

STUDI OPTIMASI PRESSURE SWING DISTILLATION PADA PEMURNIAN ETANOL MENGGUNAKAN CHEMCAD

Moch Farhein Ferdinal, Agung Ari Wibowo

Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No. 9, Malang, Indonesia
farhein16@gmail.com, [agung.ari@polinema.ac.id]

ABSTRAK

Bioetanol merupakan salah satu bahan yang memiliki prospek yang besar sebagai sumber energi. Berdasarkan proses pemisahannya, etanol dan air membentuk azeotrop pada komposisi 87,2% mol dengan tekanan sebesar 1 atm. Standar minimum bioetanol layak digunakan sebagai bahan bakar adalah 99,5% mol etanol. Destilasi *Pressure Swing* merupakan salah satu proses pemisahan yang dapat menaikkan kadar etanol hingga 99,5% mol. Destilasi *pressure swing* dimana memiliki mekanisme dimana proses tersebut etanol dimurnikan menggunakan 2 kolom destilasi dengan tekanan proses yang berbeda. Proses destilasi ini menggunakan kolom fraksinasi. Tekanan kolom divariasikan pada kolom LP (*low pressure*) menggunakan tekanan 1; 1,5; dan 2 atm, untuk kolom HP (*high pressure*) menggunakan tekanan 10 dan 15 atm. Hasil optimasi kolom destilasi didapatkan bahwa kadar distilat terbaik sebesar 99,5% mol dimana pada prosesnya pada kondisi operasi tekanan kolom LP sebesar 1 atm dan kolom HP sebesar 15 atm. Proses memiliki akumulasi beban kondensor dan beban *reboiler* sebesar 67.017,6 MJ dan 68.521,1 MJ.

Kata kunci: etanol-air, CHEMCAD, optimasi, pressure swing

ABSTRACT

Bioethanol is one of the highly prospect component as a resource of fuel. Based on the separation processes, ethanol and water creates azeotropic at 87,2% mol of ethanol composition on 1 atm pressure. Minimum standard that bioethanol is proper to be as a source o the fuel is 99,5% mol ethanol. Pressure swing distillation is one of the process that increase ethanol concentration to 99,5% mol. Pressure swing distillation have a mechanism that ethanol can be purified by using 2 distillation column with different process pressure. This distillation process using fractionation column. The column pressure can be variated at LP (low pressure) column using 1, 1,5, and 2 atm pressure, for HP (high pressure) column using 10 and 15 atm. The result of column optimization got that the best composition of distillate is 99,5% mol with 1,5 atm low pressure column and 15 atm high pressure column. Process have an accumulative condensor and reboiler duty 67017,6 MJ dan 68521,1 MJ.

Keywords: Etanol-water, CHEMCAD, optimization, pressure swing

1. PENDAHULUAN

Bioetanol merupakan salah satu jenis sumber energi alternatif yang banyak diproduksi hingga saat ini. Bioetanol dapat diproduksi dengan proses biologi. Proses ini dilakukan dengan cara fermentasi gula yang hasilnya berupa bioetanol. Fermentasi etanol dapat dilakukan secara *batch* dan *fed batch* dengan menggunakan mikroba *Saccharomyces* dan dapat menghasilkan etanol yang tinggi, sekitar 12–14% (v/v) [1]. Etanol yang masih encer tersebut bisa dimurnikan menggunakan proses destilasi. Proses destilasi secara konvensional hanya mampu menghasilkan etanol hingga konsentrasi 87,2% mol etanol karena komponen etanol-

air memiliki titik azeotrop sehingga tidak dapat dipisahkan secara konvensional [2], sehingga perlu proses pemurnian lanjutan untuk menghasilkan etanol dengan kadar yang tinggi. Campuran etanol-air merupakan campuran azeotropik yang sensitif terhadap tekanan [3]. *Pressure swing distillation* merupakan metode yang ekonomis jika digunakan dalam pemisahan campuran senyawa azeotropik. Karena proses ini memiliki kebutuhan energi yang rendah, biaya pembangunan yang murah, dan tidak memerlukan bahan lain dalam prosesnya [4].

