



ARTICLE

Rancang Bangun dan Uji Karakteristik Kolom Isian sebagai Simulator Pengamatan Fenomena Foaming secara Fisik

Aulia Wafda Putri^{1}, Raghda Yumna Aqillah¹, Ahmad Fauzan¹*

¹ Politeknik Negeri Bandung, Indonesia

Koresponden: E-mail: aulia.wafda.tki20@polban.ac.id

Diterima 01 Okt 2024
Diperbaiki 25 Okt 2024
Diterbitkan 15 Nov 2024

ABSTRAK

Packed Column merupakan kolom dengan isian yang digunakan pada proses pemisahan dua fasa seperti absorpsi dan distilasi. Permasalahan yang terjadi dalam kolom salah satunya adalah foaming yang disebabkan oleh kondisi kimia maupun fisik seperti rasio L/G dan temperatur. Diperlukan sebuah simulator packed column sebagai media pengamatan pengaruh kondisi fisik pada proses terjadinya foaming. Simulator dibangun dengan merancang diameter dan tinggi kolom serta dimensi packing. Hasil yang diperoleh adalah packed column berbahan akrilik dengan diameter dalam 11 cm, tinggi total 85.5 cm dengan plenum chamber 9.5 cm dan packing berjenis raschig ring PVC berukuran 1 cm serta simulator yang dibuat dapat digunakan untuk mengamati fenomena foaming dan beroperasi secara kontinyu dengan aliran counter-current. Penelitian dilakukan dengan menganalisis pengaruh rasio L/G dan temperatur umpan cairan. Pengaruh rasio L/G terhadap nilai foam height bersifat fluktuatif dengan titik tertinggi pada rasio L/G 0.70 dengan nilai foam height 38 cm dari atas permukaan packing. Nilai foam height berbanding terbalik dengan temperatur, dimana semakin tinggi temperatur maka foam height semakin rendah. Temperatur tertinggi yang digunakan 40°C dan foam height 23 cm. Nilai collapse time dipengaruhi oleh foam height, pada nilai foam height tertinggi 38 cm diperoleh collapse time pada rentang 65 menit, semakin besar foam height maka semakin besar collapse time. Nilai foam height yang besar memiliki jumlah foam lebih banyak, sehingga butuh waktu collapse time lebih lama.

Kata Kunci: *Foaming; Packed Column; Rasio Laju Alir; Temperatur.*

ABSTRACT

Packed Column is a column with stuffing used in two-phase separation processes such as absorption and distillation. One of the problems that occur in the column is foaming which is caused by chemical and physical conditions such as the L/G ratio and temperature. A packed column simulator is needed as a medium for observing the effect of physical conditions on the process of foaming. The simulator is built by designing column diameter and height as well as packing dimensions. The results obtained are a packed column made of acrylic with an inner diameter of 11 cm, a total height of 85.5 cm with a plenum chamber of 9.5 cm and a packing type of Raschig ring PVC 1 cm and a simulator made can be used to observe foaming phenomena and operate continuously with counter-flow. current. The research was carried out by analyzing the influence of the L/G ratio and liquid feed temperature. The effect of the L/G ratio on the foam height value is fluctuating with the highest point at the L/G ratio of 0.70 with a foam height value of 38 cm from the top of the packing surface. The value of foam height is inversely proportional to temperature, where the higher the temperature, the lower the foam height. The highest value was at a temperature of 40°C and a foam height of 23 cm. The collapse time value is affected by the foam height, at the highest foam height value of 38 cm, the collapse time is obtained in the range of 65 minutes, the greater the foam height, the greater the collapse time. A large foam height value has a greater amount of foam, so it takes a longer collapse time.

