

Available online at: <http://reactor.poltekaitpdg.ac.id/>

# REACTOR

## Journal of Research on Chemistry and Engineering

| ISSN Online 2746-0401 |



# Pemisahan Butanol dari Campuran ABE Menggunakan *Software Aspen Plus*: Pengaruh Refluks Rasio terhadap Kandungan Butanol

Dennis Farina Nury, Pramahadi Febriyanto, Lisa Anggraini Ismi, Rahmat Taufik Hidayah

Program Studi Teknik Kimia, Institut Teknologi Sumatera, Lampung Selatan, 35265, Indonesia

## ARTICLE INFORMATION

Received: May 17, 2022

Revised: June 20, 2022

Available online: June 30, 2022

## KEYWORDS

ABE Fermentation, Aspen Plus, Purity, Recovery Butanol, Reflux Ratio

## CORRESPONDENCE

Name: Dennis Farina Nury

E-mail: [dennis.nury@tk.itera.ac.id](mailto:dennis.nury@tk.itera.ac.id)

## ABSTRACT

Production of acetone-butanol-ethanol (ABE) through the fermentation process is one alternative that needs to be developed. Less economical in the ABE fermentation process is the difficulty of the separation process from the fermentation product and the by-products of the reaction. Among the separation process methods, such as extraction, distillation, adsorption, and gas stripping, the distillation method is still the most widely used method in the ABE separation process. The purpose of this study was to provide recommendations for predicting good ABE separation and producing optimum operating conditions to produce high % butanol content. Which is then simulated using Aspen Plus V11 software. This study varied the reflux ratio in the distillation column and the *decanter* operating temperature. The results showed that butanol purity reached 90.33% in the *radfrac* 1 column operated at a pressure of 1.3 atm with a reflux ratio of 5, the location of the 7th *feed stage* and the number of *stages* 11. Then proceed to the purification *stage* in the *radfrac* column 2 which is operated at a pressure of 2 atm with a reflux ratio of 5, the location of the 4th *stage feed* and the number of *stages* 5. The decrease in the reflux ratio of the *radfrac* column causes a decrease in the butanol content at the bottom so that the purity of butanol also decreases and decreases % recovery or recovery of butanol. This is also followed by the location of the *feed stage*, which is getting higher, and the number of *stages* is increasing.

## PENDAHULUAN

Bahan bakar fosil semakin meningkat penggunaannya seiring dengan berkembangnya kemajuan transportasi dan aktivitas industri. Hal ini mengakibatkan munculnya permasalahan lingkungan terkait dengan emisi gas buang seperti partikulat, gas CO<sub>2</sub>, CO, hidrokarbon, NO<sub>x</sub> dan SO<sub>2</sub> [1]. Pemakaian bahan bakar fosil sebagai sumber energi utama dunia berkepanjangan juga dapat meningkatkan konsentrasi CO<sub>2</sub> di atmosfer dan berdampak pada *global warming*. Pemakaian bahan bakar fosil menyumbang 30-40% dari pencemaran gas CO<sub>2</sub> [2]. Selain itu, bahan bakar fosil merupakan sumber daya alam yang dalam penggunaannya harus dibatasi, sebab bahan bakar ini tidak dapat diperbarui.

Untuk mengatasi masalah ini, semakin dipertimbangkan sebagai aditif bahan bakar untuk menggantikan etanol. Butanol merupakan zat yang ramah lingkungan karena mudah untuk diproduksi melalui proses fermentasi (biobutanol) dari bahan alami. Butanol memiliki beberapa keunggulan dibandingkan etanol, diantaranya butanol memiliki panas penguapan yang lebih rendah, tekanan uap yang lebih rendah, nilai oktan yang lebih tinggi dan *energy density* (energi/volume) yang lebih tinggi dibandingkan etanol [3]. Butanol memiliki lebih banyak sifat seperti bensin daripada etanol dan kurang larut dalam air daripada etanol, memungkinkan campuran yang lebih stabil dengan bensin [1]. Proses pembuatan butanol dari fermentasi ABE masih memiliki kendala yaitu besar *yield* dan konsentrasi butanol yang rendah. Sehingga perlu dilakukan pengembangan dalam proses pemisahan dan pemurnian butanol [3].

Selama 20 tahun terakhir, peneliti telah melakukan berbagai simulasi percobaan untuk meningkatkan efisiensi fermentasi ABE. Diantara simulasi yang digunakan pada produk atas adalah biokimia dan mikroorganisme, sedangkan pada produk bawah yaitu ekstraksi, distilasi, adsorpsi, serta *gas stripping*. Dari metode-metode tersebut, distilasi masih menjadi metode yang paling banyak digunakan dalam proses fermentasi ABE. Distilasi merupakan proses yang sederhana serta dapat memperoleh kemurnian produk yang tinggi. Namun, penggunaan proses distilasi dalam fermentasi ABE masih menjadi proses yang sangat langka [4].

Distilasi dideskripsikan sebagai sebuah menara pemisah antara dua atau lebih zat menjadi komponen fraksi yang murni. Pemisahan komponen-komponen dalam Menara distilasi berdasarkan pada perbedaan titik didih dari masing-masing komponen. Tekanan uap campuran berperan penting dalam menara distilasi. Di industri butanol, menara distilasi adalah elemen terpenting dari proses pemurnian campuran butanol-air yang dihasilkan dari proses fermentasi.

Fermentasi yang menghasilkan biobutanol biasa disebut fermentasi aseton-butanol-etanol (ABE) karena selain menghasilkan butanol juga menghasilkan aseton dan etanol sebagai produk utamanya. Proses tersebut menggunakan bakteri tertentu untuk melakukan fermentasi dari karbohidrat pati dan glukosa guna memproduksi aseton, butanol dan etanol [5].

Secara industri, mikroorganisme yang paling banyak digunakan adalah bakteri *Clostridium acetobutylicum* dalam kondisi anaerob, sebuah bakteri yang dapat memfermentasi karbohidrat menjadi produk aseton, butanol, dan etanol yang diinginkan [6]. Bakteri tersebut termasuk dalam bakteri mesofil dengan temperatur optimal 10-65°C [3]. Biobutanol yang dibuat dengan fermentasi anaerobik (tanpa oksigen). Fermentasi ini menghasilkan aseton, butanol dan etanol (ABE), dengan rasio produk fermentasi ini biasanya 3:6:1 [7].