Menurut Sinnott [5] dan Geankoplis [6] pemisahan campuran *liquid* dengan metode destilasi bergantung terhadap perbedaan volatilitas tiap komponennya. Selain itu proses pemisahan menggunakan destilasi juga dipengaruhi oleh kesetimbangan fasa uap dan cair dari setiap komponen yang terlibat [5,6]. Secara umum kolom destilasi terbagi atas 2 bagian, yaitu bagian *stripping* dan *rectifying*. Pada bagian *stripping* zat dengan volatilitas tinggi akan naik dan terpisah dari zat dengan volatilitas rendah. Sedangkan pada bagian *rectifying*, kadar zat volatilitas tinggi tersebut akan naik hingga ke *stage* teratas dari kolom. Pada proses destilasi juga umumnya digunakan refluks untuk meningkatkan kemurnian dari distilat [7].

Proses pemisahan azeotrop etanol dan air dapat dilakukan dengan proses destilasi azeotropik homogen (termasuk destilasi ekstraktif), destilasi azeotropik heterogen, proses *salt-effect distillation*, dan menggunakan destilasi *pressure-swing*. Proses paling sederhana dan efisien adalah menggunakan destilasi *pressure swing* dimana pada operasinya menggunakan 2 kolom dengan tekanan operasi yang berbeda [8]. Pada proses destilasi *pressure-swing*, umpan dimasukkan kedalam kolom pertama bertekanan rendah. Produk yang akan dimurnikan selanjutnya dimasukkan kedalam kolom bertekanan tinggi untuk dimurnikan melewati titik azeotropnya [4].

Beberapa penelitian terdahulu tentang destilasi *pressure-swing* pernah dilakukan oleh Iqbal dkk. [7] dengan mensimulasikan proses destilasi *pressure-swing* menggunakan parameter model termodinamika mulai dari Wilson, Wilson-RK dan UNIFAC dimana didapatkan pemodelan terbaik menggunakan Wilson dengan *error* VLE data sebesar 1,94% dengan kemurnian etanol 99,7%. Kemudian, Doherty dkk. [8] pernah meneliti dan didapat bahwa *pressure-swing distillation* bisa diterapkan pada campuran azeotropik dan semakin tinggi tekanan kolom *high pressure*, maka kebutuhan energinya semakin sedikit. Sedangkan pada penelitian Jun Shang dkk. [9] mensimulasikan destilasi *pressure swing* terhadap azeotrop tetrahydrofuran dan air dan didapat bahwa proses ini cukup ekonomis dan bisa diterapkan di industri.

Tujuan dari penelitian ini untuk melakukan optimasi terhadap kolom destilasi dengan mempertimbangkan pengaruh kemurnian produk, beban reboiler, dan beban kondensor. Hasil dari penelitian ini juga akan menjadi dasar perancangan untuk mengubah proses kolom destilasi konvensional diganti dengan proses destilasi *pressure-swing*. Pemodelan proses destilasi *pressure-swing* diharapkan dapat memecah titik azeotrop dan dapat meningkatkan kadar kemurnian dari bioetanol itu sendiri.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan melakukan optimasi berbasis perangkat lunak CHEMCAD dengan cara menentukan komponen, memilih model termodinamika, memilih alat dan kondisi operasi [10]. Kolom destilasi *low pressure* disimulasikan dengan jumlah *stage* 30

buah, dan *feed stage* terletak pada *stage* ke-23. Sedangkan aliran *recycle* masuk pada *stage* ke 20 [7]. Penelitian *pressure swing distillation* pada pemurnian etanol ini bertujuan untuk mendapatkan konfigurasi tekanan kolom optimal untuk pemurnian etanol pada industri bioetanol dilihat dari kemurnian produk, beban *reboiler*, dan beban kondensor.

2.1. Model Termodinamika

Pada penelitian ini, untuk dapat memodelkan kesetimbangan uap cair dari bahan-bahan yang terlibat digunakan koefisien aktivitas termodinamika NRTL (*Non Random Two Liquid*) [11]. Menurut Smith dkk. [12] NRTL merupakan metode yang paling cocok karena seringkali memberikan nilai *activity coefficients* yang sesuai pada perhitungan VLE dengan kondisi nyata. Sehingga hasil simulasi diharapkan dapat se-nyata mungkin dengan kondisi sesungguhnya.

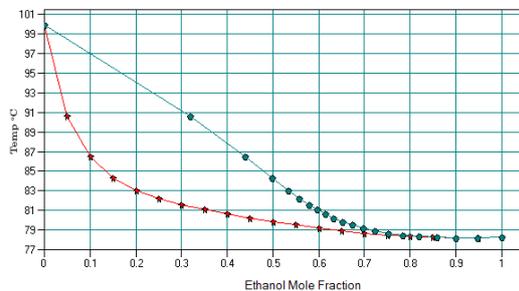
2.2. Parameter Interaksi Biner

Parameter interaksi biner (BIP) didapatkan dari database yang ada didalam CHEMCAD dapat disajikan pada Tabel 1 dibawah ini.

