

# Analisis Alat Destilasi Bioetanol Menggunakan Metode Rektifikasi

**Rusli Ismail**

Teknik Mesin Universitas Negeri Makassar  
Kampus Parangtambung Jl. Daeng. Tata Raya Makassar

## *Abstrak*

*Krisis energi yang dipicu oleh naiknya harga minyak dunia turut menghimpit kehidupan masyarakat di berbagai negara termasuk di Indonesia. Hal ini semakin menyadarkan berbagai kalangan di Indonesia bahwa ketergantungan terhadap BBM (Bahan Bakar Minyak) secara perlahan perlu dikurangi. Salah satu energi alternatif yang sedang digalakkan guna mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar minyak (BBM) adalah pemanfaatan bioetanol. Untuk memperoleh bioetanol dengan konsentrasi lebih tinggi dari 99,5% atau yang umum disebut fuel grade ethanol, masalah yang timbul adalah sulitnya memisahkan hidrogen yang terikat dalam struktur kimia alkohol dengan cara distilasi biasa. Oleh karena itu, untuk mendapatkan fuel grade ethanol dilaksanakan pemurnian lebih lanjut dengan cara azeotropic distillation. bioetanol merupakan senyawa pengganti bensin yang terbentuk melalui proses fermentasi. Metode rektifikasi adalah metode modern yang digunakan di laboratorium maupun di pabrik. Metode ini sangat efisien untuk skala besar yang menghendaki hasil distilasi berupa komponen-komponen yang hampir murni. Alat distilasi yang dirancang terdiri dari enam bagian utama, yaitu steam boiler, kolom bawah, kolom tray, tangki pemasukan, kondensor, dan pipa penampung distilat yang dilengkapi dengan pembagi distilat. Pengujian dengan metode refluks menghasilkan distilat dengan konsentrasi lebih tinggi dibandingkan dengan distilasi tanpa refluks yaitu pada metode KR.10 sebesar 94.84% dan metode BR.30 sebesar 97.6%.*

**Kata kunci:** *Destilasi bioetanol, metode rektifikasi*

## **I. PENDAHULUAN**

Krisis energi yang dipicu oleh naiknya harga minyak dunia turut menghimpit kehidupan masyarakat di berbagai negara termasuk di Indonesia. Hal ini semakin menyadarkan berbagai kalangan di Indonesia bahwa ketergantungan terhadap BBM (Bahan Bakar Minyak) secara perlahan perlu dikurangi.

Sampai saat ini, minyak bumi merupakan sumber energi yang utama dalam memenuhi kebutuhan di dalam negeri. Selain itu minyak bumi juga berperan sebagai sumber devisa negara.

Peranan minyak bumi yang besar tersebut terus berlanjut, sedangkan cadangan semakin menipis. Selain itu, produksi bahan bakar minyak (BBM) yang dilakukan melalui teknologi transformasi di dalam negeri, tidak mencukupi kebutuhannya.

Buruknya pengaruh pembakaran BBM juga menjadi faktor pendorong pencarian dan pengembangan energi alternatif non BBM. Dalam situasi seperti ini, pencarian, pengembangan dan penyebaran teknologi non BBM yang ramah lingkungan menjadi penting. Terutama ditujukan pada masyarakat

kalangan bawah yang paling merasakan dampak kenaikan harga BBM. Permasalahan tersebut dapat diatasi dengan menggunakan energi alternatif yang ramah lingkungan, murah, mudah diperoleh dan dapat diperbaharui.

Salah satu energi alternatif yang sedang digalakkan guna mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar minyak (BBM) adalah pemanfaatan bioetanol. Bioetanol merupakan *anhydrous* alkohol yang berasal dari fermentasi jagung, sorgum, sagu, atau nira tebu, dan sejenisnya. Bioetanol dapat digunakan untuk menggantikan bahan bakar bensin. Kandungan dalam bioetanol adalah etanol (alkohol) yang sifatnya mudah menguap. Alkohol berupa larutan jernih tak berwarna, beraroma khas yang dapat diterima, berfasa cair pada temperatur kamar, dan mudah terbakar (Prihandana et al, 2007). Etanol dikategorikan dalam dua kelompok yaitu etanol berhidrat (etanol 95-96% v/v) dan etanol unhidrat (etanol > 99.6% v/v). Etanol kelompok kedua adalah etanol yang digunakan sebagai bahan bakar dan disebut *fuel grade ethanol* (FGE).

