



SKRIPSI – TK141581

**PENGUKURAN KESETIMBANGAN UAP-
CAIR SISTEM BINER ETANOL (1) +
GLISEROL (2) PADA TEKANAN
ATMOSFER**

Oleh :

**Fya Widya Irawan
NRP. 0221144000118**

**Ismail Yudhistira
NRP. 0221144000144**

**Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Ir. Kuswandi, DEA
NIP. 19580612 198403 1 003
Rizky Tetrisyanda, ST.,MT
NIP. 19910110 201504 2 002**

**DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018**



FINAL PROJECT - TK141581

**MEASUREMENT OF VAPOR-LIQUID
EQUILIBRIA FOR BINARY SYSTEM
ETHANOL + GLYCEROL AT
ATMOSPHERIC PRESSURE**

By :

Fya Widya Irawan

NRP. 02211440000118

Ismail Yudhistira

NRP. 02211440000144

Advisors :

Prof. Dr. Ir. Kuswandi, DEA

NIP. 19580612 198403 1 003

Rizky Tetrisyanda, ST.,MT

NIP. 19910110 201504 2 002

**DEPARTMENT OF CHEMICAL ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018**

LEMBAR PENGESAHAN

PENGUKURAN KESETIMBANGAN UAP-CAIR SISTEM BINER ETANOL (1) + GLISEROL (2) PADA TEKANAN ATMOSFER

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Sarjana Teknik Kimia pada Program Studi S-1
Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh:

Fya Widya Irawan

02211440000118

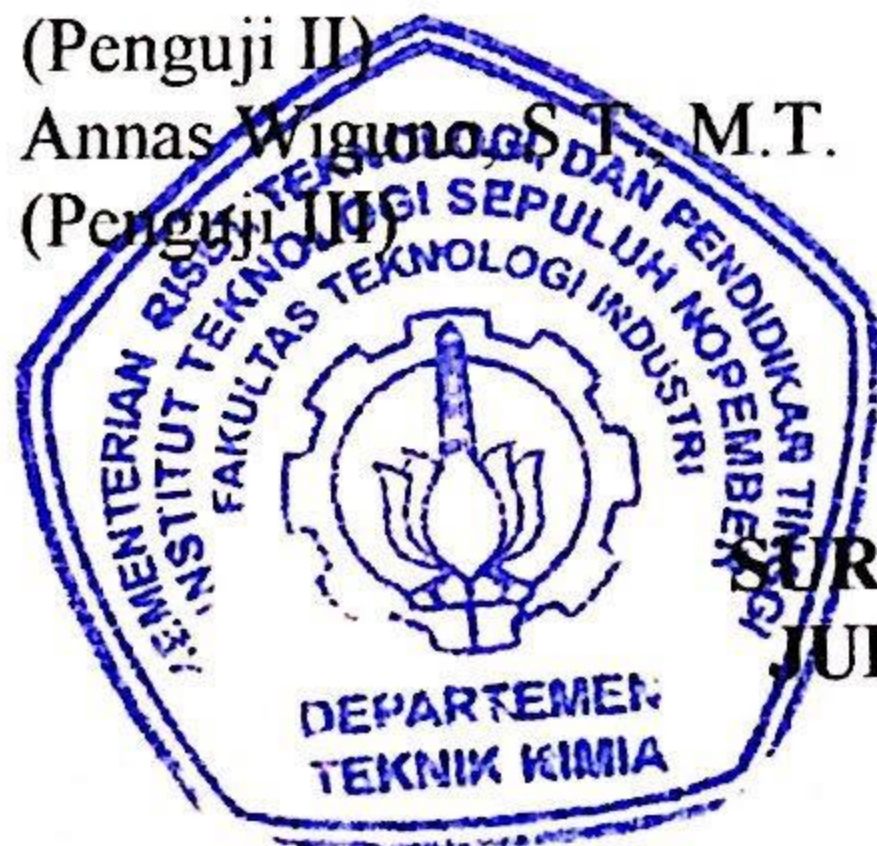
Ismail Yudhistira

02211440000144

Disetujui Oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Prof. Dr. Ir. Kuswandi, DEA
(Pembimbing I)
2. Rizky Tetrisyanda, S.T., M.T.
(Pembimbing II)
3. Prof. Dr. Ir. Gede Wibawa, M.Eng.
(Penguji I)
4. Dr. Siti Machmudah, S.T., M.Eng.
(Penguji II)
5. Annas Wiguno, S.T., M.T.
(Penguji III)

C. a. i. g.
.....
[Signature]
.....
[Signature]
.....
[Signature]
.....



**SURABAYA
JULI 2018**

PENGUKURAN KESETIMBANGAN UAP- CAIR SISTEM BINER ETANOL (1) + GLISEROL (2) PADA TEKANAN ATMOSFER

Nama : 1. Fya Widya Irawan (02211440000118)
2. Ismail Yudhistira (02211440000144)
Departemen : Teknik Kimia FTI – ITS
Dosen : 1. Prof. Dr. Ir. Kuswandi, DEA
Pembimbing 2. Rizky Tetrisyanda, S.T., M.T.

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan data kesetimbangan uap-cair sistem biner etanol (1) + gliserol (2) pada tekanan atmosfer. Peralatan yang digunakan adalah Othmer Still. Data kesetimbangan yang diperoleh dikorelasikan dengan model persamaan Wilson, NRTL, dan UNIQUAC. Hasil korelasi dengan model Wilson menghasilkan AAD T dan y masing-masing sebesar 1,715 dan 1,066%. Hasil korelasi dengan model NRTL menghasilkan AAD T dan y sebesar 1,672 dan 1,066%. Sedangkan hasil korelasi dengan model UNIQUAC menghasilkan AAD T dan y masing-masing sebesar 3,071 dan 1,035%. Dari ketiga permodelan tersebut, NRTL menghasilkan nilai AAD T dan y paling kecil sehingga memiliki keakuratan yang paling baik pada penelitian ini.

Kata kunci : Etanol, Gliserol, Kesetimbangan Uap-Cair

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

MEASUREMENT OF VAPOR-LIQUID EQUILIBRIA FOR BINARY SYSTEM OF ETHANOL (1) + GLYCEROL (2) AT ATMOSPHERIC PRESSURE

Name : 1. Fya Widya Irawan (02211440000118)
2. Ismail Yudhistira (02211440000144)
Department : Teknik Kimia FTI – ITS
Advisor : 1. Prof. Dr. Ir. Kuswandi, DEA
2. Rizky Tetrisyanda, S.T., M.T.

ABSTRACT

The objective of this research was to measure vapor-liquid equilibrium (VLE) data for binary system ethanol (1) + glycerol (2) at atmospheric pressure. The experimental apparatus used in this experiment was Othmer Still. The experimental data were correlated using Wilson, NRTL, and UNIQUAC equations. The results of correlation with Wilson model generate AAD T and y 1,715 and 1,066% respectively. The results of correlation with NRTL model generate AAD T and y 1,672 and 1,066% respectively. The results of correlation with UNIQUAC model generate AAD T and y 3,071 and 1,035% respectively. From those models, NRTL has the best accuracy for this research.

Keywords : Ethanol, Glycerol, Vapor-Liquid Equilibrium

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas berkat dan rahmat serta hidayah-Nya sehingga kami dapat menyelesaikan laporan skripsi dengan judul “Pengukuran Kesetimbangan Uap - Cair Sistem Biner Etanol (1) + Gliserol (2) pada Tekanan Atmosfer”. Dimana laporan skripsi ini merupakan syarat dalam menyelesaikan pendidikan sarjana di Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Kami menyadari dengan keterbatasan yang kami miliki tentunya laporan ini tidak akan terwujud tanpa adanya bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, oleh karena itu dengan kerendahan hati pada kesempatan ini kami mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Gede Wibawa, M. Eng selaku Kepala Laboratorium Termodinamika Departemen Teknik Kimia FTI ITS.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Kuswandi, DEA sebagai dosen pembimbing pertama yang senantiasa memberi bimbingan dan saran.
3. Ibu Rizky Tetrisyanda, ST., MT sebagai dosen pembimbing kedua yang senantiasa memberi bimbingan dan saran.
4. Bapak dan Ibu Dosen pengajar serta seluruh karyawan Departemen Teknik Kimia ITS
5. Orang tua serta saudara-saudara kami atas doa, dukungan dan bimbingan, perhatian dan kasih sayang yang selalu tercurah selama ini.
6. Teman-teman dari Laboratorium Termodinamika.
7. Teman - teman Teknik Kimia 2014 (K54) dan Lintas Jalur 2015 Teknik Kimia FTI-ITS yang selalu memberi semangat dan dukungan.

Akhir kata, laporan ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, Penulis mengharapkan masukan, kritik, dan saran dari setiap

pembaca laporan skripsi ini. Penulis berharap nantinya laporan ini dapat bermanfaat bagi setiap pembaca.

Surabaya, Juli 2018

Penyusun

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Manfaat Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Tinjauan Penelitian	7
2.2 Biodiesel.....	9
2.3 Transesterifikasi	10
2.4 Larutan ideal.....	10
2.5 Kesetimbangan Uap-Cair (VLE)	12
2.6 Persamaan Koefisien Aktivitas.....	14
2.7 Tes Konsistensi Termodinamika.....	19
2.8 Metode UNIFAC	22
2.9 Perhitungan Buble Point	23
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Peralatan Percobaan	25
3.2 Bahan Percobaan	26
3.3 Variabel Percobaan	26
3.4 Prosedur Percobaan	26
3.5 Prosedur Analisa.....	29
3.6 Algoritma Perhitungan Buble T untuk Kesetimbangan Uap-Cair.....	29
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Tes Konsistensi Termodinamika	31

4.2 Hasil Eksperimen Kesetimbangan Uap-Cair Sistem Biner Etanol (1) + Gliserol (2).....	33
4.2 Prediksi Kesetimbangan Uap-Cair dengan Metode UNIFAC.....	37
4.4 Perbandingan Hasil Eksperimen dengan Hasil Eksperimen Literatur	38
BAB V KESIMPULAN	
DAFTAR PUSTAKA	43
DAFTAR NOTASI	47
APENDIKS	

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Produksi Bahan Bakar Minyak.....	2
Tabel 3.1 Properti Bahan yang Digunakan.....	20
Tabel 4.1 Hasil Eksperimen Sistem Biner Etanol + Gliserol pada Tekanan Atmosfer.....	32
Tabel 4.2 Hasil Uji Konsistensi Termodinamika dengan Metode Luasan Herrington.....	34
Tabel 4.3 Hasil Eksperimen dan Perhitungan Kesetimbangan Uap-Cair Sistem Biner Etanol + Gliserol pada Tekanan Atmosfer.....	34
Tabel 4.4 Parameter dan Hasil Korelasi Persamaan Wilson, NRTL, dan UNIQUAC pada Sistem Biner Etanol + Gliserol.....	36

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Rumus Molekul Biodiesel.....	9
Gambar 2.2 Persamaan Reaksi Transeserifikasi.....	10
Gambar 2.3 Kurva Luasan Tes Konsistensi	20
Gambar 3.1 Peralatan Ebulliometer.....	25
Gambar 3.2 Diagram alir perhitungan parameter dengan persamaan Wilson, NRTL, dan UNIQUAC.....	28
Gambar 4.1 Grafik Konsistensi Sistem Etanol + Gliserol	33
Gambar 4.2 Grafik T-x-y Sistem Biner Etanol + Gliserol pada Tekanan Atmosfer.....	35

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Kebijakan Energi Nasional (KEN) mengamanatkan prioritas pemanfaatan sumber daya energi nasional dalam memenuhi kebutuhan energi nasional. Prioritas tersebut ditentukan berdasarkan beberapa faktor, diantaranya ketersediaan sumber energi, keekonomian, kelestarian lingkungan hidup, kecukupan untuk pembangunan yang berkelanjutan. Prioritas pemanfaatan sumber daya energi nasional tersebut harus berujung pada tujuan utama KEN 2050, yaitu Kemandirian dan Ketahanan Energi Nasional. Untuk mencapai kemandirian dan ketahanan energi nasional, prioritas pengembangan energi didasarkan pada prinsip sebagai berikut:

1. Memaksimalkan penggunaan energi terbarukan.
2. Meminimalkan penggunaan minyak bumi.
3. Mengoptimalkan pemanfaatan gas bumi dan energi baru.
4. Menggunakan batubara sebagai andalan pasokan energi nasional.

(Outlook Energi Indonesia, 2016)

Badan Pusat Statistik menyebutkan bahwa sejak tahun 2010-2015 Indonesia selalu mengalami kenaikan pada produksi Bahan Bakar Minyak, terutama pada diesel (solar) baik itu untuk penggunaan transportasi maupun industri. Pemenuhan sumber energi dalam sektor transportasi merupakan sektor paling kritis dan perlu mendapatkan perhatian khusus. Seiring dengan peningkatan produksi maka dari itu artinya Indonesia semakin ketergantungan terhadap bahan bakar minyak. Data produksi bahan bakar minyak dapat dilihat pada Tabel I.1.

Data pada Tabel 1.1 menyimpulkan bahwa produksi BBM khususnya minyak diesel di Indonesia jumlahnya lebih banyak bila dibandingkan dengan produksi BBM lainnya yaitu bensin (premium, pertamax, pertamax plus). Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2017 tentang Kebijakan Energi Nasional menyebutkan bahwa pada tahun 2025 minimal penggunaan Energi Baru Terbarukan sebesar 23%, dan pada tahun 2050 paling sedikit 31%. Kemudian akan terdapat peningkatan pula pada penggunaan gas bumi, sedangkan pengurangan dalam penggunaan minyak bumi dan batubara pada tahun 2050. Selain itu, terdapat kebijakan yang menyebutkan bahwa produksi biodiesel pada tahun 2025 sebesar 11,6 juta KL.

Tabel I.1 Produksi Bahan Bakar Minyak (2010-2015)

Produksi Bahan Bakar Minyak (Barel)				
Bahan Bakar Minyak (BBM)	2010	2012	2014	2015
Premium	66820	67684	70828	71733
Pertamax	3301	2487	3629	8725
Pertamax Plus	668	514	545	627
Automotive Diesel Oil	107351	122099	129502	129306
Industry Diesel Oil	1376	1139	1107	972

(Badan Pusat Statistik, 2015)

Saat ini biodiesel telah banyak digunakan secara internasional maupun di Indonesia. Seperti yang diketahui bersama, terdapat 4 metode utama dalam memproduksi biodiesel, yaitu penggunaan langsung atau pencampuran, metode mikroemulsi, pirolisis, dan transesterifikasi. Sedangkan metode yang paling banyak digunakan adalah transesterifikasi trigliserida (minyak tumbuhan dan minyak hewan), dengan menggunakan alkohol dengan bantuan katalis. Jenis alkohol yang sering digunakan adalah metanol dan etanol, pada hal ini etanol memiliki tingkat kelarutan yang lebih tinggi dibandingkan metanol (Anastopoulos, G., *et al*,

2009). Secara umum transesterifikasi merupakan suatu proses yang menggunakan alkohol untuk memutuskan molekul-molekul minyak nabati menjadi metil atau etil ester dengan adanya katalis dan menghasilkan gliserol sebagai produk sampingnya. Produk biodiesel paling besar didapat pada konsentrasi katalis 0.8% dan menghasilkan 91% yield biodiesel. (Abuhabaya, A., *et al*, 2013). Pada konsentrasi katalis tertentu akan terbentuk sabun yang akan berpengaruh pada penguraian biodiesel. Oleh karena itu, terdapat unit pemurnian biodiesel dari produk sampingnya yakni gliserol. Hal ini dikarenakan kandungan gliserol dapat berakibat negatif pada properti bahan bakar. Disamping itu, gliserol memiliki manfaat yang lain, seperti dapat digunakan sebagai obat-obatan, kosmetik, tambahan senyawa untuk produk makanan, bahan untuk memproduksi senyawa kimia seperti ester, amine, dan asetal. (Oliveira, M. B., *et al*, 2009).

Setelah proses transesterifikasi, maka yang menjadi kesulitan adalah proses pemisahan dan proses pemurnian biodiesel dari pengotor dan produk samping hasil transesterifikasi tersebut. Pemisahan dimaksudkan untuk memisahkan biodiesel dari produk sampingnya (gliserol) dan juga digunakan untuk mengembalikan (*me-recovery*) metanol/alkohol yang terdapat dalam biodiesel. Dalam proses pemurnian tersebut perlu penentuan kondisi operasi optimal dan desain peralatan. Hal ini dapat dilakukan dengan baik jika tersedianya data kesetimbangan antara senyawa yang ada dalam campuran hasil transesterifikasi.

Beberapa penelitian terdahulu adalah Coelho, R., *et al* (2011) meneliti tentang kesetimbangan uap-cair untuk sistem biner air + gliserol dan etanol + gliserol, etil stearat, dan etil palmitat pada tekanan rendah menggunakan ebuliometer tipe Othmer pada range tekanan 14 kPa sampai 96 kPa. Shimoyama, Y., *et al* (2009) melakukan pengukuran dan penghitungan kesetimbangan uap-cair untuk sistem biner metanol + gliserol dan etanol + gliserol menggunakan *flow method* pada range suhu 493-573 K. Sounjaya, J., *et al* (2009)

melakukan eksperimen kesetimbangan uap-cair untuk sistem biner metanol + air pada tekanan atmosfer 95.3 kPa dan pada tekanan (15.19, 29.38, 42.66, 56.03, dan 67.38) kPa, sistem air + gliserol pada tekanan (14.19, 29.38, 41.54, 54.72, 63.84, dan 95.3) kPa dan sistem metanol + gliserol pada tekanan (32.02 dan 45.03) kPa menggunakan Sweitoslawsky ebulliometer. Oliveira, M. B., *et al* (2009) meneliti kesetimbangan uap-cair untuk sistem biner gliserol + air, gliserol + metanol, gliserol + 1-butanol. Wiguna dan Irwansyah (2012) melakukan pengukuran kesetimbangan uap-cair sistem biner metanol + gliserol dan 1-propanol + gliserol pada kondisi isothermal pada range suhu 40-90°C secara eksperimen menggunakan Ebulliometer tipe Othmer yang telah dimodifikasi. Akbarina dan Ruslim (2012) melakukan eksperimen menggunakan ebulliometer yang telah dimodifikasi untuk mencari kesetimbangan uap-cair dari sistem etanol + gliserol dan 2-propanol + gliserol pada suhu 323.15 K, 333.15 K, 343.15 K. Wardani dan Ellena (2013) melakukan pengukuran kesetimbangan uap-cair sistem biner 2-butanol + gliserol pada range suhu 313.15 K sampai 333.15 K. Zaoui-Djelloul-Daouadji, M., *et al* (2013) meneliti kesetimbangan uap-cair dan fungsi *excess Gibbs free energy* untuk sistem biner etanol + gliserol dan air + gliserol pada temperatur berbeda.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, penelitian kesetimbangan uap-cair sistem biner etanol + gliserol yang selanjutnya dianalisa dengan menggunakan *refractometer* belum pernah dilakukan data tersebut sangat dibutuhkan untuk pemurnian biodiesel maupun sebagai basis dalam pengembangan teori campuran larutan sistem alkohol + gliserol.