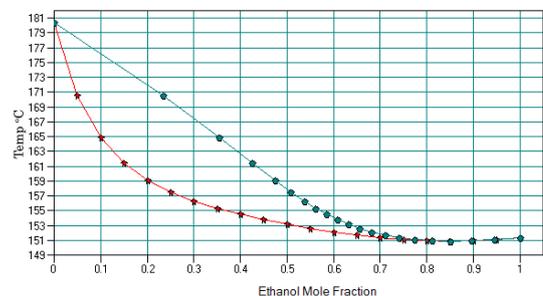
Tabel 1. Parameter interaksi biner dari etanol-air yang digunakan dalam simulasi CHEMCAD

Komponen 1	Komponen 2	Bij*	Bji*	α^*
Ethanol	Air	-55,6181	670,441	0,3031

*Tersedia Dalam Database CHEMCAD



Gambar 1. Kurva azeotrop etanol-air pada tekanan 1 atm

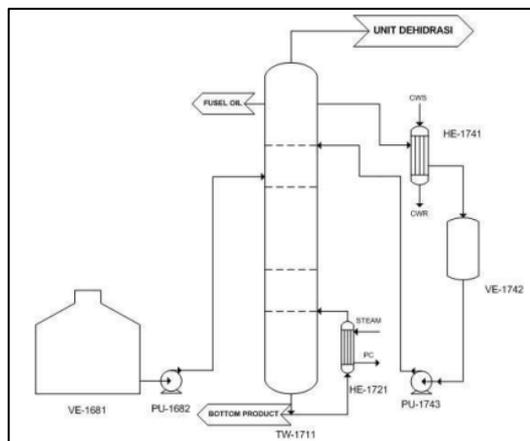


Gambar 2. Kurva azeotrop etanol-air pada tekanan 10 atm

Terdapat hubungan antara sistem etanol-air seperti yang di digambarkan pada kurva T-xy dibawah ini pada Gambar 1 dan 2. Pada kurva azeotrop T-xy tersebut, dapat diamati perubahan titik azeotrop ketika tekanan operasi dinaikkan. Pada tekanan 1 atm, titik azeotrop kesetimbangan etanol-air berada pada komposisi 87,2% mol etanol. Sedangkan pada tekanan 10 atm titik azeotrop berpindah ke komposisi 79,4% mol. Dari perubahan titik azeotrop tersebut bisa dilihat, ketika etanol sudah dimurnikan hingga titik azeotrop pertama (tekanan rendah) saat tekanan operasi di kolom berikutnya dinaikkan, maka kemurnian etanol bisa dinaikkan hingga 100% berdasarkan kurva azeotrop. Proses ini terjadi karena saat proses di kolom bertekanan tinggi, titik azeotrop sudah terlewati sehingga bisa dilakukan pemisahan secara normal di kolom yang kedua [10].