Untuk memperoleh bioetanol dengan konsentrasi lebih tinggi dari 99,5% atau yang umum disebut *fuel grade ethanol*, masalah yang timbul adalah sulitnya memisahkan hidrogen yang terikat dalam struktur kimia alkohol dengan cara distilasi biasa. Oleh karena itu, untuk mendapatkan *fuel grade ethanol* dilaksanakan pemurnian lebih lanjut dengan cara *azeotropic distillation* (Nurdyastuti, 2008).

Pengembangan alat distilasi etanol sangat penting dalam industri bioetanol. Produk bioetanol hasil fermentasi mengandung alkohol yang rendah yaitu 8-10% alkohol. Oleh karena itu, untuk mendapatkan mutu bioetanol yang tinggi diperlukan proses pemurnian lebih lanjut dengan jalan distilasi bertingkat.

Metode distilasi kontinyu dengan refluks (rektifikasi) merupakan salah satu

metode distilasi yang cukup efisien diterapkan dalam skala industri. Metode ini menggunakan sejumlah *stage* yang disusun secara *cascade* sehingga akan meningkatkan proses pemisahan. Metode rektifikasi memiliki beberapa keuntungan yaitu 1). kapasitas operasi lebih besar, 2) biaya lebih murah, 3). laju distilasi konstan, dan 4). hasil distilasi memiliki tingkat konsentrasi lebih tinggi.

## II. KAJIAN PUSTAKA

### A. Bioetanol

Bioetanol ( $C_2H_5OH$ ) adalah cairan biokimia dari proses fermentasi gula dari sumber karbohidrat menggunakan bantuan mikroorganisme. Bioetanol dibuat dengan bahan baku bahan bergula seperti tebu, nira aren, bahan berpati seperti jagung, dan ubi-ubian, bahan berserat yang berupa limbah pertanian masih dalam taraf pengembangan di negara maju.

Hutrindo (2006) menyatakan bahwa bioetanol merupakan senyawa pengganti bensin yang terbentuk melalui proses fermentasi. Gasohol yang merupakan campuran 10 persen bioetanol dengan bensin menunjukkan karakteristik yang hampir sama dengan bensin pertamax. Bahkan hasil uji coba gasohol pada kendaraan bermesin bensin menunjukkan kualitas emisi gas hasil pembakarannya menjadi 30-40 persen lebih baik. Namun bioetanol hanya memiliki dua-pertiga energi bensin, karena itu penggunaan bioetanol murni pada kendaraan bermesin bensin akan menimbulkan masalah. Hal ini dapat diatasi dengan mengubah desain mesin dan reformulasi komposisi bahan bakar.

Alkohol merupakan bahan bakar yang bersih, hasil pembakaran menghasilkan  $CO_2$  dan  $H_2O$ . Penambahan bahan yang mengandung oksigen pada sistem bahan bakar akan mengurangi emisi gas CO yang sangat beracun dari sisa pembakaran. Aditif MTBE pada mulanya dipergunakan untuk meningkatkan nilai

oktan, namun saat ini dilarang dipergunakan. MTBE dapat dideteksi dan menyebabkan pencemaran pada air tanah sehingga alkohol merupakan alternatif yang menarik untuk mengurangi emisi gas CO. Penggunaan alkohol murni dibanding dengan bensin secara umum akan mengurangi kadar CO<sub>2</sub> hingga 13% karena merupakan hasil dari pertanian. Seperti diketahui produk pertanian memerlukan gas CO<sub>2</sub> untuk metabolismenya. Penggunaan alkohol bukan tanpa masalah pada lingkungan hidup, dimana VOC atau komponen bahan organik mudah menguap meningkat, kebutuhan lahan pertanian dikhawatirkan akan mengurangi jumlah hutan dan tentunya akan bersaing dengan kebutuhan makanan.