I.2 Perumusan Masalah

Proses pemurnian dan pemisahan diperlukan supaya biodiesel dapat digunakan sebagai bahan campuran bahan bakar solar. Data kesetimbangan uap-cair diperlukan untuk menentukan kondisi operasi proses distilasi agar efisiensi

recovery alkohol dapat ditingkatkan. Berdasarkan penelitian sebelumnya, diketahui telah dilakukan beberapa penelitian data kesetimbangan, antara lain data kesetimbangan sistem etanol + gliserol dan propanol + 2-gliserol oleh Akbarina dan Ruslim (2012), data kesetimbangan sistem biner 2-butanol + gliserol oleh Wardani dan Ellena (2013) dan untuk data kesetimbangan biner sistem biner metanol + gliserol dan 1-propanol + gliserol oleh Wiguna dan Irwansyah (2012) , sementara untuk data kesetimbangan uap-cair sistem biner etanol + gliserol yang selanjutnya dianalisa dengan menggunakan *refractometer* belum pernah dilakukan. Oleh karena itu, data kesetimbangan uap-cair sistem biner etanol + gliserol yang akurat diperlukan untuk basis dalam desain proses pemisahan dan pengembangan teori larutan.

I.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan data kesetimbangan uap-cair sistem biner etanol (1) + gliserol (2) yang selanjutnya dikorelasi dengan persamaan Wilson, NRTL, dan UNIQUAC, serta prediksi kesetimbangan uap-cair sistem biner etanol (1) + gliserol (2) pada tekanan atmosfer dengan persamaan UNIFAC.

I.4 Manfaat Penelitian

Data kesetimbangan uap-cair sistem biner etanol (1) + gliserol (2) yang didapatkan dalam penelitian ini dapat digunakan sebagai dasar perancangan proses distilasi untuk meningkatkan efisiensi dari pemisahan alkohol dan gliserol. Selain itu, data tersebut dapat digunakan sebagai basis dalam pengembangan teori larutan pada produksi biodiesel.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Penelitian

Penelitian ini dilakukan berdasarkan beberapa penelitian sebelumnya tentang kesetimbangan uap-cair dalam pemurnan biodiesel yang telah dilakukan antara lain:

1. Coelho, R., *et al.* (2011) meneliti tentang kesetimbangan uap cair untuk sistem biner (*water + glycerol*) dan (*ethanol + glycerol, ethyl stearate, dan ethyl palmitate*) pada tekanan rendah menggunakan Othmer-tipe ebulliometer pada range tekanan pada 14 kPa sampai 96 kPa. Eksperimen dikorelasi menggunakan NRTL dan UNIQUAC serta model UNIFAC-Dortmund.
2. Shimoyama, Y., *et al.* (2009) melakukan pengukuran dan perhitungan kesetimbangan uap cair untuk sistem biner *methanol + glycerol* menggunakan *flow method* pada range suhu 493-573 K. Tekanan operasi untuk sistem metanol + gliserol adalah 3.03-11.02 MPa dan untuk sistem etanol + gliserol adalah pada 2.27-8.78 MPa. Parameter kesetimbangan yang digunakan yaitu model persamaan PRASOG.
3. Oliveira, M. B., *et al.* (2009) meneliti kesetimbangan uap cair untuk sistem biner air + gliserol dan alkohol + gliserol. Penelitian ini mendapatkan data kesetimbangan biner untuk 5 alkohol (metanol, etanol, 1-propanol, 2-propanol, dan 1-butanol) menggunakan *Cubic-Plus Association (CPA) Equation of State*.
4. Zaoui-Djelloul-Daouadji, M., *et al.* (2014) meneliti kesetimbangan uap cair dan fungsi *excess Gibbs free energy* untuk sistem biner etanol + gliserol dan air + gliserol pada temperatur berbeda. Fungsi *excess Gibbs*

energy didapatkan pada beberapa temperatur serta dikorelasikan dengan menggunakan persamaan *Redlich-Kister* orde 4.

Sementara penelitian yang telah dilakukan laboratorium Termodinamika Departemen Teknik Kimia Institut Teknologi Sepuluh Nopember adalah :

1. Wiguna dan Irwansyah (2012) melakukan pengukuran kesetimbangan uap cair sistem biner (metanol+gliserol dan propanol+gliserol) pada kondisi isothermal secara eksperimen menggunakan Ebulliometer tipe Othmer yang dimodifikasi pada range temperatur 40°C-90°C. Reabilitas peralatan diuji dengan membandingkan tekanan uap yang diperoleh dari eksperimen untuk metanol murni dan campuran metanol+air terhadap data literatur Zharov dan Pervukhin (1972) Zh. Fiz. Khim. (J. Phys. Chem. USSR) vol 46, 1970-1973 dengan maksimum *Average Absolute Deviation* (AAD) dalam tekanan uap sebesar 0,7%.
2. Akbarina dan Ruslim (2012) melakukan eksperimen menggunakan ebulliometer yang telah dimodifikasi untuk mencari VLE dari sistem biner etanol+gliserol dan isopropanol+gliserol pada suhu 323.15 K, 333.15 K, 343.15 K. Reabilitas dilakukan dengan mengukur tekanan uap etanol murni serta campuran metanol+air dan membandingkan data tekanan uap yang diperoleh dengan data literatur.
3. Wardani dan Ellena (2013) melakukan pengukuran eksperimen kesetimbangan uap-cair sistem biner 2-butanol + gliserol dan sistem terner metanol+2-butanol+gliserol dan etanol+2-propanol+gliserol pada kisaran suhu 313.15 K sampai 333.15 K dengan menggunakan ebulliometer sederhana yang dikembangkan oleh Oktavian *dkk.* (2013). Data yang diperoleh dikorelasikan dengan persamaan Wilson, NRTL, dan UNIQUAC.

2.2 Biodiesel

Biodiesel adalah bahan bakar mesin diesel yang terdiri dari campuran monoalkil ester dari rantai panjang asam lemak yang terkandung dalam minyak nabati atau lemak hewani. Biodiesel dapat diperoleh melalui reaksi transesterifikasi trigliserida dan atau reaksi esterifikasi asam lemak bebas tergantung dari kualitas minyak nabati yang digunakan sebagai bahan baku. Rumus molekul biodiesel dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Ester Metil Asam-Asam Lemak (Biodiesel)

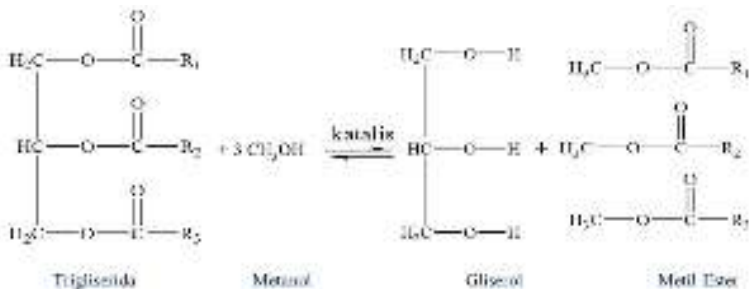
Gambar 2.1 Rumus Molekul Biodiesel

Pemisahan dan pemurnian biodiesel dilakukan untuk mendapatkan biodiesel yang sesuai standar SNI. Biodiesel mempunyai beberapa kelebihan dibanding bahan bakar diesel petroleum. Kelebihan tersebut antara lain :

1. Biodiesel adalah bahan bakar ramah lingkungan karena menghasilkan emisi yang lebih baik, yaitu bebas sulfur dan *smoke number* rendah.
2. Memiliki *cetane number* yang tinggi (>60) sehingga pembakaran lebih sempurna.
3. *Biodegradable*.
4. Hasil samping produk dapat digunakan di industri farmasi (gliserol).

2.3 Transesterifikasi

Transesterifikasi adalah proses yang mereaksikan trigliserida dalam minyak nabati atau lemak hewani dengan alkohol rantai pendek untuk menghasilkan metil ester asam lemak (*fatty acid methyl ester* / FAME) atau biodiesel dan gliserol sebagai produk samping. Katalis yang umum digunakan pada proses transesterifikasi adalah katalis basa, biasanya digunakan natrium hidroksida (NaOH) atau kalium hidroksida (KOH). Reaksi transesterifikasi dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Persamaan Reaksi Transesterifikasi

Terdapat beberapa cara agar kesetimbangan lebih kearah produk, yaitu :

1. Menambahkan alkohol berlebih ke dalam reaksi.
2. Memisahkan gliserol.
3. Menurunkan temperatur reaksi (transesterifikasi merupakan reaksi eksoterm).

2.4 Larutan Ideal

Larutan ideal merupakan model standar untuk membandingkan kelakuan larutan nyata dan perbedaannya yang disebut properti eksep. Persamaan untuk larutan ideal adalah

$$G_i^{id} = G_i + RT \ln x_i \quad (2-1)$$

Dimana μ_i^{id} menunjukkan properti larutan ideal. Fugasitas spesies dalam larutan ideal diturunkan dari persamaan (2-1) untuk spesies i dalam larutan ideal :

$$\mu_i^{id} = G_i^{id} = \Gamma_i(T) + RT \ln f_i^{id} \quad (2-2)$$

Substitusi G_i pada persamaan (2-2) didapatkan

$$G_i^{id} = \Gamma_i(T) + RT \ln x_i f_i \quad (2-3)$$

Dengan membandingkan kedua persamaan di atas didapatkan

$$f_i^{id} = x_i f_i \quad (2-4)$$

Persamaan ini dikenal sebagai persamaan aturan Lewis/Randall yang digunakan untuk setiap spesies dalam larutan ideal dalam semua kondisi yaitu temperatur, tekanan, dan komposisi. Persamaan tersebut menunjukkan bahwa fugasitas tiap spesies dalam larutan ideal proporsional terhadap fraksi molnya. Konstanta proporsionalnya adalah f_i , fugasitas spesies i murni pada kondisi fisik sama dengan larutan dan pada T dan P yang sama.

Sifat larutan ideal didekati oleh larutan yang terdiri dari molekul-molekul yang tidak terlalu berbeda dalam ukuran maupun sifat kimia. Misalnya campuran anggota berdekatan seperti benzene/toluene.

2.4.1 Hukum Raoult

Pada kesetimbangan uap cair digunakan model gas ideal untuk fase uapnya dan model larutan ideal untuk fase cairnya dengan persamaan

$$y_i P = x_i P_i^{sat} \quad (2-5)$$

yang dikenal dengan Hukum Raoult. Terdapat dua asumsi yang digunakan untuk menggunakan Hukum Raoult, yaitu fase uap

berada pada keadaan gas ideal dan fase cair berada pada keadaan larutan ideal. Hal ini berarti Hukum Raoult hanya dapat diaplikasikan pada sistem bertekanan rendah dan akurat pada sistem yang besar molekulnya sejenis.

Hukum Raoult tidak dapat diaplikasikan pada sistem yang tekanan uapnya tidak diketahui dan hanya dapat diaplikasikan pada sistem yang berat jenisnya berada pada keadaan subkritis (temperatur berada di bawah temperatur kritis).

2.5 Kesetimbangan Uap Cair (VLE)

Apabila suatu campuran zat cair berada dalam kesetimbangan dengan campuran uap pada temperatur dan tekanan yang sama, besaran yang diperlukan adalah temperatur, tekanan, dan komposisi kedua fase. Suatu sistem dikatakan setimbang secara termodinamika jika sistem tersebut tidak mengalami kecenderungan kearah perubahan pada skala makroskopis.

Uap berasal dari fase liquid yang menunjukkan kecenderungan untuk berubah menjadi uap. Fase uap juga memiliki kecenderungan menjadi fase liquid dengan cara kondensasi. Kecenderungan untuk berubah dapat diukur dengan kuantitas f yang disebut fugasitas.

Pada keadaan setimbang, properti-properti yang teramati tidak berubah terhadap waktu, sehingga properti-properti intensif atau potensial termodinamikanya (suhu, tekanan, potensial kimia) sama dalam suatu sistem. Keseragaman tersebut berpengaruh pada tidak adanya transfer panas, transfer massa, dan kerja dari dalam maupun ke luar sistem.

Untuk setiap komponen dalam campuran, kondisi kesetimbangan dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$\hat{f}_i^L = \hat{f}_i^V \quad (2-6)$$

Untuk fase uap dengan fraksi mol y , hubungan antara fugasitas dengan temperatur, tekanan, dan fraksi mol, koefisien fugasitas dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$\hat{f}_i^V = y_i \hat{\phi}_i P \quad (2-7)$$

Fugasitas komponen i dalam fase cair terhubung dengan komposisi fase yang bersangkutan melalui koefisien aktivitas yang dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$\hat{f}_i^L = x_i \hat{\gamma}_i f_i^0 \quad (2-8)$$

Dengan harga f_i^0 didapatkan dari persamaan :

$$f_i^0 = P_i^{sat} \phi_i^{sat} \exp\left(\frac{V_i(P - P_i^{sat})}{RT}\right) \quad (2-9)$$

Pada tekanan rendah, faktor eksponensial (*pointing factor*) yang nilainya mendekati 1 dan ϕ_i dianggap 1 sehingga :

$$\hat{f}_i^L = x_i \gamma_i P_i^{sat} \quad (2-10)$$

Pada tekanan rendah, fase gas diasumsikan mengikuti kelakuan gas ideal maka :

$$\hat{\phi}_i = 1 \quad (2-11)$$

maka dari persamaan (2-7) dan (2-10) didapatkan persamaan :

$$\gamma_i P = P_i^{sat} \gamma_i x_i \quad (2-12)$$

Sedangkan koefisien aktivitas dinyatakan dengan persamaan :

$$\gamma_i = \frac{\hat{f}_i^L}{x_i f_i^0} \quad (2-13)$$

Pada persamaan Gibbs Duhem dinyatakan bahwa di dalam suatu campuran, koefisien aktivitas tiap komponennya tidak bebas terhadap yang lain melainkan terhubung melalui persamaan Diferensial.

Persamaan umum Gibbs Duhem adalah :

$$\left[\frac{\partial M}{\partial P}\right]_{T,x} dP + \left[\frac{\partial M}{\partial T}\right]_{P,x} dT - \sum_i x_i d\bar{M}_i = 0 \quad (2-14)$$

Pada P dan T konstan, maka :

$$\sum_i x_i d\bar{M}_i = 0 \quad (2-15)$$

Jika $\ln \gamma_i$ adalah properti parsial, maka persamaan (2-10) menjadi:

$$\sum x_i d \ln \gamma_i = 0 \quad (2-16)$$

2.6 Persamaan Koefisien Aktivitas

Model energi Gibbs seperti Wilson (1964), NRTL (*Non Random Two Liquid*) (1968), dan UNIQUAC (*Universal Quasi-Chemical*) (1975) sering digunakan untuk korelasi VLE campuran non-ideal seperti alkohol-hidrokarbon. Model ini membutuhkan parameter interaksi biner tiap pasangan antar molekulnya (*pair*). Hal ini digunakan untuk problem campuran multi komponen.

2.6.1 Persamaan Wilson

Persamaan Wilson dikemukakan oleh Wilson (1964). Persamaan Wilson mengacu pada konsep *local composition* yang merupakan dasar dari pengembangan teori pada termodinamika molekuler untuk *liquid solution*. Pada *liquid solution*, komposisi lokal berbeda dengan komposisi campuran secara keseluruhan, merupakan perkiraan untuk menghitung *short-range* dan *non-random molecular orientation* yang dihasilkan dari perbedaan ukuran molekul dan gaya intermolekuler.

Persamaan Wilson dapat digunakan untuk larutan ideal maupun larutan yang sangat tidak ideal. Untuk campuran-campuran biner sangat tidak ideal, misalnya larutan-larutan alkohol dengan hidrokarbon, persamaan Wilson lebih baik karena tidak seperti persamaan NRTL yang memiliki tiga parameter dan secara matematik lebih sederhana dibandingkan persamaan UNIQUAC.

Parameter Wilson terdiri dari dua parameter untuk sistem biner (Λ_{12} dan Λ_{21}) yang dinyatakan sebagai berikut.

$$\Lambda_{ij} = \frac{V_j}{V_i} \exp \frac{-a_{ij}}{RT} \quad (2-17)$$

Persamaan umum koefisien aktivitas untuk persamaan Wilson adalah sebagai berikut:

$$\ln \gamma_i = -\ln \left[\sum_j^N x_j \Lambda_{ij} \right] + 1 - \left[\sum_k^N \frac{x_k \Lambda_{ki}}{\sum_j^N x_j \Lambda_{kj}} \right] \quad (2-18)$$

Kelebihan dari persamaan Wilson ini adalah

- Dapat digunakan untuk larutan mendekati ideal maupun larutan yang sangat tidak ideal
- Hanya memiliki dua parameter sehingga lebih mudah dalam pengerjaannya
- Untuk campuran biner yang sangat tidak ideal (larutan alkohol dengan hidrokarbon) akan diperoleh hasil prediksi yang lebih baik
- Baik digunakan untuk larutan yang nonpolar
- Dapat digunakan untuk sistem multi komponen

Sementara kekurangan dari persamaan Wilson ini adalah

- Tidak dapat digunakan pada larutan yang tidak larut
- Tidak dapat digunakan untuk LLE (*Liquid-liquid Equilibrium*)
- Tidak dapat digunakan untuk polimer

2.6.2 Persamaan NRTL

Persamaan NRTL dikemukakan oleh Renon dan Prauznitz (1968). Persamaan ini diturunkan berdasarkan konsep *local composition* yang dipelopori oleh Wilson. Persamaan NRTL ini dapat digunakan untuk sistem yang larut sebagian maupun untuk

sistem yang larut sempurna. Persamaan ini dapat dipakai secara luas dalam VLE, LLE, dan VLLE untuk berbagai jenis zat, misalnya campuran hidrokarbon jenuh dan spesies polar, campuran senyawa non-polar, campuran spesies non-polar dan polar, campuran air dan spesies polar, dan campuran alkohol dengan campuran spesies non-polar.

Persamaan NRTL mempunyai tiga parameter yaitu dengan tambahan parameter ketidacakakan (α) yang membuat persamaan tersebut dapat diaplikasikan untuk berbagai jenis campuran dan kesetimbangan cair-cair dengan cara yaitu memilih α yang sesuai. Perhitungan parameter untuk persamaan ini dilakukan dengan menetapkan harga α pada nilai tertentu dan selanjutnya melakukan optimasi untuk memperoleh dua parameter. Harga α biasanya berada di antara 0,2 sampai 0,47. Angka ini diperoleh dari beberapa eksperimen sistem biner. Walaupun lebih rumit, persamaan ini yaitu dapat membuat sistem ideal dan non-ideal. Jadi, apabila dalam mempelajari sistem biner ini hanya terlarut sebagian dalam *range* konsentrasi yang ditinjau, maka digunakan persamaan NRTL.

Persamaan umum koefisien aktivitas untuk persamaan NRTL adalah sebagai berikut:

$$\ln \gamma_i = \frac{\sum_{j=1}^n \tau_{ji} G_{ji} x_j}{\sum_{k=1}^n G_{ki} x_k} + \sum_{j=1}^n \frac{x_j G_{ij}}{\sum_{k=1}^n G_{kj} x_k} \left[\tau_{ij} - \sum_{k=1}^n \frac{x_k \tau_{kj} G_{kj}}{\sum_{k=1}^n G_{kj} x_k} \right] \quad (2-19)$$

Dimana

$$\ln G_{ji} = -\alpha_{ji} \tau_{ji} \quad (2-20)$$

$$G_{ii} = G_{jj} = 1 \quad (2-21)$$

$$\tau_{ji} = \frac{b_{ji} - b_{ii}}{RT} \quad (2-22)$$

$$\tau_{ii} = \tau_{jj} = 0 \quad (2-23)$$

Keuntungan menggunakan persamaan NRTL adalah persamaan model NRTL ini memiliki keandalan yang konsisten dibanding Van Laar dan Margules dalam arti persamaan ini biasanya dapat menangani keadaan yang sangat tidak ideal, hanya dengan dua atau tiga parameter yang dapat disesuaikan. Persamaan NRTL sesuai untuk sistem multikomponen. Persamaan ini dapat digunakan untuk sistem LLE dan VLE. Untuk sistem yang organik dapat diperoleh hasil yang baik dan akurat, dan dapat digunakan untuk larutan yang saling larut sempurna dan yang larut sebagian.

