

# UJI EFEKTIVITAS KOLOM FRAKSINASI DAN PEMVAKUMAN PADA PROTOTYPE TEKNOLOGI DESTILASI BIOETANOL TERHADAP PENINGKATAN KADAR ETANOL

Dewanto K. U.<sup>1)</sup>, Dyah P.,<sup>1)</sup> Latifah N. Q.<sup>1)</sup> D. Harjunowibowo<sup>2)</sup>  
Program Studi Pendidikan Fisika PMIPA FKIP UNS Surakarta  
dewantokamasutomo@gmail.com, dewanto\_h@yahoo.com

## ABSTRAK

Bioetanol merupakan sumber energi alternatif terbarukan hasil fermentasi zat pati yang ramah lingkungan. Telah dilakukan penelitian untuk merancang bangun alat destilasi fraksinasi vakum skala rumah tangga untuk meningkatkan kadar bioetanol serta menguji efektivitas jumlah kolom terhadap peningkatan kadar etanol dan pengaruh vakumisasi terhadap efisiensi energi.

Penelitian ini dilakukan dengan alat destilasi fraksinasi vakum 0,4 bar dan menggunakan dehidrator 100 gram zeolit alam. Dehidrasi dilakukan dengan melewati uap hasil evaporasi pada adsorben zeolit alam. Destilasi dilakukan dengan variasi jumlah kolom. Variabel penelitian meliputi tekanan, jumlah kolom, kadar etanol, volume destilat, dan penampung destilasi. Setiap pengambilan data, 1 liter bioetanol didestilasi selama 2 jam dengan mengontrol suhu kolom pada 31,2 °C.

Hasil penelitian ini adalah alat destilasi vakum berkapasitas 5 liter bioetanol, kolom fraksinasi setinggi 190 cm dari pipa *stainless steel*, pipa adsorben zeolit kapasitas 500 gram, kondensor dengan sistem *cooler*, penampung destilat berbahan *pyrex* kapasitas 300 mL, dan pompa vakum modifikasi pompa air. Destilasi paling efektif menggunakan 5 kolom fraksinasi dengan kadar 95%, debit 65 mL/jam. Vakumisasi memberikan keunggulan pada proses destilasi yaitu konsumsi energi (kalor) yang kecil karena dapat dilakukan pada suhu yang rendah.

Kata kunci : bioetanol, destilasi fraksinasi, vakum, azeotrop, kadar etanol.

<sup>1)</sup> Mahasiswa Jurusan PMIPA FKIP, Universitas Sebelas Maret

<sup>2)</sup> Dosen Jurusan PMIPA FKIP, Universitas Sebelas Maret

## **PENDAHULUAN**

Konsumsi minyak bumi di Indonesia mencapai 54% dari total energi yang digunakan tahun 2009, sedangkan bentuk sumber energi lainnya dibawah 30% (BPPT, 2009). Sejak tahun 2004, Indonesia mengimpor minyak 487 ribu barel/ hari. Hal ini menyebabkan pemerintah melakukan pengurangan subsidi agar beban anggaran nasional tetap stabil. Konsekuensinya harga BBM naik, untuk itu pemerintah terus berusaha mencari alternatif lain untuk menghemat pemakaian BBM dengan mengeluarkan Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional untuk mengembangkan sumber energi alternatif sebagai pengganti BBM (Prihandana, 2007).

Bioetanol dapat digunakan sebagai salah satu energi alternatif pengganti bensin yang ramah lingkungan dibandingkan dengan bahan bakar fosil. Etanol digolongkan menjadi tiga jenis (*grade*) yaitu jenis industrial jika kadarnya 90-94%, jenis netral jika berkadar 96-99,5% digunakan untuk bahan baku farmasi, dan jika kadarnya di atas 99,5-100 % termasuk jenis bahan bakar (Anonim, 2006, Yumaihana, 2009).

Etanol akan membentuk campuran azeotrop dengan air (Fesenden & Fesenden, 1991) sehingga sulit dipisahkan dengan destilasi fraksinasi biasa. Pada umumnya kondisi azeotrop dapat diatasi dengan dua cara. Cara yang pertama adalah destilasi azeotrop ekstraktif yakni destilasi dengan penambahan suatu senyawa yang dapat memecah azeotrop (*entrainer*). Kedua adalah dengan cara destilasi bertingkat dimana tekanan masing-masing proses berbeda (*Pressure Swing Distillation*) (Repke *et al.*, 2007). Modla dan Lang (2010) menyatakan bahwa kedua teknik tersebut memiliki hasil yang serupa.