Pada umumnya alkohol ditambahkan dalam bensin sebanyak 10% atau dikenal dengan E10. Maksud penambahan pada mulanya untuk mengurangi emisi gas CO dan sedikit meningkatkan nilai oktan. Namun penambahan ini menjadi bernilai ekonomis ketika harga minyak bumi mencapai 80 USD per barel. Alkohol yang ditambahkan harus bebas dari kandungan air untuk melindungi mesin mobil dari korosi dan kerusakan bahan *packing* dari polimer. E10 dapat langsung dipergunakan pada mobil tanpa banyak perubahan. Campuran E85 dengan etanol 85%, bensin 15%, dipergunakan untuk mobil khusus untuk bahan bakar etanol. Jumlah bensin 15% diperlukan karena etanol kurang mudah menguap sehingga pada suhu dingin kesulitan untuk menyalakan mesin. Keluhan dari beberapa pengguna bensin-etanol adalah harus sering menguras air dari tangki minyak, etanol cenderung menyerap air dan air terpisah dalam tangki. Selain itu, energi menjadi berkurang atau jumlah bahan bakar bertambah, karena etanol telah mengandung oksigen.

## B. Destilasi

Istilah distilasi sederhana umumnya berkaitan dengan pemisahan suatu campuran yang terdiri dari dua atau lebih cairan melalui pemanasan. Pemanasan dimaksudkan untuk menguapkan komponen-komponen yang lebih mudah menguap (titik didih lebih rendah) dan kemudian uap yang diperoleh dikondensasi kembali menjadi cair dan kemudian ditampung dalam suatu bejana penerima (Cook dan Cullen, 1986).

Unit operasi distilasi merupakan metode yang digunakan untuk memisahkan komponen-komponen yang terdapat dalam suatu larutan atau campuran dan tergantung pada distribusi komponen-komponen tersebut antara fasa uap dan fasa cair. Semua komponen tersebut terdapat dalam fasa cairan dan uap. Fasa uap terbentuk dari fasa cair melalui penguapan (evaporasi) pada titik didihnya (Geankoplis, 1983).

Syarat utama dalam operasi pemisahan komponen-komponen dengan cara distilasi adalah komposisi uap harus berbeda dari komposisi cairan dengan terjadi keseimbangan larutan-larutan, dengan komponen-komponennya cukup dapat menguap. Suhu cairan yang mendidih merupakan titik didih cairan tersebut pada tekanan atmosfer yang digunakan (Geankoplis, 1983).

Distilasi dilakukan melalui tiga tahap: evaporasi yaitu memindahkan pelarut sebagai uap dari cairan; pemisahan uap-cairan di dalam kolom, untuk memisahkan komponen dengan titik didih lebih rendah yang lebih volatil dari komponen lain yang kurang volatil; dan kondensasi dari uap, untuk mendapatkan fraksi pelarut yang lebih volatil.

## C. Proses Distilasi

Menurut Brown (1984) dalam prakteknya ada berbagai macam proses distilasi. Hal ini disebabkan oleh keadaan-keadaan tertentu untuk pemisahan

komponen dalam suatu campuran seperti perbedaan titik didih antar komponen yang cukup besar atau kecil dan tingkat kamurnian yang diinginkan terhadap produk yang dihasilkan.

Proses-proses distilasi yaitu proses distilasi normal, proses distilasi bertingkat dan proses distilasi vakum. Proses distilasi normal yaitu suatu proses distilasi dengan menggunakan tekanan atmosfer. Pada proses ini titik didih campuran cukup besar perbedaannya, sehingga proses pemisahannya mudah dikerjakan. Sebagai contoh yaitu campuran benzen dan toluen. Benzene pada tekanan 760 mmHg, titik didihnya 176.2°C, sedangkan toluen pada tekanan 760 mmHg, titik didihnya adalah 231.1°C. Proses penyulingan juga termasuk dalam kelompok proses distilasi normal.

Proses distilasi bertingkat yaitu suatu proses distilasi dengan letak pengambilan hasil bertingkat-tingkat atau setelah didistilasi, hasilnya didistilasi lebih lanjut untuk memperoleh konsentrasi yang lebih baik. Proses ini banyak dipakai dalam bidang minyak bumi, juga pada proses distilasi campuran azeotrop dengan menambahkan komponen ketiga yang dapat larut dalam salah satu komponen pada campuran tersebut.