Proses pemisahan menggunakan distilasi dipengaruhi oleh beberapa variabel, diantaranya suhu, tekanan, jumlah tahapan, letak umpan masuk dan rasio refluks. Refluks rasio ditentukan agar menghasilkan pemisahan campuran yang efektif dan efisien [8]. Refluks rasio diartikan sebagai rasio jumlah mol uap yang diubah menjadi cairan kembali ke kolom distilasi dengan jumlah mol cairan yang diperoleh sebagai distilat dalam satuan waktu tertentu. Dengan bertambahnya nilai refluks rasio maka jumlah tahapan yang diperlukan akan semakin kecil, dan sebaliknya semakin kecil nilai refluks rasio maka jumlah tahapan yang dibutuhkan akan semakin banyak hingga akhirnya jumlah tahapan menjadi tidak

terhingga [9]. Jumlah *stage* yang tidak terhingga berlaku pada nilai refluks rasio minimum. Ketika jumlah tahapan tidak terhingga maka konsentrasi komponen pada cairan dan uap tidak mengalami perubahan [10]. Persamaan *Underwood* dapat digunakan untuk menghitung refluks rasio minimum ( $R_m$ ) yang dinyatakan sebagai berikut [11]:

$$R_m = \frac{1}{\alpha - 1} \left[ \left( \frac{x_D}{x_F} \right)_A - \alpha \left( \frac{x_D}{x_F} \right)_B \right] \quad (1)$$

Keterangan:

$(x_f)_A$  = Fraksi mol A dalam umpan

$(x_f)_B$  = Fraksi mol B dalam umpan

$(x_D)_A$  = Fraksi mol A dalam distilat

$(x_D)_B$  = Fraksi mol B dalam distilat

$\alpha$  = Volatilitas relatif komponen A terhadap B

Campuran ABE mengandung banyak senyawa polar, dengan demikian menunjukkan perilaku non-ideal yang kuat, dengan pasangan komponen juga membentuk sistem azeotropik. Selain itu, n-butanol dan air menunjukkan kesenjangan *miscibility*, representasi yang benar adalah dasar untuk deskripsi yang tepat dari proses pemisahan. Oleh karena itu, model termodinamika harus dapat menggambarkan kondisi Kesetimbangan Uap-Cair (VLE) dan Kesetimbangan Cair-Cair (LLE) dengan baik [12].

Data kesetimbangan uap-cair yang dibutuhkan dalam simulasi ini diestimasi menggunakan *modified* aturan Rault dengan koreksi ketidakidealan dalam fase cair menggunakan koefisien aktivitas. Koefisien aktivitas fase cair untuk solusi campuran non-ideal harus diprediksi bahkan ketika data kesetimbangan fase eksperimental tidak tersedia, dan asumsi solusi reguler tidak valid karena komponen polar [13]. Model termodinamika seperti *Non Random Two Liquid* (NRTL), Wilson, UNIQUAC (*Universal Quasi-Chemical*) dan UNIFAC (*Universal Functional Activity Coefficient*) sering digunakan untuk korelasi VLE campuran non-ideal seperti alkohol-hidrokarbon. Model termodinamika ini membutuhkan parameter interaksi biner tiap pasangan antar molekulnya. Ini digunakan untuk campuran multikomponen [14].

Dalam penelitian menggunakan model termodinamika, *Universal Functional-group Activity Coefficients* (UNIFAC) adalah model termodinamika terbaru yang berbasis persamaan UNIQUAC dengan menggunakan gugus fungsi suatu molekul yang terdapat dalam campuran untuk menghitung koefisien aktivitas [15]. Dasar utama dari model ini adalah penggunaan data kesetimbangan fasa yang ada untuk memprediksi kesetimbangan fasa untuk sistem yang data eksperimennya tidak tersedia, dimana koefisien aktivitas

dalam campuran terkait dengan interaksi kelompok struktur [16].

Model termodinamika UNIFAC yang dipilih dalam simulasi ini, model ini memungkinkan prediksi koefisien aktivitas yang dapat diandalkan (termasuk larutan encer dan beberapa fase cair), panas pencampuran, dan komposisi azeotropik. Model ini juga memiliki keunggulan dibandingkan metode lain karena [13],[16], :

- Parameter ukuran dan interaksi biner tersedia untuk berbagai kelompok fungsional.
- Berkurangnya kebutuhan data eksperimen (reduksi data) untuk memperoleh data koefisien aktivitas untuk memperoleh parameter sifat interaksi antara pasangan gugus struktur dalam sistem nonelektrolit.
- Untuk memprediksi koefisien aktifitas untuk sistem lain yang data eksperimennya tidak tersedia namun mengandung grup fungsional yang sama (prediksi).

*Aspen Plus* adalah perangkat lunak komputer yang digunakan untuk memodelkan pabrik pemrosesan kimia secara kuantitatif. Secara umum, pabrik pengolahan kimia terdiri dari unit reaktor inti dan unit operasi tambahan yang berbeda, dalam bentuk langkah pra dan pasca perawatan juga. Dalam hal ini, *Aspen Plus* adalah alat yang sangat kuat yang dapat digunakan untuk menangani berbagai proses kimia dan tugas berbasis perhitungan unit operasi, dalam bentuk pemodelan, simulasi, optimasi, regresi data, spesifikasi desain, analisis sensitivitas, penanganan padatan, dinamika dan kontrol, penghematan energi, kepatuhan keselamatan, dan akhirnya analisis ekonomi proses [17].

Penelitian ini menggunakan kolom *radfrac* dikarenakan kolom ini berfungsi untuk fraksinasi 2 atau 3 fase yang teliti untuk kolom tunggal, modelnya ada absorber, stripper, dll. Sedangkan pemilihan dekanter dikarenakan keluaran dari kolom 1 (*radfrac*) berupa fasa cair-cair maka menggunakan *decanter*.