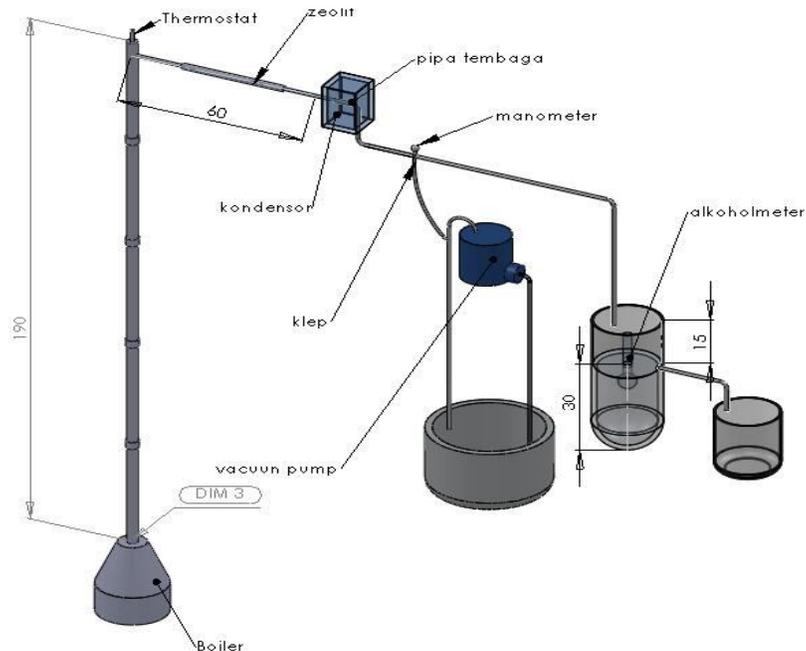
Penelitian ini bertujuan untuk merancang bangun alat destilasi fraksinasi vakum skala rumah tangga untuk meningkatkan kadar bioetanol serta menguji pengaruh jumlah kolom terhadap peningkatan kadar etanol serta pengaruh vakum terhadap efisiensi energi. Teknologi diperoleh dari penelitian ini dapat digunakan untuk menghasilkan BBN bermutu tinggi pengganti BBM dengan harga yang murah, dan teratasinya permasalahan kelangkaan BBM di beberapa wilayah di Indonesia.

## **METODE**

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen melalui tahap rancang bangun dan pengujian yang didasarkan pada hasil penelusuran pustaka tentang teknologi destilasi (Simanjuntak, R. 2009), sistem vakum (Repke *et al.*, 2007) dan dehidrasi (Tjokoroadikoesoemo, 1986; Hambali *et al.*, 2008; Assegaf, F., 2009) untuk memisahkan

etanol dengan air guna memperoleh bioetanol dengan kemurnian mencapai 99,5-99,8% sehingga dapat digunakan sebagai bahan bakar. Menurut Repke *et al.* (2007), destilasi pada tekanan rendah akan menggeser titik azeotrop ke kadar yang lebih rendah dari 95%. Destilasi dan dehidrasi dilakukan secara simultan dalam sistem vakum dengan menggunakan lima kolom destilasi dan satu kolom dehidrasi yang berisi zeolit alam.

Rancang bangun menggunakan lima evaporator dengan bahan stainless lima tingkat. Kerangka destilasi terbuat dari *stainless steel* tahan karat dengan sekat karet dan tabung kaca *pyrex* pada bagian penampung destilat berisi alkoholmeter. Ketinggian kolom destilasi adalah 1,9 m diameter 2 cm (Gambar 1).