2.6.3 Persamaan UNIQUAC

Persamaan UNIQUAC dikemukakan oleh Abrams dan Prausnitz (1975). Persamaan ini pada dasarnya merupakan kelanjutan dari teori *quasi-chemical* dari Guggenheim untuk campuran *non-random* yang diaplikasikan untuk larutan yang mengandung molekul-molekul yang memiliki ukuran yang berbeda. Persamaan ini juga dapat digunakan untuk sistem cair yang larut sempurna maupun larut sebagian. Persamaan ini dapat diaplikasikan untuk campuran cair non-elektrolit, baik polar maupun non-polar, seperti hidrokarbon, alkohol, nitril, keton, aldehid, dan sebagainya.

Persamaan UNIQUAC dipisahkan menjadi dua bagian yaitu bagian kombinatorial yang terdiri dari parameter komponen murni saja untuk menghitung perbedaan bentuk dan ukuran molekul, serta bagian residual yang menggabungkan dua parameter biner tiap pasang molekul untuk menghitung interaksi molekul.

$$g = g^c + g^R \quad (2-24)$$

Untuk sistem multi komponen:

$$g^c = \sum_i x_i \ln \frac{\phi_i}{x_i} + \frac{z}{2} \sum_i q_i x_i \ln \frac{\theta_i}{\phi_i} \quad (2-25)$$

$$g^R = - \sum_i q_i x_i \ln (\sum_j \theta_j \tau_{ji}) \quad (2-26)$$

Dimana $i,j,k,\dots = 1,2,3,\dots,N$ (komponen)

$$\theta_i = \frac{x_i q_i}{\sum_j x_j q_j} \quad (2-27)$$

$$\phi_i = \frac{x_i r_i}{\sum_j x_j r_j} \quad (2-28)$$

$$\tau_{ji} = \exp \left(- \frac{(a_{ji} - a_{ii})}{T} \right) \quad (2-29)$$

dimana

$$a_{ii} = a_{jj} = a_{kk} = 0 \quad (2-30)$$

$$a_{ji} = a_{ij} \quad (2-31)$$

dan $z = 10$ (ditetapkan).

Koefisien aktivitas untuk sembarang komponen i dinyatakan sebagai berikut :

$$\ln \gamma_i = \ln \frac{\phi_i}{x_i} + \frac{z}{2} q_i \ln \frac{\theta_i}{\phi_i} + l_i - \frac{\theta_i}{\phi_i} \sum_j x_j l_j - q_i \ln (\sum_j \theta_j \tau_{ji}) + q_i - q_i \sum_j \frac{\theta_j \tau_{ij}}{\sum_k \theta_k \tau_{kj}} \quad (2-32)$$

dan

$$l_i = \frac{z}{2} (r_i - q_i) - (r_i - 1) \quad (2-33)$$

Model UNIQUAC dapat diterapkan untuk memprediksi kesetimbangan uap-cair sistem multi komponen dengan parameter energi interaksi sistem biner. Keuntungan menggunakan persamaan UNIQUAC adalah hanya mempunyai dua parameter yang dapat disesuaikan, mempunyai ketergantungan yang lebih kecil terhadap suhu, dan dapat diterapkan pada larutan dengan

molekul-molekul yang besar atau kecil sebab variabel konsentrasi primer merupakan fraksi permukaan dan bukan fraksi mol.

2.7 Tes Konsistensi Termodinamika

Data percobaan yang diperoleh dari penelitian tidak bisa langsung diolah tetapi harus dipastikan terlebih dahulu bahwa data percobaan tersebut akurat secara termodinamika. Untuk data percobaan kesetimbangan uap cair sistem biner atau multi komponen keakuratannya diuji dengan Persamaan Gibbs-Duhem. Uji keakuratan data hasil percobaan secara termodinamika dilakukan dengan cara koreksi terhadap Gibbs-Duhem untuk melihat seberapa besar penyimpangannya terhadap persamaan tersebut.

Data percobaan yang diperoleh dari penelitian tidak bisa langsung diolah tetapi harus dipastikan terlebih dahulu bahwa data percobaan tersebut akurat secara termodinamika atau disebut juga *thermodynamic consistency test* untuk data VLE dimana tes dilakukan terhadap data secara *overall* dapat dengan menggunakan metode tes luasan Herrington dengan indeks konsistensi harus < 10%

Tahun 1951 Herrington mengusulkan metode tes luasan yang didasarkan pada Persamaan Gibbs-Duhem untuk sistem biner:

$$G^E = RT(x_1 \ln \gamma_1 + x_2 \ln \gamma_2) \quad (2-34)$$

Jika dideferensialkan terhadap x_1 maka:

$$\frac{dG^E}{RT} = dx_1 \left(\frac{x_1 d \ln \gamma_1}{dx_1} + \frac{x_2 d \ln \gamma_2}{dx_1} + \ln \gamma_1 \frac{dx_2}{dx_1} - \ln \gamma_2 \frac{dx_2}{dx_1} \right) \quad (2-35)$$

Dimana : $dx_2 = -dx_1$

$$d\left(\frac{G^E}{RT}\right) = dx_1 \left(\frac{x_1 d \ln \gamma_1}{dx_1} + \ln \gamma_1 + \frac{x_2 d \ln \gamma_2}{dx_1} - \ln \gamma_2 \right) \quad (2.36)$$

$$\text{dan } x_1 \frac{d \ln \gamma_1}{dx_1} + x_2 \frac{d \ln \gamma_2}{dx_2} = 0 \quad (2.37)$$

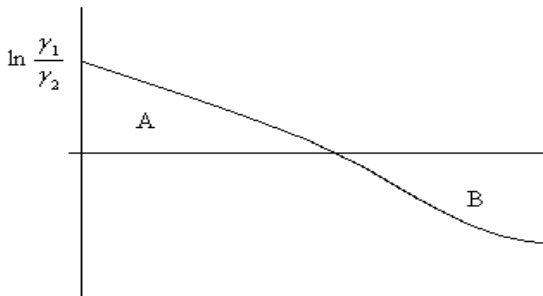
$$\text{maka } d\left(\frac{G^E}{RT}\right) = \ln\left(\frac{\gamma_1}{\gamma_2}\right) dx_1 \quad (2.38)$$

dengan mengintegrasikan persamaan diatas dengan batas $x_1 = 0$ sampai dengan $x_1 = 1$

$$\int_{x_1=0}^{x_1=1} \ln\left(\frac{\gamma_1}{\gamma_2}\right) dx_1 = \left(\frac{G^E}{RT}\right)_{x_1=1} - \left(\frac{G^E}{RT}\right)_{x_1=0} \quad (2.39)$$

Koefisien aktivitas $\gamma_1 = 1$ untuk komponen murni ($x_1 = 1$) dan sebaliknya $\ln \gamma_1$ akan mendekati suatu harga limit tertentu yang dilambangkan dengan γ_1^∞ untuk $x_1 = 0$, sehingga menjadi:

$$\int_{x_1=0}^{x_1=1} \ln\left(\frac{\gamma_1}{\gamma_2}\right) dx_1 = 0 \quad (2.40)$$



Gambar 2.3 Kurva Luasan Tes Konsistensi

Pada plot antara $\ln(\gamma_1/\gamma_2)$ vs x_1 , luas daerah di atas sumbu x (A) dan luas daerah bawah sumbu x (B) harus sama. Setelah diplot, parameter persamaan Redlich-Kister yang paling mendekati distribusi data yang telah diplot tersebut dicari nilai-nilai absolut selisih luasan (Philip dkk, 1994). Persamaan Redlich-Kister yang digunakan sebagai berikut.

$$\ln\left(\frac{\gamma_1}{\gamma_2}\right) = a + b(x_2 - x_1) + c(6x_2x_1 - 1) + d(x_2 - x_1)(1 - 8x_2x_1) \quad (2.41)$$

$$\frac{G^E}{RT} = x_1x_2[B + C(x_1 - x_2) + D(x_1 - x_2)^2 + E(x_1 - x_2)^2] \quad (2.42)$$

Karena adanya kesalahan dalam pengukuran maka didefinisikan harga deviasi:

$$D = 100\% \left| \frac{A - B}{A + B} \right| \quad (2.43)$$

Kadang-kadang harga entalpi campuran tidak tersedia maka oleh Herington diberikan:

$$J = 150\% \frac{|T_{\max} - T_{\min}|}{T_{\min}} \quad (2.44)$$

T_{\min} = titik didih terendah pada sistem isobar dalam *range* $x_1 = 0$ sampai $x_1 = 1$. T_{\max} = titik didih tertinggi pada sistem isobar dalam *range* $x_1 = 0$ sampai $x_1 = 1$.

$$|D - J| < 10 \quad (2.45)$$

Bila telah memenuhi Persamaan (2.45) berarti data telah konsisten. Metode Herington ini masih dipakai sebagai acuan untuk menguji konsistensi data percobaan.

2.8 Metode UNIFAC

Persamaan UNIFAC dipisahkan menjadi dua bagian yaitu bagian kombinasi yang terdiri dari parameter komponen murni saja untuk menghitung perbedaan bentuk dan ukuran molekul, serta bagian residual untuk menghitung interaksi antar molekul.

$$\ln \gamma_i = \ln \gamma_i^C + \ln \gamma_i^R \quad (2.46)$$

Bagian kombinasi $\ln \gamma_i^C$ dapat dihitung menggunakan persamaan di bawah ini, dimana identik dengan model UNIQUAC sebagai berikut:

$$\ln \gamma_i^C = \ln \frac{\phi_i}{x_i} + \frac{z}{2} q_i \ln \frac{\theta_i}{\phi_i} + l_i - \frac{\phi_i}{x_i} \sum_j x_j l_j \quad (2.47)$$

$$\text{Dimana: } l_i = \frac{z}{2} (r_i - q_i) - (r_i - 1) \quad (2.48)$$

$$z=10 \quad (2.49)$$

$$\theta_i = \frac{q_i x_i}{\sum_j q_j x_j} \quad (2.50)$$

$$\phi_i = \frac{r_i x_i}{\sum_j r_j x_j} \quad (2.51)$$

Pada persamaan di atas x_i merupakan fraksi mol komponen i, sedangkan θ_i dan ϕ_i merupakan fraksi area dan fraksi volume secara berturut-turut. Dan untuk komponen murni parameter r_i dan q_i secara berturut-turut menunjukkan volume molekular dan luas permukaan molekular van der Waals.

$$r_i = \sum_k v_k^{(1)} R_k \quad (2.52)$$

$$q_i = \sum_k v_k^{(1)} Q_k \quad (2.53)$$

Dimana $v_k^{(1)}$ selaku bilangan bulat yang menunjukkan jumlah grup type k dalam suatu molekul i. R_k dan Q_k lebih lengkap tersedia dalam Tabel 8.23 pada buku polling.

Untuk bagian residual $\ln \gamma_i^R$ dapat dihitung dengan menggunakan persamaan di bawah ini:

$$\ln \gamma_i^R = \sum_k v_k^{(i)} \left(\ln \Gamma_k - \ln \Gamma_k^{(1)} \right) \quad (2.54)$$

$$\ln \Gamma_k = Q_k \left[1 - \ln \left(\sum_m \theta_m \Psi_{mk} \right) - \sum_m \frac{\theta_m \Psi_{km}}{\sum_n \theta_n \Psi_{nm}} \right] \quad (2.55)$$

$$\theta_m = \frac{Q_m X_m}{\sum_n Q_n X_n} \quad (2.56)$$

$$X_m = \frac{\sum_j v_m^{(j)} x_j}{\sum_j \sum_n v_n^{(j)} x_j} \quad (2.57)$$

$$\Psi_{mn} = \exp \left(- \frac{a_{mn}}{T} \right) \quad (2.58)$$

2.9 Perhitungan Buble Point

Pada perhitungan *buble point*, permasalahan dibagi menjadi dua bagian utama, yaitu *buble P* dimana data umumnya yang ingin dicari adalah y_1 dan P serta *buble T* dimana data umumnya yang ingin dicari adalah y_1 dan T. Dengan demikian penyelesaiannya (dimisalkan dengan mengambil contoh kesetimbangan uap-cair untuk sistem biner atau terdiri dari dua komponen yang dimisalkan dengan komponen 1 dan 2)

$$y_i P = x_i \gamma_i P_i^{\text{sat}} \quad (2-59)$$

Harga x_i dan P dapat diketahui dari data. Maka data yang belum diketahui adalah y_i dan P_1^{sat} . maka persamaan akan menjadi

$$y_1 P = x_1 \gamma_1 P_1^{\text{sat}} \quad (2-60)$$

$$y_2 P = x_2 \gamma_2 P_2^{\text{sat}} \quad (2-61)$$

Sehingga apabila persamaan (2-60) dan (2-61) dijumlahkan akan didapatkan persamaan (2-62).

$$y_1 P + y_2 P = x_1 \gamma_1 P_1^{sat} + x_2 \gamma_2 P_2^{sat} \quad (2-62)$$

Karena komponen terdiri dari 2 komponen, maka $y_1 + y_2 = 1$, maka

$$P = x_1 \gamma_1 P_1^{sat} + x_2 \gamma_2 P_2^{sat} \quad (2-63)$$

Dengan memasukkan persamaan Antoine kedalam persamaan di atas, maka harga P dapat diketahui akan tetapi dengan menggunakan metode *trial error*, atau bisa juga dengan metode iterative menggunakan metode Newton. Penjabaran secara *trial error* dapat dituliskan berikut ini

$$P = x_1 \gamma_1 \exp\left(A_1 - \left(\frac{B_1}{(C_1+T)}\right)\right) + x_2 \gamma_2 \exp\left(A_2 - \left(\frac{B_2}{(C_2+T)}\right)\right) \quad (2-64)$$

Setelah harga P diketahui maka selanjutnya adalah mencari harga y_i dengan menggunakan rumus modifikasi Raoult, yaitu persamaan (2-59).

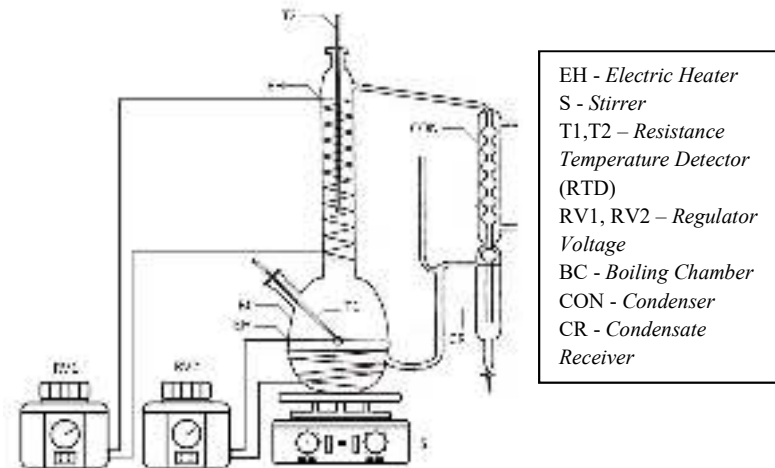
BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Percobaan ini dilakukan dalam dua tahapan. Tahapan pertama yaitu melakukan eksperimen untuk memperoleh data kesetimbangan uap – cair untuk sistem biner etanol (1) + gliserol (2) pada tekanan atmosfer. Tahapan kedua yaitu mengkorelasikan data yang diperoleh dengan persamaan Wilson, NRTL, dan UNIQUAC.

3.1 Peralatan Percobaan

Peralatan utama yang digunakan untuk memperoleh data kesetimbangan uap-cair adalah Othmer Still Distillation. Peralatan ini terdiri dari *boiling chamber* (BC), *condenser* (CON), *condensate receiver* (CR), *electric heater* (EH), dan *Resistance Temperature Detector* atau RTD (T1, T2) seperti yang digambarkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Peralatan Othmer Still

Sampel dimasukkan ke dalam *boiling chamber*, kemudian dipanaskan oleh *electric heater* yang dialirkan oleh *Regulator Voltage* dan selanjutnya sampel diaduk dengan *stirrer*. Kemudian nantinya sampel fase cair pada *boiling chamber*, sedangkan sampel fase uap dapat diambil di *condensate receiver*. Sampel fase uap dan sampel fase cair kemudian dianalisa dengan menggunakan *Refractometer*.

3.2 Bahan Percobaan

Bahan-bahan yang digunakan pada percobaan ini adalah gliserol dan etanol. Data komponen murni dari sistem yang dipakai disajikan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Properti Bahan yang Digunakan

Zat	Rumus Molekul	Tekanan Uap (mmHg pada 20°C)	Titik Didih (°C)	Densitas (g/cm ³)
Etanol	C ₂ H ₆ O	44,6286	78,65	0,78515
Gliserol	C ₃ H ₈ O ₃	<-0.001 hPa	290	1,25780

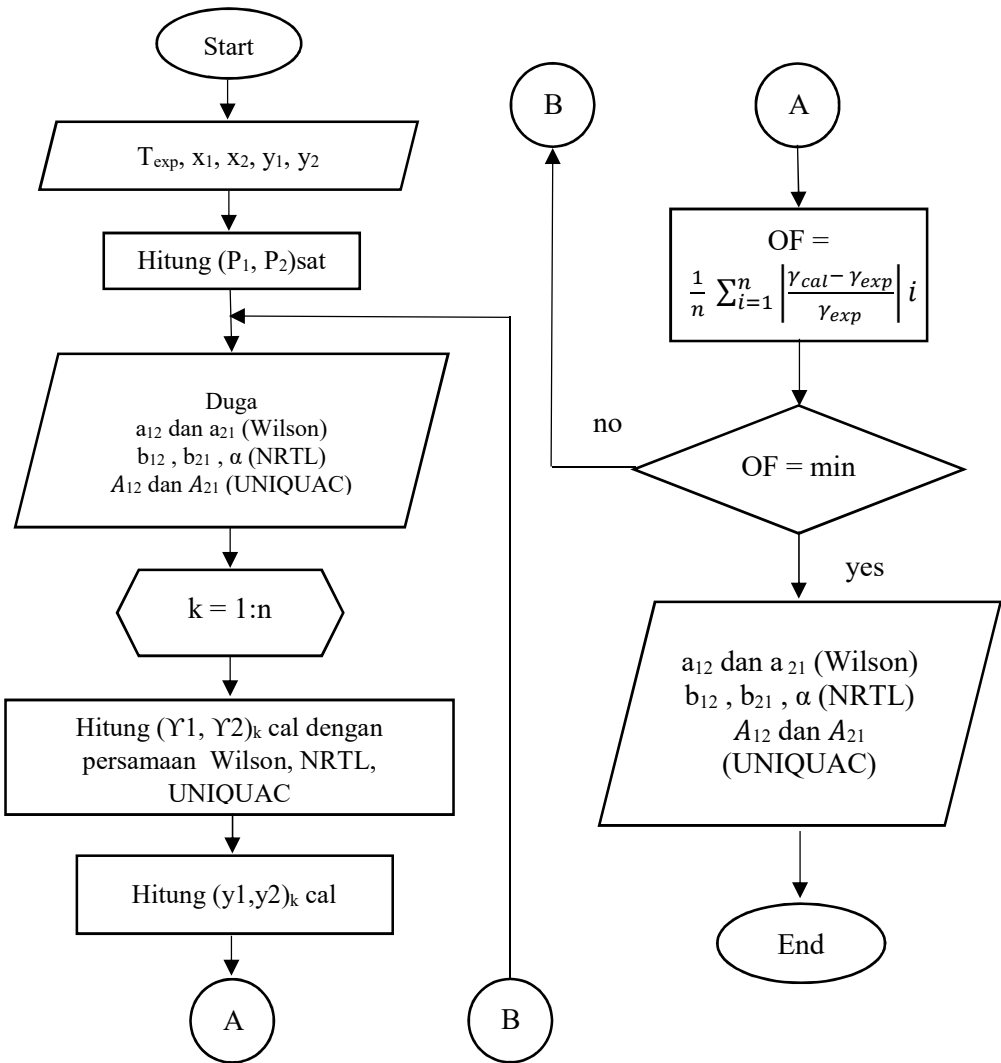
3.3 Variabel Percobaan

Variabel dalam percobaan kesetimbangan uap-cair sistem biner etanol (1) + gliserol (2) adalah variasi komposisi (sistem biner) pada tekanan atmosfer.