Proses distilasi vakum yaitu suatu proses distilasi dengan menggunakan tekanan yang sangat rendah (vakum), pada proses ini titik didih campuran yang akan dipisahkan mendekati sehingga pemisahannya menjadi sulit. Kemudian dengan jalan mengubah tekanan operasi akan memberikan perubahan tekanan uap masing-masing komponen, sehingga pemisahan dapat dijalankan, sebagai contoh campuran air dengan air berat.

#### **D. Distilasi Kontinyu dengan Refluks (Rektifikasi)**

Perkayaan arus uap di dalam kolom, yang berada dalam kontak dengan refluks disebut rektifikasi (*rectification*). Dalam hal ini tidak menjadi soal dari mana asal

refluks itu, yang penting konsentrasi komponen bertitik didih rendahnya harus cukup besar untuk mnghasilkan produk yang dikehendaki. Sumber refluks biasanya berasal dari kondensat yang keluar dari kondensor (McCabe et al,1999). Kondensat dalam pipa penampung dibagi menjadi dua produk yaitu produk atas (distilat) dan refluks yang dikembalikan ke dalam kolom.

Metode rektifikasi adalah metode modern yang digunakan di laboratorium maupun di pabrik. Metode ini sangat efisien untuk sekala besar yang menghendaki hasil distilasi berupa komponen-komponen yang hampir murni.

Kolom fraksionasi kontinyu terdiri dari beberapa piringan (*tray*) yang meliputi piring umpan, seksi rektifikasi, dan seksi pelucutan. Piring umpan adalah piringan dimana umpan dimasukkan. Istilah piring umpan yaitu sebagai *feed plate* atau *feed stage* dan dilambangkan sebagai *tray "f"*. Piringan-piringan diatas piring umpan disebut piringan-piringan pada seksi rektifikasi (*enriching*) yang dilambangkan dengan "n", sedangkan piringan-piringan dibawah piring umpan termasuk piring umpan itu sendiri disebut piringan-piringan pada seksi pelucutan (*stripping*) yang dilambangkan dengan "m".

#### **E. Jenis-jenis Distilasi Kontinyu dengan Refluks (Rektifikasi)**

##### **1. Distilasi Sistem *Batch* Tanpa Refluks (BTR)**

Distilasi sistem *batch* adalah distilasi yang dilakukan dengan cara memasukkan umpan ke dalam kolom pada permulaan operasi dan proses pemanasan dilakukan terus menerus hingga etanol habis. Selama proses distilasi, jumlah cairan dalam kolom bawah akan semakin menurun. Komponen yang lebih volatil akan berkurang jumlahnya dalam residu yang tertinggal dalam kolom, dan sebaliknya, komponen yang kurang volatil akan meningkat konsentrasinya dalam residu. Metode ini

menggunakan sampel etanol 10% (BTR.10) dan etanol 30% (BTR.30).

## 2. Distilasi Sistem *Batch* Dengan Refluks (BR)

Distilasi sistem batch dengan refluks adalah proses distilasi dengan memasukkan umpan ke dalam kolom bawah dan proses pemanasan secara terus menerus.

Sistem ini menambahkan pipa di atas menara kolom *tray* dan mengirimkan sebagian dari kondensat kembali ke dalam kolom sebagai refluks sehingga proses pemisahan berlangsung lebih baik. Pengujian dengan metode ini terdiri dari dua metode yaitu *batch* dengan refluks sampel etanol 10% (BR.10) dan *batch* dengan refluks sampel etanol 30% (BR.30).

## 3. Distilasi sistem kontinyu dengan refluks (KR)

Distilasi kontinyu adalah proses distilasi yang dilakukan secara kontinyu. Proses pengujiannya diawali dengan distilasi sistem *batch* kemudian dilanjutkan dengan sistem kontinyu. Mula-mula umpan dimasukkan ke kolom bawah melalui tangki pemasukan, kemudian proses pemanasan dilakukan hingga menghasilkan distilat.