Gambar 1. Alat Destilasi Vakum Bioetanol

Untuk memperoleh kadar etanol tertinggi, dilakukan penelitian variasi jumlah kolom fraksinasi menggunakan tiga serutan aluminium tiap kolom (Agustin dkk, 2010; Setyono dkk., 2011) dengan tekanan dalam sistem 0,4 bar. Serutan aluminium akan memberikan efek destilasi bertingkat karena serutan aluminium menyimpan panas yang setara dengan titik didih uap etanol yang jauh di bawah titik didih air. Hal ini menyebabkan uap air yang masih terdapat uap etanol akan terkondensasi dan jatuh ke bawah (*boiler*) sementara uap etanol akan tetap naik. Di samping itu, juga digunakan zeolit alam untuk menyerap uap air yang ikut bersama uap etanol. Vakumisasi menyebabkan titik didih bioetanol turun, karena pada sistem tertutup tekanan berbanding lurus dengan suhu (Serway, 2010).

Pengambilan data dilakukan setiap 10 menit selama 2 jam dengan suhu atas permukaan kolom 31,2 °C. Umpan bioetanol yang digunakan sebanyak 1 liter dengan kadar etanol 30%. Dalam proses destilasi, cairan dipisahkan ke dalam fraksinasi-fraksinasi. Proses destilasi vakum ini dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Tekanan dikurangi dengan menggunakan pompa vakum hingga 0,4 bar.
2. Cairan dipanaskan dalam boiler menggunakan elemen pemanas listrik sampai suhu setara 31,2 C.
3. Uap etanol dan air akan ke atas menuju kolom-kolom fraksinasi dan menyentuh *reflux coil* yang lebih dingin sehingga uap air yang masih mengandung etanol akan terkondensasi dan jatuh ke boiler.
4. Setelah jatuh, cairan di dalam kolom akan bertemu dengan uap panas dari bawah, sehingga cairan menjadi panas dan etanol menguap kembali dengan kandungan yang lebih banyak karena etanol bertitik didih lebih rendah daripada air.
5. Uap yang berhasil lolos dari *reflux* terakhir masuk ke dehidrator untuk diserap airnya dan diloloskan uap etanolnya
6. Uap etanol yang berhasil lolos menuju kondensor. Di dalam kondensor, uap etanol mencair kembali karena suhu kondensor lebih dingin dan akan menetes ke bawah menuju penampung destilat dan langsung dicek kadarnya.

Pengujian dilakukan untuk hasil destilat menggunakan 1, 2, 3, 4, dan 5 kolom fraksinasi. Pengambilan data juga meliputi suhu kolom dan tekanan tiap percobaan. Dari pengujian ini diperoleh informasi tingkat kemurnian etanol terbaik.

## **PELAKSANAAN**

Penelitian dilaksanakan di Bengkel Prodi Pendidikan Fisika Jurusan P.MIPA Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Sebelas Maret Surakarta dengan instrumen berupa 1 set alat destilasi vakum dan ditunjang dengan beberapa instrumen lain, yaitu alkoholmeter, tabung reaksi, gelas beker, gelas ukur, pipet, statif, roll meter, adaptor, dan ember. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah bioetanol dengan kadar 30%, zeolit alam, dan air.

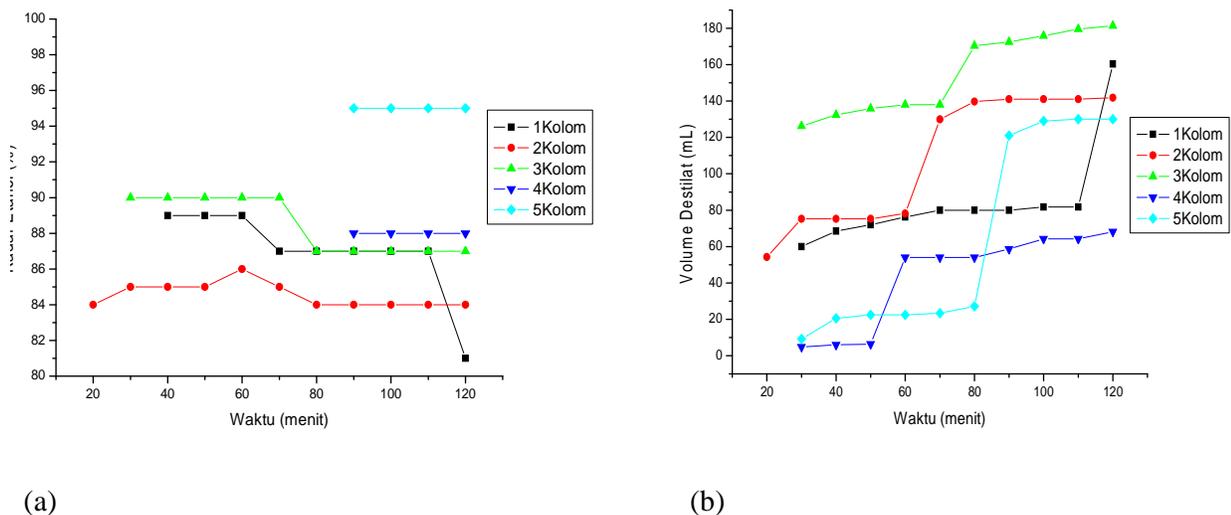
## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Penelitian ini dilakukan dengan mendesain dan membangun alat destilasi fraksinasi dan dehidrasi disertai pengurangan tekanan (destilasi vakum). Destilasi fraksinasi dilakukan dengan variasi jumlah kolom fraksinasi sehingga diperoleh kadar tertinggi etanol. Dehidrasi dilakukan dengan melewati uap hasil evaporasi pada

