

Rancangan Alat Distilasi dengan Mengaplikasikan Self siphon pada Pemurnian Bioetanol Menggunakan Zeolit

Nurhayati*, Anjar Purba Asmara, dan Sparisoma Viridi

Abstrak

Salah satu kendala dalam proses produksi bioetanol adalah tahap pemurniannya dengan distilasi. Distilasi biasa hanya mampu menghasilkan etanol dengan kemurnian tidak lebih dari 95.6 % sehingga belum memenuhi Fuel Grade Ethanol. Pada konsentrasi tersebut, air dan etanol akan membentuk azeotrop yang sulit dipisahkan sehingga diperlukan teknik dehidrasi menggunakan adsorben zeolit yang ditanam pada alat distilasi. Zeolit digunakan untuk menyerap uap air. Kedua proses tersebut memerlukan waktu yang cukup lama. Pada skala industri, kedua teknik ini memakan biaya yang besar. Dengan demikian, modifikasi faktor fisis diperlukan pada teknik dehidrasi. Modifikasi ini dapat memanfaatkan pipa yang digunakan dalam proses distilasi. Pipa yang dapat meningkatkan laju dan tekanan adsorbat salah satunya adalah Self Siphon. Dengan memasang Self Siphon pada rangkaian alat distilasi, proses pemurnian etanol diduga dapat dipercepat. Self Siphon memanfaatkan tekanan udara luar sehingga memperbesar gaya dorong pada fluida. Desain eksperimen dilakukan dengan menghubungkan salah satu ujung pipa Self Siphon dengan bagian labu penampungan uap distilat dan ujung pipa yang lain dihubungkan dengan pipa sebelum kondensor. Zeolit ditanam pada dinding bagian dalam ujung pipa Self Siphon yang tercelup pada labu penampungan uap distilat. Peningkatan tekanan udara dapat mengakibatkan penjerapan H_2O meningkat di permukaan zeolit dan etanol yang dihasilkan mencapai 99%. Selain itu, modifikasi ini juga untuk meningkatkan laju alir uap distilat sehingga gaya tekan molekul H_2O ke dalam pori-pori zeolit meningkat. Dengan perlakuan ini, proses adsorpsi uap air akan berlangsung maksimal dan proses pemurnian bioetanol akan berjalan lebih efektif dan efisien.

Kata-kata kunci: Bioetanol, Distilasi, Dehidrasi, Self Siphon, Zeolit

Pendahuluan

Permasalahan yang timbul dari produksi bioetanol adalah kadar bioetanol yang dihasilkan tidak memenuhi Fuel Grade Ethanol (FGE) sebesar 99 % [1]. Tahap pemurnian etanol diperlukan karena distilasi biasa hanya mampu menghasilkan etanol dengan kemurnian tidak lebih dari 95,6 %. Pada konsentrasi tersebut, air dan alkohol akan membentuk azeotrop sehingga jika didistilasi lebih lanjut tidak akan menghasilkan etanol dengan konsentrasi lebih tinggi lagi [2]. Salah satu teknik pemurniannya adalah dehidrasi dengan penyaringan molekular (*molecular sieve*) [1,2]. Kelebihan teknik ini adalah hemat energi, tidak menggunakan bahan kimia tambahan, memiliki umur simpan yang lama, dan dapat berjalan sebagai sistem sendiri maupun terintegrasi dengan distilasi [1].

Dehidrasi yang sedang banyak dikembangkan adalah penyaringan menggunakan zeolit. Zeolit akan mengikat molekul adsorben secara fisika dengan memanfaatkan gaya van der Waals [3]. Zeolit bisa diaplikasikan melalui kolaborasi dengan distilasi yang disebut *batch adsorption*. Untuk mendapatkan etanol dengan kadar yang diinginkan, proses distilasi-dehidrasi harus dilakukan berulang-ulang yang mengakibatkan

berkurangnya jumlah etanol yang diperoleh karena peristiwa *ethanol lose*.

Peningkatan performa adsorpsi zeolit dapat dilakukan dengan memodifikasi faktor tekanan adsorben atau distilat. Adsorbat yang memiliki laju dan tekanan yang besar akan meningkatkan jumlah adsorbat yang terjerap ke dalam pori-pori zeolit [4]. Pipa yang dapat meningkatkan laju dan tekanan adsorbat salah satunya adalah *self-siphon* [5]. Pipa ini dapat menyedot dan mengalirkan adsorbat secara otomatis karena memanfaatkan perbedaan tekanan pada ujung-ujung pipanya [6].