3.4 Prosedur Percobaan

Penelitian ini diawali dengan melakukan validasi peralatan dengan menggunakan zat murni etanol. Setelah validasi peralatan, selanjutnya melakukan penelitian kesetimbangan uap-cair yang dilakukan dengan membuat campuran etanol (1) + gliserol (2) untuk berbagai komposisi (sistem biner) dan memasukkannya ke dalam *boiling chamber*. Kemudian menyalakan *magnetic stirrer* yang bertujuan untuk mengaduk

larutan agar larutan menjadi homogen dan kondensor harus dialiri air pendingin terlebih dahulu. Kemudian memanaskan larutan dengan sistem pemanas. Pemanasan ini mengakibatkan sebagian liquid menguap dan selanjutnya uap akan masuk pada kondensor. Pengukuran suhu akan dalam sistem terbaca oleh *Resistance Temperature Detector* (RTD) dan pembacaan tekanan terbaca oleh barometer yang terletak pada laboratorium. Pada kondensor, uap akan terkondensasi menjadi liquid yang selanjutnya akan tertampung pada *condensate receiver* dan akan kembali ke dalam *boiling chamber*. Kemudian setelah tercapai kesetimbangan dilakukanlah pencatatan temperatur dan tekanan pada komposisi tertentu, dan selanjutnya mengambil sampel fase cair pada *boiling chamber* dan sampel fase uap pada *condensate receiver* yang kemudian sampel sistem biner ini akan dianalisa dengan menggunakan *refractometer*. Data yang diperoleh dari eksperimen ini akan dikorelasikan dengan persamaan Wilson, NRTL, dan UNIQUAC dengan diagram alir yang ditunjukkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Diagram alir perhitungan parameter dengan persamaan Wilson, NRTL, dan UNIQUAC

3.5 Prosedur Analisa

Pada percobaan ini diperlukan analisa yang berguna untuk mengetahui komposisi dari larutan sampel. Digunakan alat *refractometer* dengan jenis *Abbe Refractometer* ATAGO NAR-1T Liquid. Pada eksperimen ini menggunakan *refractometer* karena dapat menganalisa komposisi dengan tingkat ketelitian $\pm 0,0002$ sehingga dapat diperoleh hasil analisa yang baik. Alat ini memiliki rentang pengukuran berupa *refractive index* dari 1,3 hingga 1,7. Sebelum melakukan analisa, dilakukan kalibrasi menggunakan aquadest. Setelah melakukan kalibrasi dilanjutkan dengan membuat kurva kalibrasi. Selanjutnya dilakukan analisa sampel fase uap untuk setiap komposisi berbeda, yang dimulai dengan mengambil sampel yang terdapat pada botol sampel eksperimen. Kemudian meneteskan sampel pada prisma *refractometer*, lalu melihat pembacaan *refractive index* dari lensa *refractometer*. Setelah analisa dilakukan untuk setiap komposisi berbeda, dilanjutkan dengan perhitungan komposisi dengan menggunakan kurva kalibrasi yang sudah didapat sebelumnya. Langkah yang sama dilakukan untuk analisa sampel fase liquid.

3.6 Algoritma Perhitungan BUBLE T untuk Kesetimbangan Uap-Cair

1. Menentukan nilai awal T untuk trial.
2. Menghitung P_1^{sat} dan P_2^{sat} dengan menggunakan nilai T_{trial} , dengan menggunakan persamaan Antoine.
$$\ln P_i^{\text{sat}} = A + \frac{B}{T(K)+C} + D \times \ln(T) + E \times T^F \quad (3-1)$$
dimana P dalam KPa dan T dalam Kelvin.
3. Menghitung γ_i untuk masing-masing komponen dengan menggunakan parameter biner yang didapat dari permodelan Wilson, NRTL, dan UNIQUAC.
4. Menghitung nilai P_j^{sat} dimana komponen j adalah komponen kunci.

$$P_j^{sat} = \frac{P}{\sum x_i \gamma_i \left(\frac{P_i^{sat}}{P_j^{sat}} \right)} \quad (3-2)$$

5. Menghitung nilai T_{cal} dari parameter kunci dengan persamaan Antoine pada persamaan (3-1).
6. Jika $T_{trial} - T_{cal} < \text{error}$ yang ditetapkan, maka T_{cal} adalah T yang dicari, dan lanjut ke langkah selanjutnya, jika $T_{trial} - T_{cal} > \text{error}$, maka mengulangi perhitungan dari langkah 1, dengan menjadikan T_{cal} sebagai T untuk perhitungan dengan perhitungan AAD T

$$AAD T = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{T_{cal} - T_{exp}}{T_{exp}} \right| \times 100\% \quad (3-3)$$

7. Menghitung nilai y_1 dan y_2 dengan persamaan (2-12) dan menghitung AAD y ,

$$AAD y = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y_{cal} - y_{exp}}{y_{exp}} \right| \times 100\% \quad (3-4)$$

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian kesetimbangan uap cair sistem etanol (1) + gliserol (2) ini dilakukan pada tekanan atmosfer. Tes konsistensi termodinamika terhadap hasil eksperimen dilakukan dengan metode tes luasan. Data hasil eksperimen dikorelasikan dengan model koefisien aktivitas Wilson, NRTL, dan UNIQUAC untuk mendapatkan parameter interaksi biner dari masing-masing model.

4.1 Tes Konsistensi Termodinamika

Rangkaian data kesetimbangan uap-cair yang diperoleh dari eksperimen seharusnya konsisten dan memenuhi kaidah-kaidah termodinamika, dalam hal ini memenuhi persamaan Gibbs-Duhem. Karenanya, untuk data eksperimen sistem biner etanol (1) + gliserol (2) membutuhkan uji konsistensi. Tes konsistensi yang dilakukan adalah tes luasan Herrington dimana pengaruh entalpi hasil pencampuran dihitung dengan menggunakan persamaan (2-44) dengan indeks konsistensi harus kurang dari 10 %.

Tabel 4.2 Hasil Eksperimen Sistem Biner Etanol (1) + Gliserol (2) pada Tekanan Atmosfer

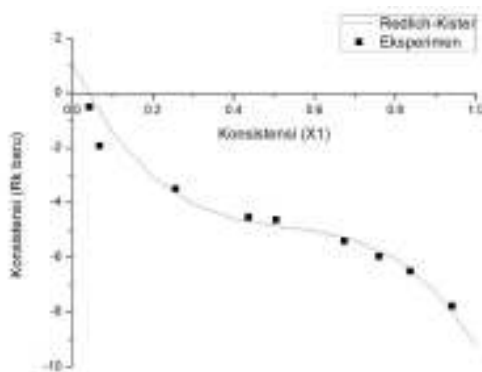
x_1	y_1	T(°C)
1.0000	1.0000	78,4
0.9410	0.9924	79,2
0.8377	0.9924	82,3
0.7601	0.9924	83,6
0.6740	0.9924	86,9
0.5055	0.9924	88,6
0.4370	0.9876	96,5
0.2564	0.9876	102,7
0.0680	0.9827	127,3
0.0432	0.9777	152,6

Pada penelitian ini tidak dilakukan eksperimen untuk komposisi gliserol murni karena pada konsentrasi gliserol yang tinggi, larutan mengalami lonjakan pada *condensate receiver*. Hal ini disebabkan karena terdapat perbedaan tekanan antara *boiling chamber* dan *condensate receiver* sehingga mengakibatkan proses tercapainya kesetimbangan larutan memakan waktu lebih lama.

Tabel 4.3 Hasil Uji Konsistensi Termodinamika dengan Metode Luasan Herrington

Sistem	Uji Konsistensi			
	D	J	D-J	Konsistensi
Etanol (1) + Gliserol (2)	99,1338	89,1338	10	Konsisten

Menurut hasil uji konsistensi luasan pada Tabel 4.3 nilai toleransi kesalahan dapat diterima bila nilai $|D - J| < 10 \%$, sehingga data kesetimbangan uap-cair untuk sistem etanol (1) + gliserol (2) pada eksperimen ini konsisten.



Gambar 4.2 Grafik Konsistensi Sistem Etanol (1) + Gliserol (2)

4.2 Hasil Eksperimen Kesetimbangan Uap-Cair Sistem Biner Etanol (1) + Gliserol (2)

Kondisi equilibrium atau setimbang adalah kondisi ketika suatu sistem tidak mengalami kecenderungan berubah secara makroskopis. Hal tersebut ditunjukkan dengan tidak ada perubahan dari tekanan, suhu, dan komposisi sistem tersebut. Dalam suatu sistem uap mempunyai kecenderungan untuk berubah menjadi fase liquid, begitu juga dengan liquid mempunyai kecenderungan untuk berubah menjadi fase uap. Kecenderungan tersebut diukur sebagai fugasitas. Dalam kondisi setimbang, fugasitas liquid sama dengan fugasitas uapnya.

Data-data eksperimen yang telah diperoleh dan diuji konsistensinya selanjutnya dikorelasikan dengan persamaan Wilson, NRTL, dan UNIQUAC. Korelasi data hasil eksperimen dengan menggunakan tiga permodelan tersebut bertujuan untuk mendapatkan nilai parameter optimal dari masing-masing tipe permodelan. Persamaan Wilson dan UNIQUAC mengandung dua parameter sedangkan NRTL mengandung tiga parameter. Dari data hasil percobaan dan permodelan, bisa dihitung *Absolute Average Deviation* (AAD) masing-masing model terhadap hasil percobaan. AAD T dan y dihitung berdasarkan rumus pada persamaan (3-3) dan (3-4), yaitu

$$AAD T = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{T_{cal} - T_{exp}}{T_{exp}} \right| \times 100\%$$
$$. AAD y = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y_{cal} - y_{exp}}{y_{exp}} \right| \times 100\%$$

Berikut merupakan parameter-parameter yang didapat dari hasil korelasi data eksperimen dengan ketiga permodelan.

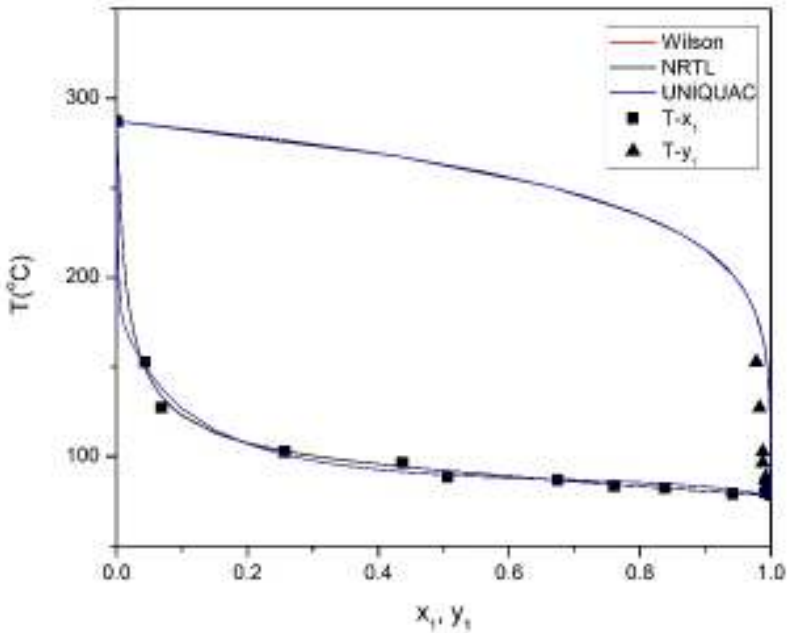
Tabel 4.4 Parameter dan Hasil Korelasi Persamaan Wilson, NRTL, dan UNIQUAC pada Sistem Biner Etanol(1) + Gliserol (2)

Korelasi	Parameter	
Wilson	a ₁₂	-1107,587 kal/mol
	a ₂₁	257,543 kal/mol
NRTL	b ₁₂	-170,050 kal/mol
	b ₂₁	1013,945 kal/mol
	α	0,3
UNIQUAC	A ₁₂	605,835 kal/mol
	A ₂₁	4501,625 kal/mol

Hasil eksperimen kesetimbangan uap-cair sistem etanol (1) + gliserol (2) dengan model Wilson, NRTL dan UNIQUAC berdasarkan parameter pasangan biner yang diperoleh dapat dilihat dalam dan Tabel 4.5 dan Gambar 4.3.

Tabel 4.5 Hasil Eksperimen dan Perhitungan Kesetimbangan Uap-Cair Sistem Biner Etanol (1) + Gliserol (2) Pada Tekanan Atmosfer

x ₁ ^{exp}	y ₁ ^{exp}	T ^{exp} (°C)	Wilson		NRTL		UNIQUAC	
			y ₁ ^{cal}	T ^{cal} (°C)	y ₁ ^{calc}	T ^{cal} (°C)	y ₁ ^{calc}	T ^{cal} (°C)
1,000	1,000	78,4	1,000	78,1	1,000	78,1	1,000	78,1
0,941	0,992	79,2	0,999	79,6	0,999	79,6	0,999	81,6
0,838	0,992	82,3	0,999	82,3	0,999	82,3	0,999	84,8
0,760	0,992	83,6	0,999	84,4	0,999	84,4	0,999	86,1
0,674	0,992	86,9	0,999	86,7	0,999	86,9	0,999	87,2
0,506	0,992	88,6	0,999	91,9	0,999	92,0	0,999	89,7
0,437	0,988	96,5	0,999	94,3	0,999	94,3	0,999	91,4
0,256	0,988	102,7	0,999	103,1	0,999	102,8	0,999	101,0
0,068	0,983	127,3	0,998	134,0	0,999	133,9	0,997	138,3
0,043	0,978	152,6	0,995	149,3	0,995	149,4	0,994	150,6



Gambar 4.3 Grafik T-x-y untuk Sistem Biner Etanol (1) + Gliserol (2) pada Tekanan Atmosfer

Pada Gambar 4.3, menunjukkan plot grafik T-x-y hasil korelasi suhu yang didapatkan dari eksperimen dengan persamaan Wilson, NRTL, dan UNIQUAC. Untuk persamaan Wilson ditunjukkan oleh garis lurus berwarna merah, sedangkan untuk persamaan NRTL ditunjukkan dengan garis lurus berwarna hitam, dan persamaan UNIQUAC ditunjukkan dengan garis lurus berwarna biru, lalu untuk nilai suhu dari eksperimen ditunjukkan dengan simbol kotak untuk fraksi mol liquid dan segitiga untuk fraksi mol uap. Untuk hasil eksperimen ini tidak ditemukan adanya titik azeotrop campuran biner etanol (1) + gliserol (2). Dari gambar di atas dapat disimpulkan bahwa nilai suhu berbanding terbalik dengan jumlah fraksi mol etanol dalam sistem. Dari

gambar 4.3 dapat diketahui bahwa data $T-x_1$ permodelan Wilson dan NRTL lebih berdekatan dengan hasil eksperimen. Sedangkan $T-x_1$ UNIQUAC memiliki hasil yang agak berjauhan dengan hasil eksperimen walaupun tidak signifikan. Hal ini menunjukkan permodelan Wilson dan NRTL memiliki hasil yang lebih akurat dibandingkan dengan permodelan UNIQUAC untuk sistem etanol(1) + gliserol(2). Sementara untuk data $T-y_1$ permodelan Wilson, NRTL, dan UNIQUAC menunjukkan nilai yang berdekatan, yaitu mendekati 1. Hal ini disebabkan karena rendahnya tekanan uap gliserol pada rentang suhu yang didapat pada eksperimen sehingga mengakibatkan gliserol tidak banyak menguap. Pada eksperimen ini terdapat perilaku larutan yang tidak lazim, karena pada konsentrasi etanol rendah larutan mengalami lonjakan pada *condensate receiver*. Hal ini disebabkan karena terdapat perbedaan tekanan antara *boiling chamber* dan *condensate receiver* sehingga kondensat yang telah terbentuk melonjak sampai ke kondensor dan hal ini mengakibatkan proses tercapainya kesetimbangan larutan memakan waktu lebih lama.

Berikut adalah tabel yang menunjukkan deviasi dari kedua persamaan terhadap data eksperimen.

Tabel 4.6 Nilai Deviasi Hasil Korelasi Persamaan Wilson, NRTL, dan UNIQUAC pada Sistem Biner Etanol(1) + Gliserol (2)

Korelasi	AAD T (%)	AAD y (%)
Wilson	1,715	1,066
NRTL	1,672	1,066
UNIQUAC	3,071	1,035

Pada Tabel 4.6, dapat dilihat bahwa nilai AAD T dan AAD y terkecil untuk berbagai korelasi adalah pada persamaan NRTL yaitu 1,672% dan 1,066%, diikuti dengan persamaan Wilson yaitu 1,715% dan 1,066%, dan yang terbesar adalah persamaan UNIQUAC dengan nilai 3,071% dan 1,035%.

4.3 Prediksi Kesetimbangan Uap-Cair dengan Metode UNIFAC

Metode UNIFAC merupakan metode prediksi yang tidak membutuhkan data eksperimen. Metode ini merupakan pengembangan dari model UNIQUAC dengan memodifikasi interaksi antara komponen menjadi interaksi antara grup fungsional penyusun sistem. Pada kesetimbangan uap-cair digunakan untuk memprediksi koefisien aktivitas dari suatu sistem tanpa menggunakan data eksperimen. Pada penelitian ini metode prediksi digunakan untuk memperoleh data kesetimbangan uap-cair untuk sistem biner etanol (1) + gliserol (2) pada tekanan atmosfer. Adapun grup *identification* parameter dari masing-masing komponen yang terlibat ditunjukkan pada Tabel 4.1 berikut.

