., Ann Arbor, Michgan
10. Muhamad, Asep. 2013. <http://asepmusa.blog.undip.ac.id/files/2.-Pemilihan-Tipe-Kolom-Pemisah-Tray-Tower.pdf>. [diakses 30 November 2015]
11. Perry, R.H., and Green, D.W. 1999. “*Perry’s Chemical Engineers Hand Book*”,. Mc. Graw Hill Co., *International Student edition*, Kogakusha, Tokyo.
12. Robert E.Treybal (1980),*Mass-Transfer Operations* ,3th Edition, Mc Graw Hill, Inc. New York.
13. Unit Esterifikasi dan *Separation Column*. *Poly Maintenance Department*. Purwakarta : PT. Indorama Polychem Indonesia.
14. Wardhana, W. A. 1995. Dampak Pencemaran Lingkungan. Yogyakarta: Andi Offset.
- 15.

LAMPIRAN A

PENENTUAN HUBUNGAN COD DAN EG

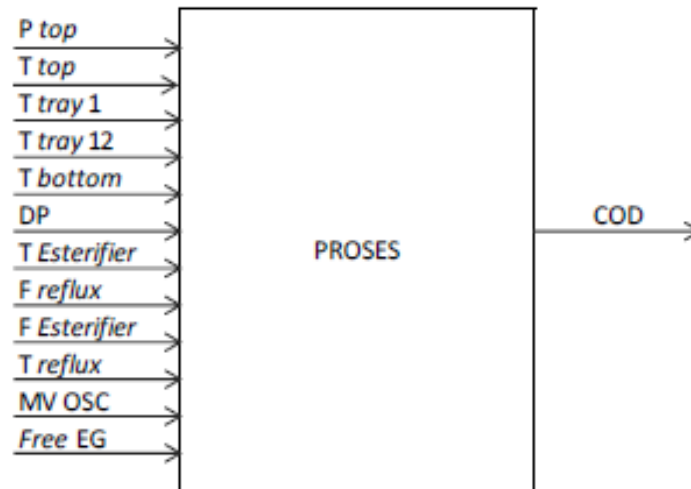
Simulasi Penentuan Hubungan COD dengan EG

Berdasarkan data analisa Laboratorium *Quality Control Chemical*, kandungan air di *reflux tank* selalu mengandung EG. Hal ini menjadi tolak ukur bagi industri yang menyebabkan tingginya konsentrasi COD pada air di *reflux tank*, sehingga perlu diketahui hubungan antara COD dengan EG menggunakan program Polymath 6.0 berdasarkan data kondisi operasi harian pada *separation column* dan data analisa air di *reflux tank* bulan Januari dan Februari 2016.

1. Pengolahan Data 1

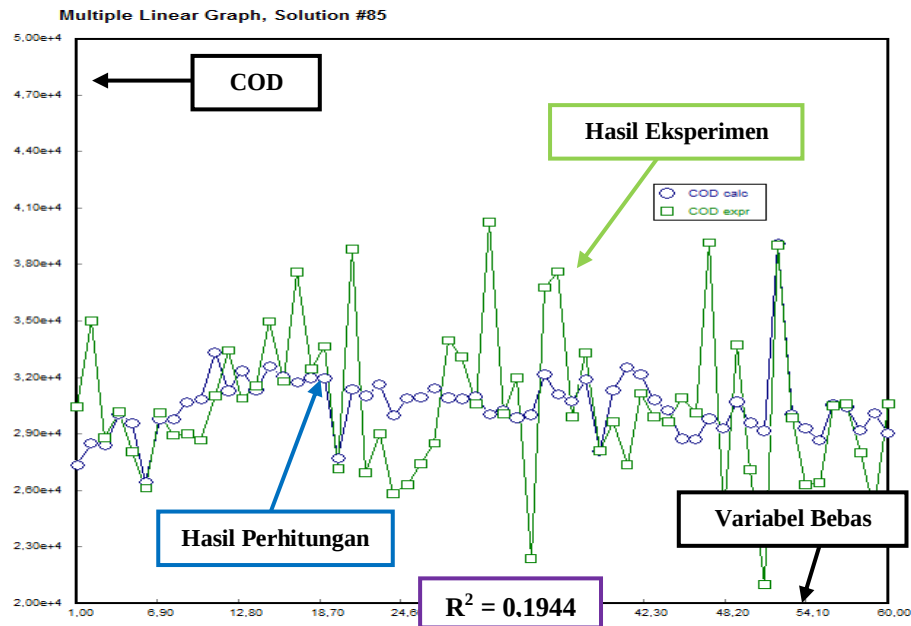
Pengolahan data 1 melibatkan variabel terikat COD terhadap variabel bebas yaitu kondisi operasi pada *separation column* yang dianggap berpengaruh meliputi tekanan *top column*, temperatur *top column*, temperatur *tray 1*, temperatur *tray 12*, temperatur *bottom column*, *differential pressure*, temperatur *esterifier EG tank*, laju *reflux*, laju *esterifier EG tank*, temperatur *reflux*, *manipulated variable* OSC dan konsentrasi EG.

Model simulasi pada pengolahan data 1 disajikan pada Gambar A.1 sebagai berikut:



Gambar A.1 Model Simulasi Pengolahan Data 1

Hasil simulasi pada pengolahan data 1 disajikan pada Gambar A.2 dan Tabel A.1 sebagai berikut:



Gambar A.2 Hasil Simulasi Pengolahan Data 1

Persamaan matematis:
$$\text{COD} = a_0 + a_1 \cdot P_{\text{Top}} + a_2 \cdot T_{\text{Top}} + a_3 \cdot T_{\text{Tray1}} + a_4 \cdot T_{\text{Tray12}} + a_5 \cdot T_{\text{Bott}} + a_6 \cdot DP + a_7 \cdot T_{\text{Esterifier}} + a_8 \cdot F_{\text{Reflux}} + a_9 \cdot T_{\text{Reflux}} + a_{10} \cdot F_{\text{Esterifier}} + a_{11} \cdot F_{\text{OSC}} + a_{12} \cdot \text{Free_EG}$$

(A.1)

Tabel A.1 Hasil Simulasi Pengolahan Data 1

Variable	Value
a0	7,339E+05
a1	-6120,954
a2	2,477771
a3	331,2179
a4	611,3385
a5	-2,419274
a6	0,3507331
a7	-618,837
a8	4,300693
a9	-2424,593
a10	0,3779686
a11	-138,5306
a12	-2901,392

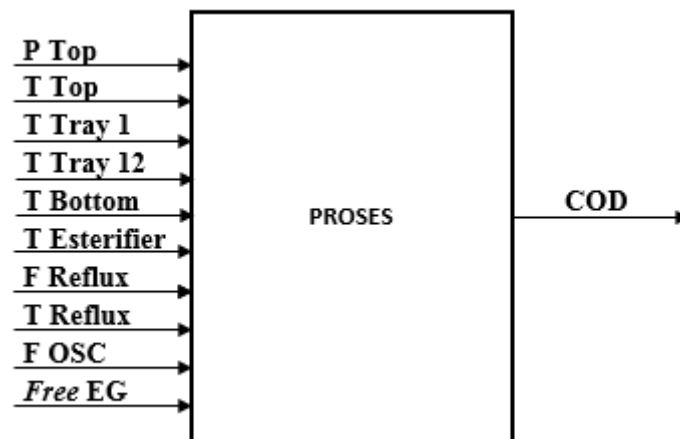
Berdasarkan Gambar A.2, kurva hasil eksperimen dan hasil perhitungan memiliki jarak yang jauh, selain itu koefisien determinasi yang diperoleh juga sangat kecil yaitu 0,1944. Jadi, Variabel bebas pada pengolahan data 1 belum dapat

dipercaya. Berdasarkan Tabel A.1 variabel a_6 yang merupakan *differential pressure* dan a_{10} yang merupakan laju *esterifier EG Tank* memiliki *value* sangat kecil yaitu 0,3507 dan 0,3779, sehingga diduga variabel tersebut pengaruhnya sangat kecil atau tidak secara langsung berpengaruh terhadap variabel terikat yaitu konsentrasi COD.

b) Pengolahan Data 2

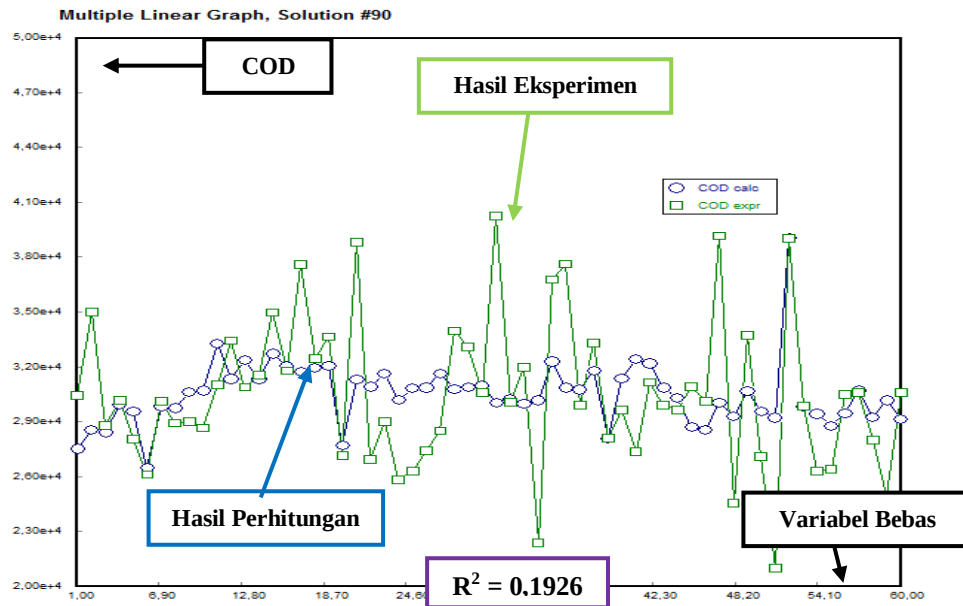
Pengolahan data 2 melibatkan variabel bebas berdasarkan *value* diatas 1 yang diperoleh pada simulasi pengolahan data 1 yaitu tekanan *top column*, temperatur *top column*, temperatur *tray 1*, temperatur *tray 12*, temperatur *bottom column*, temperatur *esterifier EG tank*, laju *reflux*, temperatur *reflux*, *manipulated variable* OSC dan konsentrasi EG.

Model simulasi pada pengolahan data 2 disajikan pada Gambar A.3 sebagai berikut:



Gambar A.3 Model Simulasi Pengolahan Data 2

Hasil simulasi pada pengolahan data 2 disajikan pada Gambar A.4 dan Tabel A.2 sebagai berikut:



Gambar A.4 Hasil Simulasi Pengolahan Data 1

Persamaan matematis:
$$\text{COD} = a_0 + a_1 \cdot P_{\text{Top}} + a_2 \cdot T_{\text{Top}} + a_3 \cdot T_{\text{Tray1}} + a_4 \cdot T_{\text{Tray12}} + a_5 \cdot T_{\text{Bott}} + a_6 \cdot T_{\text{Esterifier}} + a_7 \cdot F_{\text{Reflux}} + a_8 \cdot T_{\text{Reflux}} + a_9 \cdot F_{\text{OSC}} + a_{10} \cdot \text{Free_EG} \quad (\text{A.2})$$

Tabel A.2 Hasil Simulasi Pengolahan Data 2

Variable	Value
a0	1,102E+05
a1	-6031,121
a2	4,188969
a3	318,5862
a4	596,7666
a5	-2,439097
a6	-610,1761
a7	4,119045
a8	-2390,887
a9	-134,1419
a10	-2968,646

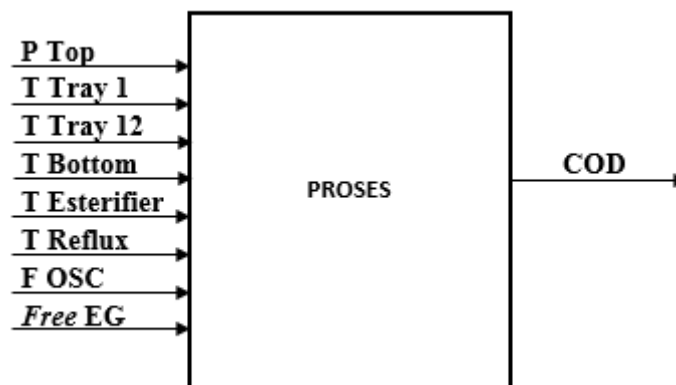
Berdasarkan hasil yang diperoleh pengolahan data 2, pada Gambar A.4 kurva hasil eksperimen dan kurva hasil perhitungan lebih jauh lagi. Selain itu, koefisien determinasi yang diperoleh lebih kecil dari pengolahan data 1 yaitu 0,1926. Jadi, variabel bebas pada pengolahan data 2 masih belum dapat dipercaya.

Berdasarkan Tabel A.2 variabel a2 dan a7 yang merupakan temperatur *top column* dan laju *reflux* memiliki *value* kecil yaitu 4,1889 dan 4,1194, sedangkan *value* dari variabel lainnya berada di rentang diatas 10. Variabel tersebut diduga variabel yang pengaruhnya sangat kecil atau secara langsung tidak berpengaruh terhadap variabel terikat yaitu konsentrasi COD. seperti laju *esterifier EG tank*.

c) Pengolahan Data 3

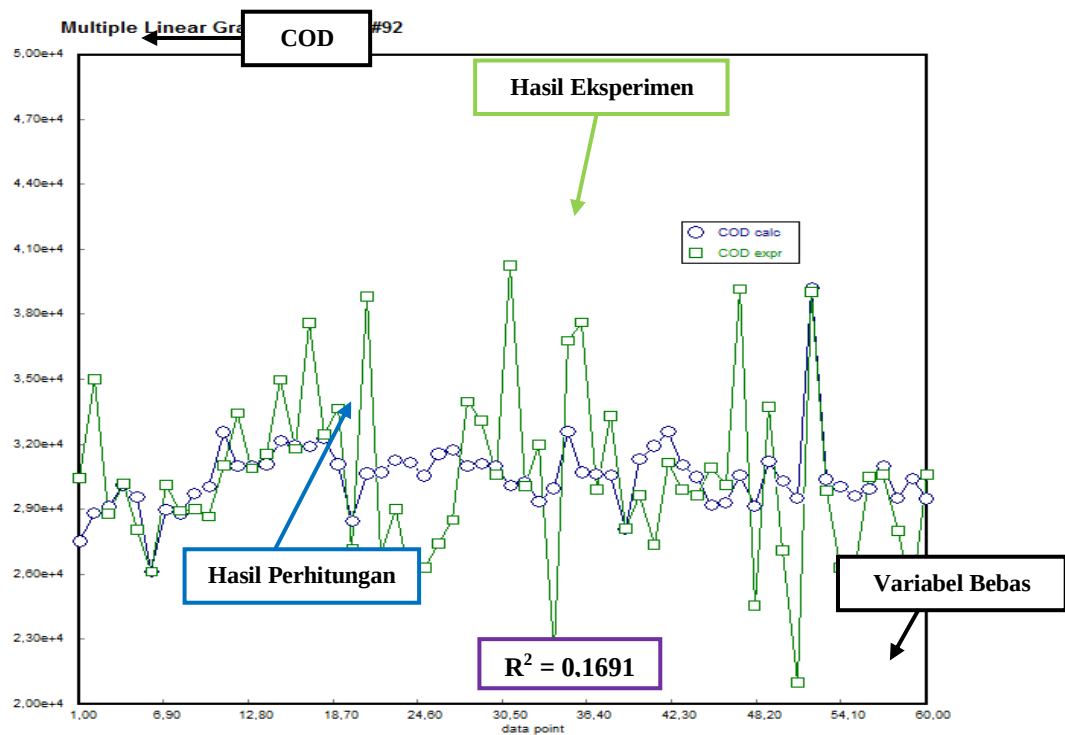
Pengolahan data 3 melibatkan variabel yang dilihat dari *value* dengan rentang nilai diatas 10 yang diperoleh pada simulasi pengolahan data 2 yaitu tekanan *top column*, temperatur *tray 1*, temperature *tray 12*, temperatur *bottom column*, temperatur *esterifier EG tank*, temperatur *reflux*, *manipulated variable* OSC dan konsentrasi EG.