Keyword: *Foaming; Packed Column; Flow Rate Ratio; Temperature.*

ARTICLE

PENDAHULUAN

Packed column merupakan alat yang digunakan untuk memisahkan suatu campuran yang mengandung dua atau lebih komponen zat menjadi beberapa komponen berdasarkan perbedaan volatilitas. *Packed column* digunakan untuk mengontakkan *liquid* dan *vapor* secara kontinyu baik aliran secara *counter current* maupun *co-current* dengan menggunakan media *packing* untuk menyediakan luas kontak yang besar antara kedua fasa [1].

Permasalahan yang dapat terjadi pada kolom dapat disebabkan oleh masalah secara fisik, mekanis, ataupun kimia. Salah satu permasalahan yang terjadi adalah fenomena *foaming*. *Foaming* merupakan masalah yang banyak terjadi di lapangan khususnya dalam *packed column* yang sering digunakan dalam proses absorpsi, distilasi, ataupun ekstraksi. *Foam* di dalam kolom menyebabkan masalah karena dapat menghambat proses hidrolis. Secara umum, ada dua masalah yang berkaitan dengan *foaming*: pertama, kecenderungan proses untuk menghasilkan *foam*; dan kedua, kecenderungan proses untuk menghancurkan *foam* [2-7].

Foam merupakan kumpulan *bubble* yang terbentuk oleh terperangkapnya udara atau gas dalam zat cair. *Foam* dalam bahasa Indonesia berarti buih sedangkan *bubble* dalam bahasa Indonesia berarti gelembung. Gelembung merupakan bentuk bola-bola yang berisi udara. *Foam* sering menjadi produk samping yang tidak diinginkan dalam pembuatan berbagai zat [8-10].

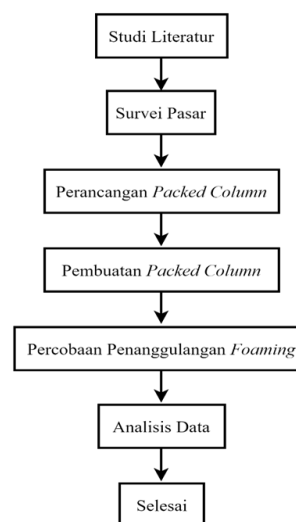
Foam merupakan masalah serius bagi proses kimia seperti pada proses biokimia dengan bahan biologis, seperti protein yang mudah menghasilkan gelembung selama proses agitasi dan/atau aerasi. Pada proses fermentasi aerobik, *foam* dapat menghambat aliran cairan dan menghalangi transfer oksigen dari udara sehingga mencegah respirasi mikroba. Dampak dari *foaming* ini juga menyebabkan terlepasnya larutan *benfield* ke udara yang mengandung NH_3 salah satunya NH_4OH yang mudah terdegradasi sehingga menimbulkan bau yang berdampak terhadap lingkungan [11-13].

Faktor-faktor negatif yang dapat terjadi pada kolom, diantaranya adalah permasalahan *foaming* (Febriyanto). Disebutkan bahwa *foaming* ini secara garis besar dipengaruhi oleh kandungan yang terdapat pada absorber, dan memungkinkan dapat dipengaruhi oleh beberapa kondisi fisik seperti pengaruh rasio L/G, temperatur dan tekanan [15-16].

Untuk mempelajari masalah *foaming* dalam *packed column*, maka diperlukan sebuah simulator agar dapat mengamati pengaruh terjadinya *foaming* secara fisik pada kolom isian. Oleh karena itu, dalam tugas akhir ini akan dirancang, dibuat dan dilakukan uji karakteristik simulator kolom isian. Manfaat dari penelitian ini diharapkan dapat dijadikan informasi acuan bagi kondisi operasi pada kolom agar dapat meminimalkan fenomena *foaming* yang disebabkan oleh kondisi fisik seperti rasio L/G dan temperatur [17-18].