adsorben zeolit alam. Alat destilasi vakum yang dihasilkan memiliki kapasitas 5 liter bioetanol, kolom fraksinasi setinggi 190 cm berbahan dasar *stainless steel*, pipa adsorben zeolit kapasitas 500 gram, kondensor dengan sistem *cooler*, penampung destilat berbahan gelas *pyrex* kapasitas 300 mL, dan pompa vakum dengan sistem pipa T untuk vakumisasi.

Setiap pengambilan data pada proses destilasi digunakan umpan dengan volume dan kadar yang sama, yaitu bioetanol sebanyak 1 liter dan berkadar 30%. Adsorben yang digunakan adalah 100 gram zeolit alam setiap percobaan. Pengambilan data dilakukan setiap 10 menit selama 2 jam. Kolom fraksinasi divariasikan mulai dari 1 kolom hingga 5 kolom dengan 3 serutan Al tiap kolom. Jumlah serutan dalam kolom didasarkan pada percobaan yang dilakukan oleh Agustin dkk (2011) dan Setyono dkk (2011) bahwa hasil destilasi dengan volume terbanyak diperoleh dengan menggunakan 3 serutan aluminium tiap kolom. Destilasi vakum memungkinkan suhu yang dibutuhkan bioetanol untuk mendidih kurang dari 78,3 °C. Pada ruang tertutup, tekanan akan berbanding lurus dengan suhu, sehingga dengan pengurangan tekanan, suhunya juga akan turun. Berdasarkan perhitungan dengan tekanan sistem sebesar 0,4 bar, titik didih alkohol di dalam sistem menjadi 31,2 °C.

Gambar 2a dan Gambar 2b berikut merupakan grafik hubungan antara waktu dengan kadar dan waktu dengan volume pada setiap proses destilasi:



Gambar 2( a). Grafik Hubungan antara Waktu Destilasi dengan Kadar Etanol, (b). Grafik Hubungan antara Waktu Destilasi dengan Volume Destilat

Berdasarkan Gambar 2a dan 2b, dapat diketahui bahwa pada percobaan menggunakan 1 kolom fraksinasi, selama 20 menit proses destilasi belum ada destilat yang

menetes, sehingga volume dan kadar destilat belum diperoleh. Sedangkan pada menit ke 30 pada 56,7 °C destilat sudah mulai menetes, tetapi belum dapat diukur kadarnya. Setelah menit ke 40, pada suhu 49,6 °C diperoleh destilat sebanyak 68,5 mL dengan kadar 89%. Kadar ini tidak mengalami perubahan hingga menit ke 60. Selanjutnya, 10 menit kemudian, suhu turun menjadi 35,7 °C, destilat bertambah hingga mencapai volume 80 mL, tetapi kadar turun menjadi 87% hingga menit ke 110. Setelah 10 menit atau 2 jam destilasi, destilat menetes hingga volume 160,4 mL pada suhu 59,7 °C. Namun, kadar destilat turun drastis 81% dengan bertambahnya destilat ini.