Model simulasi pada pengolahan data 3 disajikan pada Gambar A.5 sebagai berikut:



Gambar A.5 Model Simulasi Pengolahan Data

Hasil Simulasi pada pengolahan data 3 disajikan pada Gambar A.6 dan Tabel A.3 sebagai berikut:



Gambar A.6 Hasil Simulasi Pengolahan Data #

Persamaan matematis:
$$\text{COD} = a_0 + a_1 \cdot P_{\text{Top}} + a_2 \cdot T_{\text{Tray1}} + a_3 \cdot T_{\text{Tray12}} + a_4 \cdot T_{\text{Bott}} + a_5 \cdot T_{\text{Esterifier}} + a_6 \cdot T_{\text{Reflux}} + a_7 \cdot F_{\text{OSC}} + a_8 \cdot \text{Free_EG} \quad (4.3)$$

Tabel A.3 Hasil Simulasi Pengolahan Data 3

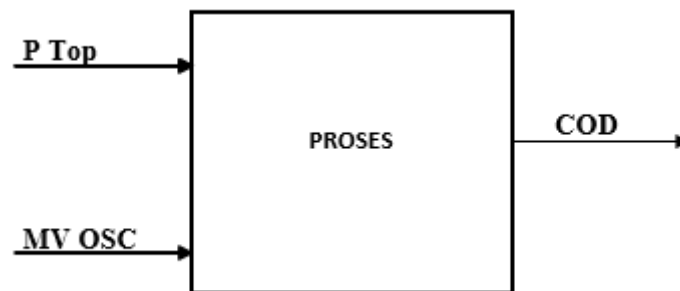
<i>Variable</i>	<i>Value</i>
a0	8995,73
a1	-7173,565
a2	275,4534
a3	916,6423
a4	-2,395877
a5	-121,4481
a6	-106,4638
a7	-2349,064
a8	-75,78118

Berdasarkan hasil yang diperoleh pengolahan data 3, pada Gambar A.6 kurva hasil eksperimen dan kurva hasil perhitungan hampir sama seperti pada pengolahan data 2 dan koefisien determinasi yang diperoleh justru lebih kecil yaitu 0,1751, sehingga variabel yang diduga berpengaruh masih belum dapat

dipercaya. Berdasarkan tabel A.3 variabel a1 dan a7 yang merupakan tekanan *top column* dan *manipulated variable* OSC memiliki *value* paling besar yaitu diatas 1000. Hal tersebut menunjukkan kedua variabel tersebut memiliki pengaruh paling besar terhadap nilai COD.

d) Pengolahan Data 4

Pengolahan data 4 melibatkan variabel bebas dengan *value* terbesar pada pengolahan data 3 yaitu tekanan *top column* dan *manipulated variable* OSC. Model simulasi pada pengolahan data 4 disajikan pada Gambar A.7 sebagai berikut:



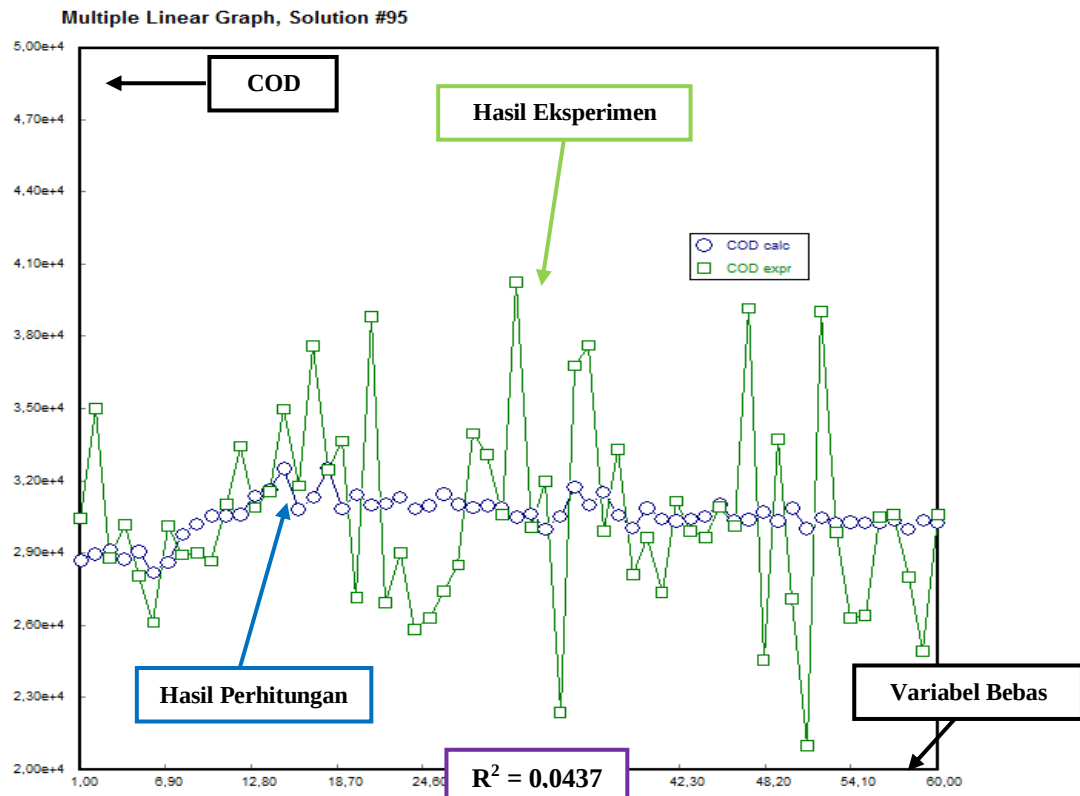
Gambar A.7 Model Simulasi Pengolahan Data 4

Hasil simulasi pada pengolahan data 4 disajikan pada Tabel A.4 dan Gambar A.8 sebagai berikut:

$$\text{Persamaan matematis: } \text{COD} = a_0 + a_1 \cdot \text{P_Top} + a_2 \cdot \text{F_OSC} \quad (\text{A.4})$$

Tabel A.4 Hasil Simulasi Pengolahan Data 4

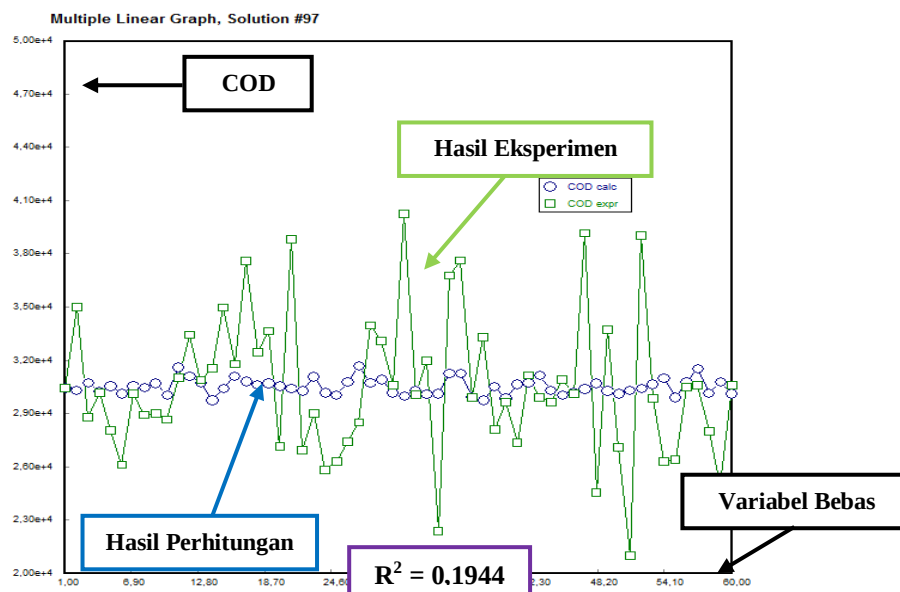
<i>Variable</i>	<i>Value</i>
a0	2,926E+04
a1	1,113E+04
a2	-101,1536



Gambar A.8 Model Simulasi Pengolahan Data 4

Berdasarkan hasil yang diperoleh pada pengolahan data 4, dapat disimpulkan variabel yang diduga berpengaruh masih belum dapat dipercaya karena pada Gambar A.8 kurva hasil eksperimen dan hasil perhitungan yang diperoleh memiliki jarak sangat jauh dan koefisien determinasi yang diperoleh justru lebih kecil lagi yaitu 0,0437. Berdasarkan hal tersebut, dapat ditarik kesimpulan sementara bahwa kondisi operasi pada *separation column* tidak berpengaruh terhadap konsentrasi COD secara langsung. Akan tetapi, COD dipengaruhi oleh senyawa yang terkandung dalam air di *reflux tank* yang mana salah satu senyawa yang dilakukan pengukuran dilapangan adalah konsentrasi EG. Oleh karena itu, perlu diketahui hubungan antara konsentrasi COD dengan konsentrasi EG untuk memperjelas serta menentukan tindakan selanjutnya.

Hasil simulasi hubungan COD terhadap EG disajikan pada Gambar A.9 dan Tabel A.5 sebagai berikut:



Gambar A.9 Hasil simulasi penentuan hubungan COD terhadap EG

Persamaan matematis: $COD = a_0 + a_1 \cdot \text{Free_EG}$ (A.5)

Tabel 4.5 Hasil Simulasi Penentuan Hubungan COD dengan EG

Variable	Value	R^2
a0	3,27E+04	0,0125144
a1	-3311,933	

Berdasarkan hasil yang diperoleh pada Gambar A.9, kurva hasil eksperimen dan hasil perhitungan memiliki jarak sangat jauh. Selain itu, koefisien determinasi yang diperoleh sangat kecil yaitu 0,1944. Hal tersebut menunjukkan bahwa EG bukanlah senyawa tunggal yang menyebabkan tingginya konsentrasi COD. Terdapat senyawa lain seperti asetaldehid, DEG, dan *undefined half ester* yang lebih menentukan konsentrasi COD sehingga harus dilibatkan serta dilakukan pengukuran. Oleh sebab itu, penelitian ini di fokuskan pada pengurangan konsentrasi EG di air *reflux tank* dengan mengoptimalkan proses pemisahan pada *separation column*.

- **Hasil Perhitungan Polymath Pengolahan Data 1**

General

Number of independent variables = 12

Regression including a free parameter

Number of observations = 60

Statistics

R ²	0,1944627
R ² adj	-0,0112064
Rmsd	465,1778
Variance	1,657E+07

Source data points and calculated data points

	P_Top	T_Top	T_Tray1	T_Tray12	T_Bott	DP	T_Ester	F_Reflux	T_Reflux	F_Ester	F_OSC
1	0,2	103,4	138,6	102,5	136,3	694	155,7	1118,3	38	94924	27,3
2	0,23	104	138	103,3	136	695	156	1150	37,5	95145	28
3	0,25	105,5	137,2	104,5	135,3	696	156,3	1171,2	37,8	95266	28,4
4	0,24	105,1	144	104,4	141,6	739	157,6	1407	37,8	95230	31,1
5	0,26	105,5	140,1	104,8	137,8	744	157,9	1537	37,8	95093	30,3
6	0,27	106	134	105	141	749	158	1787	38	95150	40
7	0,3	106,6	141,1	105,9	139,1	794	157,3	1798	38,1	94846	39
8	0,38	107,2	138,6	106,3	136,7	783	157,3	1842,6	37,9	95036	36,5
9	0,39	108	137,1	107	134	756	157,2	1844,8	37,8	95165	33,1
10	0,4	108,6	136,2	107,7	133,9	759	157,1	1846,3	37,7	95273	30,9
11	0,4	109	135	108	133	761	157	1826	37,1	95100	31
12	0,45	110	137	109	136	771	158	1950	37,8	94820	36
13	0,45	109,8	137,7	108,9	135,7	784	157,7	2115	38,1	94710	28,2
14	0,53	112	135,1	110,7	133,4	758	157,8	2065	37,6	94866	34,5
15	0,57	112	136	110,8	134,1	758	157,3	2017,7	37,6	94437	30,2
16	0,58	112,4	140	111,6	138	790	157,9	2085	37,8	94885	48,2
17	0,56	112	139	111,1	137	793	158	1980	37,8	94810	41
	P_Top	T_Top	T_Tray1	T_Tray12	T_Bott	DP	T_Ester	F_Reflux	T_Reflux	F_Ester	F_OSC
18	0,6	112,7	136	111,7	134,2	746	158	1968,2	37,7	94922	33,3
19	0,45	112,9	133,8	108,7	132,1	755	155,3	1783,3	37,4	94778	33,5
20	0,5	11,8	127,4	109,8	135	702	157,2	1837	37,9	94870	33,2
21	0,45	109,7	136,8	108,6	134,5	788	156,6	1835	37,8	95002	32
22	0,47	120,1	136,8	109,1	134,4	756	156,5	1749	37,8	95265	33,6
23	0,48	110,2	136	109,2	133,7	769	156,5	1770	37,8	94970	32,1
24	0,5	112	138	110	136	757	157	1617	37,7	94450	39
25	0,43	109	137	108	135	737	156	1625	37,7	95100	30
26	0,5	111	138	110	136	740	157	1630	38	95240	33
27	0,47	110	137	109	135	737	156	1570	37,8	94580	34
28	0,46	110	137	109	134	748	157	1700	37,8	95335	34
29	0,46	110	137,3	109	134,9	741	156,6	1639,4	37,9	95000	33,3
30	0,46	110	137,3	109	135	750	156	1634,5	37,7	95001	34
31	0,43	109,4	137,3	108,3	135,1	793	156,1	1608	37,8	95002	34,7
32	0,43	109,4	136,4	108,3	134,1	753	156	1588	37,8	95059	33,3
33	0,36	107,9	134,7	107	132,2	749	155,6	1636	37,7	94777	32
34	0,43	109,3	138	108,1	135,5	861	156,2	1656,5	37,9	94482	34,6
35	0,5	111	137	110	134	731	156	1583	37,8	94670	30
36	0,44	109	134	108	132	725	156	1585	37,6	95820	31
37	0,46	109,8	134,5	108,7	132,5	731	156,1	1654,4	37,6	94900	28
38	0,44	110	138	109	135	746	153	1611	38	95125	35
39	0,4	109	138	108	1336	753	156	1587	37,6	94975	36
40	0,42	109	135	108	132	736	156	1589	37,1	94845	30
41	0,4	108,6	136	107,5	134,4	745	155,6	1588,1	37	95352	32,1
42	0,4	109,1	137,2	108	134	727	156,5	1507	37	94972	33
43	0,41	108,5	139,5	107,4	137,3	740	156,2	1452	37,8	94979	33,2
44	0,41	108,9	137,6	107,7	135,4	730	156,1	1498,5	37,7	94970	32,4
45	0,46	108,8	137,9	107,7	135,6	750	156,9	1524,5	38	95185	32,8