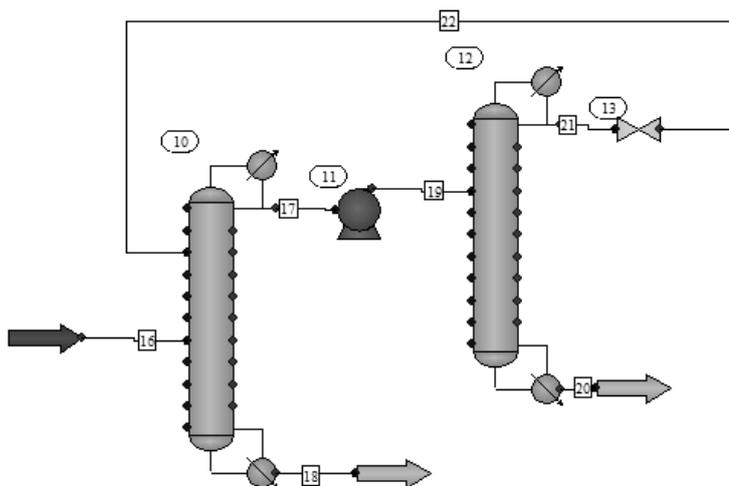
2.3. Deskripsi Proses

Simulasi proses menggunakan *software* simulasi proses CHEMCAD dilakukan berdasarkan pada *flowsheet* dan kadar etanol keluaran evaporator dari unit destilasi di PT Energi Agro Nusantara [13]. Proses disajikan dalam Gambar 3 dalam bentuk simulasi destilasi konvensional dan disimulasikan dalam bentuk pengoptimasian dengan metode destilasi *pressure-swing* pada Gambar 4. Pada Gambar 3 umpan etanol-air dengan kadar 16% (v/v) atau 11% mol etanol dengan laju alir 4.166,6 L/jam dilewatkan kedalam *pre-heater* umpan distilasi. Distilat keluar melalui kondensor dalam fasa cair. Sedangkan *bottom product* mengalir menuju *drain* proses. Pada destilasi *pressure-swing* ini juga tekanan kolom divariasikan untuk kolom *low pressure* menggunakan variasi tekanan 1; 1,5; dan 2 atm. Sedangkan untuk kolom *high pressure* menggunakan variasi tekanan 10 dan 15 atm. Selain itu pada kolom *high pressure*, untuk kondisi operasi pendukung seperti jumlah *stage*, *reflux ratio*, dan *feed stage* dikondisikan sesuai dengan perhitungan *shortcut column* menggunakan metode Fenske UnderWood Gillian (FUG).



Gambar 3. *Flowsheet* unit destilasi PT Energi Agro Nusantara [12].

Distilat konvensional etanol-air mengandung konsentrasi mendekati titik azeotrop dan selanjutnya akan dilakukan pemisahan lanjutan. Pemisahan ini dilakukan di kolom konvensional juga namun menggunakan mekanisme *pressure-swing* dimana tekanan di kolom kedua jauh lebih besar dari kolom pertama yaitu 10 atm dan 15 atm. Hasil dari produk atas berupa distilat yang memiliki kandungan air lebih tinggi dikembalikan ke *feed* dengan menurunkan tekanannya menggunakan *valve*. Sedangkan pada produk bawah berupa etanol dengan kemurnian tinggi. Hasil terbaik akan dijadikan dasar pemilihan dari optimasi kondisi operasi tekanan kedua kolom sehingga dapat menghasilkan kemurnian produk tertinggi dan beban kondensor dan reboiler seminimal mungkin.



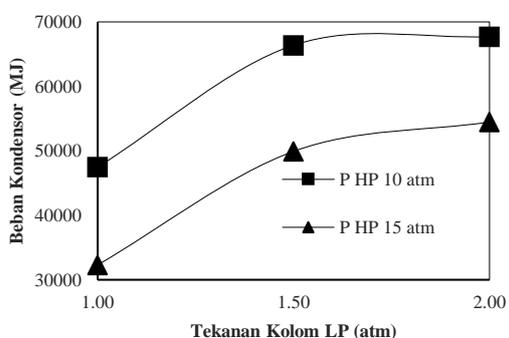
Gambar 4. Simulasi destilasi *pressure swing*

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

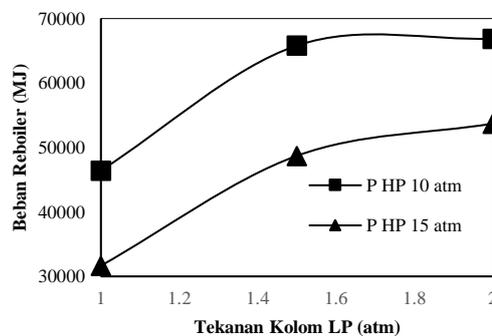
Hasil penelitian dari simulasi proses tersebut dapat diamati di Gambar 5 dibawah ini. Selain itu pada kolom *low pressure* nilai *reflux ratio* digunakan berdasarkan hasil kalkulasi pada simulasi *shortcut*. Setelah didapat distilat pada kondisi mendekati azeotrop, produk atas selanjutnya masuk kolom *high pressure*. Hasil analisa dan kondisi operasi dapat dijabarkan seperti pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Kondisi operasi kolom destilasi

No	Variasi tekanan (LP dan HP)	Feed Stage (HP)	Jumlah Stage (HP)	Reflux ratio (LP)	Reflux ratio (HP)
1	1 atm dan 10 atm	5	43	4,855	2,647
2	1.5 atm dan 10 atm	5	43	5,040	2,770
3	2 atm dan 10 atm	5	43	5,271	2,88
4	1 atm dan 15 atm	5	42	4,915	1,632
5	1.5 atm dan 15 atm	5	40	5,097	1,770
6	2 atm dan 15 atm	5	40	5,244	1,890