Berdasarkan hasil ini, terlihat bahwa semakin lama proses destilasi dilakukan, maka semakin banyak pula destilat yang dihasilkan. Sedangkan debit tertinggi tiap 10 menit proses destilasi terjadi antara menit ke 110 dan 120, yaitu 16,04 mL/menit. Namun, dengan pertimbangan kadar yang dihasilkan pada destilat, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa destilasi 1 kolom akan efektif dan efisien jika dilakukan selama 2 jam, menghasilkan kadar tertinggi 89% dan volume destilat 76,2 mL.

Selama 120 menit destilasi pada percobaan dengan 2 kolom fraksinasi, volume akhir destilat yang dihasilkan adalah 141 mL, dengan debit tertinggi tiap 10 menit proses terjadi antara menit ke 10 dan 20, yaitu 5,42 mL/menit. Destilat telah diperoleh pada menit ke 20 dengan kadar 84%. Pada menit ke 30, kadar destilat naik menjadi 85%. pada suhu 38,2 °C. Volume destilat yang diperoleh adalah 75,2 mL. Hingga menit ke 50, volume dan kadar destilat tidak berubah. Target suhu pada pemanas adalah 31,2 °C. Di antara menit ke 50 dan 60, pemanas belum mencapai suhu 31,2 °C sehingga pemanas secara otomatis akan nyala. Pada 60 menit ini, terjadi puncak kadar destilat yaitu 86% pada suhu 30,1 °C. Sedangkan volumenya hanya bertambah 3 mL dari volume sebelumnya. Mulai menit ke 70 hingga 2 jam proses, kadar turun menjadi 84% dengan volume akhir sebesar 141,8 mL. Hasil ini memberikan kesimpulan bahwa, penggunaan 2 kolom fraksinasi untuk proses destilasi vakum menghasilkan produk terbaik apabila dilakukan selama 1 jam dengan kadar tertinggi sebesar 86%.

Hasil pengambilan data destilasi vakum bioetanol menggunakan 3 kolom fraksinasi menunjukkan bahwa destilat diperoleh pertama kali pada menit ke 30. Kadar tertinggi, yaitu 90% juga diperoleh pada menit ini hingga menit ke 70. Sedangkan setelah menit ke 80, kadar alkohol destilat justru mengalami penurunan menjadi 87% dan konstan pada kadar tersebut sampai 2 jam proses destilasi. Volume akhir destilat adalah 181,4 mL dengan debit terbesar (tiap 10 menit proses) yaitu 12,62 mL/ menit pada menit ke 30.

Destilasi vakum dengan 3 kolom ini, menghasilkan produk terbaik pada menit ke 70 dengan kadar tertinggi 90% dan volume 138 mL.

Untuk destilasi menggunakan 4 kolom fraksinasi, destilat pertama kali menetes pada menit ke 30. Namun, karena volumenya hanya 4,8 mL, kadar belum diperoleh hingga menit ke 80. Setelah 10 menit berlanjut, kadar mulai dapat diukur yaitu 88% pada suhu 44,4 °C dan volume yang diperoleh sebesar 58,6 mL. Kadar ini tetap hingga 2 jam proses destilasi. Volume akhir destilat adalah 68,2 mL. Dengan hasil ini, dapat diketahui bahwa pada destilasi menggunakan 4 kolom fraksinasi, efektivitas dan efisiensi proses terjadi pada menit ke 120.

Percobaan terakhir adalah destilasi vakum dengan 5 kolom fraksinasi. Hasil ini menunjukkan bahwa kadar destilat yang diperoleh stabil pada 95% mulai dari menit ke 90 sampai 2 jam destilasi. Dengan demikian, dapat ditarik kesimpulan bahwa penggunaan 5 kolom fraksinasi menghasilkan produk terbaik (kadar tertinggi dan volume terbanyak) selama 2 jam proses destilasi. Volume akhir destilat yang dihasilkan adalah 130 mL.