46	0,4	108,7	136,8	107,5	136	1034	156,4	1406	38	95344	32,8
47	0,41	108,8	137,8	107,8	135,9	729	156,2	1450	37,7	94471	33,6
48	0,42	109,1	138	106	133,7	726	156,2	1438	37,8	95217	31,5
49	0,4	108,7	137,7	107,7	135,9	727	156,1	1424	37,4	95127	33
50	0,43	109,4	136,3	108,3	134,3	717	156,2	1438	37,8	95204	31,1
51	0,37	108,2	137,5	107,1	135,5	742	155,8	1418	38	95032	32,9
	P_Top	T_Top	T_Tray1	T_Tray12	T_Bott	DP	T_Ester	F_Reflux	T_Reflux	F_Ester	F_OSC
52	0,4	108,7	136,2	107,7	134,7	756	155,9	1434	33,88	94916	31,9
53	0,4	108,8	137,2	107,7	135,3	715	155,7	1374,6	37,8	95738	33,7
54	0,4	108,7	136,9	107,6	134,9	722	155,9	1369,6	38	94914	33,5
55	0,4	108,7	137	107,6	136,6	731	156,3	1395,3	37,8	94826	33,7
56	0,4	108,7	137,4	107,6	134,7	731	156,2	1442	38	98035	33,7
57	0,4	108,7	136,7	107,7	134,1	724	156,2	1466,7	37,8	94504	32,7
58	0,37	108,4	137	107,2	134,2	748	156,2	1489	37,9	94989	33
59	0,4	108,7	137,2	107,6	134,8	730	156,4	1509,3	37,8	94920	32,7
60	0,4	108,6	137,1	107,5	134,7	730	156,1	1479	37,9	94855	33,8

- **Hasil Perhitungan Polymath Pengolahan Data 2**

General

Number of independent variables = 10
Regression including a free parameter
Number of observations = 60

Statistics

R ²	0,192617
R ² adj	0,027845
Rmsd	465,7104
Variance	1,593E+07

Source data points and calculated data points

	P_Top	T_Top	T_Tray1	T_Tray12	T_Bott	T_Ester	F_Reflux	T_Reflux	F_OSC	Free_ EG	
1	0,2	103,4	138,6	102,5	136,3	155,7	1118,3	38	27,3	0,67	3
2	0,23	104	138	103,3	136	156	1150	37,5	28	0,71	3
3	0,25	105,5	137,2	104,5	135,3	156,3	1171,2	37,8	28,4	0,58	2
4	0,24	105,1	144	104,4	141,6	157,6	1407	37,8	31,1	0,73	3
5	0,26	105,5	140,1	104,8	137,8	157,9	1537	37,8	30,3	0,64	2
6	0,27	106	134	105	141	158	1787	38	40	0,77	2
7	0,3	106,6	141,1	105,9	139,1	157,3	1798	38,1	39	0,64	3
8	0,38	107,2	138,6	106,3	136,7	157,3	1842,6	37,9	36,5	0,66	2
9	0,39	108	137,1	107	134	157,2	1844,8	37,8	33,1	0,59	2
10	0,4	108,6	136,2	107,7	133,9	157,1	1846,3	37,7	30,9	0,79	2
11	0,4	109	135	108	133	157	1826	37,1	31	0,32	3
12	0,45	110	137	109	136	158	1950	37,8	36	0,47	3
13	0,45	109,8	137,7	108,9	135,7	157,7	2115	38,1	28,2	0,58	3
14	0,53	112	135,1	110,7	133,4	157,8	2065	37,6	34,5	0,88	3
15	0,57	112	136	110,8	134,1	157,3	2017,7	37,6	30,2	0,68	3
	P_Top	T_Top	T_Tray1	T_Tray12	T_Bott	T_Ester	F_Reflux	T_Reflux	F_OSC	Free_ EG	
16	0,58	112,4	140	111,6	138	157,9	2085	37,8	48,2	0,47	3
17	0,56	112	139	111,1	137	158	1980	37,8	41	0,56	3
18	0,6	112,7	136	111,7	134,2	158	1968,2	37,7	33,3	0,62	3
19	0,45	112,9	133,8	108,7	132,1	155,3	1783,3	37,4	33,5	0,59	3
20	0,5	11,8	127,4	109,8	135	157,2	1837	37,9	33,2	0,64	2
21	0,45	109,7	136,8	108,6	134,5	156,6	1835	37,8	32	0,68	3
22	0,47	120,1	136,8	109,1	134,4	156,5	1749	37,8	33,6	0,72	2
23	0,48	110,2	136	109,2	133,7	156,5	1770	37,8	32,1	0,48	2
24	0,5	112	138	110	136	157	1617	37,7	39	0,75	2
25	0,43	109	137	108	135	156	1625	37,7	30	0,79	2
26	0,5	111	138	110	136	157	1630	38	33	0,57	2
27	0,47	110	137	109	135	156	1570	37,8	34	0,3	2
28	0,46	110	137	109	134	157	1700	37,8	34	0,58	3
29	0,46	110	137,3	109	134,9	156,6	1639,4	37,9	33,3	0,53	3
30	0,46	110	137,3	109	135	156	1634,5	37,7	34	0,75	3
31	0,43	109,4	137,3	108,3	135,1	156,1	1608	37,8	34,7	0,81	4
32	0,43	109,4	136,4	108,3	134,1	156	1588	37,8	33,3	0,71	3
33	0,36	107,9	134,7	107	132,2	155,6	1636	37,7	32	0,78	3
34	0,43	109,3	138	108,1	135,5	156,2	1656,5	37,9	34,6	0,77	2
35	0,5	111	137	110	134	156	1583	37,8	30	0,42	3
36	0,44	109	134	108	132	156	1585	37,6	31	0,42	3

37	0,46	109,8	134,5	108,7	132,5	156,1	1654,4	37,6	28	0,82	2
38	0,44	110	138	109	135	153	1611	38	35	0,88	3
39	0,4	109	138	108	1336	156	1587	37,6	36	0,65	2
40	0,42	109	135	108	132	156	1589	37,1	30	0,85	1
41	0,4	108,6	136	107,5	134,4	155,6	1588,1	37	32,1	0,61	3
42	0,4	109,1	137,2	108	134	156,5	1507	37	33	0,58	3
43	0,41	108,5	139,5	107,4	137,3	156,2	1452	37,8	33,2	0,46	2
44	0,41	108,9	137,6	107,7	135,4	156,1	1498,5	37,7	32,4	0,71	2
45	0,46	108,8	137,9	107,7	135,6	156,9	1524,5	38	32,8	0,79	3
46	0,4	108,7	136,8	107,5	136	156,4	1406	38	32,8	0,74	3
47	0,41	108,8	137,8	107,8	135,9	156,2	1450	37,7	33,6	0,69	3
	P_Top	T_Top	T_Tray1	T_Tray12	T_Bott	T_Ester	F_Reflux	T_Reflux	F_OSC	Free_ EG	6
48	0,42	109,1	138	106	133,7	156,2	1438	37,8	31,5	0,59	2
49	0,4	108,7	137,7	107,7	135,9	156,1	1424	37,4	33	0,72	3
50	0,43	109,4	136,3	108,3	134,3	156,2	1438	37,8	31,1	0,77	2
51	0,37	108,2	137,5	107,1	135,5	155,8	1418	38	32,9	0,71	2
52	0,4	108,7	136,2	107,7	134,7	155,9	1434	33,88	31,9	0,68	3
53	0,4	108,8	137,2	107,7	135,3	155,7	1374,6	37,8	33,7	0,61	2
54	0,4	108,7	136,9	107,6	134,9	155,9	1369,6	38	33,5	0,5	2
55	0,4	108,7	137	107,6	136,6	156,3	1395,3	37,8	33,7	0,83	2
56	0,4	108,7	137,4	107,6	134,7	156,2	1442	38	33,7	0,57	3
57	0,4	108,7	136,7	107,7	134,1	156,2	1466,7	37,8	32,7	0,34	3
58	0,37	108,4	137	107,2	134,2	156,2	1489	37,9	33	0,76	2
59	0,4	108,7	137,2	107,6	134,8	156,4	1509,3	37,8	32,7	0,57	2
60	0,4	108,6	137,1	107,5	134,7	156,1	1479	37,9	33,8	0,77	3

- **Hasil Perhitungan Polymath Pengolahan Data 3**

General

Number of independent variables = 8

Regression including a free parameter

Number of observations = 60

Statistics

R ²	0,1751943
R ² adj	0,045813
Rmsd	470,7084
Variance	1,564E+07

Source data points and calculated data points

	P_Top	T_Tray1	T_Tray12	T_Bott	T_Esterifier	T_Reflux	F_OSC	Free_EG	COD	CO
1	0,2	138,6	102,5	136,3	155,7	38	27,3	0,67	30463,22	2,9
2	0,23	138	103,3	136	156	37,5	28	0,71	35036,43	2,9
3	0,25	137,2	104,5	135,3	156,3	37,8	28,4	0,58	28829,31	2,9
4	0,24	144	104,4	141,6	157,6	37,8	31,1	0,73	30199,63	3,0
5	0,26	140,1	104,8	137,8	157,9	37,8	30,3	0,64	28089,46	2,9
6	0,27	134	105	141	158	38	40	0,77	26146,37	2,9
7	0,3	141,1	105,9	139,1	157,3	38,1	39	0,64	30172,06	2,9
8	0,38	138,6	106,3	136,7	157,3	37,9	36,5	0,66	28956,39	2,9
9	0,39	137,1	107	134	157,2	37,8	33,1	0,59	29025,26	2,9
10	0,4	136,2	107,7	133,9	157,1	37,7	30,9	0,79	28694,85	3,0
11	0,4	135	108	133	157	37,1	31	0,32	31036,98	3,0
12	0,45	137	109	136	158	37,8	36	0,47	33466,61	3,0
13	0,45	137,7	108,9	135,7	157,7	38,1	28,2	0,58	30921,05	3,0
14	0,53	135,1	110,7	133,4	157,8	37,6	34,5	0,88	31572,62	3,0
15	0,57	136	110,8	134,1	157,3	37,6	30,2	0,68	35009,3	3,0
	P_Top	T_Tray1	T_Tray12	T_Bott	T_Esterifier	T_Reflux	F_OSC	Free_EG	COD	CO
16	0,58	140	111,6	138	157,9	37,8	48,2	0,47	31829,55	3,0
17	0,56	139	111,1	137	158	37,8	41	0,56	37620,06	3,0
18	0,6	136	111,7	134,2	158	37,7	33,3	0,62	32494,29	3,0
19	0,45	133,8	108,7	132,1	155,3	37,4	33,5	0,59	33687,8	3,0
20	0,5	127,4	109,8	135	157,2	37,9	33,2	0,64	27193,81	2,9
21	0,45	136,8	108,6	134,5	156,6	37,8	32	0,68	38862,77	3,0
22	0,47	136,8	109,1	134,4	156,5	37,8	33,6	0,72	26977,11	3,0
23	0,48	136	109,2	133,7	156,5	37,8	32,1	0,48	29031,91	3,0
24	0,5	138	110	136	157	37,7	39	0,75	25871,19	3,0
25	0,43	137	108	135	156	37,7	30	0,79	26338,07	3,0
26	0,5	138	110	136	157	38	33	0,57	27462,53	3,0
27	0,47	137	109	135	156	37,8	34	0,3	28534,43	3,0
28	0,46	137	109	134	157	37,8	34	0,58	34001,34	3,0

29	0,46	137,3	109	134,9	156,6	37,9	33,3	0,53	33112,46	3,
30	0,46	137,3	109	135	156	37,7	34	0,75	30633,84	3,
31	0,43	137,3	108,3	135,1	156,1	37,8	34,7	0,81	40274,98	3,
32	0,43	136,4	108,3	134,1	156	37,8	33,3	0,71	30092,16	3,
33	0,36	134,7	107	132,2	155,6	37,7	32	0,78	31994,77	2,
34	0,43	138	108,1	135,5	156,2	37,9	34,6	0,77	22418,21	3,
35	0,5	137	110	134	156	37,8	30	0,42	36812,28	3,
36	0,44	134	108	132	156	37,6	31	0,42	37659,39	3,
37	0,46	134,5	108,7	132,5	156,1	37,6	28	0,82	29934,69	3,
38	0,44	138	109	135	153	38	35	0,88	33348,92	3,
39	0,4	138	108	1336	156	37,6	36	0,65	28126,49	2,
40	0,42	135	108	132	156	37,1	30	0,85	29690,87	3,
41	0,4	136	107,5	134,4	155,6	37	32,1	0,61	27412,87	3,
42	0,4	137,2	108	134	156,5	37	33	0,58	31184,04	3,
43	0,41	139,5	107,4	137,3	156,2	37,8	33,2	0,46	29940	3,
44	0,41	137,6	107,7	135,4	156,1	37,7	32,4	0,71	29689,62	3,
45	0,46	137,9	107,7	135,6	156,9	38	32,8	0,79	30947,99	2,
46	0,4	136,8	107,5	136	156,4	38	32,8	0,74	30153,97	2,
47	0,41	137,8	107,8	135,9	156,2	37,7	33,6	0,69	39206,36	3,
48	0,42	138	106	133,7	156,2	37,8	31,5	0,59	24585,61	2,
	P_Top	T_Tray1	T_Tray12	T_Bott	T_Esterifier	T_Reflux	F_OSC	Free_EG	COD	CO
49	0,4	137,7	107,7	135,9	156,1	37,4	33	0,72	33766,3	3,
50	0,43	136,3	108,3	134,3	156,2	37,8	31,1	0,77	27137,76	3,
51	0,37	137,5	107,1	135,5	155,8	38	32,9	0,71	21042,47	2,
52	0,4	136,2	107,7	134,7	155,9	33,88	31,9	0,68	39088,92	3,
53	0,4	137,2	107,7	135,3	155,7	37,8	33,7	0,61	29896,29	3,
54	0,4	136,9	107,6	134,9	155,9	38	33,5	0,5	26325,97	3,
55	0,4	137	107,6	136,6	156,3	37,8	33,7	0,83	26451,43	2,
56	0,4	137,4	107,6	134,7	156,2	38	33,7	0,57	30506,93	2,
57	0,4	136,7	107,7	134,1	156,2	37,8	32,7	0,34	30643,52	3,
58	0,37	137	107,2	134,2	156,2	37,9	33	0,76	28036,87	2,
59	0,4	137,2	107,6	134,8	156,4	37,8	32,7	0,57	24956,66	3,
60	0,4	137,1	107,5	134,7	156,1	37,9	33,8	0,77	30630,22	2,