## METODOLOGI

Studi tentang *me-recovery* butanol melalui simulasi dan pemodelan distilasi kontinu multikomponen ABE pada jenis kolom *sieve tray* difokuskan pada pengaruh rasio refluks, jumlah tahapan dan letak umpan di antara faktor-faktor lainnya. Kondisi umpan dalam simulasi ini adalah tekanan 1,5 atm dengan laju alir massa sebesar 5000 kg/jam dan umpan masuk dalam keadaan  $q = 1$  (*saturated liquid*). Komposisinya terdiri dari aseton 14%wt, n-butanol 36%wt, etanol 3%wt, air 47%wt yang didapatkan dari penelitian John A. Marlatt dan Rathin Datta yang berjudul “*Acetone-Butanol Fermentation Process*

*Development and Economic Evaluation*” [18]. Simulasi dilakukan menggunakan Aspen Plus V11 dengan model termodinamika UNIFAC. Model UNIFAC dipilih karena koefisien aktivitas campuran yang dicari bersifat non-elektrolit pada temperatur menengah 300-425 K, dan sesuai untuk sistem dengan sedikit data eksperimen [19].

Dalam simulasi ini, alat pemisahan yang digunakan adalah 2 kolom distilasi (*radfrac*) dan 1 dekanter. Kolom *radfrac* 1 bertujuan untuk memisahkan aseton-etanol (AE) sebagai distilat dan n-butanol-air (BW) sebagai produk bawah. Selanjutnya untuk memisahkan campuran n-butanol-air (BW), yang membentuk azeotrop heterogen menggunakan *decanter* pada suhu operasi 50°C. Kemudian akan lanjut ke tahap pemurnian n-butanol sebagai produk dasar menggunakan kolom distilasi jenis *radfrac*.

Sebelum menggunakan kolom *radfrac*, perlu dilakukan *trial error* menggunakan kolom DSTWU agar mengetahui berapa jumlah tahapan dan dimana letak tahap umpan yang ideal. Sehingga dapat dilanjutkan ke tahap selanjutnya menggunakan kolom *radfrac* atau kolom distilasi yang sebenarnya dengan memasukkan data yang diperoleh dari *trial error* menggunakan kolom DSTWU. Metode *trial error* pada simulasi ini bertujuan untuk mendapatkan data input kolom *radfrac* yang dibutuhkan. Dimana data tersebut bisa didapatkan dengan metode *trial error* menggunakan kolom DSTWU. Data yang dibutuhkan adalah jumlah *stage* yang dibutuhkan, lokasi umpan ideal dan spesifikasi operasi (*distillate to feed ratio*).

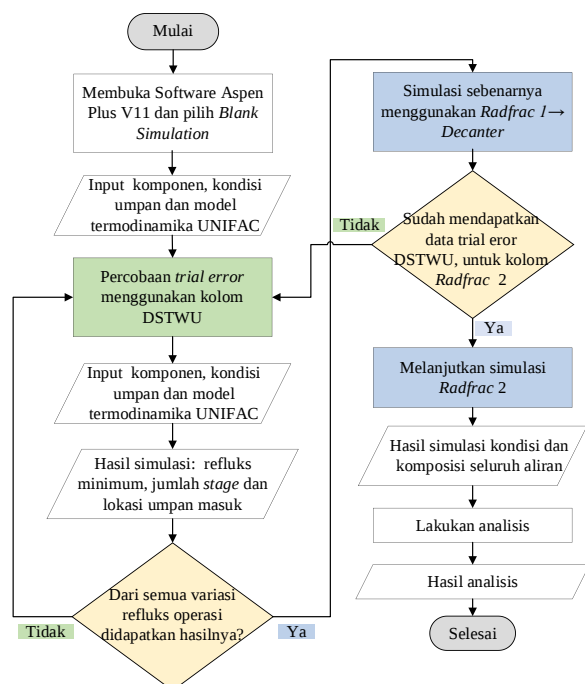
Hasil simulasi menggunakan *Radfrac* akan dilanjutkan dengan menganalisa hasil semua aliran output dari semua alat simulasi. Hasil dari analisis ini adalah %*recovery* butanol, kandungan butanol dan kemurnian butanol dari berbagai kondisi operasi. Dengan cara membandingkan hasil analisis dengan variasi refluks rasio dan lokasi umpan masuk. Maka pertimbangan inilah yang akan menjadi rekomendasi untuk prediksi pemisahan ABE yang baik.

Tabel 1. Variabel Penelitian

| No. | Kolom 1                                         | Kolom 2                                         |
|-----|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| 1.  | <i>light component</i><br>adalah etanol (0,99)  | <i>light component</i><br>adalah etanol (0,73)  |
| 2.  | <i>heavy component</i><br>adalah butanol (0,01) | <i>heavy component</i><br>adalah butanol (0,27) |
| 3.  | Refluks rasio: 1, 2, 3, 4, 5                    | Refluks rasio: 1, 2, 3, 4, 5                    |
| 4.  | Lokasi umpan masuk: n, n+1, n-1                 | Lokasi umpan masuk: n, n+1, n-1                 |

Dalam penelitian ini dilakukan variasi refluks rasio dimana variasi ini akan berpengaruh besar pada

komposisi keluaran distilasi, seperti yang tersajikan pada tabel 1 diatas. Dan dapat dilihat pada gambar 1 yang merupakan diagram alir simulasi ini.



Gambar 1. Diagram Alir Simulasi ABE

## HASIL DAN PEMBAHASAN

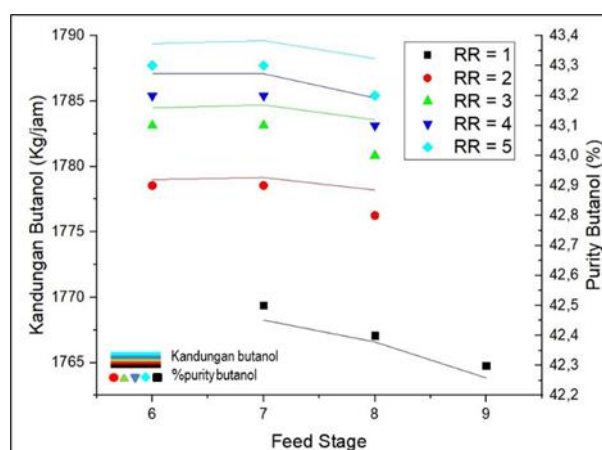
Berdasarkan simulasi pengaruh refluks rasio dan letak *feed stage* terhadap kemurnian dan %*recovery* n-butanol didapatkan hasil sebagai berikut. Jumlah tahapan yang ditentukan dalam penelitian ini adalah jumlah tahapan teoritis, yang dikorelasikan dengan jumlah tahapan yang sebenarnya dengan cara *trial error* menggunakan kolom DSTWU. Dalam penyelesaiannya akan diaplikasikan dalam kolom *radfrac* kemudian dilanjutkan separasi menggunakan dekanter. Selanjutnya ke tahap pemurnian dengan kolom *radfrac*. Diagram proses dari simulasi ini dapat dilihat pada gambar 2 berikut ini.