Sistem kontinyu dimulai ketika konsentrasi bahan umpan di dalam kolom bawah sangat kecil yaitu mendekati nol. Distilasi kontinyu ditandai dengan adanya aliran bahan umpan ( $F = \text{Feed}$ ), produk atas ( $D = \text{Distilate}$ ), dan produk bawah ( $B = \text{Bottom Product}$ ).

# III. PEMBAHASAN

## A. Bagian-bagian Alat Destilasi

Struktur alat distilasi meliputi:

### 1. *Steam Boiler*

*Steam boiler* berfungsi untuk memanaskan air hingga menghasilkan uap panas dan selanjutnya mengalirkannya ke dalam kolom bawah melalui pipa spiral

yang berfungsi sebagai koil pemanas. Sumber pemanas *steam boiler* adalah kompor listrik atau kompor gas yang diletakkan dibawah tangki *steam*.

### 2. Koil Pemanas

Koil pemanas berfungsi memanaskan bahan etanol yang akan didistilasi sehingga bahan etanol-air dapat dipisahkan berdasarkan perbedaan titik didih. Koil pemanas terbuat dari pipa tembaga dengan panjang 300 cm, diameter 6.5 cm dan tebal 1 cm.

### 3. Kolom Bawah

Kolom bawah terbuat dari pipa *stainless steel* dengan diameter luar 15.24 cm, tebal 0.5 cm, tinggi 20 cm. Kolom bawah berfungsi sebagai tempat memanaskan etanol yang akan didistilasi.

### 4. Kolom *Tray*

Kolom *tray* terbuat dari pipa *stainless steel* dengan diameter luar 7.62 cm, tebal 0.2 cm serta panjang 100 cm. Kolom *tray* dilengkapi dengan piringan yang terbuat dari bahan plat *stainless steel* dengan ketebalan 0.2 cm yang disertai lubang-lubang kecil. Kolom *tray* berfungsi sebagai pemurni etanol dengan menggunakan sistem *tray* yang dipasang secara bertingkat-tingkat.

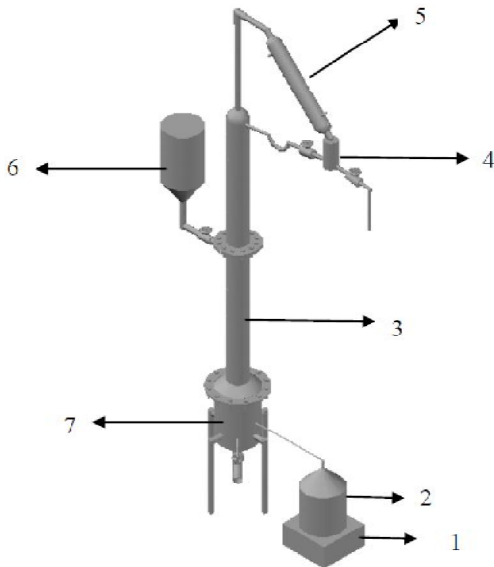
### 5. Kondensor

Kondensor terbuat dari bahan pipa *stainless steel* dengan diameter luar 5 cm, tebal 0,2 cm dan panjang 30 cm. Kondensor berfungsi sebagai penukar panas yaitu dengan menyerap panas dari uap etanol ke air yang melewati kondensor sehingga terjadi proses kondensasi.

### 6. Tangki Penampung Distilat

Tangki ini berfungsi untuk menampung bahan etanol hasil distilasi. Pada tangki ini dibagi menjadi dua saluran yaitu saluran refluks dan saluran hasil atas (*top product*). Pembagi aliran etanol dalam

tangki penampung distilat yaitu dengan menggunakan katup.



Gambar1. Alat destilasi bioetanol

## B. Uji Kinerja

Pengujian alat bertujuan untuk mengetahui kinerja alat distilasi etanol yang telah dirancang. Setelah itu, data yang diperoleh dianalisis untuk mengetahui tingkat keberhasilan kinerja alat tersebut. Pengujian alat dimulai dengan pengujian pendahuluan yaitu dengan menguji distilator dengan sampel etanol 30%. Hasil pengujian diperoleh bahwa alat distilasi etanol belum mampu memisahkan campuran etanol berdasarkan komponen-komponennya. Uap etanol tidak mampu naik ke puncak menara kolom *tray*. Hal ini disebabkan uap etanol sudah mengalami kondensasi sebelum mencapai puncak menara. Kehilangan panas pada kolom merupakan penyebab utama terjadinya kondensasi uap etanol.