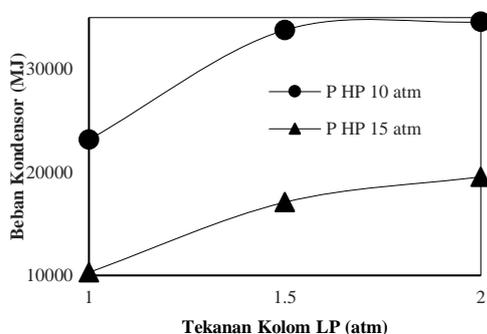
Gambar 5. Pengaruh tekanan kolom terhadap beban kondensor kolom LP



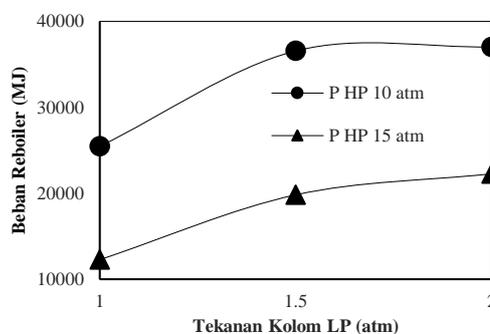
Gambar 6. Pengaruh tekanan kolom terhadap beban reboiler kolom LP

Pada Gambar 5 dan 6 dapat dianalisis bahwa nilai beban kondensor dan *reboiler* terhadap tekanan pada kolom *low pressure* dan variasi tekanan kolom *high pressure* menunjukkan bahwa semakin tinggi tekanan kolom *low pressure* maka semakin tinggi juga kebutuhan dari energi terhadap proses kondensasi dari produk distilat. Hal ini selaras dengan hukum termodinamika dimana semakin tinggi tekanan maka semakin tinggi titik didih dari suatu bahan [11]. Sehingga pada aplikasinya di kolom destilasi dapat meningkatkan kebutuhan energi karena titik didih dari campuran etanol-air yang ikut meningkat.

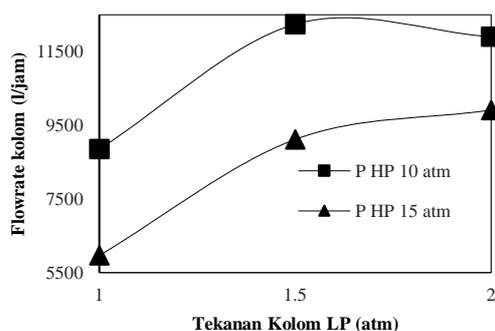
Namun terlihat bahwa kebutuhan energi pada variasi tekanan *high pressure* dengan tekanan 15 atm, kebutuhan energi lebih rendah daripada kebutuhan energi milik pada variasi *high pressure* 10 atm. Hal ini diakibatkan oleh kondisi neraca massa dari kolom itu sendiri dimana CHEMCAD mengkalkulasikan aliran recycle dari proses sehingga pada kolom *low pressure* dihasilkan aliran massa yang lebih besar dan menyebabkan kenaikan kebutuhan panas.



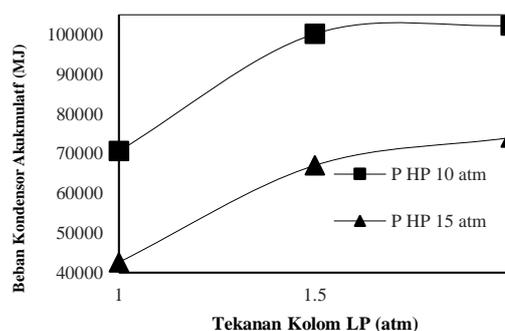
Gambar 7. Pengaruh tekanan kolom terhadap beban kondensor kolom HP