- **Hasil Perhitungan Polymath Pengolahan Data 4**

General

Number of independent variables = 2

Regression including a free parameter

Number of observations = 60

Statistics

R ²	0,0437497
R ² adj	0,010197
Rmsd	506,8295
Variance	1,622E+07

Source data points and calculated data points

	P_Top	F_OSC	COD	COD calc	Delta COD
1	0,2	27,3	30463,22	2,872E+04	1741,871
2	0,23	28	35036,43	2,898E+04	6051,96
3	0,25	28,4	28829,31	2,917E+04	-337,3179
4	0,24	31,1	30199,63	2,878E+04	1417,426
5	0,26	30,3	28089,46	2,909E+04	-996,2856
6	0,27	40	26146,37	2,822E+04	-2069,496
7	0,3	39	30172,06	2,865E+04	1521,112
8	0,38	36,5	28956,39	2,979E+04	-837,9174
9	0,39	33,1	29025,26	3,025E+04	-1224,279
10	0,4	30,9	28694,85	3,058E+04	-1888,536
11	0,4	31	31036,98	3,057E+04	463,709
12	0,45	36	33466,61	3,062E+04	2842,559
13	0,45	28,2	30921,05	3,141E+04	-491,9984
14	0,53	34,5	31572,62	3,167E+04	-93,63693
15	0,57	30,2	35009,3	3,255E+04	2462,845
16	0,58	48,2	31829,55	3,084E+04	992,5494
17	0,56	41	37620,06	3,134E+04	6277,373
18	0,6	33,3	32494,29	3,257E+04	-72,51765
19	0,45	33,5	33687,8	3,088E+04	2810,865
20	0,5	33,2	27193,81	3,146E+04	-4270,018
21	0,45	32	38862,77	3,103E+04	7834,105
22	0,47	33,6	26977,11	3,109E+04	-4112,328

23	0,48	32,1	29031,91	3,135E+04	-2320,568
24	0,5	39	25871,19	3,088E+04	-5005,947
25	0,43	30	26338,07	3,101E+04	-4670,283
26	0,5	33	27462,53	3,148E+04	-4021,529
27	0,47	34	28534,43	3,105E+04	-2514,547
28	0,46	34	34001,34	3,094E+04	3063,673
29	0,46	33,3	33112,46	3,101E+04	2103,985
30	0,46	34	30633,84	3,094E+04	-303,8273
31	0,43	34,7	40274,98	3,053E+04	9742,049
32	0,43	33,3	30092,16	3,067E+04	-582,3863
33	0,36	32	31994,77	3,003E+04	1967,891
34	0,43	34,6	22418,21	3,054E+04	-8124,837
	P_Top	F_OSC	COD	COD calc	Delta COD
35	0,5	30	36812,28	3,179E+04	5024,761
36	0,44	31	37659,39	3,102E+04	6640,881
37	0,46	28	29934,69	3,154E+04	-1609,899
38	0,44	35	33348,92	3,061E+04	2735,025
39	0,4	36	28126,49	3,007E+04	-1941,013
40	0,42	30	29690,87	3,09E+04	-1206,174
41	0,4	32,1	27412,87	3,046E+04	-3049,132
42	0,4	33	31184,04	3,037E+04	813,0761
43	0,41	33,2	29940	3,046E+04	-522,0426
44	0,41	32,4	29689,62	3,054E+04	-853,3455
45	0,46	32,8	30947,99	3,106E+04	-111,0615
46	0,4	32,8	30153,97	3,039E+04	-237,2246
47	0,41	33,6	39206,36	3,042E+04	8784,779
48	0,42	31,5	24585,61	3,075E+04	-6159,703
49	0,4	33	33766,3	3,037E+04	3395,336
50	0,43	31,1	27137,76	3,09E+04	-3759,324
51	0,37	32,9	21042,47	3,005E+04	-9004,681
52	0,4	31,9	39088,92	3,048E+04	8606,687
53	0,4	33,7	29896,29	3,03E+04	-403,8664
54	0,4	33,5	26325,97	3,032E+04	-3994,417
55	0,4	33,7	26451,43	3,03E+04	-3848,726
56	0,4	33,7	30506,93	3,03E+04	206,7736
57	0,4	32,7	30643,52	3,04E+04	242,2101
58	0,37	33	28036,87	3,004E+04	-2000,165
59	0,4	32,7	24956,66	3,04E+04	-5444,65
60	0,4	33,8	30630,22	3,029E+04	340,179

- **Hasil Perhitungan Polymath Pengolahan Data 5**

General

Number of independent variables = 1

Regression including a free parameter

Number of observations = 60

Statistics

R ²	0,0125144
R ² adj	-0,0045112
Rmsd	515,0406
Variance	1,646E+07

Source data points and calculated data points

	Free_EG	COD	COD calc	Delta COD
1	0,67	30463,22	3,048E+04	-16,04918
2	0,71	35036,43	3,035E+04	4689,638
3	0,58	28829,31	3,078E+04	-1948,033
4	0,73	30199,63	3,028E+04	-80,92323
5	0,64	28089,46	3,058E+04	-2489,167

6	0,77	26146,37	3,015E+04	-4001,706
7	0,64	30172,06	3,058E+04	-406,5672
8	0,66	28956,39	3,051E+04	-1555,999
9	0,59	29025,26	3,074E+04	-1718,964
10	0,79	28694,85	3,008E+04	-1386,987
11	0,32	31036,98	3,164E+04	-601,4656
12	0,47	33466,61	3,114E+04	2324,954
13	0,58	30921,05	3,078E+04	143,7069
14	0,88	31572,62	2,978E+04	1788,857
15	0,68	35009,3	3,045E+04	4563,15
16	0,47	31829,55	3,114E+04	687,8943
17	0,56	37620,06	3,084E+04	6776,478
18	0,62	32494,29	3,064E+04	1849,424
19	0,59	33687,8	3,074E+04	2943,576
20	0,64	27193,81	3,058E+04	-3384,817
21	0,68	38862,77	3,045E+04	8416,62
22	0,72	26977,11	3,031E+04	-3336,563
23	0,48	29031,91	3,111E+04	-2076,626
24	0,75	25871,19	3,021E+04	-4343,125
25	0,79	26338,07	3,008E+04	-3743,767
26	0,57	27462,53	3,081E+04	-3347,932
27	0,3	28534,43	3,17E+04	-3170,254
28	0,58	34001,34	3,078E+04	3223,997
29	0,53	33112,46	3,094E+04	2169,52
30	0,75	30633,84	3,021E+04	419,5254
31	0,81	40274,98	3,002E+04	1,026E+04
32	0,71	30092,16	3,035E+04	-254,6319
33	0,78	31994,77	3,011E+04	1879,813
34	0,77	22418,21	3,015E+04	-7729,866
	Free_EG	COD	COD calc	Delta COD
35	0,42	36812,28	3,131E+04	5505,028
36	0,42	37659,39	3,131E+04	6352,138
37	0,82	29934,69	2,998E+04	-47,78931
38	0,88	33348,92	2,978E+04	3565,157
39	0,65	28126,49	3,055E+04	-2419,018
40	0,85	29690,87	2,988E+04	-192,2513
41	0,61	27412,87	3,068E+04	-3265,115
42	0,58	31184,04	3,078E+04	406,6969
43	0,46	29940	3,117E+04	-1234,775
44	0,71	29689,62	3,035E+04	-657,1719
45	0,79	30947,99	3,008E+04	866,1527
46	0,74	30153,97	3,025E+04	-93,46391
47	0,69	39206,36	3,041E+04	8793,329
48	0,59	24585,61	3,074E+04	-6158,614
49	0,72	33766,3	3,031E+04	3452,627
50	0,77	27137,76	3,015E+04	-3010,316
51	0,71	21042,47	3,035E+04	-9304,322

52	0,68	39088,92	3,045E+04	8642,77
53	0,61	29896,29	3,068E+04	-781,6951
54	0,5	26325,97	3,104E+04	-4716,328
55	0,83	26451,43	2,995E+04	-3497,93
56	0,57	30506,93	3,081E+04	-303,5324
57	0,34	30643,52	3,157E+04	-928,6869
58	0,76	28036,87	3,018E+04	-2144,325
59	0,57	24956,66	3,081E+04	-5853,802
60	0,77	30630,22	3,015E+04	482,1441

B.1 Kondisi Operasi Harian *Separation Column*

B.1.1 Januari 2016

Tanggal	<i>P_{Top}</i> (kg/cm ²)	<i>T_{Top}</i> (°C)	<i>T_{Tray1}</i> (°C)	<i>T_{Tray12}</i> (°C)	<i>T_{Bott}</i> (°C)	<i>DP</i> (mmWc)	<i>T_{EEGT}</i> (°C)	<i>T_{Reflux}</i> (°C)	<i>F_{Reflux}</i> (kg/h)
01-Jan-16	0,2	103,4	138,6	102,5	136,3	694	155,7	38	1118,3
02-Jan-16	0,23	104	138	103,3	136	695	156	37,5	1150
03-Jan-16	0,25	105,5	137,2	104,5	135,3	696	156,3	37,8	1171,2
04-Jan-16	0,24	105,1	144	104,4	141,6	739	157,6	37,8	1407
05-Jan-16	0,26	105,5	140,1	104,8	137,8	744	157,9	37,8	1537
06-Jan-16	0,27	106	134	105	141	749	158	38	1787
07-Jan-16	0,3	106,6	141,1	105,9	139,1	794	157,3	38,1	1798
08-Jan-16	0,38	107,2	138,6	106,3	136,7	783	157,3	37,9	1842,6
09-Jan-16	0,39	108	137,1	107	134	756	157,2	37,8	1844,8
10-Jan-16	0,4	108,6	136,2	107,7	133,9	759	157,1	37,7	1846,3
11-Jan-16	0,4	109	135	108	133	761	157	37,1	1826
12-Jan-16	0,45	110	137	109	136	771	158	37,8	1950
13-Jan-16	0,45	109,8	137,7	108,9	135,7	784	157,7	38,1	2115
14-Jan-16	0,53	112	135,1	110,7	133,4	758	157,8	37,6	2065
15-Jan-16	0,57	112	136	110,8	134,1	758	157,3	37,6	2017,7
16-Jan-16	0,58	112,4	140	111,6	138	790	157,9	37,8	2085
17-Jan-16	0,56	112	139	111,1	137	793	158	37,8	1980
18-Jan-16	0,6	112,7	136	111,7	134,2	746	158	37,7	1968,2
Tanggal	<i>P_{Top}</i> (kg/cm ²)	<i>T_{Top}</i> (°C)	<i>T_{Tray1}</i> (°C)	<i>T_{Tray12}</i> (°C)	<i>T_{Bott}</i> (°C)	<i>DP</i> (mmWc)	<i>T_{EEGT}</i> (°C)	<i>T_{Reflux}</i> (°C)	<i>F_{Reflux}</i> (kg/h)
19-Jan-16	0,45	112,9	133,8	108,7	132,1	755	155,3	37,4	1783,3
20-Jan-16	0,5	11,8	127,4	109,8	135	702	157,2	37,9	1837
21-Jan-16	0,45	109,7	136,8	108,6	134,5	788	15y,6	37,8	1835
22-Jan-16	0,47	120,1	136,8	109,1	134,4	756	156,5	37,8	1749

23-Jan-16	0,48	110,2	136	109,2	133,7	769	156,5	37,8	1770
24-Jan-16	0,5	112	138	110	136	757	157	37,7	1617
25-Jan-16	0,43	109	137	108	135	737	156	37,7	1625
26-Jan-16	0,5	111	138	110	136	740	157	38	1630
27-Jan-16	0,47	110	137	109	135	737	156	37,8	1570
28-Jan-16	0,46	110	137	109	134	748	157	37,8	1700
29-Jan-16	0,46	110	137,3	109	134,9	741	156,6	37,9	1639,4
30-Jan-16	0,46	110	137,3	109	135	750	156	37,7	1634,5
31-Jan-16	0,43	109,4	137,3	108,3	135,1	793	156,1	37,8	1608

B.1.2 Februari 2016

Tanggal	P_Top (kg/cm ²)	T_Top (°C)	T_Tray1 (°C)	T_Tray12 (°C)	T_Bott (°C)	DP (mmWc)	T_EEGT (°C)	T_Reflux (°C)	F_Reflux (kg/h)
01-Feb-16	0,43	109,4	136,4	108,3	134,1	753	156	37,8	1588
02-Feb-16	0,36	107,9	134,7	107	132,2	749	155,6	37,7	1636
03-Feb-16	0,43	109,3	138	108,1	135,5	861	156,2	37,9	1656,5
04-Feb-16	0,5	111	137	110	134	731	156	37,8	1583
05-Feb-16	0,44	109	134	108	132	725	156	37,6	1585
06-Feb-16	0,46	109,8	134,5	108,7	132,5	731	156,1	37,6	1654,4
07-Feb-16	0,44	110	138	109	135	746	153	38	1611
08-Feb-16	0,4	109	138	108	1336	753	156	37,6	1587
09-Feb-16	0,42	109	135	108	132	736	156	37,1	1589
10-Feb-16	0,4	108,6	136	107,5	134,4	745	155,6	37	1588,1
11-Feb-16	0,4	109,1	137,2	108	134	727	156,5	37	1507
12-Feb-16	0,41	108,5	139,5	107,4	137,3	740	156,2	37,8	1452
13-Feb-16	0,41	108,9	137,6	107,7	135,4	730	156,1	37,7	1498,5
14-Feb-16	0,46	108,8	137,9	107,7	135,6	750	156,9	38	1524,5
15-Feb-16	0,4	108,7	136,8	107,5	136	1034	156,4	38	1406
16-Feb-16	0,41	108,8	137,8	107,8	135,9	729	156,2	37,7	1450
17-Feb-16	0,42	109,1	138	106	133,7	726	156,2	37,8	1438

18-Feb-16	0,4	108,7	137,7	107,7	135,9	727	156,1	37,4	1424
-----------	-----	-------	-------	-------	-------	-----	-------	------	------

Tanggal	P_Top	T_Top	T_Tray1	T_Tray12	T_Bott	DP	T_EEGT	T_Reflux	F_Reflux
	(kg/cm ²)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(mmWc)	(°C)	(°C)	(kg/h)
19-Feb-16	0,43	109,4	136,3	108,3	134,3	717	156,2	37,8	1438
20-Feb-16	0,37	108,2	137,5	107,1	135,5	742	155,8	38	1418
21-Feb-16	0,4	108,7	136,2	107,7	134,7	756	155,9	33,88	1434
22-Feb-16	0,4	108,8	137,2	107,7	135,3	715	155,7	37,8	1374,6
23-Feb-16	0,4	108,7	136,9	107,6	134,9	722	155,9	38	1369,6
24-Feb-16	0,4	108,7	137	107,6	136,6	731	156,3	37,8	1395,3
25-Feb-16	0,4	108,7	137,4	107,6	134,7	731	156,2	38	1442
26-Feb-16	0,4	108,7	136,7	107,7	134,1	724	156,2	37,8	1466,7
27-Feb-16	0,37	108,4	137	107,2	134,2	748	156,2	37,9	1489
28-Feb-16	0,4	108,7	137,2	107,6	134,8	730	156,4	37,8	1509,3
29-Feb-16	0,4	108,6	137,1	107,5	134,7	730	156,1	37,9	1479