### Kolom Radfrac 1

Dalam simulasi *trial error* dihasilkan jumlah *stage*, letak *feed stage* dan D/F yang diperlukan untuk mengisi spesifikasi pada kolom distilasi *radfrac*. Variasi refluks rasio, jumlah *stage* dan letak *feed stage* menghasilkan kemurnian dan %*recovery* n-butanol yang berbeda-beda. Hasil simulasi pada kolom distilasi 1 jenis *radfrac* ini dapat dilihat pada tabel 2. Berdasarkan hasil simulasi, refluks rasio dan letak *feed stage* berpengaruh terhadap kandungan dan %*purity* butanol.

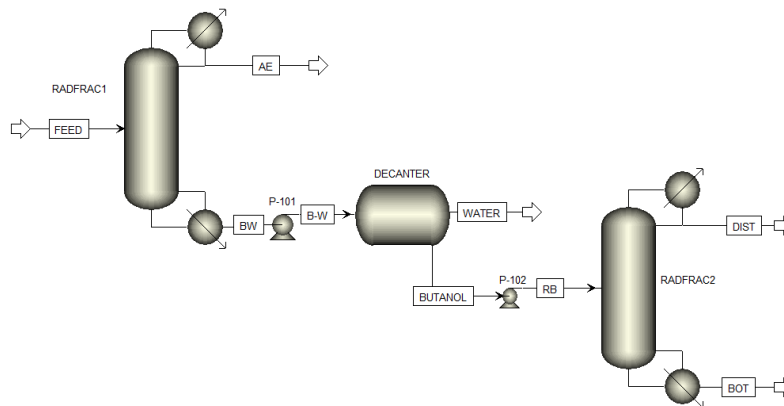
Tabel 2. Hasil Simulasi Kolom *Radfrac* 1

| Refluks Rasio | %Purity butanol | Kandungan butanol (kg/jam) | Feed Stage | Jumlah stage |
|---------------|-----------------|----------------------------|------------|--------------|
| 1             | 42,5            | 1768,26                    | 7          | 14           |
| 1             | 42,4            | 1766,59                    | 8          | 14           |
| 1             | 42,3            | 1763,84                    | 9          | 14           |
| 2             | 42,9            | 1778,99                    | 6          | 13           |
| 2             | 42,9            | 1779,16                    | 7          | 13           |
| 2             | 42,8            | 1778,20                    | 8          | 13           |
| 3             | 43,1            | 1784,47                    | 6          | 12           |
| 3             | 43,1            | 1784,70                    | 7          | 12           |
| 3             | 43,0            | 1783,56                    | 8          | 12           |
| 4             | 43,2            | 1787,08                    | 6          | 11           |
| 4             | 43,2            | 1787,09                    | 7          | 11           |
| 4             | 43,1            | 1785,24                    | 8          | 11           |
| 5             | 43,3            | 1789,38                    | 6          | 11           |
| 5             | 43,3            | 1789,61                    | 7          | 11           |
| 5             | 43,2            | 1788,25                    | 8          | 11           |



Gambar 2. Hubungan kandungan butanol dan purity butanol terhadap *feed stage* kolom 1

Gambar 3 di atas menunjukkan bahwa semakin tinggi refluks rasio maka semakin banyak pula butanol yang dapat dipisahkan dari campuran ABE pada kolom distilasi (ditarik garis ke sebelah kiri grafik). Karena nilai refluks rasio ini mempengaruhi konsentrasi distilat (*overhead*) dan kebutuhan panas kolom distilasi. Hasil yang sama pula didapatkan pada penelitian Fitriana, semakin besar refluks rasio, maka pengaruhnya terhadap konsentrasi distilat semakin tinggi [20]. Hal ini menyebabkan campuran aseton dan etanol terpisah semakin banyak dari butanol dengan tingginya refluks rasio.



Gambar 3. Diagram Proses Simulasi ABE (Aspen Plus V11)

Dimana aseton dan etanol terkumpul sebagai distilat dan butanol menjadi produk bawahnya. Sehingga fraksi distilat yang dihasilkan akan memiliki karakteristik berbeda sesuai dengan jenis dan kemurnian komponen yang terdapat dalam distilat tersebut, begitu pula dengan butanol yang terkumpul di produk bawah. Dan lokasi *feed stage* ini akan mempengaruhi kandungan butanol dan refluks rasio. Cara penyajian gambar dapat dilihat pada Gambar 1. Apabila gambar tersebut adalah sumber sekunder maka perlu disebutkan sumbernya. Keterangan gambar diletakan pada bagian bawah gambar. Gambar tidak perlu dibingkai.

Dalam menentukan letak *feed stage* dapat digunakan persamaan Kirkbride, sebagai berikut [21]:

$$\log \left( \frac{Nr}{Ns} \right) = 0,206 \times \log \left[ \left( \frac{B}{D} \right) \left( \frac{x_{HK,F}}{x_{LK,F}} \right) \left( \frac{x_{LK,B}}{x_{HK,D}} \right)^2 \right] \quad (2)$$

Keterangan:

- B = Laju alir molar *bottom* (Kmol/jam)
- D = Laju alir molar distilat (Kmol/jam)
- X<sub>lk, F</sub> = Fraksi mol *light key* di *feed*
- X<sub>hk, F</sub> = Fraksi mol *heavy key* di *feed*
- X<sub>lk, B</sub> = Fraksi mol *light key* pada *bottom*
- X<sub>hk, D</sub> = Fraksi mol *heavy key* pada Distilat
- N<sub>r</sub> = *Number of stage* di atas *feed*
- N<sub>s</sub> = *Number of stage* di bawah *feed*

Pada persamaan diatas menunjukkan bahwa letak *feed stage* itu dipengaruhi oleh laju alir molar *bottom* dan distilat, serta fraksi mol *heavy key* dan *light key* pada *feed*, *bottom* dan distilat. Maka jika memvariasikan letak *feed stage*nya maka itu akan berpengaruh dan mengubah kandungan butanol di *bottom* dan distilat pada kolom distilasi.