Teori

Distilasi merupakan teknik memisahkan campuran yang misibel berdasarkan perbedaan titik didihnya [7]. Campuran yang akan dipisahkan sebelumnya ditempatkan di labu pemanasan untuk dididihkan. Pendidihan ini bertujuan untuk menguapkan zat yang potensi volatilitasnya lebih tinggi. Pemanasan yang dilakukan mampu memutus gaya antarmolekul campurannya karena meningkatkan tekanan uap molekulnya dan energi kinetiknya sekaligus. Zat yang menguap akan menuju pipa kondensor. Distilat yang telah mengalami kondensasi selanjutnya dialirkan ke penampungan. Cairan distilat bisa didistilasi ulang untuk mendapatkan

zat hasil yang absolut. Umumnya, perulangan distilasi dapat meningkatkan kadar zat secara maksimum, namun dapat menurunkan kuantitas zat murni yang dihasilkan [8].

Dehidrasi adalah proses pengurangan kadar air dari suatu campuran yang mengandung molekul H₂O [9]. Adsorpsi merupakan proses penyerapan molekul target (adsorbat) ke dalam permukaan zat penyerap (adsorben) karena adanya kohesi antarmolekulnya yang disebabkan oleh gaya van der Waals atau ikatan hidrogen [10]. Adsorbat biasanya berupa fase gas atau cair sedangkan adsorben berfase padat. Sebagian molekul fase gas akan terkondensasi dan terakumulasi di permukaan adsorben. Interaksi antara adsorbat dengan adsorben bisa digolongkan menjadi 3 jenis, yaitu adsorpsi fisika, adsorpsi kimia, dan adsorpsi komposit secara kimia dan fisika. Salah satu adsorben yang sering digunakan dalam dehidrasi pada produksi bioetanol adalah zeolit.

Zeolit tersusun dari kumpulan molekul silikat yang membentuk jejaring berongga tetrahedral dimana tiap molekul terdiri dari 4 ion O²⁻ yang mengelilingi sebuah kation pusat (Si⁴⁺ atau Al³⁺). Rumus umumnya adalah M_{2/n}O•Al₂O₃•xSiO₂•yH₂O dengan M adalah kation dan n adalah valensinya dimana tiap rongga zeolit didiami oleh molekul H₂O dan kation tambahan dari logam aktif yang mudah untuk dipisahkan atau ditukar tanpa merusak struktur molekul zeolit [11]. Untuk keperluan adsorpsi, spesi-spesi kimia yang mendiami rongga tersebut harus dihilangkan dengan pemanasan. Berdasarkan rumus umumnya, semua jenis zeolit dapat digunakan untuk menyerap molekul H₂O karena secara alamiah rongga zeolit sangat tertarik dengan molekul H₂O. Molekul H₂O akan terjerap pada rongga zeolit ini yang diikat melalui ikatan hidrogen. Selektivitas adsorpsi ditentukan oleh derajat kepolaran molekul. Campuran azeotrop air-etanol dapat dipisahkan dengan membedakan kepolaran H₂O yang lebih besar daripada kepolaran etanol [12].

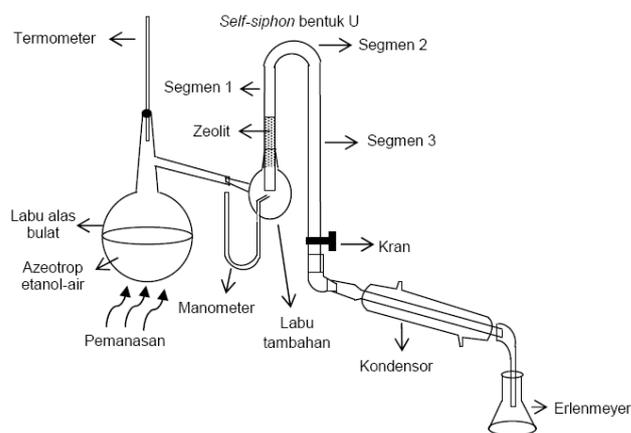
Self-siphon merupakan pipa yang dapat mengalirkan fluida dari potensial rendah ke potensial tinggi dengan memanfaatkan perbedaan tekanan dan energi potensial gravitasi [13, 14]. *Self-siphon* dapat bekerja dengan memperhatikan panjang pipa yang tercelup di dalam fluida pada reservoir. Bentuk *self-siphon* dapat menyerupai huruf-U terbalik dan menyerupai huruf M. Alat ini memiliki beberapa segmen yang dibedakan oleh lekukan pipanya dengan karakteristik panjang pipa tertentu. Masing-masing segmen memiliki potensi gaya dorong yang berbeda-beda pada fluida. Gaya-gaya yang bekerja pada *self-siphon* diantaranya adalah gaya gravitasi bumi, gaya

gesek dan gaya tekanan hidrostatis [14]. Tekanan pada ujung-ujung pipa *self-siphon* nilainya berbeda. Tekanan pada ujung pipa yang tercelup di dalam fluida pada reservoir nilainya harus lebih besar dari tekanan pada ujung pipa luar yang tidak terletak dalam reservoir agar *self-siphon* dapat bekerja [14].