Gambar 8. Pengaruh tekanan kolom terhadap beban reboiler kolom HP



Gambar 9. Pengaruh tekanan kolom terhadap *flowrate* kolom

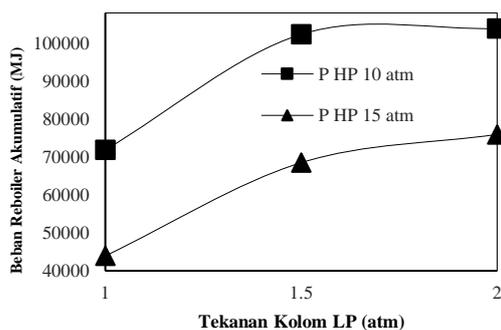


Gambar 10. Pengaruh tekanan kolom terhadap beban kondensor

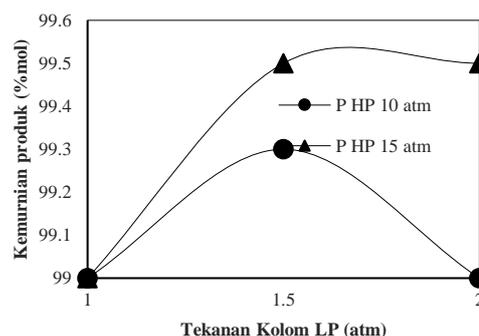
Sedangkan pada kolom *high pressure* terlihat bahwa kondisi yang diberikan tidak jauh berbeda dengan kondisi pada kolom *low pressure*. Seperti pada Gambar 7 dan 8 dimana kebutuhan energi untuk operasi dengan kolom *high pressure* 15 atm menggunakan lebih sedikit energi daripada operasi menggunakan kolom *high pressure* 10 atm. Penyebabnya adalah kondisi yang sama seperti pada kolom *low pressure* dimana *flow rate* ikut berpengaruh terhadap kebutuhan panas seperti pada Gambar 9 dibawah ini. Penurunan kebutuhan energi juga dibuktikan sebelumnya oleh Knapp dkk. [8] dimana semakin tinggi tekanan kolom *high*

pressure maka rasio *fresh feed* dan *recycle* semakin kecil dan mudah dikendalikan sehingga kebutuhan energi tidak terlalu besar.

Gambar 10 diatas dan 11 dibawah ini menunjukkan dari korelasi kebutuhan total antara pemakaian beban reboiler dan beban kondensor secara keseluruhan pada kolom *low pressure* dan kolom *high pressure*. Pada dasarnya kondisinya tidak jauh berbeda dengan kondisi kolom *low pressure* dan *high pressure* dimana kebutuhan energi beban kondensor dan reboiler mengikuti terhadap flowrate dan ikut dipengaruhi oleh tekanan dari kedua kolom itu sendiri.



Gambar 11. Pengaruh tekanan kolom terhadap beban reboiler akumulatif



Gambar 12. Pengaruh tekanan kolom kemurnian produk

Tabel 3. Kemurnian produk etanol kolom destilasi

No	Variasi tekanan (LP dan HP)	Top Product (LP)	Bottom Product (LP)	Top Product (HP)	Bottom Product (HP)
1	1 atm & 10 atm	87,805%	0,0201%	87,134%	99%
2	1.5 atm & 10 atm	87,504%	0,0203%	87,017%	99,3%
3	2 atm & 10 atm	87,261%	0,1929%	86,772%	99%
4	1 atm & 15 atm	87,734%	0,0200%	86,725%	99%
5	1.5 atm & 15 atm	87,452%	0,0199%	86,756%	99,5%
6	2 atm & 15 atm	87,165%	0,0197%	86,533%	99,5%

Tabel 3 diatas menjelaskan perbandingan dari kemurnian data produk yang didapat dari simulasi. Apabila diamati bahwa tiap produk memiliki selisih kemurnian yang tidak jauh berbeda berdasarkan tekanan dari kolom, hal itu terjadi karena perbedaan azeotropik dan recycle dari proses sehingga ada perbedaan pada setiap pengamatannya meskipun tidak jauh. Pengamatan terhadap kemurnian produk diamati berdasarkan produk dari bottom product kolom *high pressure* dimana produk utama diambil.