Pada gambar 3 di atas menunjukkan semakin tinggi refluks rasio maka letak *feed stage* akan semakin turun dengan diikuti banyaknya kandungan butanol yang terpisah. Hal yang sama dengan penelitian Chairul Irawan,dkk dimana refluks rasio akan turun dengan naiknya letak *feed stage* [22]. Kandungan butanol

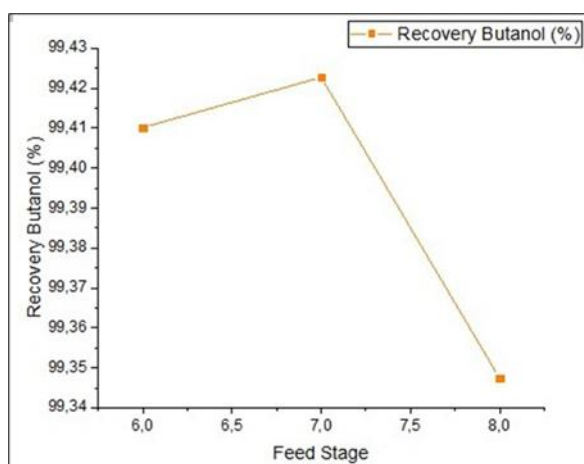
mengalami kenaikan jika *feed stage* diturunkan sebesar 1 *stage* dari *feed stage* idealnya, sedangkan kenaikan *feed stage* akan mempengaruhi kandungan butanol menjadi lebih sedikit dari kandungan butanol pada *feed stage* yang telah ditentukan oleh alat simulasi *Aspen Plus*. Namun, perlu diperhatikan bahwa kenaikan nilai kandungan butanol akibat perubahan *feed stage* hanya sedikit sekali. Lokasi yang tepat dari titik umpan mempengaruhi jumlah tahapan yang diperlukan untuk pemisahan dalam kolom dan operasi selanjutnya. Dalam ketentuan umum, umpan harus memasuki kolom pada tahapan yang paling tepat antara komposisi umpan (uap dan cairan dua fase) dan aliran uap dan cairan dalam kolom [23].

Berdasarkan hasil simulasi maka didapatkan bahwa kondisi operasi pada kolom 1 paling baik adalah pada refluks rasio 5, dengan letak *feed stage* ke-7 dan jumlah *stage* sebanyak 11 *stages* yang menghasilkan kandungan butanol sebanyak 1789,61 kg/jam. Berdasarkan gambar 3 terdapat gambar hubungan *purity* butanol terhadap *feed stage* dari variasi refluks rasio (ditarik garis ke sebelah kanan grafik) yang menunjukkan bahwa semakin tinggi refluks rasio maka kemurnian atau *%purity* butanol akan semakin tinggi. Namun tidak dengan letak *feed stage*, dimana letak *feed stage* ideal disetiap variasi refluks rasiolah (sesuai *trial* kolom DSTWU) yang paling tinggi *%purity* butanolnya. Dimana *%purity* butanol ini merupakan persentase hasil kemurnian butanol (produk bawah) terhadap total keluaran komponen pada produk bawah, seperti persamaan rumus di bawah ini.

$$\%purity \text{ butanol} = \frac{\text{komponen butanol produk bawah}}{\text{total komponen produk bawah}} \times 100\% \quad (3)$$

Gambar 3 menunjukkan pada kolom *radfrac* 1 yang memiliki kemurnian tertinggi yaitu sebesar 43,2% dengan kondisi operasi refluks rasio 5 letak *feed stage* ke-7 dan jumlah *stage* 11. Sementara untuk kemurnian terendah yaitu sebesar 42,2% dengan kondisi operasi refluks rasio 1, letak *feed stage* 9 dan jumlah *stage* 14.

Dalam hal ini, perubahan *feed stage* terhadap hasil %purity butanol hanya berpengaruh sedikit.



Gambar 4. Hubungan %recovery butanol terhadap refluks rasio kolom 1

Berdasarkan hasil simulasi pada gambar 4, %recovery butanol paling tinggi disetiap refluks rasio terdapat pada kondisi idealnya (asli sesuai simulasi DSTWU). Sehingga pada gambar 4 yang merupakan gambar hubungan refluks rasio dan %recovery butanol dibuat untuk menunjukkan bahwa peningkatan refluks rasio akan mempengaruhi nilai persentase recovery butanol menjadi lebih besar dan perubahan letak *feed stage* dari kondisi ideal akan menjadikan %recovery butanol menjadi lebih sedikit. Dimana %recovery butanol ini adalah hasil pemulihan butanol dari butanol yang keluar sebagai *bottom* produk terhadap kandungan butanol pada umpan, seperti persamaan rumus di bawah ini.

$$\%recovery \text{ butanol} = \frac{\text{komponen butanol produk bawah}}{\text{komponen butanol pada umpan}} \times 100\% \quad (4)$$