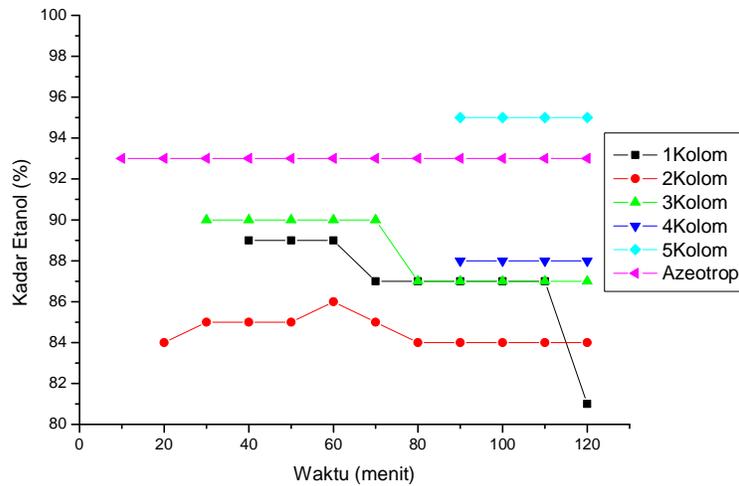
Hasil percobaan ini menunjukkan bahwa rata-rata waktu yang dibutuhkan untuk memperoleh destilat adalah pada 30 menit. Selanjutnya, pada beberapa percobaan terlihat adanya penurunan kadar etanol terhadap waktu lebih cepat ditandai dengan arah kurva menurun. Hal ini terjadi karena zeolit alam mudah dalam kondisi jenuh sehingga tidak efektif berfungsi memisahkan etanol dengan air. Fenomena ini disebabkan karena zeolit mampu menyerap asam organik, sehingga etanol dalam larutan juga diserap (Ulmann, 1986). Selain itu, suhu target untuk mendidihkan bioetanol adalah 31,2 °C, tetapi dalam kenyataannya meskipun pemanas telah dimatikan secara otomatis oleh termostat pada suhu tersebut, pemanas masih menyumbangkan panas yang cukup tinggi pada boiler, sehingga suhu uap yang terdeteksi melebihi 40 °C. Suhu ini memungkinkan air dalam bioetanol juga ikut menguap sehingga mempengaruhi kadar destilat.

Berdasarkan data di atas, dapat dilihat bahwa kadar tertinggi untuk destilasi vakum terjadi pada penggunaan 5 kolom fraksinasi dengan kadar 95% (Gambar 3). Kadar tersebut telah melampaui titik azeotrop (*azeotrope point*) dari campuran etanol-air pada tekanan 0,4 bar yaitu sebesar 93% (Lampiran 2). Menurut Repke *et al.* (2007), destilasi pada tekanan rendah akan menggeser titik azeotrop ke kadar yang lebih rendah dari titik azeotrop (95%) pada tekanan 1 bar (Fesenden & Fesenden, 1991).

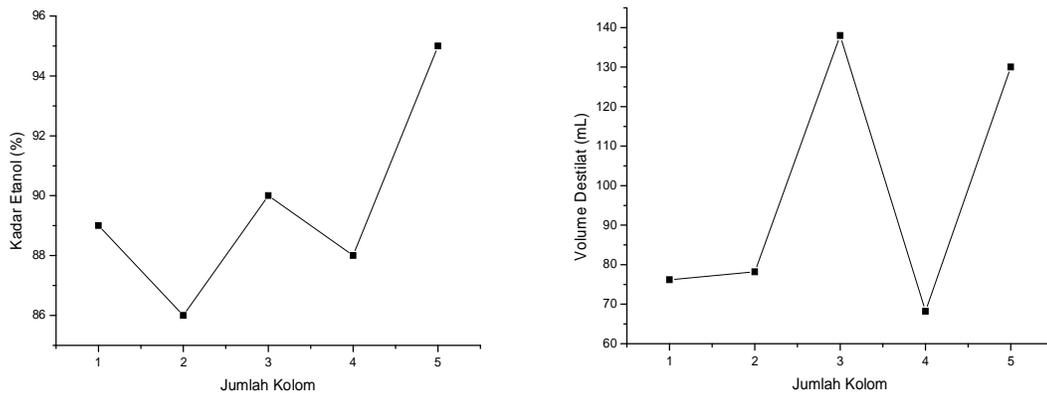
Sehingga dapat disimpulkan bahwa proses destilasi vakum bioetanol yang paling efektif meningkatkan kadar etanol adalah dengan menggunakan 5 kolom fraksinasi. Hal ini dapat terlihat dengan melihat perbandingan melalui grafik hubungan antara kolom dengan

kadar dan grafik hubungan antara kolom dengan volume destilat yang ditunjukkan pada Gambar 4.