Tabel 4.1 UNIFAC Group Identification

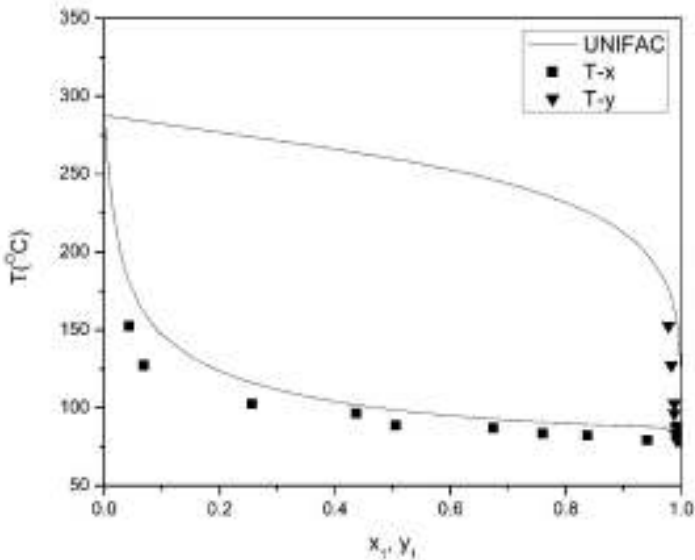
Molekul	Group Identification			V_k	R_k	Q_k
	Group	Main	Secondary			
Etanol	CH3	1	1	1	0,9011	0,848
	CH2	1	2	1	0,6744	0,54
	OH	5	14	1	1	1,2
Gliserol	CH2	1	2	2	0,6744	0,54
	CH	1	3	1	0,4469	0,228
	OH	5	14	3	1	1,2

Keterangan : V_k = jumlah spesi yang memiliki grup sejenis

R_k = Group Volume Parameter

Q_k = Group Area Parameter

Berikut merupakan hasil prediksi kesetimbangan uap-cair sistem biner etanol (1) + gliserol (2) pada tekanan atmosfer dan dibandingkan dengan data eksperimen yang didapat.



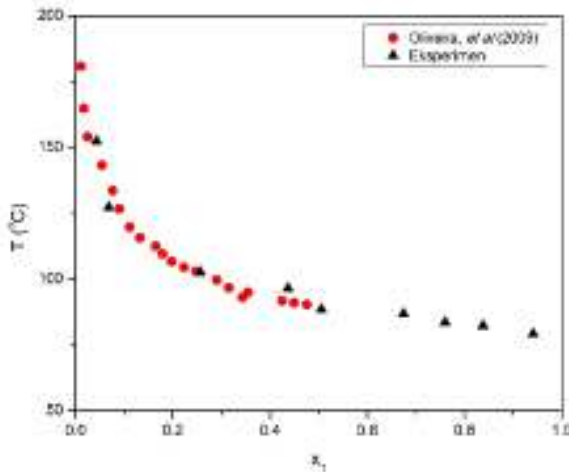
Gambar 4.1 Grafik T-x-y Prediksi Kesetimbangan Uap-Cair Sistem Etanol (1) + Gliserol (2) pada Tekanan Atmosfer

Dari hasil yang didapatkan, terdapat perbedaan antara hasil prediksi dengan hasil eksperimen yang ditunjukkan dengan nilai AAD sebesar 12,457 %. Hal ini menunjukkan terdapat ketidaksesuaian antara hasil prediksi UNIFAC dengan hasil eksperimen.

4.4 Perbandingan Hasil Eksperimen dengan Hasil Eksperimen Literatur

Penelitian kesetimbangan uap-cair sistem biner etanol (1) + gliserol (2) pada tekanan atmosfer pernah dilakukan oleh Oliveira, M. B., Teles, A.R.R., Queimada, A.J., Coutinho, J.A.P. pada jurnal berjudul *Phase equilibria of glycerol containing systems and their description with the Cubic-Plus-Association (CPA) Equation of State*. Pada eksperimen ini didapatkan data hasil eksperimen

kesetimbangan uap-cair sistem etanol (1) + gliserol (2) pada tekanan atmosfer di rentang fraksi mol liquid etanol (x_1) sebesar 0,0107 – 0,4754 dan tidak dilakukan analisa fraksi mol uap (y_1). Berikut merupakan grafik perbandingan hasil eksperimen yang didapat dengan hasil eksperimen pada literatur.



Gambar 4.4 Grafik T-x Perbandingan Hasil Eksperimen dengan Hasil Eksperimen Literatur

Pada Gambar 4.4, menunjukkan plot grafik T-x perbandingan hasil eksperimen yang didapat dengan hasil yang eksperimen literatur. Untuk hasil eksperimen yang didapat ditunjukkan oleh simbol segitiga hitam dan hasil eksperimen literatur dengan simbol bulat merah. Dari perbandingan ini diketahui bahwa tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara hasil eksperimen yang didapat dengan hasil eksperimen dari literatur untuk nilai dari T- x_1 .

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN

V.1 Kesimpulan

Dari hasil eksperimen dan perhitungan yang telah dilakukan diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Telah didapatkan data kesetimbangan uap-cair sistem biner etanol (1) + gliserol (2) pada tekanan atmosfer. Data eksperimen juga telah dikorelasikan dengan persamaan Wilson, NRTL, dan UNIQUAC dan menghasilkan *Absolute Average Deviation* (AAD) T dan y sebesar 1,715 dan 1,066% untuk Wilson, 1,672 dan 1,066% untuk NRTL, serta 3,071 dan 1,035% untuk UNIQUAC.
2. Telah didapatkan prediksi kesetimbangan uap-cair sistem biner etanol (1) + gliserol (2) pada tekanan atmosfer dengan persamaan UNIFAC.

V.2 Saran

1. Diperlukan perbaikan dari desain alat eksperimen agar tidak terjadi perbedaan tekanan antara *boiling chamber* dan *condensate receiver* sehingga dapat dilakukan eksperimen dengan konsentrasi gliserol yang lebih tinggi.
2. Diperlukan membuat sistem menjadi vakum untuk menurunkan titik didih dan juga membuat tekanan dalam ruang alat eksperimen merata.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Abrams, D.S., Prausnitz, J.M., 1975, "Statistical thermodynamics of liquid mixtures: A new expression for the excess Gibbs energy of partly or completely miscible systems", *AIChE J.*, 21, 116-128
- Abuhabaya, A., Fieldhouse, J., Brown, D., 2013, "Influence of Production Variables for Biodiesel Synthesis on Yield and Fuel Properties, and Optimization of Production Conditions", *Fuel*, 103, 963-969
- Akbarina, M.F., Ruslim, R.M., 2012, "Pengukuran Kesetimbangan Uap-Cair Isothermal Sistem Biner Etanol+Gliserol dan Isopropanol+Gliserol pada Tekanan Rendah", Skripsi : Jurusan Teknik Kimia FTI – ITS
- Anastopoulos, G., Zannikou, Y., Stournas, S., Kalligeros, S., 2009, "Transesterification of Vegetable Oils with Ethanol and Characterization of the Key Fuel Properties of Ethyl Esters", *Energies*, 2, 362 - 376
- Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT). 2016. "Outlook Energi Indonesia 2016". Jakarta: Pusat Teknologi Pengembangan Sumberdaya Energi (PTSE).
- Coelho, R., dos Santos, P.G., Mafra, M.R., Cardozo-Filho, L., Corazza, M.L., 2011, "Vapor liquid equilibrium for the binary systems water + glycerol and ethanol + glycerol, ethyl stearate, and ethyl palmitate at low pressures", *J. Chem. Thermodynamics*, 43, 1870-1876.
- Koh, M.Y., Ghazi, T.I.M., 2012, "A review of biodiesel production from *Jatropha curcas* L. oil", *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 15, 2240-2251
- Oliveira, M. B., Teles, A.R.R., Queimada, A.J., Coutinho, J.A.P. 2009, "Phase equilibria of glycerol containing systems and their description with the Cubic-Plus-Association (CPA) Equation of State", *Fluid Phase Equilibria.*, 280, 22-29

- Poling, B.E., Prausnitz, J.M., O'Connell, J.P., 2001, "The Properties of Gases and Liquids, 5th ed.", New York: McGraw-Hill
- Renon, H., Prausnitz, J.M., 1968, "Local compositions in Sounjaya, J., Satyavanthi, B., Vittal Prasad, T.E., 2010, "Experimental (vapour + liquid) equilibrium data of (methanol + water), (water + glycerol) and (methanol + glycerol) systems at atmospheric and sub-atmospheric pressures", *J. Chem. Thermodynamics*, 42, 621-624
- Smith, J.M, Van Ness, H.C., and Abbot, M.M., 2001. "Chemical Engineering Thermodynamics, 6th ed", Singapore: McGraw-Hill International Edition.
- Wardani, M.W., Ellena, F., 2013, "Pengukuran Kesetimbangan Uap-cair Sistem Biner 2-Butanol + Gliserol pada Range Suhu 313,15 K sampai 333.15 K", Skripsi: Jurusan Teknik Kimia FTI – ITS
- Wiguna, A., Irwansyah, W.F.E. 2012, "Pengukuran Kesetimbangan Uap-Cair Isothermal Sistem Biner Metanol + Gliserol dan Propanol + Gliserol pada Tekanan Rendah", Skripsi : Jurusan Teknik Kimia FTI – ITS
- Wilson, G.M., 1964, "Vapor-Liquid Equilibrium. XI. A New Expression for the Excess Free Energy of Mixing", *J. Am. Chem. Soc.*, 86, 127-130
- Wisniak, J., 1994, "The Herington Test for Thermodynamic Consistency", *Ind. Eng. Chem. Res.* 1994, 33, 177-180
- Zaoui-Djelloul-Daouadji, M., Negadi, A., Mokbel, I., Negadi, L., 2014, "Vapor-liquid equilibria and excess Gibbs Free Energy function of ethanol + glycerol, or water + glycerol binary mixtures at several temperatures", *J. Chem. Thermodynamics*, 69, 165-171.
- Zhang, Y., Dube, M.A., McLean, D.D., Kates, M., 2003, "Biodiesel production from waste cooking oil: 1. Process design and technological assessment", *Bioresource Technology*, 89, 1–16

<https://www.bps.go.id/dynamictable/2016/01/28/1125/produksi-bahan-bakar-minyak-bbm-1996-2015.html> diakses pada tanggal 04 Januari 2018.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR NOTASI

A	= Luas daerah di atas sumbu x pada luasan tes konsistensi
Λ	= Parameter untuk persamaan Wilson
a_{ij}	= Parameter aktivitas campuran biner
b_{12}, b_{21}	= Parameter NRTL
D	= Nilai deviasi
f_i	= Fugasitas komponen murni i
f_i^0	= Fugasitas pada keadaan standar
f_i	= Fugasitas komponen i dalam larutan
G, g	= Energi Gibbs molar
G_i^0	= Energi Gibbs komponen i pada keadaan standar
G_i	= Energi Gibbs parsial komponen i dalam larutan
G^E	= Energi Gibbs excess
j	= Parameter Persamaan UNIQUAC
K	= Konstanta kesetimbangan
l	= Parameter Persamaan UNIQUAC
n	= Jumlah mol
P	= Tekanan absolut
P_i^{sat}	= Tekanan uap jenuh komponen i
q	= Luas permukaan molekular pada persamaan UNIQUAC
R	= Konstanta gas ideal
r	= Volume molecular pada persamaan UNIQUAC
T	= Suhu
u_{12}, u_{21}	= Parameter UNIQUAC
x_i	= Fraksi mol komponen fase liquida pada kesetimbangan
y_i	= Fraksi mol komponen fase uap pada kesetimbangan
z	= Fraksi mol <i>overall</i> komponen

Huruf Greek

γ	= Koefisien aktivitas
ϕ	= Koefisien fugasitas
θ	= <i>Area fraction</i>
α	= Parameter untuk model NRTL

Δ = Deviasi
 τ = Konstanta empiris untuk model NRTL dan UNIQUAC

Superscript

C = *Combinatorial*
E = Ekses
id = Larutan ideal
ig = Gas ideal
L = Liquida
S = *Saturated*
V = Fase uap
R = Residual
0 = Keadaan standar
- = Properti parsial
^ = Properti dalam larutan

Subscript

i, j, k, l, m = Komponen dalam campuran
min = Minimal
max = Maksimal

APENDIKS

A. Hasil Analisa Eksperimen dengan Menggunakan Refraktometer

Sampel-sampel dianalisa dengan menggunakan Refraktometer untuk diketahui komposisi fraksi mol tiap-tiap komponen. Berikut ini adalah merupakan prosedur yang digunakan untuk memperoleh komposisi tiap sampel eksperimen menggunakan alat Refraktometer.

1. Kalibrasi

- 1) Membuat larutan etanol (1) + gliserol (2) dengan komposisi yang telah diketahui.
- 2) Meneteskan aquades pada bagian prisma refraktometer.
- 3) Membersihkan aquades yang tersisa pada refraktometer menggunakan kertas tisu.
- 4) Meneteskan larutan yang telah diketahui komposisinya pada bagian prisma refraktometer.
- 5) Mengatur intensitas cahaya yang masuk sehingga garis batas antara terang dan gelap memotong titik perpotongan dua garis diagonal yang ada pada refraktometer.
- 6) Membaca *refractive index* yang tertera.
- 7) Membersihkan prisma dengan aquades serta mengeringkannya dengan tisu.

2. Analisa Sampel

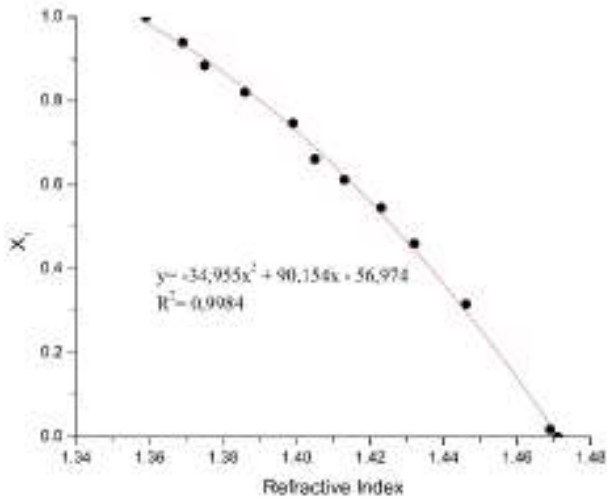
- 1) Meneteskan aquades pada bagian prisma refraktometer.
- 2) Membersihkan aquades yang tersisa pada refraktometer menggunakan kertas tisu.
- 3) Meneteskan larutan yang telah diketahui komposisinya pada bagian prisma refraktometer.

- 4) Mengatur intensitas cahaya yang masuk sehingga garis batas antara terang dan gelap memotong titik perpotongan dua garis diagonal yang ada pada refraktometer.
- 5) Membaca *refractive index* yang tertera.
- 6) Membersihkan prisma dengan aquades serta mengeringkannya dengan tisu.

Berikut merupakan hasil perhitungan dan grafik kalibrasi dari sistem biner etanol (1) + gliserol (2).

Tabel A.1. Hasil Kalibrasi Sistem Biner Etanol (1) + Gliserol (2) dengan Refraktometer

Fraksi mol		<i>Refractive index</i>
x1	x2	
1	0	1,359
0,939	0,061	1,369
0,885	0,115	1,375
0,821	0,179	1,386
0,747	0,253	1,399
0,662	0,338	1,405
0,613	0,388	1,413
0,546	0,454	1,423
0,460	0,540	1,432
0,316	0,684	1,446
0,018	0,982	1,469
0	1	1,471



Gambar A.1. Kurva Kalibrasi Sistem Biner Etanol (1) + Gliserol (2) dengan Analisa Refraktometer

Setelah mensubstitusi *refractive index* masing-masing sampel ke persamaan *trend line*, akan didapat fraksi mol tiap komponen dalam sampel seperti berikut.

**Tabel A.2. Data Analisa Sistem Biner
Etanol (1) + Gliserol (2)**

Refractive Index		Fraksi mol				Suhu
x	y	x1	x2	y1	y2	
1,368	1,358	0,941	0,059	0,992	0,008	79,2
1,385	1,358	0,838	0,162	0,992	0,008	82,3
1,396	1,358	0,760	0,240	0,992	0,008	83,6
1,407	1,358	0,674	0,326	0,992	0,008	86,9
1,426	1,358	0,506	0,495	0,992	0,008	88,6
1,433	1,359	0,437	0,563	0,988	0,012	96,5
1,45	1,359	0,256	0,744	0,988	0,012	102,7
1,466	1,36	0,068	0,932	0,983	0,017	127,3
1,468	1,361	0,043	0,957	0,978	0,022	152,6

B. Perhitungan Tes Konsistensi Termodinamika dengan Metode Tes Luasan

Pada uji konsistensi termodinamika dari data percobaan menggunakan tes luasan, disusun kurva $\ln(\gamma_1/\gamma_2)$ terhadap x_1 , dimana persamaan garisnya sesuai dengan persamaan ekspansi Redlich-Kister, yang konstantanya dicari dengan metode matriks.

$$\ln\left(\frac{\gamma_1}{\gamma_2}\right) = a + b(x_2 - x_1) + c(6x_1x_2 - 1) + d(x_2 - x_1)(1 - 8x_1x_2)$$

Nilai-nilai konstanta persamaan diperoleh dengan trial nilai selisih antara $\ln(\gamma_1/\gamma_2)$ dengan $\ln(\gamma_1/\gamma_2)$ ekspansi Redlich-Kister menjadi seminimal mungkin. Koefisien aktivitas (γ_i) dihitung dengan persamaan di atas untuk tekanan atmosferik dan P_i^{sat} dihitung dengan menggunakan persamaan Antoine.

Untuk sistem isobarik

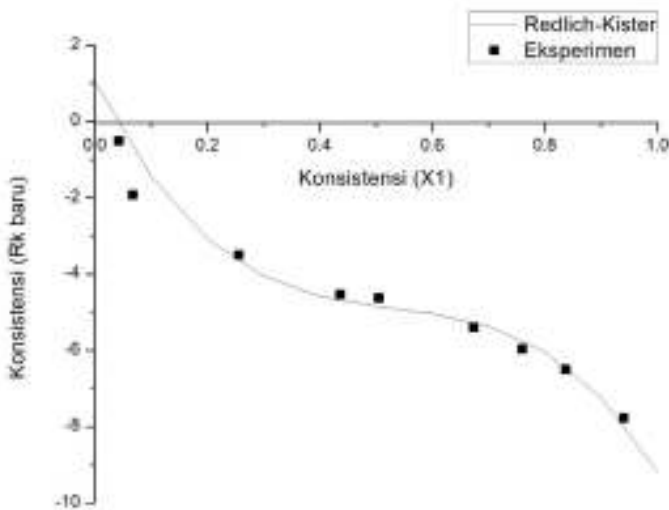
$$\left(\frac{H^E}{RT^2}\right) dT - x_1 d \ln \gamma_1 + x_2 d \ln \gamma_2 = 0$$

Atau dapat ditulis

$$\int_{x_1=0}^{x_1=1} \ln\left(\frac{\gamma_1}{\gamma_2}\right) dx_1 = \int_{x_1=0}^{x_1=1} \left(\frac{H^E}{RT^2}\right) dT$$

Kurva yang diperoleh untuk sistem etanol(1) + gliserol (2) pada tekanan atmosferik memenuhi persamaan Redlich-Kister, yaitu :

$$\ln\left(\frac{\gamma_1}{\gamma_2}\right) = -4,581 + 3,048(x_2 - x_1) - 0,527(6x_1x_2 - 1) + 2,079(x_2 - x_1)(1 - 8x_1x_2)$$



Gambar B.1. Uji Konsistensi Eksperimen Sistem Biner Etanol (1) + Gliserol (2)

Penyimpangan dari persamaan Gibbs-Duhem dirumuskan oleh Herrington sebagai persamaan berikut :

$$D = 100 \left| \frac{A - B}{A + B} \right| (\%)$$

Harga A (luasan di bawah sumbu x) = 0,02 diperoleh dengan mengintegrasikan persamaan di atas pada batas $x_1=0$ sampai dengan perpotongan kurva $\ln(\gamma_1/\gamma_2)$ dengan sumbu x_1 . Sedang B (luasan di atas sumbu x) = 4,6 diperoleh dengan mengintegrasikan persamaan di atas dengan batas x_1 =perpotongan kurva $\ln(\gamma_1/\gamma_2)$ dengan sumbu x sampai dengan $x_1=1$. Dari harga A dan B yang didapatkan, maka dapat dihitung harga D yaitu sebesar = 99,134 %. Sedang harga enthalpi campuran, oleh Herrington diajukan dengan teknik semi empirik untuk menghitung integral dimana J didefinisikan sebagai:

$$J = 150 \frac{|\Delta T_{max}|}{T_{min}} (\%)$$

$$J = 150 \frac{|458.15 - 352.45|}{352.45} (\%)$$

$$= 89,134$$

$$D - J = 10 \% (= < 10\%)$$

Dari harga di atas, maka data kesetimbangan uap-cair untuk sistem etanol(1) + gliserol (2) berdasarkan tes luasan Herrington konsisten secara termodinamika berdasarkan tes area.