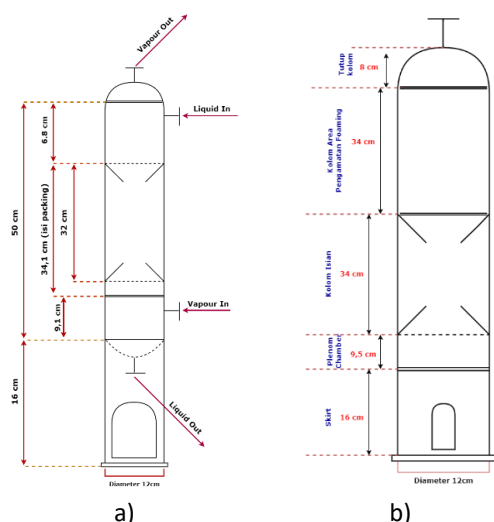
METODE

Penelitian dilakukan di Laboratorium Teknik Kimia, Politeknik Negeri Bandung. Langkah penelitian rancang bangun simulator *packed column* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Langkah penelitian

Penelitian dimulai dengan merancang kolom isian yang digunakan sebagai tempat terjadinya *foaming*. Perancangan *packed column* dilakukan berdasarkan hasil rancangan oleh Ludwig [16] menggunakan metode perbandingan sehingga didapatkan simulator skala laboratorium. Perancangan dimulai dengan penentuan diameter kolom yang disesuaikan dengan survey pasar, perhitungan tinggi kolom, dan penentuan diameter *packing* (jenis *raschig ring*). Pada simulator, ditambahkan kolom kosong sebagai area pengamatan fenomena *foaming*.



Gambar 2. a) Konsep Perancangan, b) Konsep Perancangan setelah Perbandingan dengan Konsep Ludwig [16].

Perhitungan *scale down* simulator *packed column* dimulai dengan penetapan nilai tinggi kolom 50 cm. Berikut contoh perhitungan tinggi isi *packing*:

$$\text{Tinggi Isi Packing} = \frac{\text{Tinggi kolom} \times \text{Tinggi isi packing perbandingan}}{\text{Tinggi kolom perbandingan}}$$

$$\text{Tinggi Isi Packing} = \frac{50 \text{ cm} \times 15}{22}$$

$$\text{Tinggi Isi Packing} = 34,1 \text{ cm}$$

2.1 Alat

Peralatan yang digunakan dalam rancangan *packed column* ditunjukkan dalam tabel di bawah ini.

Tabel 1. Peralatan yang digunakan

Alat	Spesifikasi	Jumlah
Kolom Akrilik	(OD 12 / ID 11 / Th 0,5) cm	113 cm
Flange Akrilik	(OD 15 / ID 13 / Th 1) cm	9
Karet Seal Flange	(OD 15 / ID 13 / Th 0,5) cm	5
Supporting Tray Akrilik	(OD 17 / Th 0,5) cm	1
Pompa Sentrifugal	30 L/m	1
Tangki Air	50 L	1
Kompressor	7 bar	1
Bar Gauge	10 PSI	1
Flowmeter Udara	20 L/m	1
Flowmeter Air	7 L/m	1
Lampu		1
Sprayer		1

2.2 Bahan

Bahan utama yang digunakan adalah surfaktan dengan nama Tipol CH53 untuk pembuatan *foam*. Sebagai fasa cair adalah larutan tipol, dan fasa gas adalah udara. Konsentrasi yang digunakan untuk larutan *foamer* adalah tipol 0,2% dalam 15 L air.

2.3 Prosedur

Prosedur dari penelitian pengamatan fenomena *foaming* terdiri dari pengoperasian alat dan pengujian alat.

Pengoperasian Alat

Pada tahap ini terdiri dari *pre-commissioning*, *commissioning* dan operasi normal. *Pre-commissioning* bertujuan untuk mempersiapkan dan memastikan peralatan siap digunakan, terdiri dari uji kebocoran, kelistrikan, perpipaan, pompa dan instrumen lainnya. Tahap *commissioning* dilakukan untuk memastikan keseluruhan alat dapat bekerja dengan baik sebagai sebuah simulator. Alat dapat dioperasikan pada laju alir air dan gas yang ditetapkan pada operasi normal.