Desain Eksperimen

Distilasi pada studi ini memanfaatkan bantuan *self-siphon* untuk meningkatkan laju dan tekanan uap distilat saat melewati kolom yang berzeolit. Kecepatan dan tekanan di ujung pipa *self-siphon* yang tercelup pada labu tambahan memiliki harga tertinggi dibanding segmen lainnya. Zeolit ditempatkan di segmen ini untuk proses adsorpsi molekul H₂O.

Tekanan yang relatif besar akan menambah gaya dorong molekul tersebut ke pori-pori zeolit [15]. Proses adsorpsi yang terjadi tidak hanya karena pengaruh gaya tarik yang dilakukan oleh sisi-sisi aktif zeolit di dalam pori-porinya tetapi juga karena gaya dorong dari luar pori-pori yang dapat mempercepat proses adsorpsi dan memperbesar jumlah molekul H₂O yang terjerap di pori-pori zeolit. Faktor inilah yang dimodifikasi melalui penggunaan *self-siphon* dengan memanfaatkan karakter *self-siphon* yang secara aktif dapat mengalirkan fluida cair maupun gas. Desain alat distilasi seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Desain Alat Distilasi menggunakan Zeolit dan *Self-siphon*

Desain eksperimen peralatan distilasi-dehidrasi adalah labu alas bulat dihubungkan dengan pipa penghubung menuju labu tambahan tiga lubang. Lubang labu tambahan dihubungkan dengan ujung pipa *self-siphon* yang pendek dan manometer. Dimana sebelum pipa *self-siphon* ini dihubungkan, ujung luar pipa yang lebih panjang telah ditutup dengan kran agar tidak ada udara yang masuk. Penggunaan

kran ini untuk menjaga perbedaan tekanan di kedua ujung pipa *self-siphon*. Ujung pipa *self-siphon* yang terdapat kran ini dihubungkan dengan kondensator untuk proses kondensasi uap etanol menjadi etanol cair yang ditampung di erlenmeyer. Seperti ditunjukkan pada Gambar 1.

Proses distilasi diawali dengan pemanasan campuran pada labu alas bulat yang suhunya dimonitor untuk mengetahui suhu pemanasan. Azeotrop etanol-air akan mendidih pada suhu sekitar 78 °C dimana uapnya akan mengalir menuju tempat yang relatif lebih dingin melalui pipa. Penelitian sebelumnya menggunakan zeolit yang dipasang pada kolom pertama setelah labu alas bulat [1]. Teknik ini memerlukan perulangan berkali-kali untuk mendapatkan kadar etanol sesuai target yang diinginkan. Kecepatan dan tekanan alir uap distilat pada penelitian ini hanya bertumpu pada hasil pemanasan di labu alas bulat. Efisiensi bahan dan waktu pada proses tersebut belum bisa ditekan sedangkan adsorpsinya hanya mengandalkan selektivitas zeolit terhadap molekul adsorbat.

Labu tambahan tiga lubang diperlukan untuk menampung uap hasil pembakaran sebelum dialirkan langsung melalui *self-siphon*. Modifikasi variabel fisis dapat dilakukan di titik ini karena uap distilat mencapai titik kesetimbangan pada wilayah ini [16]. Keadaan ini membantu proses aliran dan adsorpsi di kolom lanjutan karena tidak ada gangguan fase cair lagi di titik ini. Ujung *self-siphon* pendek dimasukkan ke labu ini hingga memungkinkan ujung pipa ini menyentuh uap azeotrop yang terakumulasi setelah pemanasan. Labu ini juga dilengkapi manometer yang berfungsi untuk memonitor jumlah uap yang telah terakumulasi. Jumlah uap ini diwakili oleh harga tekanan uap yang terbaca manometer karena pada hakekatnya tekanan berbanding lurus dengan massa zat. Uap yang jenuh akan terlihat dari harga tekanan sebesar 760 mmHg. Tekanan sebesar ini adalah tekanan minimal suatu uap distilat untuk bisa melewati kolom distilasi menuju kondensator [17]. Setelah uap azeotrop terakumulasi jenuh di reservoir tambahan, kran di ujung akhir *self-siphon* dibuka sehingga dengan seketika uap azeotrop akan tersedot ke kolom berzeolit.