C. Perhitungan Parameter dan Koefisien Aktivitas Fase Sistem Biner dengan Permodelan

Data-data percobaan yang telah diperoleh dan diuji konsistensinya selanjutnya dikorelasikan dengan permodelan Wilson, NRTL, dan UNIQUAC sehingga diperoleh parameter optimal dari kedua permodelan tersebut. Persamaan Wilson dan UNIQUAC mengandung dua parameter, sedangkan persamaan

NRTL mengandung tiga parameter. Berikut ini merupakan langkah perhitungan yang dilakukan pada masing-masing permodelan untuk sistem biner etanol (1) + gliserol (2) dengan $x_1 = 0,9410$ dan $y_1 = 0,9924$ pada suhu $79,2\text{ }^\circ\text{C}$ dan tekanan atmosfer.

C.1. Korelasi Persamaan Koefisien Aktivitas dengan Model Persamaan Wilson

- 1) Menghitung P_{sat} etanol dan P_{sat} gliserol menggunakan parameter Antoine.

Tabel B.1. Parameter Antoine untuk Etanol dan Gliserol

	a	b	c	d	e	f
Etanol	86,49	-7931	0	-10,25	$6,38900 \times 10^{-6}$	2
Gliserol	169,2	-16890	0	-21,81	0,00001141	2

(Aspen HYSYS)

$$\ln P_i^{sat} = A + \frac{B}{T(K) + C} + D \times \ln(T) + E \times T^F$$

Dimana T dinyatakan dalam satuan Kelvin dan P dinyatakan dalam satuan Kpa.

$$P_1^{sat} = \exp\left(86,49 + \frac{-7931}{(79,2+273,15)+0} + (-10,25) \times \ln(79,2 + 273,15) + (6,38900 \times 10^{-6} \times (79,2 + 273,15)^2)\right)$$

$$P_1^{sat} = 105,839 \text{ KPa}$$

$$P_2^{sat} = \exp\left(169,2 + \frac{-16890}{(79,2+273,15)+0} + (-21,81) \times \ln(79,2 + 273,15) + (0,00001141 \times (79,2 + 273,15)^2)\right)$$

$$P_2^{sat} = 0,005 \text{ Kpa}$$

- 2) Menghitung koefisien aktivitas (γ_i) eksperimen dengan dengan persamaan (2-12) sehingga

$$\gamma_1 = \frac{0,9924 \times 100,53}{0,9410 \times 105,839}$$

$$\gamma_1 = 1,0016$$

Dengan cara yang sama, maka didapatkan nilai $\gamma_2 = 2418,162$

- 3) Mula-mula, mengasumsi nilai a_{12} dan a_{21} untuk suatu nilai sembarang, kemudian dicari nilai parameter a_{12} dan a_{21} yang memiliki nilai error yang paling minimum terhadap *objective function* (OF).
- 4) Menghitung nilai Λ_{12} dan Λ_{21} sesuai dengan persamaan (2-17).

$$\Lambda_{12} = \frac{0,089}{0,06} \exp \frac{-1108,504}{1,987 \times (79,2 + 273,15)}$$

$$\Lambda_{12} = 0,304$$

Dengan cara yang sama, maka didapatkan nilai $\Lambda_{21} = 0,973$

- 5) Parameter biner persamaan Wilson dalam menghitung koefisien aktivitas (γ) sesuai dengan persamaan (2-17). Sehingga

$$\gamma_1 = \exp \left[-\ln \{ 0,9410 + (0,059 \times 0,304) \} \right. \\ \left. + 0,059 \left(\frac{0,304}{0,9410 + (0,059 \times 0,304)} \right) \right. \\ \left. - \frac{0,973}{0,058 + (0,9410 \times 0,973)} \right]$$

$$\gamma_1 = 1,0017$$

Dengan cara yang sama, maka didapatkan nilai $\gamma_2 = 1,947$.

- 6) Setelah diperoleh nilai γ_1 dan γ_2 eksperimen maupun secara perhitungan untuk masing-masing komposisi x_1 , maka langkah selanjutnya adalah menghitung *Objective Function* (OF) dengan persamaan :

$$OF = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^2 \left[\left(\frac{\gamma_j^{exp} - \gamma_j^{cal}}{\gamma_j^{exp}} \right) \right]^2$$

$$OF = \sum_{I=1}^N \left(\frac{\gamma_1^{exp} - \gamma_1^{cal}}{\gamma_1^{exp}} \right)^2 + \left(\frac{\gamma_2^{exp} - \gamma_2^{cal}}{\gamma_2^{exp}} \right)^2$$

Nilai OF yang diperoleh 0,9984.

- 7) Selanjutnya mengiterasi nilai OF tersebut terhadap a_{12} dan a_{21} dari asumsi awal, sehingga didapatkan nilai sekecil mungkin. Dengan menggunakan fasilitas *Solver* yang ada pada Microsoft Excel, sehingga diperoleh

$$OF = 0,9233$$

$$a_{12} = -1107,587$$

$$a_{21} = 257,543$$

C.2. Perhitungan Korelasi T-x-y BUBLE T untuk Kesetimbangan Uap-Cair

Dari parameter biner yang diperoleh dari perhitungan di atas akan didapatkan kurva T-x-y. Langkah-langkah perhitungan BUBLE T adalah sebagai berikut:

- 1) Menentukan nilai awal T untuk trial. Untuk trial awal, digunakan $T = 90,4 \text{ } ^\circ\text{C}$
- 2) Menghitung P_1^{sat} dan P_2^{sat} dengan menggunakan nilai T_{trial} , dengan menggunakan persamaan Antoine diperoleh :
 $P_1^{\text{sat}} = 161,893 \text{ KPa}$
 $P_2^{\text{sat}} = 0,013 \text{ KPa}$
- 3) Menghitung γ_i dengan persamaan (2-17) untuk masing-masing komponen dengan menggunakan parameter biner yang didapat :
 $\gamma_1 = 1,0017$
 $\gamma_2 = 1,9217$
- 4) Menghitung nilai P_j^{sat} dengan persamaan, dimana komponen j adalah komponen kunci. Ditetapkan komponen 1 sebagai komponen kunci, sebagai berikut :

$$P_j^{sat} = \frac{P}{\sum x_i \gamma_i \left(\frac{P_i^{sat}}{P_j^{sat}} \right)} = 107,488 \text{ KPa}$$

- 5) Menghitung nilai T_{cal} dari parameter kunci dengan persamaan Antoine, maka didapat $T_{cal} = 79,6 \text{ }^\circ\text{C}$
- 6) Jika $T_{trial} - T_{cal} < \text{error}$ yang ditetapkan, maka T_{cal} adalah T yang dicari, dan lanjut ke langkah 7 (selanjutnya), $T_{trial} - T_{cal} > \text{error}$, maka ulangi perhitungan dari langkah 1, dengan menjadikan T_{cal} sebagai T untuk perhitungan dengan perhitungan AAD T

Syarat : toleransi nilai error $\Delta T < 0,001$.

Dari percobaan ini didapatkan nilai T konvergen pada $79,6 \text{ }^\circ\text{C}$

$$AAD T = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{T_{cal} - T_{exp}}{T_{exp}} \right| \times 100\%$$

$$AAD T = 0,497\%$$

Hasil korelasi data eksperimen kesetimbangan uap cair sistem biner etanol (1) + gliserol (2) pada tekanan atmosfer dengan persamaan Wilson menghasilkan AAD T sebesar $1,715\%$

- 7) Menghitung nilai y_1 dan y_2 dengan persamaan (2-12) dan menghitung AAD y , maka

$$y_1 = \frac{0,9410 \times 1,0017 \times 107,488}{101,325}$$

$$y_1 = 0,999994$$

$$y_2 = 1 - y_1$$

$$y_2 = 1 - 0,999994$$

$$y_2 = 0,0000097$$

$$AAD y = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y_{cal} - y_{exp}}{y_{exp}} \right| \times 100\%$$

$$AAD y = 0,767 \%$$

Hasil korelasi data eksperimen kesetimbangan uap cair sistem biner etanol (1) + gliserol (2) pada

tekanan atmosfer dengan persamaan Wilson menghasilkan AAD y sebesar 1,066%.

- 8) Dengan menggunakan langkah yang sama untuk data percobaan sistem biner yang lain.

C.3. Korelasi Persamaan Koefisien Aktivitas dengan Model Persamaan NRTL

- 1) Menghitung P_{sat} etanol dan P_{sat} gliserol menggunakan parameter Antoine.

$$P_1^{sat} = 105,839 \text{ KPa}$$

$$P_2^{sat} = 0,005 \text{ Kpa}$$

- 2) Menghitung koefisien aktivitas (γ_i) eksperimen dengan dengan persamaan (2-12) sehingga

$$\gamma_1 = 1,0016$$

Dengan cara yang sama, maka didapatkan nilai

$$\gamma_2 = 2418,162$$

- 3) Mula-mula, mengasumsi nilai b_{12} dan b_{21} untuk suatu nilai sembarang, kemudian dicari nilai parameter b_{12} dan b_{21} yang memiliki nilai error yang paling minimum terhadap *objective function* (OF) serta $\alpha = 0,3$.

- 4) Menghitung nilai τ_{ij} sesuai dengan persamaan (2-22).

$$\tau_{12} = \frac{-170,050}{1,987 \times (79,2 + 273,15)}$$

$$\tau_{12} = -0,2426$$

Dengan cara yang sama, maka didapatkan nilai

$$\tau_{21} = 1,4466$$

- 5) Menghitung nilai G_{ij} sesuai dengan persamaan (2-20).

$$G_{12} = \exp(-0,3 \times -0,2426)$$

$$G_{12} = 1,0755$$

Dengan cara yang sama, maka didapatkan nilai $G_{21} = 0,6479$

- 6) Parameter biner persamaan NRTL dalam menghitung koefisien aktivitas (γ) sesuai dengan persamaan (2-18). Sehingga

$$\gamma_1 = \exp \left[0,0589^2 \left\{ -0,2426 \left(\frac{0,6479}{0,9410 + (0,0589 \times 0,6479)} \right) + \frac{(1,0751 \times - (0,2426))}{(0,0589 + (0,9410 \times 1,0751))^2} \right\} \right]$$

$$\gamma_1 = 1,0014$$

Dengan cara yang sama, maka didapatkan nilai $\gamma_2 = 1,9135$

- 7) Setelah diperoleh nilai γ_1 dan γ_2 eksperimen maupun secara perhitungan untuk masing-masing komposisi x_1 , maka langkah selanjutnya adalah menghitung *Objective Function* (OF) dengan persamaan :

$$OF = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^2 \left[\left(\frac{\gamma_j^{exp} - \gamma_j^{cal}}{\gamma_j^{exp}} \right) \right]^2$$

$$OF = \sum_{I=1}^N \left(\frac{\gamma_1^{exp} - \gamma_1^{cal}}{\gamma_1^{exp}} \right)^2 + \left(\frac{\gamma_2^{exp} - \gamma_2^{cal}}{\gamma_2^{exp}} \right)^2$$

Nilai OF yang diperoleh 0,9984.

- 8) Selanjutnya mengiterasi nilai OF tersebut terhadap b_{12} dan b_{21} dari asumsi awal, sehingga didapatkan nilai sekecil mungkin. Dengan menggunakan fasilitas *Solver* yang ada pada Microsoft Excel, sehingga diperoleh

$$OF = 0,9232$$

$$b_{12} = -170,050$$

$$b_{21} = 1013,944$$

$$\alpha = 0,3$$

C.4. Perhitungan Korelasi T-x-y BUBLE T untuk Kesetimbangan Uap-Cair

Dari parameter biner yang diperoleh dari perhitungan di atas akan didapatkan kurva T-x-y. Langkah-langkah perhitungan BUBLE T adalah sebagai berikut:

- 1) Menentukan nilai awal T untuk trial. Untuk trial awal, digunakan $T = 90,4 \text{ }^\circ\text{C}$
- 2) Menghitung P_1^{sat} dan P_2^{sat} dengan menggunakan nilai T_{trial} , dengan menggunakan persamaan Antoine diperoleh

$$P_1^{\text{sat}} = 161,893 \text{ KPa}$$

$$P_2^{\text{sat}} = 0,013 \text{ KPa}$$

- 3) Menghitung γ_i dengan persamaan (2-18) untuk masing-masing komponen dengan menggunakan parameter biner yang didapat :

$$\gamma_1 = 1,0014$$

$$\gamma_2 = 1,8960$$

- 4) Menghitung nilai P_j^{sat} dengan persamaan, dimana komponen j adalah komponen kunci. Ditetapkan komponen 1 sebagai komponen kunci, sebagai berikut :

$$P_j^{\text{sat}} = \frac{P}{\sum x_i \gamma_i \left(\frac{P_i^{\text{sat}}}{P_j^{\text{sat}}} \right)} = 107,5188 \text{ KPa}$$

- 5) Menghitung nilai T_{cal} dari parameter kunci dengan persamaan Antoine, maka didapat $T_{\text{cal}} = 79,6 \text{ }^\circ\text{C}$
- 6) Jika $T_{\text{trial}} - T_{\text{cal}} < \text{error}$ yang ditetapkan, maka T_{cal} adalah T yang dicari, dan lanjut ke langkah 7 (selanjutnya), jika $T_{\text{trial}} - T_{\text{cal}} > \text{error}$, maka ulangi perhitungan dari langkah 1, dengan menjadikan T_{cal} sebagai T untuk perhitungan dengan perhitungan AAD T

Syarat : toleransi nilai error $\Delta T < 0,001$.

Dari percobaan ini didapatkan nilai T konvergen pada $79,6 \text{ }^\circ\text{C}$

$$AAD T = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{T_{\text{cal}} - T_{\text{exp}}}{T_{\text{exp}}} \right| \times 100\%$$

$$AAD T = 0,253 \%$$

Hasil korelasi data eksperimen kesetimbangan uap cair sistem biner etanol (1) + gliserol (2) pada tekanan atmosfer dengan persamaan NRTL menghasilkan AAD T sebesar 0,507%.

- 7) Menghitung nilai y_1 dan y_2 dengan persamaan (2-12) dan menghitung AAD y, maka

$$y_1 = \frac{0,9410 \times 1,0014 \times 107,5188}{101,325}$$

$$y_1 = 0,999994$$

$$y_2 = 1 - y_1$$

$$y_2 = 1 - 0,999994$$

$$y_2 = 0,00000618$$

$$AAD y = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y_{cal} - y_{exp}}{y_{exp}} \right| \times 100\%$$

$$AAD y = 0,7673\%$$

Hasil korelasi data eksperimen kesetimbangan uap cair sistem biner etanol (1) + gliserol (2) pada tekanan atmosfer dengan persamaan NRTL menghasilkan AAD y sebesar 1,0662%.

- 8) Dengan menggunakan langkah yang sama untuk data percobaan sistem biner yang lain.

C.5. Korelasi Persamaan Koefisien Aktivitas dengan Model Persamaan UNIQUAC

- 1) Menghitung P_{sat} etanol dan P_{sat} gliserol menggunakan parameter Antoine.

$$P_1^{sat} = 105,839 \text{ KPa}$$

$$P_2^{sat} = 0,005 \text{ Kpa}$$

- 2) Menghitung koefisien aktivitas (γ_i) eksperimen dengan dengan persamaan (2-12) sehingga

$$\gamma_1 = 1,0016$$

Dengan cara yang sama, maka didapatkan nilai

$$\gamma_2 = 2418,162$$

- 3) Mula-mula, mengasumsi nilai A_{12} dan A_{21} untuk suatu nilai sembarang, kemudian dicari nilai parameter A_{12} dan A_{21} yang memiliki nilai error yang paling minimum terhadap *objective function* (OF) serta z sebesar 10.
- 4) Parameter struktural r dan q sebagai berikut.

Tabel B.2. Data Parameter Struktural r dan q

Komponen	Main Group	Sub Group	No	vj	Rk	Qk	ri	qi	li
Etanol	1	CH ₃	1	1	0,9011	0,848	2,576	2,588	-1,638
	1	CH ₂	2	1	0,6744	0,540			
	5	OH	15	1	1	1,200			
Gliserol	1	CH ₂	2	2	0,6744	0,540	4,796	4,908	-4,3572
	1	CH	3	1	0,4469	0,228			
	5	OH	15	3	1	1,200			

(Table 8-23 The Properties of Gases and Liquids 5th ed)

- 5) Menghitung nilai ϕ_i sesuai dengan persamaan (2-28).

$$\phi_1 = \frac{0,9410 \times 2,5755}{(0,9410 \times 2,5755) + (0,0589 \times 4,7957)}$$

$$\phi_1 = 0,8955$$

Dengan cara yang sama, maka didapatkan nilai

$$\phi_2 = 0,1045$$

- 6) Menghitung nilai θ_i sesuai dengan persamaan (2-27).

$$\theta_1 = \frac{0,9410 \times 2,588}{(0,9410 \times 2,588) + (0,0589 \times 4,908)}$$

$$\theta_1 = 0,8938$$

Dengan cara yang sama, maka didapatkan nilai

$$\theta_2 = 0,1062$$

- 7) Menghitung nilai l_i sesuai dengan persamaan (2-33).

$$l_1 = \frac{10}{2} (2,5755 - 2,588) - (2,5755 - 1)$$

$$l_1 = -1,638$$

Dengan cara yang sama, maka didapatkan nilai

$$l_2 = -4,3572$$

- 8) Menghitung nilai τ_{ji} sesuai dengan persamaan (2-29).

$$\tau_{12} = \exp\left(\frac{605,8354}{1,987 \times (81,6+273,15)}\right)$$

$$\tau_{12} = 0,4234$$

Dengan cara yang sama, maka didapatkan nilai

$$\tau_{21} = 0,0017$$

- 9) Parameter biner persamaan UNIQUAC dalam menghitung koefisien aktivitas (γ) sesuai dengan persamaan (2-31).

Sehingga

$$\gamma_1 = 0,9256$$

$$\gamma_2 = 156,8613$$

- 10) Setelah diperoleh nilai γ_1 dan γ_2 eksperimen maupun secara perhitungan untuk masing-masing komposisi x_1 , maka langkah selanjutnya adalah menghitung *Objective Function* (OF) dengan persamaan :

$$OF = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^2 \left[\left(\frac{\gamma_j^{exp} - \gamma_j^{cal}}{\gamma_j^{exp}} \right) \right]^2$$

$$OF = \sum_{l=1}^N \left(\frac{\gamma_1^{exp} - \gamma_1^{cal}}{\gamma_1^{exp}} \right)^2 + \left(\frac{\gamma_2^{exp} - \gamma_2^{cal}}{\gamma_2^{exp}} \right)^2$$

Nilai OF yang diperoleh 0,8746.