Faktor kehilangan panas disebabkan tidak adanya lapisan isolator yang menghalangi terjadinya pindah panas dari dalam kolom ke lingkungan. Semakin tinggi kolom maka suhu akan semakin menurun tetapi konsentrasi uap semakin murni. Data yang diperoleh dari pengujian

kemudian dianalisis untuk melakukan pengujian tahap selanjutnya. Jika data sudah bagus atau alat sudah berfungsi dengan baik maka tahap selanjutnya adalah pembuatan laporan sedangkan jika data yang diperoleh tidak bagus atau alat tidak berfungsi maka dilakukan perbaikan terlebih dahulu sebelum dilakukan pengujian kembali.

Pada kasus pengujian ini faktor yang menyebabkan alat tidak berfungsi dengan baik adalah adanya kehilangan panas ke lingkungan. Langkah yang dilakukan yaitu dengan memperbaiki alat dengan memberikan isolator pada seluruh dinding alat distilasi sehingga menghalangi terjadinya kehilangan panas. Isolator yang digunakan adalah *almaflex* dengan tebal 1cm. Penggunaan isolator mampu mencegah terjadinya kehilangan panas dari dalam kolom ke lingkungan sehingga uap etanol dapat menguap naik sampai pada puncak menara dan masuk ke kondensor untuk dikondensasi.

Pengujian alat distilasi etanol menggunakan tiga metode dan dua sampel dengan konsentrasi yang berbeda. Tiga metode yang digunakan yaitu sistem *batch* tanpa refluks (BTR), sistem *batch* dengan refluks (BR), dan sistem kontinu dengan refluks (KR). Konsentrasi yang digunakan dalam setiap metode yaitu dengan konsentrasi etanol 10% dan 30%.

Pengujian kinerja alat distilasi ini adalah untuk mengetahui tingkat efisiensi alat berdasarkan tujuan penelitian. Parameter yang digunakan dalam pengujian alat distilasi etanol dengan metode rektifikasi adalah:

### 1. Konsentrasi Etanol

Dalam pengujian alat digunakan bahan etanol 70% yang terdapat dipasaran. Sebelum dilakukan distilasi, bahan etanol ini diencerkan dengan menambahkan aquades hingga diperoleh konsentrasi etanol 10% dan 30%. Penentuan konsentrasi awal bertujuan untuk

mengetahui besarnya tingkat efisiensi dari alat ini untuk memurnikan bahan etanol.

## 2. Suhu

Suhu dalam proses distilasi sangat menentukan tingkat keberhasilan dalam proses pemurnian bahan. Titik didih etanol adalah 78.5°C sedangkan titik didih air yaitu pada 100°C. Dalam proses distilasi, suhu kolom bawah harus dijaga agar tetap konstan yaitu pada titik didihnya sehingga air dalam campuran etanol tidak ikut menguap.

## 3. Laju Distilasi

Laju distilasi digunakan untuk mengetahui kecepatan proses distilasi yang terjadi. Cara perhitungannya adalah dengan membagi banyaknya etanol hasil distilasi dibagi dengan lamanya proses distilasi.

### C. Hasil Destilasi dengan Metode BTR, BR dan KR

Metode BTR.10 didapatkan distilat dengan konsentrasi 88.77% sedangkan metode BR.10 didapatkan distilat dengan konsentrasi 88.58% artinya konsentrasi distilat dengan metode *batch* dengan refluks dihasilkan etanol dengan konsentrasi lebih rendah dibandingkan dengan metode *batch* tanpa refluks meskipun perbedaannya tidak terlalu nyata. Secara teori konsentrasi distilat pada distilasi dengan refluks memiliki tingkat konsentrasi lebih tinggi dibandingkan dengan sistem distilasi tanpa refluks karena adanya pemurnian pada seksi *enriching*.