Self-siphon dapat mengalirkan uap ini secara spontan karena secara teoritis densitas uap azeotrop lebih besar daripada uap udara. Massa jenis udara sebesar 1,225 kg/m³ dengan harga massa molekul relatif (*Mr*) sekitar 28,84 g/mol (komposisinya 79% N₂ dan 21% O₂) [18]. Azeotrop dengan komposisi 95% etanol (*Mr*=46) dan sisanya air (*Mr*=18) memiliki massa molekul relatif sebesar 52,7 g/mol. Massa jenis

berbanding lurus dengan massa molekul relatif seperti pada persamaan 1.

$$\frac{\rho_{\text{azeotrop}}}{\rho_{\text{udara}}} = \frac{Mr_{\text{azeotrop}}}{Mr_{\text{udara}}} \quad (1)$$

Dengan ρ adalah massa jenis dan Mr adalah massa molekul relatif.

Hasilnya menunjukkan bahwa massa jenis azeotrop 95% etanol adalah 2,238 kg/m³. Dengan demikian, *self-siphon* dapat bekerja dengan baik karena massa jenis azeotropnya lebih besar dari massa jenis udara.

Kecepatan alir uap azeotrop setelah kran dibuka akan lebih besar daripada kolom biasa yang tidak mengaplikasikan konsep *self-siphon*. Hal ini terjadi karena saat kran ditutup uap azeotrop di reservoir tambahan menyimpan potensi tekanan yang besar. Saat kran dibuka, tekanan di ujung pipa di dalam reservoir adalah penjumlahan dari tekanan udara dan tekanan azeotrop yang akan memberikan gaya dorong yang besar terhadap uap azeotrop sehingga lajunya meningkat saat melewati kolom berzeolit. Laju alir uap azeotrop yang besar akan mendorong molekulnya masuk ke dalam pori-pori zeolit secara mampat sehingga kapasitas penjerapan zeolit berjalan optimal. Hal ini tidak terjadi pada distilasi-dehidrasi biasa yang menyebabkan prosedur kerjanya perlu dilakukan berulang kali.

Uap etanol akan lolos melewati kolom berzeolit di segmen *self-siphon* lalu akan dialirkan ke kondensator. Etanol (C₂H₅OH) kepolarannya lebih kecil daripada H₂O karena distribusi pasangan elektron atom O lebih merata daripada molekul H₂O. Hal ini menyebabkan atom H dalam molekul H₂O relatif positif. Sisi aktif zeolit yang kaya akan atom O akan membentuk jaring-jaring ikatan hidrogen dengan molekul H₂O sehingga molekul ini akan terperangkap di pori-pori zeolit dan bebas dari ikatan dengan etanol. Uap etanol akan melewati kondensator yang dingin karena aliran air bersuhu kamar sehingga mampu mengkondensasi uap etanol menjadi cair. Jumlah molekul H₂O yang terjerap oleh zeolit yang banyak dapat mengubah kemurnian etanol mencapai absolut.

Kesimpulan

Penelitian ini telah melakukan studi awal tentang aplikasi *self-siphon* dalam pemurnian bioetanol. Pipa *self-siphon* dipasang di antara labu pemanasan dan labu pendinginan pada rangkaian alat distilasi. Proses dehidrasi bioetanol menggunakan bantuan zeolit yang ditempatkan di pipa lurus dari *self-siphon*. Aplikasi ini diperkirakan mampu meningkatkan efisiensi dan efektivitas proses pemurnian bioetanol.

Ucapan terima kasih

Sosialisasi hasil penelitian ini didukung oleh Program Riset ITB 2015 Batch II dengan Nomor Kontrak 1763/I1.B04.1/KU/2015.