B.2 Data Analisa Air di *Reflux Tank* dari Departemen QCC

B.2.1 Januari 2016

SN	Date of Sample	Time	PROPERTIES			
			REFLUX COLOMN 4233-T03			
			pH	COD	Acetaldehyde	Free EG
				(ppm)	(ppm)	(%)
1	1. Jan 2016	07,00	3,80	30463,22		0,67
2	2. Jan 2016	07,00	3,83	35036,43		0,71
3	3. Jan 2016	07,00	3,85	28829,31		0,58
4	4. Jan. 2016	07,00	3,89	30199,63		0,73
5	5. Jan. 2016	07,00	3,86	28089,46		0,64
6	6. Jan. 2016	07,00	3,98	26146,37		0,77
7	7. Jan. 2016	07,00	3,99	30172,06		0,64
8	8. Jan. 2016	07,00	4,08	28956,39		0,66
9	9. Jan. 2016	07,00	3,84	29025,26		0,59
10	10. Jan. 2016	07,00	4,03	28694,85		0,79

11	11. Jan. 2016	07,00	4,25	31036,98		0,32
12	12. Jan. 2016	07,00	3,96	33466,61		0,47
13	13. Jan. 2016	07,00	4,14	30921,05		0,58
14	14. Jan. 2016	07,00	3,94	31572,62		0,88
15	15. Jan. 2016	07,00	4,09	35009,3		0,68
16	16. Jan. 2016	07,00	3,99	31829,55		0,47
17	17. Jan. 2016	07,00	3,99	37620,06		0,56
18	18. Jan. 2016	07,00	3,90	32494,29		0,62
19	19. Jan. 2016	07,00	3,92	33687,80		0,59
20	20. Jan. 2016	07,00	4,05	27193,81		0,64
21	21. Jan. 2016	07,00	3,94	38862,77		0,68
22	22. Jan. 2016	07,00	3,54	26977,11		0,72
23	23. Jan. 2016	07,00	3,93	29031,91		0,48
24	24. Jan. 2016	07,00	3,89	25871,19		0,75
25	25. Jan. 2016	07,00	4,02	26338,07		0,79
26	27. Jan. 2016	07,00	3,87	28534,43		0,30
27	28. Jan. 2016	07,00	3,94	34001,34		0,58
28	29. Jan. 2016	07,00	3,90	33112,46		0,53
29	30. Jan. 2016	07,00	3,91	30633,84		0,75
30	31. Jan. 2016	07,00	3,87	40274,98		0,81
MIN			3,54	25871,19		0,30
MAX			4,25	40274,98		0,88
AVE			3,94	31136,11		0,63
% Variability			18,02	46,26		91,68
ST.DEV			0,12	3686,23		0,14

B.2.2 Februari 2016

SN	Date of Sample	Time	PROPERTIES			
			REFLUX COLOMN 4233-T03			
			pH	COD	Acetaldehyde	Free EG
				(ppm)	(ppm)	(%)
1	1. Feb. 2016	07,00	3,84	30092,16		0,71
2	2. Feb. 2016	07,00	3,92	31994,77		0,78
3	3. Feb. 2016	07,00	3,98	22418,21		0,77
4	4. Feb. 2016	07,00	3,84	36812,28		0,42
5	5. Feb. 2016	07,00	3,90	37659,39		0,42
6	6. Feb. 2016	07,00	3,96	29934,69		0,82

7	7. Feb. 2016	07,00	3,92	33348,92		0,88
8	8. Feb. 2016	07,00	3,92	28126,49		0,65
9	9. Feb. 2016	07,00	3,95	29690,87		0,85
10	10. Feb. 2016	07,00	4,05	27412,87		0,61
11	11. Feb. 2016	07,00	3,93	31184,04		0,58
12	12. Feb. 2016	07,00	3,99	29940,00		0,46
13	13. Feb. 2016	07,00	3,92	29689,62		0,71
14	14. Feb. 2016	07,00	3,97	30947,99		0,79
15	15. Feb. 2016	07,00	3,92	30153,97		0,74
16	16. Feb. 2016	07,00	4,24	39206,36		0,69
17	17. Feb. 2016	07,00	3,99	24585,61		0,59
18	18. Feb. 2016	07,00	4,02	33766,3		0,72
19	19. Feb. 2016	07,00	3,92	27137,76		0,77
20	20. Feb. 2016	07,00	3,99	21042,47		0,71
21	21. Feb. 2016	07,00	3,95	39088,92		0,68
22	22. Feb. 2016	07,00	3,92	29896,29		0,61
23	23. Feb. 2016	07,00	3,96	26325,97		0,50
23	24. Feb. 2016	07,00	3,91	26451,43		0,83
24	25. Feb. 2016	07,00	3,97	30506,93		0,57
25	26. Feb. 2016	07,00	3,85	30643,52		0,34
26	27. Feb. 2016	07,00	3,83	28036,87		0,76
27	28. Feb. 2016	07,00	3,97	24956,66		0,57
28	29. Feb. 2016	07,00	3,97	30630,22		0,77
MIN			3,83	21042,47		0,34
MAX			4,24	39206,36		0,88
AVE			3,95	30057,99		0,67
% Variability			10,38	60,43		81,14
ST.DEV			0,08	4416,47		0,14

B.3 Data Desain Komposisi Umpan *Separation Column*

% Berat	Komposisi	Umpan	Distilat	Bottom	Reflux
	EG	61,85	0,11	91,6	0,11
	Air	34,2	97,32	4,0	97,32
	DEG	0,41	-	0,6	-
	Asetaldehid	0,83	2,57	-	2,57

	<i>Undefined Half Ester</i>	2,7	-	4,0	-
--	---------------------------------	-----	---	-----	---

B.4 Perhitungan Neraca Massa Aliran *Reflux Tank*

Data bukaan *Control Valve* Aliran OSC:

Neraca Massa di *Reflux Tank*

$$F_{Top} = F_{OSC} + F_{Reflux}$$

$$F_{EG} = \% \text{ Free EG} \times F_{OSC}$$

$$F_{Water} = F_{OSC} - F_{EG}$$

Tanggal	MV OSC	F_TOP	F_EG	F_Water
	(%)	(kg/hr)	kg/hr)	kg/hr)
01-Jan-16	27,3	1145,6	745,29	-717,99
02-Jan-16	28	1178	784	-756
03-Jan-16	28,4	1199,6	806,56	-778,16
04-Jan-16	31,1	1438,1	967,21	-936,11
05-Jan-16	30,3	1567,3	918,09	-887,79
06-Jan-16	40	1827	1600	-1560
07-Jan-16	39	1837	1521	-1482
08-Jan-16	36,5	1879,1	1332,25	-1295,75
09-Jan-16	33,1	1877,9	1095,61	-1062,51
10-Jan-16	30,9	1877,2	954,81	-923,91
11-Jan-16	31	1857	961	-930
12-Jan-16	36	1986	1296	-1260
13-Jan-16	28,2	2143,2	795,24	-767,04

14-Jan-16	34,5	2099,5	1190,25	-1155,75
15-Jan-16	30,2	2047,9	912,04	-881,84
16-Jan-16	48,2	2133,2	2323,24	-2275,04
17-Jan-16	41	2021	1681	-1640
18-Jan-16	33,3	2001,5	1108,89	-1075,59
19-Jan-16	33,5	1816,8	1122,25	-1088,75
20-Jan-16	33,2	1870,2	1102,24	-1069,04
21-Jan-16	32	1867	1024	-992
22-Jan-16	33,6	1782,6	1128,96	-1095,36
23-Jan-16	32,1	1802,1	1030,41	-998,31
24-Jan-16	39	1656	1521	-1482
25-Jan-16	30	1655	900	-870
26-Jan-16	33	1663	1089	-1056
27-Jan-16	34	1604	1156	-1122
30-Jan-16	34	1668,5	1156	-1122
31-Jan-16	34,7	1642,7	1204,09	-1169,39

Tanggal	MV OSC	F_TOP	F_EG	F_Water
	(%)	(kg/hr)	kg/hr)	kg/hr)
01-Feb-16	33,3	1621,3	1108,89	-1075,59
02-Feb-16	32	1668	1024	-992
03-Feb-16	34,6	1691,1	1197,16	-1162,56
04-Feb-16	30	1613	900	-870
05-Feb-16	31	1616	961	-930
06-Feb-16	28	1682,4	784	-756
07-Feb-16	35	1646	1225	-1190
08-Feb-16	36	1623	1296	-1260
09-Feb-16	30	1619	900	-870
10-Feb-16	32,1	1620,2	1030,41	-998,31
11-Feb-16	33	1540	1089	-1056
12-Feb-16	33,2	1485,2	1102,24	-1069,04
13-Feb-16	32,4	1530,9	1049,76	-1017,36
14-Feb-16	32,8	1557,3	1075,84	-1043,04
15-Feb-16	32,8	1438,8	1075,84	-1043,04
16-Feb-16	33,6	1483,6	1128,96	-1095,36
17-Feb-16	31,5	1469,5	992,25	-960,75
18-Feb-16	33	1457	1089	-1056
19-Feb-16	31,1	1469,1	967,21	-936,11
20-Feb-16	32,9	1450,9	1082,41	-1049,51
21-Feb-16	31,9	1465,9	1017,61	-985,71

22-Feb-16	33,7	1408,3	1135,69	-1101,99
23-Feb-16	33,5	1403,1	1122,25	-1088,75
24-Feb-16	33,7	1429	1135,69	-1101,99
25-Feb-16	33,7	1475,7	1135,69	-1101,99
26-Feb-16	32,7	1499,4	1069,29	-1036,59
27-Feb-16	33	1522	1089	-1056
28-Feb-16	32,7	1542	1069,29	-1036,59
29-Feb-16	33,8	1512,8	1142,44	-1108,64

C.1 Hasil Perhitungan Model Pengolahan Data 1

General

Number of independent variables = 11

Regression including a free parameter

Number of observations = 60

Statistics

R ²	0,0813544
R ² adj	-0,1291686
Rmsd	0,0167793
Variance	0,0211159

Source data points and calculated data points

	P_Top	T_Top	T_Tray 1	T_Tray 12	T_Bott	DP	T_Esterifier	F_Reflux	T_Reflux	F_Esterifier
1	0,2	103,4	138,6	102,5	136,3	694	155,7	1118,3	38	94924
2	0,23	104	138	103,3	136	695	156	1150	37,5	95145
3	0,25	105,5	137,2	104,5	135,3	696	156,3	1171,2	37,8	95266
4	0,24	105,1	144	104,4	141,6	739	157,6	1407	37,8	95230
5	0,26	105,5	140,1	104,8	137,8	744	157,9	1537	37,8	95093
6	0,27	106	134	105	141	749	158	1787	38	95150
7	0,3	106,6	141,1	105,9	139,1	794	157,3	1798	38,1	94846
8	0,38	107,2	138,6	106,3	136,7	783	157,3	1842,6	37,9	95036
9	0,39	108	137,1	107	134	756	157,2	1844,8	37,8	95165
10	0,4	108,6	136,2	107,7	133,9	759	157,1	1846,3	37,7	95273
11	0,4	109	135	108	133	761	157	1826	37,1	95100
12	0,45	110	137	109	136	771	158	1950	37,8	94820
13	0,45	109,8	137,7	108,9	135,7	784	157,7	2115	38,1	94710
14	0,53	112	135,1	110,7	133,4	758	157,8	2065	37,6	94866
	P_Top	T_Top	T_Tray 1	T_Tray 12	T_Bott	DP	T_Esterifier	F_Reflux	T_Reflux	F_Esterifier
15	0,57	112	136	110,8	134,1	758	157,3	2017,7	37,6	94437
16	0,58	112,4	140	111,6	138	790	157,9	2085	37,8	94885

17	0,56	112	139	111,1	137	793	158	1980	37,8	94810
18	0,6	112,7	136	111,7	134,2	746	158	1968,2	37,7	94922
19	0,45	112,9	133,8	108,7	132,1	755	155,3	1783,3	37,4	94778
20	0,5	11,8	127,4	109,8	135	702	157,2	1837	37,9	94870
21	0,45	109,7	136,8	108,6	134,5	788	156,6	1835	37,8	95002
22	0,47	120,1	136,8	109,1	134,4	756	156,5	1749	37,8	95265
23	0,48	110,2	136	109,2	133,7	769	156,5	1770	37,8	94970
24	0,5	112	138	110	136	757	157	1617	37,7	94450
25	0,43	109	137	108	135	737	156	1625	37,7	95100
26	0,5	111	138	110	136	740	157	1630	38	95240
27	0,47	110	137	109	135	737	156	1570	37,8	94580
28	0,46	110	137	109	134	748	157	1700	37,8	95335
29	0,46	110	137,3	109	134,9	741	156,6	1639,4	37,9	95000
30	0,46	110	137,3	109	135	750	156	1634,5	37,7	95001
31	0,43	109,4	137,3	108,3	135,1	793	156,1	1608	37,8	95002
32	0,43	109,4	136,4	108,3	134,1	753	156	1588	37,8	95059
33	0,36	107,9	134,7	107	132,2	749	155,6	1636	37,7	94777
34	0,43	109,3	138	108,1	135,5	861	156,2	1656,5	37,9	94482
35	0,5	111	137	110	134	731	156	1583	37,8	94670
36	0,44	109	134	108	132	725	156	1585	37,6	95820
37	0,46	109,8	134,5	108,7	132,5	731	156,1	1654,4	37,6	94900
38	0,44	110	138	109	135	746	153	1611	38	95125
39	0,4	109	138	108	1336	753	156	1587	37,6	94975
40	0,42	109	135	108	132	736	156	1589	37,1	94845
41	0,4	108,6	136	107,5	134,4	745	155,6	1588,1	37	95352
42	0,4	109,1	137,2	108	134	727	156,5	1507	37	94972
43	0,41	108,5	139,5	107,4	137,3	740	156,2	1452	37,8	94979
44	0,41	108,9	137,6	107,7	135,4	730	156,1	1498,5	37,7	94970
45	0,46	108,8	137,9	107,7	135,6	750	156,9	1524,5	38	95185
46	0,4	108,7	136,8	107,5	136	1034	156,4	1406	38	95344
47	0,41	108,8	137,8	107,8	135,9	729	156,2	1450	37,7	94471
48	0,42	109,1	138	106	133,7	726	156,2	1438	37,8	95217
49	0,4	108,7	137,7	107,7	135,9	727	156,1	1424	37,4	95127
	P_Top	T_Top	T_Tr _{ay} 1	T_Tr _{ay} 12	T_Bott	DP	T_Esterifier	F_Reflux	T_Reflux	F_Esterifier
50	0,43	109,4	136,3	108,3	134,3	717	156,2	1438	37,8	95204
51	0,37	108,2	137,5	107,1	135,5	742	155,8	1418	38	95032
52	0,4	108,7	136,2	107,7	134,7	756	155,9	1434	33,88	94916
53	0,4	108,8	137,2	107,7	135,3	715	155,7	1374,6	37,8	95738
54	0,4	108,7	136,9	107,6	134,9	722	155,9	1369,6	38	94914
55	0,4	108,7	137	107,6	136,6	731	156,3	1395,3	37,8	94826
56	0,4	108,7	137,4	107,6	134,7	731	156,2	1442	38	98035
57	0,4	108,7	136,7	107,7	134,1	724	156,2	1466,7	37,8	94504
58	0,37	108,4	137	107,2	134,2	748	156,2	1489	37,9	94989
59	0,4	108,7	137,2	107,6	134,8	730	156,4	1509,3	37,8	94920
60	0,4	108,6	137,1	107,5	134,7	730	156,1	1479	37,9	94855