Berbeda dengan pengujian metode KR.10, hasil distilat yang diperoleh memiliki konsentrasi lebih tinggi dari dua metode sebelumnya yaitu mencapai 94.84%. Adanya sistem refluks akan meningkatkan konsentrasi etanol hasil distilasi. Rasio refluks yang digunakan adalah 1.8. Rasio refluks berbanding terbalik dengan banyaknya *tray* artinya semakin banyak *tray* maka rasio refluks

semakin kecil dan sebaliknya jika jumlah *tray* yang digunakan sedikit maka untuk meningkatkan konsentrasi distilat digunakan rasio refluks yang besar.

Distilasi dengan sampel etanol 30% dihasilkan distilat dengan tingkat konsentrasi yang bervariasi. Konsentrasi distilat pada metode BTR.30 dan KR.30 adalah 92.5% sedangkan metode BR.30 adalah 97.65%. Metode BR.30 adalah metode *batch* dengan refluks dimana hasil distilatnya memiliki tingkat konsentrasi paling tinggi dibandingkan dengan metode yang lain. Konsentrasi distilat melebihi batas azeotropnya yaitu 95.6% (v/v).

## IV. KESIMPULAN

1. Alat distilasi yang dirancang terdiri dari enam bagian utama, yaitu *steam boiler*, kolom bawah, kolom *tray*, tangki pemasukan, kondensor, dan pipa penampung distilat yang dilengkapi dengan pembagi distilat.
2. Pengujian dengan metode refluks menghasilkan distilat dengan konsentrasi lebih tinggi dibandingkan dengan distilasi tanpa refluks yaitu pada metode KR.10 sebesar 94.84% dan metode BR.30 sebesar 97.6%.

## DAFTAR PUSTAKA

- Cook, T.M dan D.J. Cullen. 1987. *Industri Kimia Operasi Aspek-Aspek Keamanan dan Kesehatan*. Terjemahan. PT. Gramedia, Jakarta.
- Coulsin, J.M and J.F. Richardson. *Chemical Engineering*. Pergamon Press, New York
- Doherty, M.F. dan M.F Malone. 2001. *Conceptual Desain of Distillation System*. McGraw-Hill, New York.
- Earle, R.L. 1969. *Satuan Operasi Dalam Pengolahan Pangan*. Ir. Zein

- Nasution*, Penerjemah. Sastra Hudaya.
- Furniss, B.S *et al.* 1984. *Vogel's Textbook of Practical Organic Chemistry*. ELBS, Longman.
- Geonkoplis, C.J. 1983. *Transport Process and Unit Operation*, second ed. Allyn Bacon, Inc., Boston.
- Guenther, E. 1987. *Minyak Atsiri*, Jilid I. Terjemahan: S. Keteren. UI – Press, Jakarta.
- Himmelblau, D.M. 1987. *Basic Principles and Calculations in Chemical Engineering*. Prentice Hall, New York.
- Hidayat, Wahyu. 2008. Terdapat pada <http://majarimagazine.com>. Diakses pada 27 Maret 2008.
- Higgins, I.J., D.J. Best, dan J.Jones. 1985. *Biotechnology Principle and Applications*. Blacwell Scienrific Publications, Oxford.
- Prave, P., U. Faust, W. Sittig, dan D.A Sukatsch. 1987. *Fundamental of Biotechnology*. VCH Publisher, Wienheim, Germany.
- Prihandana, Rama dkk. 2007. *Bioetanol Ubi Kayu Bahan Bakar Masa Depan*. Gromedia, Jakarta.
- Purwanto, A. 1995. *Di dalam Yoder et al.* 1980. *Kajian Awal Pemisahan Campuran Aseton-Butanol-Etanol Hasil Fermentasi dengan Distilasi sederhana dan dengan Pendekatan Model Isotherm Flash*. Skripsi. Fateta, IPB, Bogor.
- Saraswati. 1985. *Mencari bentuk teknologi untuk produksi etanol sebagai energi cair dari biomassa*. *Majalah Ilmu dan Teknologi Pertanian Agritech*, 5 (1 dan 2) : 21-29.