Pengujian Alat

Pengujian dimulai dengan penentuan konsentrasi *foamer* yang digunakan dengan mengoperasikan alat pada operasi normal. Penentuan konsentrasi ini dilakukan untuk mengetahui kualitas *foam* terbaik yang dapat diamati pada kolom. Pengujian dilakukan dengan menganalisis pengaruh temperatur cairan umpan dan rasio L/G pada meningkatnya fenomena *foaming* dalam kolom selama 3 menit operasi. Temperatur cairan umpan divariasikan pada rentang 25-40°C dan rasio L/G pada rentang 0,33-0,70. Analisis nilai *foam height* dan *collapse time* dilakukan setelah alat berhenti beroperasi dan *foam* dalam keadaan stabil. *Foam height* merupakan tinggi *foam* dari atas *packing* dan *collapse time* merupakan lama waktu *foam* untuk hilang.

HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Rancang Bangun Simulator Packed Column

Kolom ini dirancang memiliki isian berjenis *random packing* sebagai tempat terjadinya kontak secara langsung antara aliran air dan gas yang masuk secara *counter-current* dengan nilai *pressure drop* yang rendah. Kolom juga didesain agar dapat beroperasi dalam temperatur maksimum 60°C dan tekanan atmosferik. Hasil dari perancangan, kolom dapat menghasilkan fenomena *foaming* yang dapat diamati nilai *foam height* dan *collapse time* dengan pengaruh yang diatur. Berikut merupakan gambar simulator *packed column*.



Gambar 3. Simulator *Packed Column* Hasil Rancang Bangun

Simulator terdiri dari 2 bagian alat, yaitu alat utama dan alat pendukung. Alat utama terdiri dari kolom yang dilengkapi dengan *packing*, *supporting*, *skirt*, kolom area *foaming*, dan penutup kolom. Sedangkan alat pendukung yang digunakan diantaranya tangki, pompa, *valve*, perpipaan, alat ukur aliran, kompresor, seperangkat alat *sprayer* dan meja kerja.

3.2. Pengaruh Konsentrasi Tipol Terhadap *Foam Height*

Pada percobaan, laju alir gas yang digunakan ditetapkan pada 15 LPM dengan laju alir air 5 dan 7 LPM. Percobaan pertama dilakukan dengan menggunakan konsentrasi tipol sebanyak 2%. Hasil *foaming* yang terbentuk dengan konsentrasi 2% akan berada pada ketinggian ±40 cm diatas *packing* pada waktu tertentu, begitupun dengan konsentrasi selanjutnya. Percobaan ini bertujuan untuk mengetahui *foam* terbaik yang terbentuk pada kolom sebagai variabel kontrol untuk penelitian selanjutnya. Berikut merupakan data hasil percobaan pendahuluan.

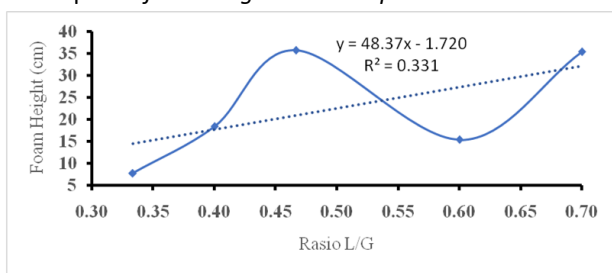
Tabel 2. Hasil Percobaan Pendahuluan

Konsentrasi (%)	2,0	1,0	0,5	0,2	0,1
<i>Foam Height</i> (s)	20-30	70-80	120-150	180-220	300-350