C.2 Hasil Perhitungan Model Pengolahan Data 2

General

Number of independent variables = 6

Regression including a free parameter

Number of observations = 60

Statistics

R ²	0,0481857
R ² adj	-0,0595668
Rmsd	0,0170796
Variance	0,0198143

Source data points and calculated data points

	P_To p	T_Tray 1	T_Bot t	DP	F_Reflu x	T_Reflu x	Free_E G	Free_EG calc	Delta Free_EG
1	0,2	138,6	136,3	694	1118,3	38	0,67	0,6856378	- 0,0156378
2	0,23	138	136	695	1150	37,5	0,71	0,6802122	0,0297878
3	0,25	137,2	135,3	696	1171,2	37,8	0,58	0,6799291	- 0,0999291
4	0,24	144	141,6	739	1407	37,8	0,73	0,652157	0,077843
5	0,26	140,1	137,8	744	1537	37,8	0,64	0,6709345	- 0,0309345
6	0,27	134	141	749	1787	38	0,77	0,7038286	0,0661714
7	0,3	141,1	139,1	794	1798	38,1	0,64	0,6701982	- 0,0301982
	P_To p	T_Tray 1	T_Bot t	DP	F_Reflu x	T_Reflu x	Free_E G	Free_EG calc	Delta Free_EG
8	0,38	138,6	136,7	783	1842,6	37,9	0,66	0,6570656	0,0029344
9	0,39	137,1	134	756	1844,8	37,8	0,59	0,650725	- 0,060725

$\frac{1}{0}$	0,4	136,2	133,9	759	1846,3	37,7	0,79	0,655169 2	0,134830 8
$\frac{1}{1}$	0,4	135	133	761	1826	37,1	0,32	0,664163 8	- 0,344163 8
$\frac{1}{2}$	0,45	137	136	771	1950	37,8	0,47	0,638621 1	- 0,168621 1
$\frac{1}{3}$	0,45	137,7	135,7	784	2115	38,1	0,58	0,635870 3	- 0,055870 3
$\frac{1}{4}$	0,53	135,1	133,4	758	2065	37,6	0,88	0,618511 8	0,261488 2
$\frac{1}{5}$	0,57	136	134,1	758	2017,7	37,6	0,68	0,602527 5	0,077472 5
$\frac{1}{6}$	0,58	140	138	790	2085	37,8	0,47	0,587181 2	- 0,117181 2
$\frac{1}{7}$	0,56	139	137	793	1980	37,8	0,56	0,603987	- 0,043987
$\frac{1}{8}$	0,6	136	134,2	746	1968,2	37,7	0,62	0,589597 9	0,030402 1
$\frac{1}{9}$	0,45	133,8	132,1	755	1783,3	37,4	0,59	0,656379 8	- 0,066379 8
$\frac{2}{0}$	0,5	127,4	135	702	1837	37,9	0,64	0,657296 1	- 0,017296 1
$\frac{2}{1}$	0,45	136,8	134,5	788	1835	37,8	0,68	0,651597 5	0,028402 5
$\frac{2}{2}$	0,47	136,8	134,4	756	1749	37,8	0,72	0,632669 3	0,087330 7
$\frac{2}{3}$	0,48	136	133,7	769	1770	37,8	0,48	0,640881	- 0,160881
$\frac{2}{4}$	0,5	138	136	757	1617	37,7	0,75	0,620402 1	0,129597 9
$\frac{2}{5}$	0,43	137	135	737	1625	37,7	0,79	0,636912 9	0,153087 1
$\frac{2}{6}$	0,5	138	136	740	1630	38	0,57	0,611934 4	- 0,041934 4

$\frac{2}{7}$	0,47	137	135	737	1570	37,8	0,3	0,627181 3	- 0,327181 3
$\frac{2}{8}$	0,46	137	134	748	1700	37,8	0,58	0,631681 9	- 0,051681 9
$\frac{2}{9}$	0,46	137,3	134,9	741	1639,4	37,9	0,53	0,628095 2	- 0,098095 2
	P_To p	T_Tray 1	T_Bot t	DP	F_Reflu x	T_Reflu x	Free_E G	Free_EG calc	Delta Free_EG
$\frac{3}{0}$	0,46	137,3	135	750	1634,5	37,7	0,75	0,632486 7	0,117513 3
$\frac{3}{1}$	0,43	137,3	135,1	793	1608	37,8	0,81	0,662989 5	0,147010 5
$\frac{3}{2}$	0,43	136,4	134,1	753	1588	37,8	0,71	0,649879 6	0,060120 4
$\frac{3}{3}$	0,36	134,7	132,2	749	1636	37,7	0,78	0,677632 1	0,102367 9
$\frac{3}{4}$	0,43	138	135,5	861	1656,5	37,9	0,77	0,690425 2	0,079574 8
$\frac{3}{5}$	0,5	137	134	731	1583	37,8	0,42	0,615309 4	- 0,195309 4
$\frac{3}{6}$	0,44	134	132	725	1585	37,6	0,42	0,649064 7	- 0,229064 7
$\frac{3}{7}$	0,46	134,5	132,5	731	1654,4	37,6	0,82	0,641005 9	0,178994 1
$\frac{3}{8}$	0,44	138	135	746	1611	38	0,88	0,632524 7	0,247475 3
$\frac{3}{9}$	0,4	138	1336	753	1587	37,6	0,65	0,650431 4	- 0,000431 4
$\frac{4}{0}$	0,42	135	132	736	1589	37,1	0,85	0,653020 6	0,196979 4
$\frac{4}{1}$	0,4	136	134,4	745	1588,1	37	0,61	0,656476	- 0,046476
$\frac{4}{2}$	0,4	137,2	134	727	1507	37	0,58	0,642045 6	- 0,062045 6

4 3	0,41	139,5	137,3	740	1452	37,8	0,46	0,632635	- 0,172635
4 4	0,41	137,6	135,4	730	1498,5	37,7	0,71	0,638857 5	0,071142 5
4 5	0,46	137,9	135,6	750	1524,5	38	0,79	0,631942 9	0,158057 1
4 6	0,4	136,8	136	103 4	1406	38	0,74	0,799122	- 0,059122
4 7	0,41	137,8	135,9	729	1450	37,7	0,69	0,638443 5	0,051556 5
4 8	0,42	138	133,7	726	1438	37,8	0,59	0,633223 5	- 0,043223 5
4 9	0,4	137,7	135,9	727	1424	37,4	0,72	0,641471 2	0,078528 8
5 0	0,43	136,3	134,3	717	1438	37,8	0,77	0,637194 1	0,132805 9
5 1	0,37	137,5	135,5	742	1418	38	0,71	0,659379 3	0,050620 7
	P_To p	T_Tr _{ay} 1	T_Bot t	DP	F_Reflu x	T_Reflu x	Free_E G	Free_EG calc	Delta Free_EG
5 2	0,4	136,2	134,7	756	1434	33,88	0,68	0,662385 6	0,017614 4
5 3	0,4	137,2	135,3	715	1374,6	37,8	0,61	0,640643	- 0,030643
5 4	0,4	136,9	134,9	722	1369,6	38	0,5	0,646372	- 0,146372
5 5	0,4	137	136,6	731	1395,3	37,8	0,83	0,649224 5	0,180775 5
5 6	0,4	137,4	134,7	731	1442	38	0,57	0,645397 7	- 0,075397 7
5 7	0,4	136,7	134,1	724	1466,7	37,8	0,34	0,645708 5	- 0,305708 5
5 8	0,37	137	134,2	748	1489	37,9	0,76	0,663496 5	0,096503 5
5 9	0,4	137,2	134,8	730	1509,3	37,8	0,57	0,644122 5	- 0,074122 5
6 0	0,4	137,1	134,7	730	1479	37,9	0,77	0,64574	0,12426

C.3 Hasil Perhitungan Model Pengolahan Data 3

General

Number of independent variables = 2

Regression including a free parameter

Number of observations = 60

Statistics

R ²	0,0236221
R ² adj	-0,0106368
Rmsd	0,0172985
Variance	0,0188993

Source data points and calculated data points

	P_Top	T_Tray1	Free_EG	Free_EG calc	Delta Free_EG
1	0,2	138,6	0,67	0,6992974	-0,0292974
2	0,23	138	0,71	0,6938558	0,0161442
3	0,25	137,2	0,58	0,6919934	-0,1119934
4	0,24	144	0,73	0,664678	0,065322
5	0,26	140,1	0,64	0,6764976	-0,0364976
6	0,27	134	0,77	0,7007236	0,0692764
7	0,3	141,1	0,64	0,6612977	-0,0212977
8	0,38	138,6	0,66	0,6507589	0,0092411
9	0,39	137,1	0,59	0,6546826	-0,0646826
10	0,4	136,2	0,79	0,6559582	0,1340418
	P_Top	T_Tray1	Free_EG	Free_EG calc	Delta Free_EG
11	0,4	135	0,32	0,6612545	-0,3412545
12	0,45	137	0,47	0,6389445	-0,1689445
13	0,45	137,7	0,58	0,635855	-0,055855
14	0,53	135,1	0,88	0,6257576	0,2542424
15	0,57	136	0,68	0,610999	0,069001
16	0,58	140	0,47	0,5906483	-0,1206483
17	0,56	139	0,56	0,600455	-0,040455
18	0,6	136	0,62	0,6029093	0,0170907
19	0,45	133,8	0,59	0,6530678	-0,0630678
20	0,5	127,4	0,64	0,6678316	-0,0278316
21	0,45	136,8	0,68	0,6398272	0,0401728
22	0,47	136,8	0,72	0,634434	0,085566
23	0,48	136	0,48	0,6352683	-0,1552683
24	0,5	138	0,75	0,621048	0,128952
25	0,43	137	0,79	0,6443377	0,1456623
26	0,5	138	0,57	0,621048	-0,051048

27	0,47	137	0,3	0,6335513	-0,3335513
28	0,46	137	0,58	0,6362479	-0,0562479
29	0,46	137,3	0,53	0,6349238	-0,1049238
30	0,46	137,3	0,75	0,6349238	0,1150762
31	0,43	137,3	0,81	0,6430136	0,1669864
32	0,43	136,4	0,71	0,6469858	0,0630142
33	0,36	134,7	0,78	0,6733649	0,1066351
34	0,43	138	0,77	0,6399241	0,1300759
35	0,5	137	0,42	0,6254616	-0,2054616
36	0,44	134	0,42	0,6548817	-0,2348817
	P_Top	T_Tray1	Free_EG	Free_EG calc	Delta Free_EG
37	0,46	134,5	0,82	0,6472818	0,1727182
38	0,44	138	0,88	0,6372275	0,2427725
39	0,4	138	0,65	0,6480139	0,0019861
40	0,42	135	0,85	0,6558613	0,1941387
41	0,4	136	0,61	0,6568409	-0,0468409
42	0,4	137,2	0,58	0,6515447	-0,0715447
43	0,41	139,5	0,46	0,638697	-0,178697
44	0,41	137,6	0,71	0,6470827	0,0629173
45	0,46	137,9	0,79	0,6322757	0,1577243
46	0,4	136,8	0,74	0,6533101	0,0866899
47	0,41	137,8	0,69	0,6462	0,0438
48	0,42	138	0,59	0,6426207	-0,0526207
49	0,4	137,7	0,72	0,6493379	0,0706621
50	0,43	136,3	0,77	0,6474271	0,1225729
51	0,37	137,5	0,71	0,6583104	0,0516896
52	0,4	136,2	0,68	0,6559582	0,0240418
53	0,4	137,2	0,61	0,6515447	-0,0415447
54	0,4	136,9	0,5	0,6528688	-0,1528688
55	0,4	137	0,83	0,6524274	0,1775726
56	0,4	137,4	0,57	0,650662	-0,080662
57	0,4	136,7	0,34	0,6537515	-0,3137515
58	0,37	137	0,76	0,6605172	0,0994828
59	0,4	137,2	0,57	0,6515447	-0,0815447
60	0,4	137,1	0,77	0,6519861	0,1180139

C.4 Hasil Perhitungan Model Pengolahan Data 4

General

Number of independent variables = 13

Regression including a free parameter

Number of observations = 60

Statistics

R ²	0,9148431
R ² adj	0,890777
Rmsd	0,1804891
Variance	2,54945

Source data points and calculated data points

	P_T op	T_T op	T_Tra y1	T_Tra y12	T_B ott	DP	T_Esteri fier	F_Refl ux	T_Ref lux	F_Esteri fier	F_O SC	F_T op	F_Wa ter	F_E G	F_EG calc	Delta F_EG
1	0,2	103,4	138,6	102,5	136,3	694	155,7	1118,3	38	94924	27,3	1145,6	9,009	18,291	17,33154	0,9594648
2	0,23	104	138	103,3	136	695	156	1150	37,5	95145	28	1178	8,12	19,88	18,89337	0,9866264
3	0,25	105,5	137,2	104,5	135,3	696	156,3	1171,2	37,8	95266	28,4	1199,6	11,928	16,472	15,46724	1,004758
4	0,24	105,1	144	104,4	141,6	739	157,6	1407	37,8	95230	31,1	1438,1	8,397	22,703	21,49742	1,205577
5	0,26	105,5	140,1	104,8	137,8	744	157,9	1537	37,8	95093	30,3	1567,3	10,908	19,392	18,07682	1,315176
6	0,27	106	134	105	141	749	158	1787	38	95150	40	1827	9,2	30,8	29,26858	1,531421
7	0,3	106,6	141,1	105,9	139,1	794	157,3	1798	38,1	94846	39	1837	14,04	24,96	23,41976	1,54024
8	0,38	107,2	138,6	106,3	136,7	783	157,3	1842,6	37,9	95036	36,5	1879,1	12,41	24,09	22,51324	1,576756
9	0,39	108	137,1	107	134	756	157,2	1844,8	37,8	95165	33,1	1877,9	13,571	19,529	17,95204	1,57696
10	0,4	108,6	136,2	107,7	133,9	759	157,1	1846,3	37,7	95273	30,9	1877,2	6,489	24,411	22,83384	1,577157
11	0,4	109	135	108	133	761	157	1826	37,1	95100	31	1857	21,08	9,92	8,35997	1,56003
	P_T op	T_T op	T_Tra y1	T_Tra y12	T_B ott	DP	T_Esteri fier	F_Refl ux	T_Ref lux	F_Esteri fier	F_O SC	F_T op	F_Wa ter	F_E G	F_EG calc	Delta F_EG
12	0,45	110	137	109	136	771	158	1950	37,8	94820	36	1986	19,08	16,92	15,25262	1,66738
13	0,45	109,8	137,7	108,9	135,7	784	157,7	2115	38,1	94710	28,2	2143,2	11,844	16,356	14,55282	1,803179
14	0,53	112	135,1	110,7	133,4	758	157,8	2065	37,6	94866	34,5	2099,5	4,14	30,36	28,59605	1,763947
15	0,57	112	136	110,8	134,1	758	157,3	2017,7	37,6	94437	30,2	2047,9	9,664	20,536	18,81417	1,721831
16	0,58	112,4	140	111,6	138	790	157,9	2085	37,8	94885	48,2	2133,2	25,546	22,654	20,86645	1,787546