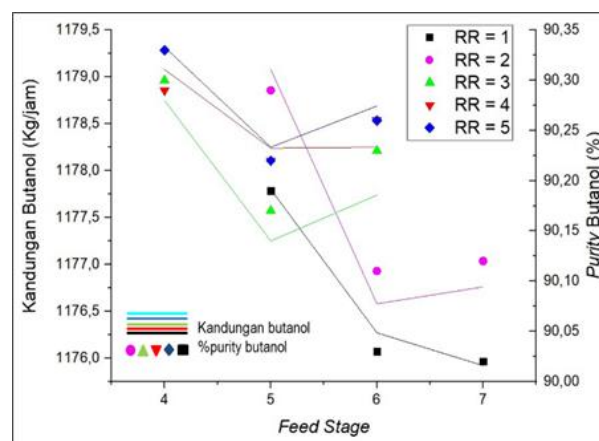
Pada refluks rasio 5, jumlah *stage* 11, dan letak *feed stage* ke-7 besar recovery butanol mencapai 99,42%. Reflüks rasio 5 ini terpilih dikarenakan, pada reflüks rasio ini lah kandungan butanol yang paling banyak. Hal ini dikarenakan tinggi reflüks rasio menyebabkan semakin banyak distilat yang terakumulasi pada bagian atas kolom, sehingga mendukung recovery butanol yang semakin tinggi. Dimana reflüks rasio 1 dibandingkan reflüks rasio 2, begitu pula dengan reflüks rasio 2 menghasilkan recovery butanol yang lebih rendah dibandingkan reflüks rasio 3, dan seterusnya. Rasio reflüks yang terlalu kecil berdampak akan terjadinya pemisahan komponen yang tidak tepat, sehingga menghasilkan fraksi yang belum murni sebab masih mengandung komponen lain yang tidak diinginkan. Sedangkan rasio reflüks yang terlalu besar akan menghasilkan pemisahan komponen yang berlangsung lambat dan tidak efisien, walaupun mampu menghasilkan kemurnian komponen yang tinggi [24].

## Kolom Radfrac 2

Selanjutnya dari kolom *radfrac* 1 akan dialirkan menuju *decanter* untuk dilakukan pemisahan antara butanol-air berdasarkan prinsip sentrifugal. Aliran keluar dari *decanter* yang beroperasi pada suhu 50°C dengan komposisinya berisi aseton 0,002%wt ; n-butanol 0,76 %wt ; etanol 0,018%wt dan air 0,22%wt akan diumpankan ke kolom distilasi *radfrac* 2. Dimana pada kolom *radfrac* 2 dilakukan tahap pemurnian butanol. Dalam tahap pemurnian butanol yang menjadi *light key* adalah air dan *heavy key* adalah butanol. Pertama-tama perlu dilakukan *trial error* menggunakan kolom DSTWU sehingga menghasilkan jumlah *stage*, letak *feed stage* dan D/F yang diperlukan untuk mengisi spesifikasi pada kolom *radfrac* 2. Hasil simulasi pada kolom *radfrac* 2 dapat dilihat pada tabel 3 di bawah ini.

Tabel 3. Hasil Simulasi Kolom Radfrac 2

| Refluks Rasio | %Purity butanol | Kandungan butanol (kg/jam) | Feed Stage | Jumlah Stage |
|---------------|-----------------|----------------------------|------------|--------------|
| 1             | 90,19           | 1177,80                    | 5          | 6            |
| 1             | 90,03           | 1176,27                    | 6          | 6            |
| 1             | 90,02           | 1175,92                    | 7          | 6            |
| 2             | 90,29           | 1179,08                    | 5          | 6            |
| 2             | 90,11           | 1176,58                    | 6          | 6            |
| 2             | 90,12           | 1176,76                    | 7          | 6            |
| 3             | 90,30           | 1178,75                    | 4          | 5            |
| 3             | 90,17           | 1177,25                    | 5          | 5            |
| 3             | 90,23           | 1177,74                    | 6          | 5            |
| 4             | 90,29           | 1179,08                    | 4          | 5            |
| 4             | 90,22           | 1178,24                    | 5          | 5            |
| 4             | 90,26           | 1178,25                    | 6          | 5            |
| 5             | 90,33           | 1179,32                    | 4          | 5            |
| 5             | 90,22           | 1178,25                    | 5          | 5            |
| 5             | 90,26           | 1178,69                    | 6          | 5            |



Gambar 5. Hubungan kandungan butanol purity butanol terhadap *feed stage* kolom 2

Dari gambar 5 di atas menunjukkan bahwa penambahan dan pengurangan letak *feed stage* sebesar 1 *stage* dari nilai idealnya (dari simulasi *trial* dengan kolom

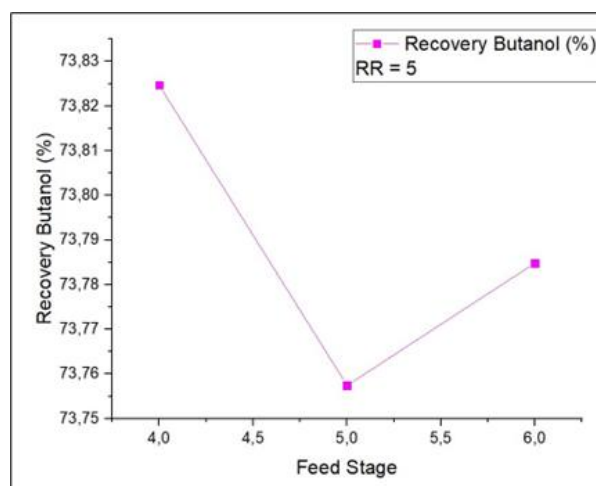
DSTWU) akan mempengaruhi kandungan butanol (ditarik garis ke sebelah kiri grafik). Sedangkan pengaruh refluks rasionya tidak dapat diprediksi karena semakin tinggi refluks tidak menandakan semakin tinggi kandungan butanol terus menerus. Terdapat perbedaan yang signifikan pada saat setiap variasi refluks rasio. Saat refluks rasio 1, jumlah *stage* 6 dan letak *feed stage* 5 kandungan butanol sebanyak 1177,80 kg/jam. Saat refluks rasio 2, jumlah *stage* 6 dan letak *feed stage* 5 kandungan butanol sebanyak 1179,08 kg/jam. Saat refluks rasio 3, jumlah *stage* 5, dan letak *feed stage* 5 kandungan butanol sebanyak 1177,25 kg/jam. Saat refluks rasio 4, jumlah *stage* 5 dan letak *feed stage* 5 kandungan butanol sebanyak 1178,24 kg/jam. Dan saat refluks rasio 5, jumlah *stage* 5 dan letak *feed stage* 5 kandungan butanol sebanyak 1178,25. Hal ini menunjukkan naik turun kandungan butanol yang tidak terbaca. Hal ini menunjukkan kesulitan dalam tahap pemurnian butanol, karena adanya azeotropik pada campuran butanol-air. Dengan naiknya refluks rasio menunjukkan bahwa semakin banyak butanol yang terakumulasi menjadi distilat. Bukan menjadi produk bawahnya. Namun dari keadaan ideal tersebut yang paling banyak memisahkan butanol dari campuran tersebut adalah saat refluks rasio 5, jumlah *stage* 5 dan letak *feed stage* 4 dengan kandungan butanol yang tinggi sebanyak 1179,32 kg/jam, sehingga hal ini menjadikannya kondisi operasi yang paling baik untuk kolom 2.