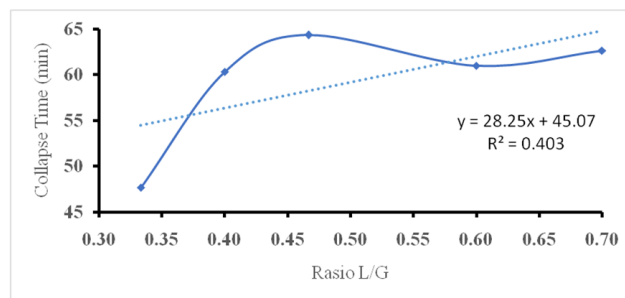
Berdasarkan data yang didapatkan, semakin besar konsentrasi tipol yang digunakan maka *foaming* dalam kolom akan lebih cepat terbentuk. *Foaming* yang terbentuk tidak selalu stabil. Adakalanya volume *foam* yang terbentuk besar dan tidak padat, serta volume *foam* yang kecil dan padat. Begitu pun juga terbentuk *foam* dengan kombinasi volume besar dan kecil. Pada umumnya ketika laju alir gas tinggi, maka *foam* yang terbentuk bervolume kecil dan padat. Adapun *foam* dengan volume besar akan dengan cepat menghilang ketika operasi.

3.3. Pengaruh Rasio L/G Terhadap *Foam Height* dan *Collapse Time*

Variasi nilai rasio L/G ditetapkan pada 0,70 ; 0,60 ; 0,47 ; 0,40 ; 0,33. Nilai laju alir gas yang digunakan adalah 10 dan 15 LPM. Sedangkan laju alir air yang digunakan adalah 5, 6 dan 7 LPM. Nilai laju alir gas yang ditetapkan merupakan nilai batas minimum dan maksimum *foaming* yang dapat terbentuk dalam kolom, begitu juga dengan laju alir air. Berikut merupakan hasil percobaan bagi pengaruh rasio L/G terhadap nilai *foam height* dan *collapse time*.



Gambar 4. Kurva Pengaruh Rasio L/G terhadap *Foam Height*



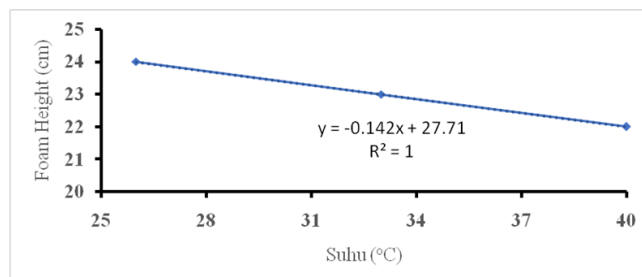
Gambar 5. Kurva Pengaruh Rasio L/G terhadap *Collapse Time*

Berdasarkan hasil percobaan dapat dilihat jika pada rasio L/G 0,70 nilai *foam height* 38 cm, sedangkan pada rasio L/G 0,33 nilai *foam height* 8 cm. Pada rasio L/G 0,47 nilai *foam height* 35 cm, nilai ini tidak berbeda jauh dengan rasio L/G 0,70 sehingga pengaruh rasio L/G terhadap *foam height* bersifat fluktuatif. Hal ini dikarenakan laju pertumbuhan *foaming* yang tidak stabil dan volume *foam* yang dihasilkan tidak sama rata. Maka dapat disimpulkan jika dengan semakin tinggi laju alir gas, maka *foaming* yang dihasilkan semakin tinggi. Dengan laju alir gas yang tinggi, gas akan mudah terperangkap pada cairan sehingga *foaming* yang dihasilkan pun semakin padat. Begitupula jika laju alir air tinggi, maka *foaming* yang terbentuk akan semakin tinggi.