17	0,56	112	139	111,1	137	793	158	1980	37,8	94810	41	2021	18,04	22,96	21,2648	1,695199
18	0,6	112,7	136	111,7	134,2	746	158	1968,2	37,7	94922	33,3	2001,5	12,654	20,646	18,96454	1,681462
19	0,45	112,9	133,8	108,7	132,1	755	155,3	1783,3	37,4	94778	33,5	1816,8	13,735	19,765	18,23988	1,525122
20	0,5	11,8	127,4	109,8	135	702	157,2	1837	37,9	94870	33,2	1870,2	11,952	21,248	19,67759	1,570409
21	0,45	109,7	136,8	108,6	134,5	788	156,6	1835	37,8	95002	32	1867	10,24	21,76	20,19187	1,568132
22	0,47	120,1	136,8	109,1	134,4	756	156,5	1749	37,8	95265	33,6	1782,6	9,408	24,192	22,69585	1,496151
23	0,48	110,2	136	109,2	133,7	769	156,5	1770	37,8	94970	32,1	1802,1	16,692	15,408	13,89481	1,513187
24	0,5	112	138	110	136	757	157	1617	37,7	94450	39	1656	9,75	29,25	27,8629	1,387102
25	0,43	109	137	108	135	737	156	1625	37,7	95100	30	1655	6,3	23,7	22,31052	1,389483
26	0,5	111	138	110	136	740	157	1630	38	95240	33	1663	14,19	18,81	17,41482	1,395176
27	0,47	110	137	109	135	737	156	1570	37,8	94580	34	1604	23,8	10,2	8,855101	1,344899
28	0,46	110	137	109	134	748	157	1700	37,8	95335	34	1734	14,28	19,72	18,26511	1,454888
29	0,46	110	137,3	109	134,9	741	156,6	1639,4	37,9	95000	33,3	1672,7	15,651	17,649	16,24572	1,403275
30	0,46	110	137,3	109	135	750	156	1634,5	37,7	95001	34	1668,5	8,5	25,5	24,10053	1,399471
31	0,43	109,4	137,3	108,3	135,1	793	156,1	1608	37,8	95002	34,7	1642,7	6,593	28,107	26,72961	1,377391
32	0,43	109,4	136,4	108,3	134,1	753	156	1588	37,8	95059	33,3	1621,3	9,657	23,643	22,28321	1,359787
33	0,36	107,9	134,7	107	132,2	749	155,6	1636	37,7	94777	32	1668	7,04	24,96	23,56024	1,399765
34	0,43	109,3	138	108,1	135,5	861	156,2	1656,5	37,9	94482	34,6	1691,1	7,958	26,642	25,22362	1,418377
35	0,5	111	137	110	134	731	156	1583	37,8	94670	30	1613	17,4	12,6	11,24605	1,353948
36	0,44	109	134	108	132	725	156	1585	37,6	95820	31	1616	17,98	13,02	11,66387	1,356128
37	0,46	109,8	134,5	108,7	132,5	731	156,1	1654,4	37,6	94900	28	1682,4	5,04	22,96	21,54662	1,413383
38	0,44	110	138	109	135	746	153	1611	38	95125	35	1646	4,2	30,8	29,41992	1,380076
39	0,4	109	138	108	1336	753	156	1587	37,6	94975	36	1623	12,6	23,4	22,03974	1,360257
40	0,42	109	135	108	132	736	156	1589	37,1	94845	30	1619	4,5	25,5	24,14098	1,359025
41	0,4	108,6	136	107,5	134,4	745	155,6	1588,1	37	95352	32,1	1620,2	12,519	19,581	18,22171	1,359287
42	0,4	109,1	137,2	108	134	727	156,5	1507	37	94972	33	1540	13,86	19,14	17,84889	1,29111
	P_T op	T_T op	T_Tra y1	T_Tra y12	T_B ott	DP	T_Esteri fier	F_Refl ux	T_Ref lux	F_Esteri fier	F_O SC	F_T op	F_Wa ter	F_E G	F_EG calc	Delta F_EG
43	0,41	108,5	139,5	107,4	137,3	740	156,2	1452	37,8	94979	33,2	1485,2	17,928	15,272	14,02733	1,244674
44	0,41	108,9	137,6	107,7	135,4	730	156,1	1498,5	37,7	94970	32,4	1530,9	9,396	23,004	21,72037	1,283626
45	0,46	108,8	137,9	107,7	135,6	750	156,9	1524,5	38	95185	32,8	1557,3	6,888	25,912	24,60618	1,305818

4 6	0,4	108, 7	136,8	107,5	136	10 34	156,4	1406	38	95344	32,8	1438 ,8	8,528	24,2 72	23,066 44	1,2055 59
4 7	0,41	108, 8	137,8	107,8	135, 9	72 9	156,2	1450	37,7	94471	33,6	1483 ,6	10,416	23,1 84	21,940 82	1,2431 76
4 8	0,42	109, 1	138	106	133, 7	72 6	156,2	1438	37,8	95217	31,5	1469 ,5	12,915	18,5 85	17,353	1,232
4 9	0,4	108, 7	137,7	107,7	135, 9	72 7	156,1	1424	37,4	95127	33	1457	9,24	23,7 6	22,539 11	1,2208 86
5 0	0,43	109, 4	136,3	108,3	134, 3	71 7	156,2	1438	37,8	95204	31,1	1469 ,1	7,153	23,9 47	22,715 2	1,2318 05
5 1	0,37	108, 2	137,5	107,1	135, 5	74 2	155,8	1418	38	95032	32,9	1450 ,9	9,541	23,3 59	22,143 24	1,2157 61
5 2	0,4	108, 7	136,2	107,7	134, 7	75 6	155,9	1434	33,88	94916	31,9	1465 ,9	10,208	21,6 92	20,463 19	1,2288 11
5 3	0,4	108, 8	137,2	107,7	135, 3	71 5	155,7	1374,6	37,8	95738	33,7	1408 ,3	13,143	20,5 57	19,377 57	1,1794 32
5 4	0,4	108, 7	136,9	107,6	134, 9	72 2	155,9	1369,6	38	94914	33,5	1403 ,1	16,75	16,7 5	15,574 9	1,1751 04
5 5	0,4	108, 7	137	107,6	136, 6	73 1	156,3	1395,3	37,8	94826	33,7	1429	5,729	27,9 71	26,774 05	1,1969 45
5 6	0,4	108, 7	137,4	107,6	134, 7	73 1	156,2	1442	38	98035	33,7	1475 ,7	14,491	19,2 09	17,972 54	1,2364 57
5 7	0,4	108, 7	136,7	107,7	134, 1	72 4	156,2	1466,7	37,8	94504	32,7	1499 ,4	21,582	11,1 18	9,8611 33	1,2568 67
5 8	0,37	108, 4	137	107,2	134, 2	74 8	156,2	1489	37,9	94989	33	1522	7,92	25,0 8	23,804 12	1,2758 81
5 9	0,4	108, 7	137,2	107,6	134, 8	73 0	156,4	1509,3	37,8	94920	32,7	1542	14,061	18,6 39	17,346 09	1,2929 09
6 0	0,4	108, 6	137,1	107,5	134, 7	73 0	156,1	1479	37,9	94855	33,8	1512 ,8	7,774	26,0 26	24,758 19	1,2678 1

C.5 Hasil Perhitungan Model Pengolahan Data 5

General

Number of independent variables = 3

Regression including a free parameter

Number of observations = 60

Statistics

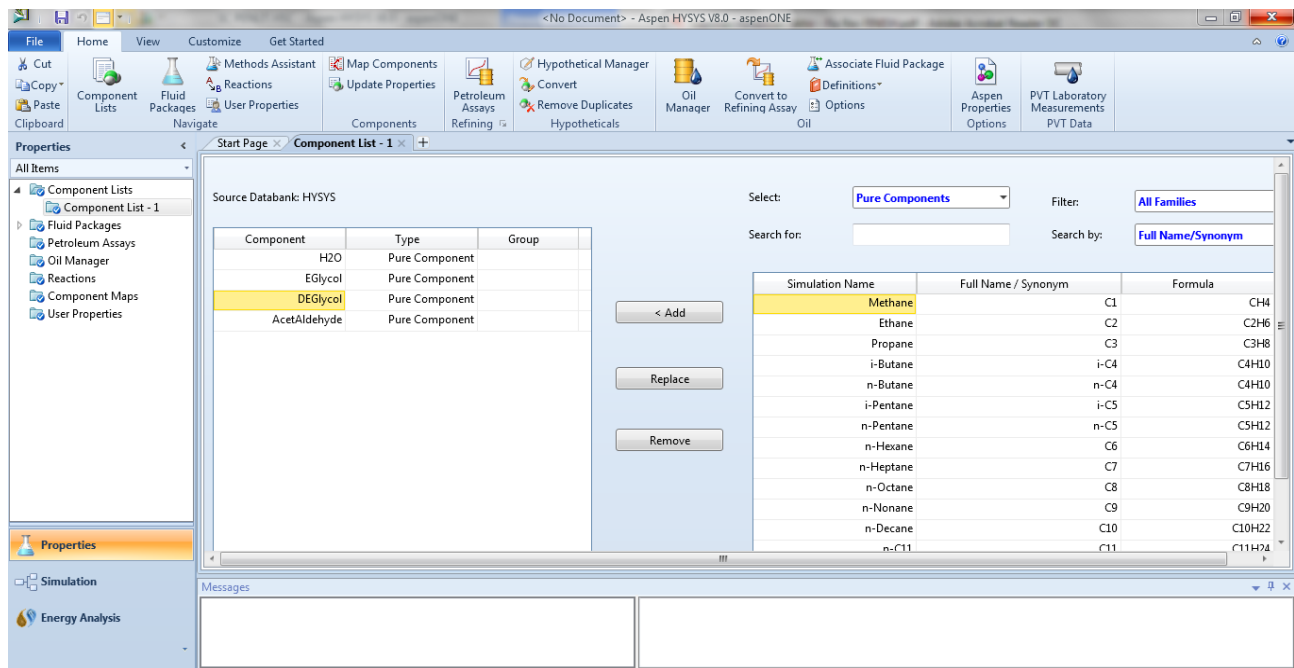
R ²	1,
R ² adj	1,
Rmsd	2,309E-10
Variance	3,426E-18

Source data points and calculated data points

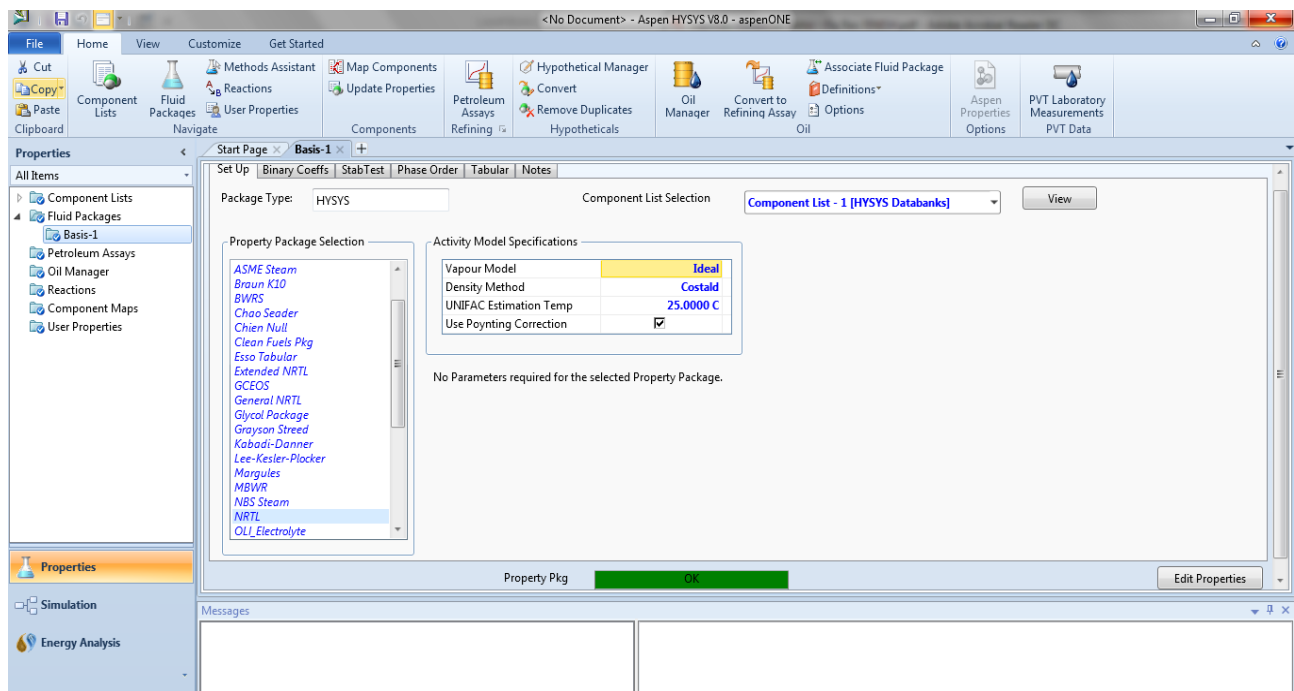
	F_Reflux	F_Top	F_Water	F_EG	F_EG calc	Delta F_EG
1	1118,3	1145,6	9,009	18,291	18,291	-2,183E-11
2	1150	1178	8,12	19,88	19,88	2,684E-10
3	1171,2	1199,6	11,928	16,472	16,472	1,227E-10
4	1407	1438,1	8,397	22,703	22,703	1,114E-09
5	1537	1567,3	10,908	19,392	19,392	4,767E-10
6	1787	1827	9,2	30,8	30,8	3,966E-09
7	1798	1837	14,04	24,96	24,96	3,23E-09
8	1842,6	1879,1	12,41	24,09	24,09	2,348E-09
9	1844,8	1877,9	13,571	19,529	19,529	9,773E-10
	F_Reflux	F_Top	F_Water	F_EG	F_EG calc	Delta F_EG
10	1846,3	1877,2	6,489	24,411	24,411	6,494E-10
11	1826	1857	21,08	9,92	9,92	-3,295E-10
12	1950	1986	19,08	16,92	16,92	1,555E-09
13	2115	2143,2	11,844	16,356	16,356	-1,074E-09
14	2065	2099,5	4,14	30,36	30,36	1,916E-09
15	2017,7	2047,9	9,664	20,536	20,536	-4,63E-11
16	2085	2133,2	25,546	22,654	22,654	5,544E-09
17	1980	2021	18,04	22,96	22,96	3,483E-09
18	1968,2	2001,5	12,654	20,646	20,646	9,714E-10
19	1783,3	1816,8	13,735	19,765	19,765	1,19E-09
20	1837	1870,2	11,952	21,248	21,248	1,14E-09
21	1835	1867	10,24	21,76	21,76	8,112E-10
22	1749	1782,6	9,408	24,192	24,192	1,578E-09
23	1770	1802,1	16,692	15,408	15,408	4,663E-10
24	1617	1656	9,75	29,25	29,25	3,752E-09
25	1625	1655	6,3	23,7	23,7	5,871E-10