Grafik hubungan antara jumlah kolom dengan volume diwakili oleh kadar tertinggi yang dihasilkan tiap kolom. Sedangkan, hubungan antara jumlah kolom dengan volume diwakili oleh volume destilat pada saat mencapai titik tertinggi. Efektivitas sistem dipertimbangkan berdasarkan Gambar 4.



Gambar 3. Grafik Pengaruh Jumlah Kolom terhadap Kadar Etanol



(a) (b)  
 Gambar 4. (a) Grafik Pengaruh Variasi Jumlah Kolom terhadap Kadar Etanol, (b) Grafik Pengaruh Variasi Jumlah Kolom terhadap Volume

Dalam satu kali proses destilasi, kadar destilat mencapai 95% artinya telah mencapai titik azeotrop pada tekanan rendah. Sehingga apabila didestilasi lagi dengan tekanan tinggi, kadar tersebut akan melewati azeotropnya dan dapat mencapai kadar

maksimal 99,5%-100%. Hasil ini menunjukkan bahwa destilasi vakum ini lebih baik dari pada sistem destilasi sebelumnya (Agustin dkk., 2011 dan Setyono dkk., 2011) yaitu hanya mampu mencapai kadar maksimal 91% untuk sekali destilasi.

Meskipun hasil penelitian ini belum mencapai 99,5%-100%, destilat sudah dapat digunakan sebagai bahan bakar rumah tangga maupun diaplikasikan dalam kendaraan bermotor. Sunarto (2010) melakukan penelitian tentang penggunaan bioetanol berkadar 80%-85% pada motor 2 tak, setiap liternya mampu mencapai 30-35 km dan 4 tak mampu mencapai 35-40 km.

## **KESIMPULAN DAN SARAN**

Penelitian ini menghasilkan alat destilasi vakum skala rumah tangga berkapasitas 5 liter bioetanol, kolom fraksinasi setinggi 190 cm berbahan dasar *stainless steel*, pipa adsorben zeolit kapasitas 500 gram, kondensor dengan sistem *cooler*, penampung destilat berbahan *pyrex* berkapasitas 300 mL, dan modifikasi pompa vakum dari pompa air.

Destilasi paling efektif menggunakan 5 kolom fraksinasi mencapai kadar 95% (telah melampaui titik azeotrop etanol-air pada tekanan rendah yaitu 93%) dengan debit 65mL/ jam. Vakumisasi memberikan keunggulan proses destilasi yaitu konsumsi energi (kalor) yang kecil karena dapat dilakukan pada suhu yang rendah dan diperoleh kadar tinggi dalam satu kali destilasi. Walaupun belum mencapai 99,5%, tetapi kadar tersebut sudah dapat digunakan sebagai bahan campuran bahan bakar bensin.

Untuk mendapatkan kadar 99,5%-100% perlu dilakukan penelitian dengan menggunakan metode *discontinuous pressure swing distillation*. Selain itu, penambahan fraksinasi kolom memungkinkan peningkatan kadar etanol yang dihasilkan. Dan penggunaan alkoholmeter digital akan meningkatkan akurasi pembacaan konsentrasi etanol hanya dengan sedikit sampel.

## **DAFTAR PUSTAKA**

- Agustin, N., Lina W, Harjunowibowo, D. 2011. Rancang Bangun Teknologi Destilasi Bioetanol untuk Bahan Bakar Terbarukan, *Prosiding*, 2011.
- Anonim. 2006. *Bensin Dioplos Singkong*. diunduh dari <http://www.bigcassava.com/webcontent2.htm>. Tanggal 15 September 2010.
- Anonim. 2010. *Pressure Swing Distillation-Use It Economically*. Diakses dari [http://profmaster.blogspot.com/2010/05/pressure-swing-distillation-use-it\\_28.html](http://profmaster.blogspot.com/2010/05/pressure-swing-distillation-use-it_28.html) tanggal 15 Oktober 2011.
- Assegaf, F. 2009. Prospek Produksi Bioetanol Bonggol Pisang (*Musa Paradisiacal*) Menggunakan Metode Hidrolisis Asam dan Enzimatis. diunduh dari