Untuk pengaruh perubahan letak *feed stage*, saat pengurangan letak *feed stage* ideal akan membuat kandungan butanol semakin sedikit. Hal ini berbeda dengan hasil yang didapatkan pada simulasi kolom 1. Hal sebaliknya terjadi pada kolom 2 di tahap pemurnian ini, dimana komponen dominannya adalah butanol dan sedikit air, serta sebagian kecil aseton dan etanol. Untuk refluks rasio 3,4 dan 5 tidak memungkinkan untuk penambahan letak *feed stage* karena letak *feed stage* idealnya (5) berada pada jumlah *stage* maksimumnya (5), sehingga pengaruh terhadap penurunan letak *feed stage* menyebabkan peningkatan jumlah kandungan butanol. Namun untuk refluks rasio dengan jumlah *stage* 5 dan letak *feed stage* 4 yang terdapat kandungan butanol tertinggi dari semua variasi variabel refluks rasio dan letak *feed stage*. Hal ini dikarenakan refluks rasio akan turun dengan naiknya letak *feed stage* sampai pada letak *feed stage* tertentu, kemudian nilai refluks rasio akan naik kembali. Hal ini tergantung dari komposisi dan ketidakidealan campuran (butanol-air), sehingga letak *feed stage* sangat berpengaruh terhadap refluks rasio. Letak *feed stage* ini mempengaruhi kesetimbangan uap-cair (VLE) dalam kolom setiap *stage*. Refluks rasio minimum yaitu 1 terletak pada *stage* ke-7, sedangkan letak *feed stage* yang optimum yaitu 4 ditunjukkan oleh

refluks rasio 5 dan kandungan butanol yang paling tinggi untuk jumlah *stage* 5.

Gambar 5 di atas menunjukkan bahwa perubahan *feed stage* berpengaruh pada nilai %purity butanol (ditarik garis ke sebelah kanan grafik). Dari gambar di atas, menurunkan letak *feed stage* sebesar 1 *stage* dari posisi awal akan meningkatkan *purity* butanol. Tetapi kembali lagi bahwa %purity ini bergantung terhadap kandungan butanol pada produk bawah. Berdasarkan gambar 5, kandungan butanol yang paling tinggi adalah pada refluks rasio 2, jumlah *stage* 6 dan letak *feed stage* ke-5 yaitu sebesar 1179,08 kg/jam. Dan untuk %purity yang dihasilkan yaitu sebesar 90,3%.

Dari gambar 6 di atas menunjukkan bahwa dengan menurunkan *feed stage* akan meningkatkan nilai %recovery butanol. Hal ini dikarenakan %recovery ini bergantung pada kandungan butanol keluar sebagai produk bawah terhadap kandungan butanol sebagai umpan. %recovery butanol yang dihasilkan akan meningkat seiring dengan bertambahnya refluks rasio. Namun, peningkatan %recovery butanol tidak menunjukkan gambar yang signifikan.



Gambar 6. Hubungan %recovery butanol terhadap *feed stage* kolom 2

Hal ini dibuktikan dengan adanya penurunan nilai kandungan butanol pada refluks rasio 3. Dan kemudian meningkat lagi pada refluks rasio 4 dan 5. Sehingga %recovery butanol yang didapatkan pada refluks rasio 5 dengan jumlah *stage* 5 dan letak *feed stage* ke-4 yaitu sebesar 73,82%.

## KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian simulasi pemisahan butanol dari campuran ABE menggunakan software Aspen Plus V11 ini, diantaranya:

1. Penentuan refluks rasio kolom *radfrac* mempengaruhi banyaknya kandungan butanol yang terkumpul di distilat. Hal ini ditunjukkan pada refluks rasio 5 kolom *radfrac* 1 yang menghasilkan kandungan utanol sebesar 1789,61 kg/jam dan kolom *radfrac* 2 menghasilkan 1179,32 kg/jam.
2. Penentuan letak *feed stage* dipengaruhi oleh laju alir molar dan fraksi mol komponen *heavy* dan *light key* pada *feed*, *bottom* dan distilat. Dan pada letak *feed stage* ideallah yang paling tepat untuk kolom pemisahan.
3. Kondisi optimum simulasi pemisahan butanol menjadi 90,33% adalah:
  - Kolom *radfrac* 1 dioperasikan pada tekanan 1,5 atm dengan refluks rasio 5, letak *feed stage* ke-7 dan jumlah *stage* 11.
  - Kolom *radfrac* 2 dioperasikan pada tekanan 2 atm dengan refluks rasio 5, letak *feed stage* ke-4 dan jumlah *stage* 5.
4. Penurunan refluks rasio kolom *radfrac* menyebabkan:
  - Penurunan kandungan butanol pada *bottom* sehingga kemurnian butanol ikut berkurang dan menurunnya %*recovery* atau pemulihan butanol.
  - Kenaikan letak *feed stage* dan bertambahnya jumlah *stage*. Kesimpulan ini dimaksudkan untuk menjawab masalah atau tujuan penelitian. Ini bukan hanya ringkasan dari topik utama yang dibahas atau pernyataan ulang masalah penelitian Anda, tetapi juga sebuah sintesis dari poin-poin utama dan dapat diterapkan dimana Anda merekomendasikan area baru untuk penelitian di masa depan.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. R. Ginting, "Pengukuran dan Korelasi Kesetimbangan cairan - cairan sistem terner dimethyl carbonat + butanol + H<sub>2</sub>O pada 303.15-313.15 K dan tekanan atmosferik," *Thesis.Surabaya Inst. Teknol. Sepuluh Nop.*, 2016.
- [2] Sulistyono, "Pemanasan Global (*Global Warming*) Dan Hubungannya Dengan Penggunaan Bahan Bakar Fosil," *J. Forum Teknol.*, vol. 02, no. 2, pp. 47–56, 2012.
- [3] M. N. Nurul Qomariyah, Karina Dania Agusta, Lesya Agness Khayatun Yuditya, Nanda Andrian Hidayah, "Laporan Akhir Program Kreativitas Mahasiswa Biobutanol Dari Limbah Tahu: Alternatif Aditif Pada Bensin Sebagai Biofuel Indonesia," *Inst. Pertan. BOGOR*, pp. 1–16, 2013.
- [4] L. Pudjiastuti et al., "Modelling and simulation of multicomponent acetone-butanol-ethanol distillation process in a sieve tray column," *Heliyon*, vol. 7, no. 4, p. e06641, 2021, doi: 10.1016/j.heliyon.2021.e06641.
- [5] L. S. Achmad Mostafa, E. Gumbira Sa'id, Ono Suparno, "Metode Pemisahan Campuran Aseton-Butanol-Etanol Hasil Fermentasi Secara Distilasi Bertingkat." Fakultas Teknologi Pertanian IPB Bogor.
- [6] I. Patraşcu, C. S. Bildea, and A. A. Kiss, "Eco-Efficient Butanol Separation In The ABE Fermentation Process," *Sep. Purif. Technol.*, vol. 177, pp. 49–61, 2017, doi: 10.1016/j.seppur.2016.12.008.
- [7] N. Qureshi and H. P. Blaschek, "Recent advances in ABE fermentation: Hyper-butanol producing *Clostridium beijerinckii* BA101," *J. Ind. Microbiol. Biotechnol.*, vol. 27, no. 5, pp. 287–291, 2001, doi: 10.1038/sj.jim.7000114.
- [8] I. J. Sidabutar, A. Widyasanti, S. Nurjanah, B. Nurhadi, T. Rialita, and E. Lembong, "Kajian Rasio Refluks Pada Isolasi Beberapa Senyawa Minyak Nilam (*Pogostemon Cablin Benth*) Dengan Metode Distilasi Fraksinasi," *J. Ilm. Rekayasa Pertan. dan Biosist.*, vol. 8, no. 1, pp. 71–78, 2020, doi: 10.29303/jrpb.v8i1.160.
- [9] R. K. Sinnott, *Chemical Engineering Design Volume 6 4th edition*, 4th ed. Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann., 2005.
- [10] Christie J. Geankoplis, *Transport Processes and Unit Operations*, Third Edit., vol. 49, no. 9. 1994.
- [11] T. K. D. C. freshwater Ross, *Chemical Engineering Data Book*. Leonard Hill (Books) Limited, London, 1958.
- [12] G. Lodi, G. De Guido, and L. A. Pellegrini, "Simulation and energy analysis of the ABE fermentation integrated with gas stripping," *Biomass and Bioenergy*, vol. 116, no. June, pp. 227–235, 2018, doi: 10.1016/j.biombioe.2018.06.012.
- [13] E. J. Seader, J.D., Henley, *Separation Process Principles*, second ed. John Wiley and Sons, Inc. United States of America, Second Ed. John Wiley and Sons, Inc. United States of America., 2006.
- [14] D. A. Rahman, Rizki Aulia and Kurniawan, "Pengukuran Kesetimbangan Uap-Cair Sistem Biner Etanol + 2-Butanol Dan Aseton + 2-Butanol, Serta Sistem Terner Etanol + Aseton + 2-Butanol Pada Tekanan 101.33 Kpa," *Undergrad. thesis, Inst. Teknol. Sepuluh Nop. Surabaya.*, 2014.
- [15] D. Hartanto, "Review Model dan Parameter Interaksi pada Korelasi Kesetimbangan Uap-Cair dan Cair-Cair Sistem Etanol (1) + Air (2) + Ionic Liquids (3) dalam Pemurnian Bioetanol," *J. Rekayasa Proses*, vol. 8, no. 1, pp. 1–11, 2014,

doi: 10.22146/jrekpros.5017.

- [16] E. D. Setiawati, “Pengukuran Dan Prediksi Kesetimbangan Uap-Cair Sistem *Experiment And Prediction Of Ternary Vapor-Liquid Equilibrium For Alcohols + Glycerol + Water Systems*,” 2015.
- [17] K. I. M. AL-MALAH, “*Aspen Plus Chemical Engineering Textbook*.” p. 623, 2017.
- [18] J. A. Marlatt and R. Datta, “</i>Acetone-Butanol Fermentation Process Development and Economic Evaluation</i>,” *Biotechnol. Prog.*, vol. 2, no. 1, pp. 23–28, 1986, doi: 10.1002/btpr.5420020106.
- [19] S. Skjold-Jprgensen, B. Kolbe, J. Gmehling, and P. Rasmussen, “Vapor-Liquid Equilibria by UNIFAC Group Contribution. Revision and Extension,” *Ind. Eng. Chem. Process Des. Dev.*, vol. 18, no. 4, pp. 714–722, 1979, doi: 10.1021/i260072a024.
- [20] Fitriana, “Pengaruh Kenaikkan *Reflux Ratio* Terhadap Kebutuhan Panas Pada Kolom Distilasi Dengan *Distributed Control System (Dcs)*,” 2010.
- [21] J. M. Coulson, R. K. Sinnott, and J. F. Richardson, “*Coulson & Richardson’s Chemical Engineering, Volume 6*,” p. 1045, 1999, [Online]. Available: [http://books.google.co.uk/books/about/Coulson\\_Richardson\\_s\\_Chemical\\_Engineerin.html?id=H-JGAAAAYAAJ&pgis=1](http://books.google.co.uk/books/about/Coulson_Richardson_s_Chemical_Engineerin.html?id=H-JGAAAAYAAJ&pgis=1).
- [22] C. Irawan and I. Nata, “Kondisi Optimum Pemisahan Aseton Dari Campuran Aseton-Etanol-Air-n-Butanol Dengan Kolom Distilasi Vacuum,” *Infoteknik*, vol. 6, no. 1, pp. 1–12, 2005.
- [23] R. K. Sinnott, *Chemical Engineering Design Volume 6 4th edition*, 4th ed. Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann., 2005.
- [24] J. Gilbert and S. Martin, “8.2 *Infrared (IR) Spectroscopy*,” *Exp. Org. Chemistry*, pp. 240–260, 2011.