26	1630	1663	14,19	18,81	18,81	1,152E-09
27	1570	1604	23,8	10,2	10,2	9,16E-10
28	1700	1734	14,28	19,72	19,72	1,44E-09
29	1639,4	1672,7	15,651	17,649	17,649	1,15E-09
30	1634,5	1668,5	8,5	25,5	25,5	1,931E-09
31	1608	1642,7	6,593	28,107	28,107	2,363E-09
32	1588	1621,3	9,657	23,643	23,643	1,639E-09
33	1636	1668	7,04	24,96	24,96	1,277E-09
34	1656,5	1691,1	7,958	26,642	26,642	2,17E-09
35	1583	1613	17,4	12,6	12,6	-1,549E-10
	F_Reflux	F_Top	F_Water	F_EG	F_EG calc	Delta F_EG
36	1585	1616	17,98	13,02	13,02	1,794E-10
37	1654,4	1682,4	5,04	22,96	22,96	-1,142E-10
38	1611	1646	4,2	30,8	30,8	2,643E-09
39	1587	1623	12,6	23,4	23,4	2,451E-09
40	1589	1619	4,5	25,5	25,5	7,585E-10
41	1588,1	1620,2	12,519	19,581	19,581	9,811E-10
42	1507	1540	13,86	19,14	19,14	1,322E-09
43	1452	1485,2	17,928	15,272	15,272	1,174E-09
44	1498,5	1530,9	9,396	23,004	23,004	1,424E-09
45	1524,5	1557,3	6,888	25,912	25,912	1,723E-09
46	1406	1438,8	8,528	24,272	24,272	1,748E-09
47	1450	1483,6	10,416	23,184	23,184	1,863E-09
48	1438	1469,5	12,915	18,585	18,585	9,053E-10
49	1424	1457	9,24	23,76	23,76	1,751E-09
50	1438	1469,1	7,153	23,947	23,947	1,165E-09
51	1418	1450,9	9,541	23,359	23,359	1,699E-09
52	1434	1465,9	10,208	21,692	21,692	1,254E-09
53	1374,6	1408,3	13,143	20,557	20,557	1,796E-09
54	1369,6	1403,1	16,75	16,75	16,75	1,469E-09
55	1395,3	1429	5,729	27,971	27,971	2,3E-09
56	1442	1475,7	14,491	19,209	19,209	1,619E-09
57	1466,7	1499,4	21,582	11,118	11,118	7,062E-10
58	1489	1522	7,92	25,08	25,08	1,768E-09
59	1509,3	1542	14,061	18,639	18,639	1,192E-09
60	1479	1512,8	7,774	26,026	26,026	2,093E-09

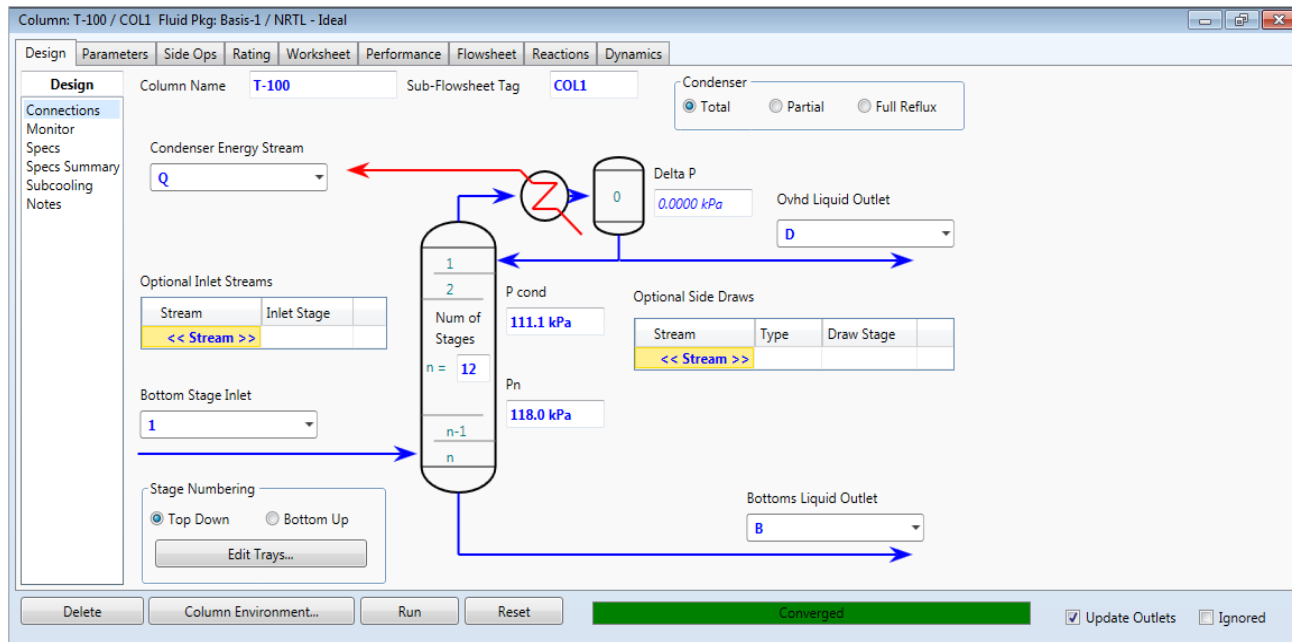
D.1.Input Umpan



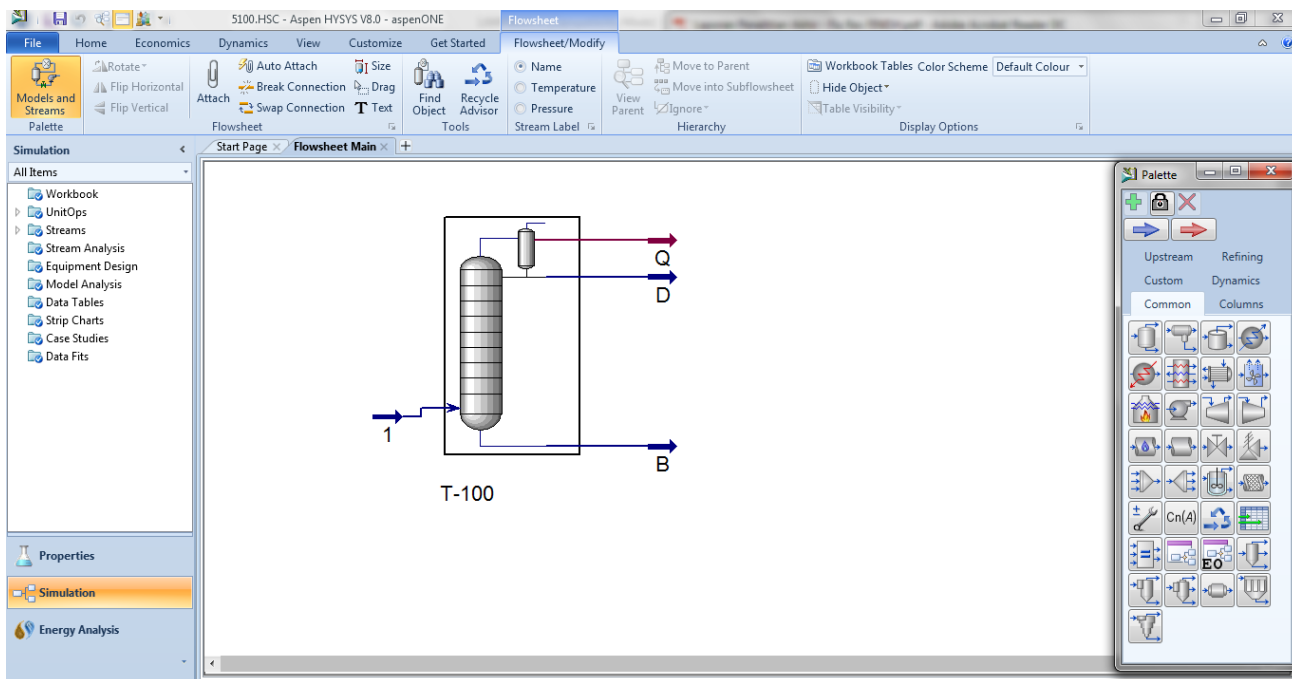
D.2 Pemilihan Fluid Package



D.3 Input Data Operasi



D.4 Run Simulasi



D.5 Hasil Variasi Laju Refluks

Variasi	Destilat							
	EG		DEG		Acetaldehyde		Water	
F Reflux (kg/h)	Laju Alir (kg/h)	Fraksi Massa	Laju Alir (kg/h)	Fraksi Massa	Laju Alir (kg/h)	Fraksi Massa	Laju Alir (kg/h)	Fraksi Massa
6000	0,2233	4,465E-05	5,79E-12	1,16E-15	119,11	2,38E-02	4881,12	0,9761
5900	0,2573	4,974E-05	6,75E-12	1,30E-15	119,24	2,35E-02	4955,65	0,9765
5800	0,3053	5,808E-05	8,07E-12	1,53E-15	119,38	2,32E-02	5024,90	0,9767
5700	0,3443	6,666E-05	9,08E-12	1,76E-15	119,52	2,30E-02	5087,41	0,9770
5600	0,4024	7,681E-05	1,06E-11	2,02E-15	119,65	2,27E-02	5143,21	0,9772
5500	0,4688	8,901E-05	1,22E-11	2,31E-15	119,78	2,25E-02	5191,91	0,9774
5400	0,5442	1,020E-04	1,40E-11	2,63E-15	119,91	2,24E-02	5233,55	0,9775
5300	0,6346	1,175E-04	1,66E-11	3,07E-15	120,02	2,23E-02	5268,57	0,9776
5200	0,7454	1,376E-04	2,08E-11	3,84E-15	120,13	2,22E-02	5298,04	0,9777
5100	1,1805	2,975E-02	3,34E-11	9,89E-13	120,28	2,14E-02	5322,60	0,9488
5000	926	1,452E-01	7,95E-08	1,25E-11	120,40	1,89E-02	5332,30	0,8360
4900	1608,58	2,276E-01	3,44E-07	4,87E-11	120,47	1,70E-02	5337,22	0,7553
4800	2154,65	2,830E-01	9,25E-07	1,22E-10	120,53	1,58E-02	5341,16	0,7012
4700	2617,41	3,251E-01	2,03E-06	2,57E-10	120,57	1,49E-02	5344,50	0,6600
4600	3012,15	3,564E-01	3,88E-06	4,69E-10	120,61	1,42E-02	5347,35	0,6294
4500	3388,59	3,826E-01	7,19E-06	8,12E-10	120,65	1,36E-02	5350,06	0,6038
4400	3737,49	4,065E-01	1,27E-05	1,40E-09	120,69	1,31E-02	5352,58	0,5805
4300	4064,82	4,265E-01	2,18E-05	2,32E-09	120,72	1,26E-02	5354,94	0,5608
4200	4375,06	4,444E-01	3,67E-05	3,76E-09	120,76	1,22E-02	5357,18	0,5433
4100	4677,93	4,605E-01	6,15E-05	6,04E-09	120,79	1,19E-02	5359,36	0,5276
4000	4956,46	4,751E-01	9,99E-05	9,65E-09	120,82	1,16E-02	5361,37	0,5133
3900	5231,32	4,884E-01	1,63E-04	1,53E-08	120,84	1,13E-02	5363,35	0,5003
3800	5497,76	5,008E-01	2,65E-04	2,43E-08	120,87	1,10E-02	5365,28	0,4882
Variasi	Bottom							
	EG		DEG		Acetaldehyde		Water	
F Reflux (kg/h)	Laju Alir (kg/h)	Fraksi Massa	Laju Alir (kg/h)	Fraksi Massa	Laju Alir (kg/h)	Fraksi Massa	Laju Alir (kg/h)	Fraksi Massa

6000	9034,21	0,940	59,889	0,00623	2,132	0,000222	510,33	5,31E-03
5900	9034,18	0,948	59,889	0,00628	2,000	0,000210	436,27	4,58E-03
5800	9034,12	0,955	59,889	0,00633	1,860	0,000197	366,54	3,88E-03
5700	9034,09	0,961	59,889	0,00637	1,722	0,000183	304,04	3,24E-03
5600	9034,03	0,967	59,889	0,00641	1,585	0,000170	248,23	2,66E-03
5500	9033,96	0,972	59,889	0,00644	1,454	0,000156	199,54	2,15E-03
5400	9033,89	0,9765	59,889	0,00647	1,331	0,000144	157,90	1,71E-03
5300	9033,79	0,980	59,889	0,00650	1,219	0,000132	122,88	1,33E-03
5200	9033,68	0,983	59,889	0,00652	1,109	0,000121	93,41	1,02E-03
5100	9033,25	0,986	59,889	0,00654	0,963	0,000105	68,84	7,51E-03
5000	8108,46	0,985	59,889	0,00728	0,839	0,000102	59,15	7,19E-03
4900	7425,85	0,985	59,889	0,00794	0,769	0,000102	54,22	7,19E-03
4800	6879,78	0,984	59,889	0,00857	0,712	0,000102	50,28	7,19E-03
4700	6417,02	0,984	59,889	0,00918	0,664	0,000102	46,94	7,20E-03
4600	6022,28	0,983	59,889	0,00977	0,624	0,000102	44,09	7,20E-03
4500	5645,84	0,982	59,889	0,01042	0,585	0,000102	41,38	7,20E-03
4400	5296,94	0,982	59,889	0,01110	0,549	0,000102	38,86	7,20E-03
4300	4969,61	0,981	59,889	0,01186	0,515	0,000102	36,50	7,21E-03
4200	4659,37	0,980	59,889	0,01260	0,483	0,000102	34,26	7,21E-03
4100	4356,50	0,979	59,889	0,01346	0,452	0,000102	32,08	7,21E-03
4000	4077,97	0,978	59,889	0,01437	0,423	0,000101	30,07	7,21E-03
3900	3803,11	0,977	59,889	0,01539	0,395	0,000101	28,09	7,22E-03
3800	3536,67	0,976	59,889	0,01653	0,367	0,000101	26,17	7,22E-03