- 11) Selanjutnya mengiterasi nilai OF tersebut terhadap a_{12} dan a_{21} dari asumsi awal, sehingga didapatkan nilai sekecil mungkin. Dengan menggunakan fasilitas *Solver* yang ada pada Microsoft Excel, sehingga diperoleh

$$OF = 0,8881$$

$$A_{12} = 605,8354$$

$$A_{21} = 4501,6253$$

C.6. Perhitungan Korelasi T-x-y BUBLE T untuk Kesetimbangan Uap-Cair

Dari parameter biner yang diperoleh dari perhitungan di atas akan didapatkan kurva T-x-y. Langkah-langkah perhitungan BUBLE T adalah sebagai berikut:

- 1) Menentukan nilai awal T untuk trial. Untuk trial awal, digunakan $T = 81,4 \text{ }^\circ\text{C}$
- 2) Menghitung P_1^{sat} dan P_2^{sat} dengan menggunakan nilai T_{trial} , dengan menggunakan persamaan Antoine diperoleh

$$P_1^{\text{sat}} = 119,398 \text{ KPa}$$

$$P_2^{\text{sat}} = 0,006 \text{ KPa}$$

- 3) Menghitung γ_i dengan persamaan (2-32) untuk masing-masing komponen dengan menggunakan parameter biner yang didapat :

$$\gamma_1 = 0,9191$$

$$\gamma_2 = 30,4885$$

- 4) Menghitung nilai P_j^{sat} dengan persamaan, dimana komponen j adalah komponen kunci. Ditetapkan komponen 1 sebagai komponen kunci, sebagai berikut :

$$P_j^{\text{sat}} = \frac{P}{\sum x_i \gamma_i \left(\frac{P_i^{\text{sat}}}{P_j^{\text{sat}}} \right)} = 131,542 \text{ KPa}$$

- 5) Menghitung nilai T_{cal} dari parameter kunci dengan persamaan Antoine, maka didapat $T_{\text{cal}} = 84,84 \text{ }^\circ\text{C}$
- 6) Jika $T_{\text{trial}} - T_{\text{cal}} < \text{error}$ yang ditetapkan, maka T_{cal} adalah T yang dicari, dan lanjut ke langkah 7 (selanjutnya), jika $T_{\text{trial}} - T_{\text{cal}} > \text{error}$, maka ulangi perhitungan dari langkah 1, dengan menjadikan T_{cal} sebagai T untuk perhitungan dengan perhitungan AAD T

Syarat : toleransi nilai error $\Delta T < 0,001$.

Dari percobaan ini didapatkan nilai T konvergen pada $84,84 \text{ }^\circ\text{C}$

$$AAD T = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{T_{\text{cal}} - T_{\text{exp}}}{T_{\text{exp}}} \right| \times 100\%$$

$$AAD T = 3,0706\%$$

Hasil korelasi data eksperimen kesetimbangan uap cair sistem biner etanol (1) + gliserol (2) pada tekanan atmosfer dengan persamaan UNIQUAC menghasilkan AAD T sebesar 3,0706%.

- 7) Menghitung nilai y_1 dan y_2 dengan persamaan (2-12) dan menghitung AAD y, maka

$$y_1 = 0,9996$$

$$y_2 = 1 - y_1$$

$$y_2 = 0,0004$$

$$AAD y = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y_{cal} - y_{exp}}{y_{exp}} \right| \times 100\%$$

$$AAD y = 1,035\%$$

Hasil korelasi data eksperimen kesetimbangan uap cair sistem biner etanol (1) + gliserol (2) pada tekanan atmosfer dengan persamaan UNIQUAC menghasilkan AAD y sebesar 1,035%.

- 8) Dengan menggunakan langkah yang sama untuk data percobaan sistem biner yang lain.

D. Perhitungan Prediksi Kesetimbangan dengan metode UNIFAC

Pengukuran kesetimbangan uap - cair sistem biner etanol (1) + gliserol (2) pada tekanan atmosfer dihitung dengan metode UNIFAC, sebagai berikut:

1. UNIFAC Group-Group Identification

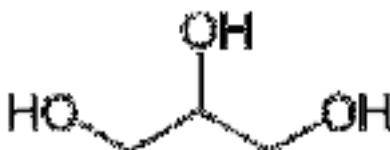
- a. Rumus bangun dan pembagian grup Etanol



Tabel A.4 *Group Identification* Etanol

Group Identification			Vk	Rk	Qk
Nama	Main	Secondary			
CH ₃	1	1	1	0,9011	0,848
CH ₂	1	2	1	0,6744	0,54
OH	5	14	1	1	1,2

b. Rumus bangun dan pembagian grup Gliserol



Tabel A.5 *Group Identification* Gliserol

Group Identification			Vk	Rk	Qk
Nama	Main	Secondary			
CH ₂	1	2	2	0,6744	0,54
CH	1	3	1	0,4469	0,228
OH	5	14	3	1	1,2

Keterangan :

- Vk = Jumlah spesi yang memiliki group sejenis
- Rk = *Group Volume* Parameter
- Qk = *Group Area* Parameter

2. UNIFAC Group-Group Interaction Parameter, a_{mk}

Main group yang ada pada sistem ini adalah : 1, 5 . Sehingga dapat dibuat kombinasi a_{mn} sebagai berikut :

$$a(1,5) = 986,5$$

$$a(5,1) = 156,4$$

3. Persamaan Metode UNIFAC

Persamaan yang digunakan untuk memprediksi data kesetimbangan uap - cair pada tekanan konstan yakni persamaan (2.41) adalah sebagai berikut :

$$\ln \gamma_i = \ln \gamma_i^C + \ln \gamma_i^R$$

Dimana kombinasi $\ln \gamma_i^C$ dihitung menurut persamaan (2.42) sebagai berikut

$$\ln \gamma_i^C = \ln \frac{\Phi_i}{x_i} + \frac{z}{2} q_i \ln \frac{\theta_i}{\Phi_i} + l_i - \frac{\Phi_i}{x_i} \sum_j x_j l_j$$

Selanjutnya θ_i dan Φ_i dihitung menggunakan persamaan (2.45) dan (2.46) sebagai berikut

$$\theta_i = \frac{q_i x_i}{\sum_j q_j x_j}$$

$$\Phi_i = \frac{r_i x_i}{\sum_j r_j x_j}$$

Untuk bagian residual $\ln \gamma_i^R$ dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.49) di bawah ini:

$$\ln \gamma_i^R = \sum_k v_k^{(i)} (\ln \Gamma_k - \ln \Gamma_k^{(1)})$$

Menggunakan persamaan (2.50) seperti dibawah

$$\ln \Gamma_k = Q_k \left[1 - \ln \left(\sum_m \theta_m \Psi_{mk} \right) - \sum_m \frac{\theta_m \Psi_{km}}{\sum_n \theta_n \Psi_{nm}} \right]$$

Nilai θ_m dicari menggunakan persamaan (2.51) seperti dibawah

$$\theta_m = \frac{Q_m X_m}{\sum_n Q_n X_n}$$

$$X_j(i) = \frac{V_j^i}{\sum V_k^i}$$

$$X_m = \frac{\sum_j v_m^{(j)} x_j}{\sum_j \sum_n v_n^{(j)} x_j}$$

Untuk Ψ_{mn} dicari menggunakan persamaan (2.53) seperti dibawah

$$\Psi_{mn} = \exp\left(-\frac{a_{mn}}{T}\right)$$

dimana untuk menghitung harga l_i , q_i , dan r_i menggunakan persamaan (2.43), (2.47), dan (2.48) sebagai berikut :

$$l_i = \frac{z}{2}(r_i - q_i) - (r_i - 1)$$

$Z=10$ (ditetapkan)

$$r_i = \sum_k v_k^{(1)} R_k$$

$$q_i = \sum_k v_k^{(1)} Q_k$$

4. Menghitung Koefisien Aktivitas Combinatorial

Menghitung koefisien aktivitas *combinatorial I* seperti pada persamaan (ii). Dengan menggunakan persamaan (xii), (xiii), (xi), (iii), (iv) serta menggunakan data v_k , R_k , dan Q_k dari poin 1 dan 2 diatas untuk sistem etanol(1) + gliserol (2) akan didapatkan data sebagai berikut :

$$r_1 = 2,5755 ; r_2 = 4,7957$$

$$q_1 = 42,588 ; q_2 = 4,908$$

$$l_1 = -1,638 ; l_2 = -4,3572$$

$$\theta_1 = 0,0011 ; \theta_2 = 0,9989$$

$$\Phi_1 = -1,638 ; \Phi_2 = -4,3572$$

Dari data diatas, dapat dicari $\ln \gamma_1^C$ dan $\ln \gamma_2^C$ menggunakan pers. (ii) dengan menetapkan $x_1=0,1$ dan tekanan konstan = 101,325 kPa didapatkan hasil berikut

$$\ln \gamma_1^C = 0,1267$$

$$\ln \gamma_2^C = 0,1988$$

5. Menghitung Koefisien Aktivitas Combinatorial

Menghitung koefisien aktivitas *combinatorial I* seperti pada Selanjutnya adalah menghitung koefisien aktivitas residual. Perhitungan dimulai dengan menentukan T_{trial} dan menghitung ψ (m,n). T_{trial} yang digunakan pada perhitungan ini adalah 541.15 K. Contoh perhitungannya adalah sebagai berikut :

$$\Psi_{mn} = \exp\left(-\frac{a_{mn}}{T}\right)$$

$$\Psi_{1,5} = \exp\left(-\frac{a_{1,5}}{T}\right)$$

$$\Psi_{1,5} = \exp\left(-\frac{986,5}{541,15}\right)$$

$$\Psi_{1,5} = 0,1615$$

Dengan cara yang sama, didapatkan :

$$\psi(1,5) = 0,1615$$

$$\psi(5,1) = 0,7490$$

Kemudian menghitung properti residual untuk masing-masing komponen murni. Dimisalkan :

Etanol

$$\text{CH}_3 = 1'1$$

$$\text{CH}_2 = 1'2$$

$$\text{OH} = 5$$

Gliserol

$$\text{CH}_2 = 1'2$$

$$\text{CH} = 1'3$$

$$\text{OH} = 5$$

a) Etanol Murni

Senyawa Etanol memiliki 3 gugus grup UNIFAC yang berbeda-beda, yaitu CH₃, CH₂, OH. Sehingga akan dicari {X_{1'1}(1), X_{1'2}(1), X_{5'}(1)} menggunakan persamaan (viii). Selanjutnya akan dihitung θ_k(1) dan ln Γ_k(1) untuk masing-masing gugus menggunakan persamaan (vi) dan (vii). Contoh perhitungannya adalah sebagai berikut

• **Menghitung X_k(1)**

$$X_{1'1}(1) = \frac{V_{1'1}^{(1)}}{\sum V_k^{(1)}}$$

$$X_{1'1}(1) = \frac{1}{(1 + 1 + 1)}$$

$$X_{1'1}(1) = 0,333$$

Dengan cara yang sama, didapatkan :

$$X_{1'1}(1) = 0,3333$$

$$X_{1'2}(1) = 0,3333$$

$$X_{5'}(1) = 0,3333$$

• **Menghitung θ_k(1)**

$$\theta_{1'1}^{(1)} = \frac{Q_{1'1} X_{1'1}^{(1)}}{\sum_n Q_n X_n^{(1)}}$$

$$\theta_{1'1}^{(1)} = \frac{0,848 \times 0,3333}{(0,848 \times 0,3333 + 0,54 \times 0,3333 + 1,2 \times 0,3333)}$$

$$\theta_{1'1}^{(1)} = 0,3276$$

Dengan cara yang sama, didapatkan :

$$\theta_{1'1}(1) = 0,3276$$

$$\theta_{1'2}(1) = 0,2086$$

$$\theta_5(1) = 0,4637$$

• **Menghitung $\ln \Gamma_k(1)$**

$$\ln \Gamma_{1'1}^{(1)} = Q_{1'1} \left\{ \begin{array}{l} 1 - \ln \left(\theta_{1'1}^{(1)} \psi_{1'1} + \theta_{1'2}^{(1)} \psi_{1'1} + \theta_5^{(1)} \psi_{5'1} \right) \\ \left[\left(\frac{\theta_{1'1}^{(1)} \psi_{1'1}}{\theta_{1'1}^{(1)} \psi_{1'1} + \theta_{1'2}^{(1)} \psi_{1'1} + \theta_5^{(1)} \psi_{5'1}} \right) \right] \\ + \left(\frac{\theta_{1'2}^{(1)} \psi_{1'1}}{\theta_{1'1}^{(1)} \psi_{1'1} + \theta_{1'2}^{(1)} \psi_{1'1} + \theta_5^{(1)} \psi_{5'1}} \right) \\ + \left(\frac{\theta_5^{(1)} \psi_{5'5}}{\theta_{1'1}^{(1)} \psi_{1'5} + \theta_{1'2}^{(1)} \psi_{1'5} + \theta_5^{(1)} \psi_{5'5}} \right) \end{array} \right\}$$

$$\ln \Gamma_{1'1}^{(1)} = 0,3228$$

Semua persamaan untuk menghitung $\ln \Gamma_{1'1}(1)$, $\ln \Gamma_{1'2}(1)$, $\ln \Gamma_5(1)$ diturunkan dari persamaan (vi). Hasil perhitungan $\ln \Gamma_{1'1}(1)$, $\ln \Gamma_{1'2}(1)$, $\ln \Gamma_5(1)$ adalah sebagai berikut :

$$\ln \Gamma_{1'1}(1) = 0,3228$$

$$\ln \Gamma_{1'2}(1) = 0,2056$$

$$\ln \Gamma_5(1) = 0,3601$$

b) Gliserol Murni

Gugus yang dimiliki Gliserol adalah CH_2 , CH , OH . Sehingga akan dihitung $X_{1'2}$, $X_{1'3}$, dan X_5 .

Perhitungan dilakukan dengan cara yang sama seperti perhitungan untuk etanol murni. Hasil perhitungannya adalah sebagai berikut :

- **Hasil Perhitungan $X_k(2)$**

$$X_{1'2}(2) = 0,333$$

$$X_{1'3}(2) = 0,167$$

$$X_5(2) = 0,5$$

- **Hasil Perhitungan $\theta_k(2)$**

$$\theta_{1'2}(2) = 0,2200$$

$$\theta_{1'3}(2) = 0,0465$$

$$\theta_5(2) = 0,7335$$

- **Hasil Perhitungan $\ln \Gamma_k(2)$**

$$\ln \Gamma_{1'2}(2) = 0,3911$$

$$\ln \Gamma_{1'3}(2) = 0,1651$$

$$\ln \Gamma_5(2) = 0,0764$$

c) *Residual Group Activity Coefficient*

Pada langkah ini, dihitung kembali X_k , θ_k , dan $\ln \Gamma_k$ untuk tiap grup. Besaran yang dihitung pada langkah ini adalah :

- $X_{1'1}$, $X_{1'2}$, X_5 , $X_{1'2}(2)$, $X_{1'3}(2)$, $X_5(2)$
- $\theta_{1'1}$, $\theta_{1'2}$, θ_5 , $\theta_{1'2}(2)$, $\theta_{1'3}(2)$, $\theta_5(2)$
- $\ln \Gamma_{1'1}$, $\ln \Gamma_{1'2}$, $\ln \Gamma_5$, $\ln \Gamma_{1'2}(2)$, $\ln \Gamma_{1'3}(2)$, $\ln \Gamma_5(2)$
- **Hasil Perhitungan X_k**

Nilai X_k dihitung berdasarkan persamaan (ix). Hasil perhitungannya adalah sebagai berikut

$$\begin{aligned} X1'1 &= 0,00067 \\ X1'2 &= 0,00067 \\ X5 &= 0,00067 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X1'2 (2) &= 0,3326 \\ X1'3 (2) &= 0,1663 \\ X5 (2) &= 0,4989 \end{aligned}$$

- **Hasil Perhitungan θ_k**

Besaran θ_k dihitung menggunakan persamaan (vii) sama seperti pada perhitungan $\theta_k(1)$ dan $\theta_k(2)$. Hasil perhitungannya adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \theta1'1 &= 0,00069 \\ \theta1'2 &= 0,00044 \\ \theta5 &= 0,00097 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \theta1'2 (2) &= 0,2195 \\ \theta1'3 (2) &= 0,0463 \\ \theta5 (2) &= 0,7319 \end{aligned}$$

- **Hasil Perhitungan $\ln \Gamma_k$**

Persamaan untuk menghitung $\ln \Gamma_k$ untuk masing-masing grup diturunkan dari persamaan (vi), seperti pada perhitungan $\ln \Gamma_k(1)$ dan $\ln \Gamma_k(2)$. Hasil perhitungannya disajikan di bawah ini :

$$\begin{aligned} \ln \Gamma1'1 &= 0,2395 \\ \ln \Gamma1'2 &= 0,1525 \\ \ln \Gamma5 &= 0,7010 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \ln \Gamma1'1 (2) &= 0,1525 \\ \ln \Gamma1'2 (2) &= 0,0644 \end{aligned}$$

$$\ln \Gamma_5 \quad (2) \quad = \quad 0,2849$$

- **Residual Activity Coefficient**

$\ln \gamma^R$ dihitung menggunakan persamaan (v).

$$\ln \gamma_1^R = 0,2046$$

$$\ln \gamma_2^R = 0,0984$$

6. Activity Coefficient Total

$$\ln \gamma_1 = \ln \gamma_1^C + \ln \gamma_1^R$$

$$\ln \gamma_1 = 0,4781 + (-0,1556)$$

$$\ln \gamma_1 = 0,0489$$

Dengan cara yang sama,

$$\ln \gamma_2 = 0,0984$$

$$\gamma_1 = 1,0501$$

$$\gamma_2 = 1,1034$$

7. BUBL T Calculation

1) Menghitung P1sat dan P2sat

Parameter Antoine Etanol dan Gliserol:

Komponen	A	B	C	D	E	F
Etanol (1)	86.49	-7931	0	-10.25	6.38900E-06	2
Gliserol (2)	169.2	-16890	0	-21.81	0.00001141	2

$$P1sat = 9845,416 \text{ kPa}$$

Dengan cara yang sama,

$$P2sat = 58,237 \text{ kPa}$$

2) Menghitung Alpha dan P_1^{sat} cal

$$\alpha = \frac{P1sat}{P2sat}$$

$$\alpha = 169,0592$$

$$P_{1sat\ new} = \frac{P}{x_1\gamma_1 + \frac{x_2\gamma_2}{\alpha}}$$

$$P_{1sat\ new} = 9468,4933\ kPa$$

3) T_{cal}

Dengan persamaan Antoine didapatkan T baru sebesar 539,4854 K

4) Delta T

$$\delta T = T_{trial} - T_{baru}$$

$$\delta T = 541,15 - 539,4854$$

$$\delta T = -1,6646\ K$$

5) Iterasi

Menggunakan program *Goal Seek* pada Ms. Excel dengan menetapkan delta $T = 0$, didapatkan untuk $x_1=0,1$ suhu $T = 541,15\ K$. Di dapatkan

$$\gamma_{1cal} = 1,0510$$

$$\gamma_{2cal} = 1,1045$$

$$P_1^{sat\ cal} = 9601,0303\ kPa$$

6) Menghitung y_1

$$y_1 = \frac{x_1\gamma_1 P_{1satcal}}{P}$$

$$y_1 = \frac{0,004 \times 1,0510 \times 9601,0303}{101,325}$$

$$y_1 = 0,3983$$

Berikut ini adalah data prediksi UNIFAC :

x ₁	x ₂	y ₁	y ₂	T (°C)
0	1	0	1	287.711
0.05	0.95	0.978868	0.021131566	175.66158848
0.10	0.9	0.995093	0.004907182	146.90684192
0.15	0.85	0.997952	0.002047571	132.65395257
0.20	0.8	0.998911	0.001088962	123.66193407
0.25	0.75	0.99935	0.000650104	116.85614339
0.30	0.7	0.99958	0.000420316	111.63693257
0.35	0.65	0.999713	0.00028655	107.47565643
0.40	0.6	0.999797	0.000202626	104.06884967
0.45	0.55	0.999853	0.000146961	101.22715780
0.50	0.5	0.999892	0.00010841	98.82493189
0.55	0.45	0.999919	8.07832×10^{-5}	96.77472452
0.60	0.4	0.99994	6.04286×10^{-5}	95.01322458
0.65	0.35	0.999955	4.50882×10^{-5}	93.49300812
0.70	0.3	0.999967	3.33099×10^{-5}	92.17737401
0.75	0.25	0.999976	2.41298×10^{-5}	91.03693876
0.80	0.2	0.999983	1.68913×10^{-5}	90.04722627
0.85	0.15	0.999989	1.11377×10^{-5}	89.18684967
0.90	0.1	0.999993	6.5466×10^{-6}	88.43595343
0.95	0.05	0.999997	2.88845×10^{-6}	87.77464431
1	0	1	0	78.44809117