Bedasarkan Tabel 3 dan Gambar 12 diatas menunjukkan bahwa dari seluruh percobaan dengan menggunakan variasi tekanan pada kolom *low pressure* dan *high pressure* dapat dilihat bahwa optimasi yang menghasilkan kadar bioetanol sesuai standar adalah pada tekanan kolom *low pressure* 1,5 atm dan 2 atm dengan tekanan kolom *high pressure* 15 atm dimana kadar bioetanol dihasilkan mencapai 99,5% mol. Pada variasi 1,5 atm dan 15 atm beban kondensor dan *reboiler* akumulasi adalah 67.017,6 MJ dan 68.521,1 MJ. Sedangkan pada variasi 1,5 atm dan 15 atm beban kondensor dan reboiler akumulasi adalah 74.042,2 MJ

dan 75.976,3 MJ. Kolom yang digunakan pada kedua simulasi ini adalah kolom *low pressure* dengan 30 *stage* dengan *feed stage* 23 dan *recycle stage* 20 serta kolom *high pressure* dengan 43 *stage* dengan *feed stage* di *stage* ke 5.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Pemisahan bioetanol dengan menggunakan metode destilasi dapat terhambat oleh titik azeotrop. Pada optimasi kolom metode *pressure swing* ini didapat kadar distilat sebanyak 99,5% mol yang tercapai pada kondisi operasi tekanan kolom *low pressure* dan *high pressure* 1,5 atm dan 15 atm dengan beban kondensor dan reboiler akumulasi 67.017,6 MJ dan 68.521,1 MJ. Kolom yang digunakan adalah kolom *low pressure* 30 *stage* dengan *feed* dan *recycle* berturut – turut di *stage* 23 dan 20. Kolom *high pressure* yang digunakan kolom dengan 43 *stage* dengan *feed* di *stage* ke 5.

REFERENSI

- [1] Ida, R. E., 2009, *Biomassa sebagai Bahan Baku Etanol*, Jurnal Litbang Pertanian, Vol 28, No. 3, Juni, 101-110.
- [2] Wibowo, A. A., Lusiani, C.E., Ginting, R. R., Hartanto, D., 2018, *Simulasi CHEMCAD: Studi Kasus Distilasi Ekstraktif pada Campuran Terner n-Propil Asetat/n-Propanol/Air*, Jurnal Teknik Kimia dan Lingkungan, Vol. 2, No. 2, 75-83.
- [3] Jana, A. K., Kiran, B., 2015, *A Hybrid Heat Integration Scheme for Bioethanol Separation Through Pressure-Swing Distillation Route*, Separation and Purification Technology, Vol. 142, No. 40, 514-516.
- [4] Kanse, N. G., Matondkar, D., Bane, S., Matondkar, P., 2019, *Overview of Pressure-Swing Distillation Process for Separation of Azeotropic Mixture*, International Journal of Research and Analytical Reviews, Vol. 6, No. 1, Maret, 674-678.
- [5] Sinnott, R. K., 2005, *Chemical Engineering Design*, Fourth Edition, Volume 6, Elsevier Butterworth Heinemann., Oxford.
- [6] Geankoplis. C. J., 1993, *Transport Process and Unit Operation*, Fourth Edition, Prentice Hall., Minnesota.
- [7] Ahmad, S. A., Iqbal, A., 2016, *Pressure Swing Distillation of Azeotropic Mixture — A Simulation Study*, Prespective In Sciences, Vol. 8, No. 2, 4-6.
- [8] Knapp, J. P., Doherty, M. F., 1992, *A New Pressure-Swing-Distillation Process for Separating Homogeneous Azeotropic Mixtures*, Industrial & Engineering Chemistry Research, Vol. 31, No. 1, 346-357.
- [9] Liu, X. Y., Shang, D. J., Liu, Z, Y., 2017, *Comparison of Extractive and Pressure-Swing Distillation for Separation of Tetrahydrofuran-Water Mixture*, Chemical Engineering Transactions, Vol. 61, No. 234, 1423-1428.
- [10] Suharto. M., Wibowo. A. A., Suharti. P. H., 2020, *Optimasi Pemurnian Etanol Dengan Distilasi Ekstraktif Menggunakan ChemCAD*, Distilat Jurnal Teknologi Separasi, Vol. 6, No. 1, 1-7.

- [11] Wibowo. A. A., Mustain. A., Lusiani. C. E., Hartanto. D., Ginting. R. R., 2020, *Green diesel production from waste vegetable oil: A simulation study*, AIP Conference Proceedings, Vol. 2233, No. 1, April, 1-6.
- [12] Airlangga, B., Putra., F. P., 2015, *Laporan Kerja Praktek PT Energi Agro Nusantara*, Jurusan Teknik Kimia Institut Teknologi Sepuluh Nopember., Surabaya.
- [13] Smith, J. M., Van Ness, H. C., Abbott, M. M., Swihart, M. T., 2018, *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics*, Eighth edition, Mc Graw Hill Education., California.