- [www.beswandjarum.com/article\\_download\\_pdf/article\\_pdf\\_26.pdf](http://www.beswandjarum.com/article_download_pdf/article_pdf_26.pdf). Tanggal 15 Agustus 2010.
- Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT). 2009. *National Energy Consuming*. Diakses dari <http://www.puspipetek.info/?q=id/node/327>, tanggal 17 Juni 2010.
- Erawati E. 2008. Pengaruh penambahan NaCl dan CaCl<sub>2</sub> terhadap kadar etanol. Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta. *Jurnal Penelitian Sains & Teknologi*, Vol. 9, No. 2, 2008: 156 – 164.
- Fesenden & Fesenden, 1991, *Kimia Organik*, Ed. Ke 3, Jilid 1, Terjemahan, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Hambali E, Mujdaliah S, Tambunan AH, Pattiwi AW, Hendroko R. 2008. *Teknologi bio-energi*. AgroMedia Pustaka, Jakarta.
- Modla, Gabor & Lang, Peter. 2010. *Comparison of Extractive and Pressure-Swing Batch Distillation for Acetone-Methanol Separation*. Diunduh dari [www.aidic.it/icheap10/.../66Modla.pdf](http://www.aidic.it/icheap10/.../66Modla.pdf), tanggal 15 Oktober 2011.
- Mursyidin, D. 2007. *Ubi Kayu dan Bahan Bakar Terbarukan*. <http://www.banjarmasin.net/pedoman%Bahan%bakar%ternarukan>. Diakses tanggal 29 Maret 2008.
- Peraturan Presiden RI (Penpres) No.5 Tahun 2005. *Kebijakan Energy Nasional; Penyediaan Biofuel dan Kebutuhan Energi Nasional pada tahun 2005*. Jakarta.
- Prihandana R, dkk. 2007. *Bioetanol Ubi Kayu, Bahan Bakar Masa Depan*. Agromedia Pustaka, Jakarta.
- Repke, J.-U., Klein, A., Bogle, D., Wozny, G., 2007. Pressure Swing Batch Distillation for Homogeneous Azeotropic Separation, *Chemical Engineering Research and Design*, Volume 85, Issue 4, 2007, Pages 492-501.
- Serway, Raymond A. & Jewett Jr, John W. 2010. *Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics Eight Edition*. United States: Brooks/ Cole Cengage Learning.
- Setyono, Y.A., Latifah NQ., Dewanto KU., Harjunowibowo, D. 2011. Rekayasa Teknologi Tepat Guna untuk Meningkatkan Mutu Bioetanol sebagai Bahan Bakar Nabati. *Prosiding* 2011.
- Shadily, H. 1984. *Ensiklopedia Indonesia*. Jakarta: Ikhtiar Baru – Van Hoeve.
- Shinkichi S, Nanao W, Toshiaki K, Takayuki S. 1993. Pyridine and pyridine derivatives. In Barbara E, Stephen H, William R, Gail S, eds, *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, 5th ed, Vol A22. Poly (Vinyl Esters) to Reduction. VCH, New York, NY, USA, pp 399–429.
- Simanjuntak, R. 2009. *Studi Pembuatan Etanol dari limbah Gula*. diunduh dari <http://repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/15011/1/09E01152.pdf>. Tanggal 27 Agustus 2010.
- Sunarto, S. B. 2010. Surat Keterangan No.010/ISED-U01/I/2010 tentang Pengujian Lapangan Bioetanol, diakses dari <http://bioetanolindo.blogspot.com>, tanggal 17 Juni 2010.
- Yumaihana. 2009. *Pembinaan Petani Tebu Melalui Teknologi Pembuatan Bioetanol dari Molases dan Tebu*. diunduh dari <http://repository.unand.ac.id/3416/1/YUMAIHANA.pdf> Tanggal 27 Agustus 2010

Pertanyaan : 1 liter bahan minuman kalor jenis cair dapat menghasilkan berapa liter bioetanol?

Jawab : Dapat menghasilkan 135 mL dalam 2 jam namun produk belum berhenti.