D. Hasil Perhitungan Korelasi Data Kesetimbangan Uap-Cair Sistem Biner Etanol (1) + Gliserol (2) pada Tekanan Atmosfer dengan Persamaan Wilson

Konstanta Antoine						
Komponen	A	B	C	D	E	F
Etanol (1)	86,49	-7931	0	-10,25	$6,38900 \times 10^{-6}$	2
Gliserol (2)	169,2	-16890	0	-21,81	0,00001141	2

Parameter Wilson	
a_{12}	-1107,5866
a_{21}	257,54251

T (C)	T(K)	x_1	x_2	y_1	y_2	P_1^{sat} (kPa)	P_2^{sat} (kPa)	γ_1 (exp)	γ_2 (exp)	V_1	V_2	Λ_{12}	Λ_{21}	γ_1 calc	γ_2 calc	OF
78,4	351,55	1,000	0,000	1,000	0,000	102,5552	0,0050	0,9880		0,060	0,089	0,303	0,975	1,0000	2,0585	
79,2	352,35	0,941	0,059	0,992	0,008	105,8394	0,0054	1,0016	2418,1624	0,060	0,089	0,305	0,975	1,0017	1,9430	0,9984
82,3	355,45	0,838	0,162	0,992	0,008	119,3980	0,0069	0,9972	682,6904	0,060	0,089	0,308	0,975	1,0139	1,7595	0,9951
83,6	356,75	0,760	0,240	0,992	0,008	125,4950	0,0077	1,0470	416,6856	0,061	0,089	0,310	0,975	1,0322	1,6362	0,9924
86,9	360,05	0,674	0,326	0,992	0,008	142,1323	0,0100	1,0430	236,5392	0,061	0,090	0,312	0,975	1,0637	1,5129	0,9876
88,6	361,75	0,506	0,495	0,992	0,008	151,3858	0,0114	1,3072	136,7969	0,061	0,090	0,318	0,975	1,1739	1,3092	0,9913
96,5	369,65	0,437	0,563	0,988	0,012	201,1124	0,0205	1,1339	108,5623	0,062	0,090	0,320	0,976	1,2453	1,2399	0,9869
102,7	375,85	0,256	0,744	0,988	0,012	248,8446	0,0320	1,5624	52,7713	0,063	0,091	0,328	0,978	1,5665	1,0939	0,9590

T (C)	T(K)	x ₁	x ₂	y ₁	y ₂	P ₁ ^{sat} (kPa)	P ₂ ^{sat} (kPa)	γ ₁ (exp)	γ ₂ (exp)	V ₁	V ₂	Λ ₁₂	Λ ₂₁	γ ₁ calc	γ ₂ calc	OF
127,3	400,45	0,068	0,932	0,983	0,017	536,6176	0,1578	2,7158	11,8822	0,067	0,093	0,352	0,993	2,2894	1,0076	0,8622
152,6	425,75	0,043	0,957	0,978	0,022	1061,8845	0,6457	2,1454	3,6321	0,070	0,095	0,361	1,006	2,3906	1,0031	0,5370
287,3	560,45	0,000	1,000	0,000	1,000	13044,187	101,25		1,0007	0,082	0,111	0,549	0,929	1,9567	1,0000	
Rata-rata																0,9233

Trial T awal (°C)	P ₁ ^{sat} (kPa)	P ₂ ^{sat} (kPa)	V ₁	V ₂	Δ ₁₂	Λ ₂₁	γ _{1 cal}	γ _{2 cal}	P ₁ ^{sat}	T cal (°C)	AAD T (%)	AAD y (%)
78,0949	101,3252	0,0049	0,0599	0,0889	0,3030	0,9734	1,0000	2,0624	101,3250	78,0948		
79,5936	107,4869	0,0056	0,0601	0,0890	0,3050	0,9748	1,0017	1,9430	107,48694	79,5936	0,497	0,767
82,2762	119,2885	0,0069	0,0604	0,0892	0,3079	0,9748	1,0139	1,7595	119,28868	82,27617	0,029	0,766
84,3533	129,1439	0,00814	0,0606	0,0893	0,3100	0,9748	1,0321	1,6362	129,14403	84,35332	0,901	0,765
86,7452	141,3135	0,00983	0,0609	0,0895	0,3125	0,9749	1,0637	1,5129	141,313576	86,74524	0,178	0,763
91,8986	170,7527	0,01459	0,0615	0,0899	0,3176	0,9754	1,1738	1,3092	170,75272	91,89865	3,723	0,759
94,3140	186,1833	0,017483	0,0618	0,0901	0,3199	0,9757	1,2452	1,2399	186,183335	94,31408	2,265	1,247
103,0983	252,2005	0,032906	0,0629	0,0907	0,3281	0,9776	1,5664	1,0939	252,200519	103,0983	0,388	1,233
134,0072	649,2992	0,234132	0,0673	0,0932	0,3523	0,9927	2,2893	1,0076	649,299468	134,0072	5,269	1,543
149,2691	975,9083	0,542685	0,0700	0,0945	0,3609	1,0064	2,3905	1,0031	975,908440	149,2691	2,183	1,754
287,3261	13048,99713	101,3249	0,0816	0,1107	0,5488	0,9288	1,9567	1,0000	13048,9971	287,3261		
											1,715	1,066

E. Hasil Perhitungan Korelasi Data Kesetimbangan Uap-Cair Sistem Biner Etanol (1) + Gliserol (2) pada Tekanan Atmosfer dengan Persamaan NRTL

Konstanta Antoine						
Komponen	A	B	C	D	E	F
Etanol (1)	86,49	-7931	0	-10,25	$6,38900 \times 10^{-6}$	2
Gliserol (2)	169,2	-16890	0	-21,81	0,00001141	2

Parameter NRTL	
b_{12}	-170,04959
b_{21}	1013,945
α	0,3

T (C)	T(K)	x_1	x_2	y_1	y_2	P_1^{sat} (kPa)	P_2^{sat} (kPa)	$\gamma_1(\text{exp})$	$\gamma_2(\text{exp})$	τ_{12}	τ_{21}	G_{12}	G_{21}	γ_1^{cal}	γ_2^{cal}	OF
78,4	351,55	1,0000	0,0000	1,0000	0,0000	102,5552	0,0050	0,9880		-0,244	1,453	1,0758	0,6467	1,0000	2,0055	
79,2	352,35	0,9410	0,0590	0,9924	0,0076	105,8394	0,0054	1,0016	2418,1624	-0,243	1,447	1,0755	0,6479	1,0014	1,9135	0,998
82,3	355,45	0,8377	0,1623	0,9924	0,0076	119,3980	0,0069	0,9972	682,6904	-0,241	1,436	1,0749	0,6501	1,0120	1,7565	0,995
83,6	356,75	0,7601	0,2399	0,9924	0,0076	125,4950	0,0077	1,0470	416,6856	-0,239	1,427	1,0744	0,6517	1,0287	1,6435	0,992
86,9	360,05	0,6740	0,3260	0,9924	0,0076	142,1323	0,0100	1,0430	236,5392	-0,238	1,417	1,0739	0,6536	1,0588	1,5248	0,987
88,6	361,75	0,5055	0,4945	0,9924	0,0076	151,3858	0,0114	1,3072	136,7969	-0,234	1,398	1,0728	0,6575	1,1700	1,3180	0,992
96,5	369,65	0,4370	0,5630	0,9876	0,0124	201,1124	0,0205	1,1339	108,5623	-0,233	1,389	1,0724	0,6593	1,2443	1,2456	0,987
102,7	375,85	0,2564	0,7436	0,9876	0,0124	248,8446	0,0320	1,5624	52,7713	-0,228	1,357	1,0707	0,6655	1,5824	1,0927	0,959

T (C)	T(K)	x ₁	x ₂	y ₁	y ₂	P ₁ ^{sat} (kPa)	P ₂ ^{sat} (kPa)	γ ₁ (exp)	γ ₂ (exp)	τ ₁₂	τ ₂₁	G ₁₂	G ₂₁	γ ₁ ^{cal}	γ ₂ ^{cal}	OF
127,3	400,45	0,0680	0,9320	0,9827	0,0173	536,6176	0,1578	2,7158	11,8822	-0,212	1,2752	1,0658	0,6821	2,3297	1,0070	0,8579
152,6	425,75	0,0432	0,9568	0,9777	0,0223	1061,884	0,6457	2,1454	3,6321	-0,200	1,1994	1,0618	0,6978	2,3748	1,0027	0,5355
287,3	560,45	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000	13044,19	101,25		1,0007	-0,210	1,254	1,0651	0,6865	2,2968	1,0069	
															Rata-rata	0,9232

Trial T awal (°C)	P ₁ ^{sat} (kPa)	P ₂ ^{sat} (kPa)	τ_{12}	τ_{21}	G ₁₂	G ₂₁	γ_1 calc	γ_2 calc	P ₁ ^{sat}	T _{cal} (°C)	AAD T (%)	AAD y (%)
78,0949	351,2449	101,3250	-0,2437	1,4528	1,0758	0,6467	1,0000	2,0055	101,3250	78,0949		
79,6016	107,5203	0,0056	-0,2426	1,4465	1,0755	0,6479	1,0014	1,913	107,5203	79,6015	0,507	0,767
82,3255	119,5154	0,0069	-0,2408	1,4355	1,0749	0,6501	1,0120	1,7565	119,5154	82,3255	0,031	0,766
84,4423	129,5808	0,0082	-0,2393	1,4270	1,0744	0,6517	1,0287	1,6435	129,5809	84,4423	1,008	0,765
86,8688	141,9668	0,0099	-0,2377	1,4174	1,0739	0,6536	1,0588	1,5248	141,9668	86,8688	0,036	0,763
91,9914	171,3255	0,0147	-0,2344	1,3975	1,0728	0,6575	1,1700	1,3180	171,3255	91,9914	3,828	0,758
94,3367	186,3331	0,0175	-0,2329	1,3886	1,0724	0,6593	1,2443	1,2456	186,3332	94,3367	2,242	1,247
102,7979	249,6661	0,0322	-0,2276	1,3573	1,0707	0,6655	1,5824	1,0927	249,6661	102,7979	0,095	1,233
133,8921	647,2180	0,2326	-0,2103	1,2537	1,0651	0,6865	2,2968	1,0069	647,2180	133,8921	5,178	1,544
149,3643	978,2863	0,5454	-0,2026	1,2077	1,0626	0,6961	2,3847	1,0027	978,2863	149,3643	2,120	1,751
287,3000	13048,9971	101,3250	-0,1527	0,9105	1,0469	0,7610	2,1183	1,0000	13048,9971	287,32611		
											1,672	1,066

F. Hasil Perhitungan Korelasi Data Kesetimbangan Uap-Cair Sistem Biner Etanol (1) + Gliserol (2) pada Tekanan Atmosfer dengan Persamaan UNIQUAC

Konstanta Antoine						
Komponen	A	B	C	D	E	F
Etanol (1)	86,49	-7931	0	-10,25	$6,38900 \times 10^{-6}$	2
Gliserol (2)	169,2	-16890	0	-21,81	0,00001141	2

Parameter UNIQUAC	
A_{12}	605,8353754
A_{21}	4501,625299

Komponen	Main Group	Sub Group	Secondary	V_k	R_k	Q_k	r_i	q_i	l_i
Etanol	1	CH ₃	1	1	0,9011	0,848	2,5755	2,588	-1,638
	1	CH ₂	2	1	0,6744	0,54			
	5	OH	14	1	1	1,2			
Gliserol	1	CH ₂	2	2	0,6744	0,54	4,7957	4,908	-4,3572
	1	CH	3	1	0,4469	0,228			
	5	OH	14	3	1	1,2			

T (C)	T(K)	x_1	x_2	y_1	y_2	P_1^{sat} (kPa)	P_2^{sat} (kPa)	$\gamma_1(\text{exp})$	$\gamma_2(\text{exp})$	θ_1	θ_2	ϕ_1	ϕ_2	τ_{12}	τ_{21}
78,4	351,55	1,0000	0,0000	1,0000	0,0000	102,5552	0,0050	0,9880		1,0000	0,0000	1,0000	0,0000	0,4198	0,0016

79,2	352,35	0,9410	0,0590	0,9924	0,0076	105,8394	0,0054	1,0016	2418,1624	0,8938	0,1062	0,8955	0,1045	0,4234	0,0017
82,3	355,45	0,8377	0,1623	0,9924	0,0076	119,3980	0,0069	0,9972	682,6904	0,7314	0,2686	0,7349	0,2651	0,4267	0,0018
83,6	356,75	0,7601	0,2399	0,9924	0,0076	125,4950	0,0077	1,0470	416,6856	0,6256	0,3744	0,6299	0,3701	0,4280	0,0018
86,9	360,05	0,6740	0,3260	0,9924	0,0076	142,1323	0,0100	1,0430	236,5392	0,5216	0,4784	0,5262	0,4738	0,4290	0,0019
88,6	361,75	0,5055	0,4945	0,9924	0,0076	151,3858	0,0114	1,3072	136,7969	0,3502	0,6498	0,3544	0,6456	0,4316	0,0019
96,5	369,65	0,4370	0,5630	0,9876	0,0124	201,1124	0,0205	1,1339	108,5623	0,2904	0,7096	0,2942	0,7058	0,4333	0,0020
102,7	375,85	0,2564	0,7436	0,9876	0,0124	248,8446	0,0320	1,5624	52,7713	0,1539	0,8461	0,1563	0,8437	0,4427	0,0023
127,3	400,45	0,0680	0,9320	0,9827	0,0173	536,6176	0,1578	2,7158	11,8822	0,0371	0,9629	0,0377	0,9623	0,4767	0,0041
152,6	425,75	0,0432	0,9568	0,9777	0,0223	1061,8845	0,6457	2,1454	3,6321	0,0233	0,9767	0,0237	0,9763	0,4870	0,0048
287,3	560,45	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000	13044,1868	101,2519		1,0007	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000	0,5804	0,0176

γ_1 (cal)	γ_2 (cal)	OF	Trial T awal (°C)	P_1^{sat} (kPa)	P_2^{sat} (kPa)	τ_{12}	τ_{21}	γ_1 calc	γ_2 calc	P_1^{sat}	T baru
1,0000			78,0949	101,3250	0,0049	0,4198	0,0016	1,0000		101,325	78,0949

0,9257	156,8613	0,8802	81,6073	116,2504	0,0065	0,4234	0,0017	0,9257	156,8613	116,2498	81,6073
0,9191	30,4885	0,9188	84,8393	131,5438	0,0085	0,4267	0,0018	0,9191	30,4885	131,5420	84,8393
0,9651	13,7113	0,9414	86,1287	138,0901	0,0094	0,4280	0,0018	0,9651	13,7113	138,0863	86,1287
1,0468	7,2046	0,9400	87,1708	143,5743	0,0102	0,4290	0,0019	1,0468	7,2046	143,5689	87,1708
1,2726	3,1214	0,9556	89,6781	157,5064	0,0123	0,4316	0,0019	1,2726	3,1214	157,4981	89,6781
1,3821	2,4531	1,0032	91,4089	167,7553	0,0141	0,4333	0,0020	1,3821	2,4531	167,7446	91,4089
1,6827	1,5255	0,9489	100,9823	234,7850	0,0284	0,4427	0,0023	1,6827	1,5255	234,7674	100,9823
2,0300	1,0816	0,8900	138,3472	731,6888	0,2997	0,4767	0,0041	2,0300	1,0816	731,6660	138,3472
2,3113	1,0414	0,5147	150,5690	1008,7832	0,5810	0,4870	0,0048	2,3113	1,0414	1008,791344	150,5690
	1,0000		287,3261	13049,00583	101,3251322	0,5804	0,0176		1,0000	13048,9888	287,3261
Rata-rata		0,8881									

AARD T (%)	AARD y (%)
3,0395	0,7083

3,0854	0,7277
3,0248	0,7401
0,3116	0,7479
1,2169	0,7543
5,2758	1,2466
1,6725	1,2350
8,6781	1,4631
1,3309	1,6943
Rata-rata	
3,0706	1,0352

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIOGRAFI PENULIS



FYA WIDYA IRAWAN dilahirkan di Kota Surabaya pada 10 Juli 1997. Penulis merupakan anak kedua dari dua bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal sejak tahun 2002 di SDN Kalirungkut I, SMP Negeri 1 Surabaya, dan SMA Negeri 5 Surabaya. Setelah lulus dari SMA, penulis meneruskan pendidikan formalnya di Departemen Teknik Kimia Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya pada tahun 2014. Semasa kuliah, penulis mempunyai hobi membaca dan travelling. Selain itu, penulis juga pernah melaksanakan kerja praktik di PT. Chandra Asri Petrochemical. Tugas Akhir, sebagai syarat kelulusan jenjang S-1 ditempuh penulis di Laborarium Termodinamika, di bawah bimbingan Prof. Dr. Ir. Kuswandi, DEA dan Rizky Tetrisyanda S.T., M.T. dengan bidang Kesetimbangan Uap-Cair Sistem Biner Etanol + Gliserol pada Tekanan Atmosfer. Penulis dapat dihubungi melalui email : fyawidya10@gmail.com

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIOGRAFI PENULIS



ISMAIL YUDHISTIRA, dilahirkan di Jakarta, 27 April 1996. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal sejak tahun 2002 di SDN Pondok Labu 011 Pagi, SMP Negeri 96 Jakarta, dan SMA Islam Dian Didaktika Depok. Setelah lulus dari SMA, penulis meneruskan pendidikan formalnya di Departemen Teknik Kimia Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya pada tahun 2014. Semasa kuliah, penulis mempunyai hobi travelling dan makan. Selain itu, penulis juga pernah melaksanakan kerja praktik di PT. Semen Tonasa. Tugas Akhir, sebagai syarat kelulusan jenjang S-1 ditempuh penulis di Laborarium Termodinamika, di bawah bimbingan Prof. Dr. Ir. Kuswandi, DEA dan Rizky Tetrisyanda S.T., M.T. dengan bidang Kesetimbangan Uap-Cair Sistem Biner Etanol + Gliserol pada Tekanan Atmosfer. Penulis dapat dihubungi melalui email : ismail.yudhistira8@gmail.com

(Halaman ini sengaja dikosongkan)