Referensi

- [1] Khaidir, "Modifikasi Zeolit Alam sebagai Material *Molecular Sieve* dan Aplikasinya pada Proses Dehidrasi Bioetanol", Tesis Magister, Institut Pertanian Bogor, Indonesia, 2011
- [2] Nasrun, "Peningkatan Performansi Membran Selulosa Asetat dengan Penambahan Zeolit Alam Ujong Pancu, Kabupaten Aceh Besar pada Pemisahan Campuran Etanol-Air secara Pervaporasi", Disertasi, Universitas Sumatera Utara, Indonesia, 2012
- [3] Istvan Halasz, Song Kim, dan Bonie Marcus, "Uncommon Adsorption Isotherm of Metanol on Hydrophobic Y-zeolite", *J. Phys. Chem. B* 2001. Vol. 105. Hal 10788 – 10796 (2001)
- [4] P. Pruksathorn dan T. Vitidsant, "Production of Pure Ethanol from Azeotropic Solution by Pressure Swing Adsorption", *Am. J. Engg. & Applied Sci.*, 2 (1). Hal. 1-7 (2009)
- [5] Hughes, Stephen W, "A Practical Example of A Siphon at Work", *Physical Education*, 45(2). Hal. 162-166 (2010)
- [6] S. Viridi, Novitrian, F. Masterika, W. Hidayat, and F. P. Zen, "Segmented Self-Siphon: Experiments and Simulations" in *The International Conference on Research and Education in Mathematics-2011*, edited by E. T. Baskoro *et al.*, AIP Conference Proceedings 1450, American Institute of Physics, Melville, NY, 2012, pp. 190-195.
- [7] Nixon, Michael dan Michael McCaw, "*The Compleat Distiller*", Auckland: The Amphora Society (2001)
- [8] Leily Nurul Komariah, A. F. Ramdja, dan Nicky Leonard, "Tinjauan Teoritis Perancangan Kolom Distilasi untuk Pra-Rencana Pabrik Skala Industri", *Jurnal Teknik Kimia*, No. 4, Vol. 16 (2009)
- [9] Vázquez-Ojeda, María, Juan Gabriel Segovia-Hernández, Salvador Hernández, Arturo Hernández-Aguirre, dan Anton Alexandru Kiss, "Design and optimization of an ethanol dehydration process using stochastic methods", *Separation and Purification Technology Vol. 105*. Hal. 90–97 (2013)
- [10] Karmous Mohamed Salah, "A Theoretical Study of Zeolite ABW: Its Mechanical and Auxetic Properties", *Iranian Journal of Materials Science & Engineering Vol. 9 No. 2* (2012)
- [11] Helen M. Lang, "*Zeolites and Their Applications*" URL <http://pages.geo.wvu.edu/~lang/Geol484/Zeolites.pdf>, [diakses 20 Juni 2015]
- [12] I. D. Gil , A. M. Uyazán, J. L. Aguilar, G. Rodríguez, dan L. A. Caicedo, "Separation of Ethanol and Water by Extractive Distillation with Salt and Solvent As Entrainer: Process Simulation", *Brazilian Journal of Chemical Engineering Vol. 25 No. 01*. Hal. 207 – 215 (2008)
- [13] Nurhayati, W. Hidayat, Novitrian, S. Viridi, and F. P. Zen, "Simulation of fluid flow in a U-shape self-siphon and its working space", *AIP Conference Proceedings 1589*, 95 (2014)
- [14] Nurhayati, "Model Dinamika Elemen Volume Air Pada Siphon", Tesis Magister, Institut Teknologi Bandung, 2013.
- [15] Katzen, P.W. Madson, dan G.D. Moon, Jr. "*Ethanol Distillation: The Fundamentals*", URL <http://www.chemeng.queensu.ca/courses/CHEE332/files/distillation.pdf>, [diakses 7 Juni 2015]
- [16] Ivar J. Halvorsen dan Sigurd Skogestad. "*Distillation Theory*", URL <http://www.nt.ntnu.no/users/skoge/publications/1999/DistillationTheory/original/distillationtheory.pdf>, [diakses 7 Juni 2015]
- [17] Andreas Linninger, Michael Redel, Alycia Novoa, Tanya Goldina, dan Michelle Englert, "*Distillation*", URL <http://www.che.utah.edu/~ring/Design%20Articles/distillation%20design.pdf>, [diakses 7 Juni 2015]
- [18] Citra Resmi, Sarwono, dan Ridho Hantoro. "*Studi Eksperimental Sistem Pembangkit Listrik pada Vertical Axis Wind Turbine (VAWT) Skala Kecil*" URL <http://digilib.its.ac.id/public/ITSUndergraduate-12715-Paper.pdf>, [diakses 20 Juni 2015]

Nurhayati*
Program Studi Teknik Fisika
UIN Ar-Raniry Banda Aceh
firstnur1@yahoo.com

Anjar Purba Asmara
Program Studi Kimia
UIN Ar-Raniry Banda Aceh
njar_pa@yahoo.com

Sparisoma Viridi
Nuclear Physics and Biophysics Research Division
Institut Teknologi Bandung
dudung@fi.itb.ac.id

*Corresponding author