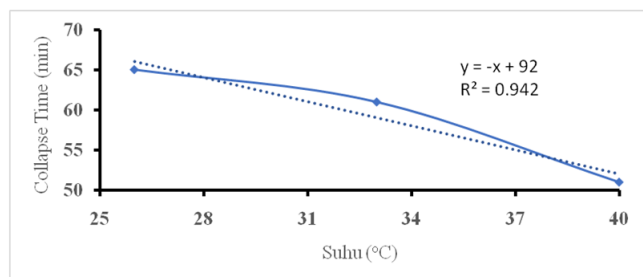
Nilai *collapse time* merupakan waktu bertahannya *foam* hingga *foam* tersebut pecah. Pada percobaan ini, nilai *collapse time* memiliki rentang yang tidak berbeda jauh pada waktu 45-70 menit. Hal ini bisa disebabkan karena nilai *collapse time* bagi zat pembusa (tipol) berada pada rentang tersebut dan dipengaruhi oleh nilai *foam height*. Berdasarkan kurva, titik tertinggi *collapse time* 68 menit dengan *foam height* 38 cm dan titik terendah *collapse time* 49 menit dengan *foam height* 17 cm.

3.4. Pengaruh Temperatur Terhadap *Foam Height* dan *Collapse Time*

Variasi temperatur yang digunakan pada penelitian ini adalah 26°C, 33°C, dan 40°C. Penelitian ini dilakukan untuk melihat pengaruh temperatur terhadap nilai *foam height* dan *collapse time*. Dengan menggunakan konsentrasi tipol sebesar 0,2% dalam 15 L air. Dan laju alir gas yang digunakan sebesar 10 LPM dan 15 LPM. Sedangkan laju alir air yang digunakan adalah 5, 6, dan 7 LPM. Hasil penelitian ini dapat dilihat pada grafik berikut.



Gambar 6. Kurva Pengaruh Temperatur terhadap *Foam Height*



Gambar 7. Kurva Pengaruh Temperatur terhadap Collapse Time

Pada grafik tersebut dapat dilihat pada laju alir gas 10 LPM serta laju alir air sebesar 6 dan 7 LPM, pada temperatur 26°C memiliki nilai *foam height* sebesar 17 dan 38 cm. Sedangkan pada temperatur 33°C memiliki nilai *foam height* sebesar 15 dan 35 cm, serta pada temperatur 40°C sebesar 14 dan 33 cm. Begitupun dengan laju alir gas 15 LPM yang memiliki nilai *foam height* yang semakin rendah seiring dengan bertambahnya temperatur. Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi temperatur maka semakin rendah nilai *foam height* yang terbentuk. Hal ini dikarenakan pada temperatur yang tinggi molekul-molekul cairan akan bergerak lebih cepat dan pengaruh interaksi antara molekul berkurang sehingga tegangan permukaan menjadi turun. Oleh karena itu, temperatur yang tinggi dapat mempengaruhi ketinggian *foam* pada kolom.

Nilai *collapse time* pada temperatur 26°C adalah sekitar 52-67 menit. Sedangkan pada temperatur 33°C memiliki nilai *collapse time* sekitar 50-65 menit serta pada temperatur 40°C sekitar 41-56 menit. Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi temperatur maka semakin rendah nilai *collapse time*. Hal ini juga dipengaruhi oleh tegangan permukaan pada *foam*. Pada saat temperatur tinggi maka tegangan permukaannya akan semakin kecil sehingga *foam* yang terbentuk pada temperatur yang tinggi akan lebih mudah pecah dan tidak akan bertahan lama.

KESIMPULAN

Berdasarkan rangkaian penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Simulator *Packed Colum* telah selesai dibangun dan telah berhasil dioperasikan untuk mengamati karakteristik pengaruh fisik pada fenomena *foaming*. Karakteristik dan variabel proses dari simulator yaitu:
 - a) Karakteristik alat *packed column*: kolom dibuat dari bahan akrilik dengan diameter dalam 11 cm, diameter luar 12 cm dan tinggi total 85,5 cm. *Packing* yang digunakan adalah *raschig ring* dengan diameter dan tinggi 1 cm yang disusun secara *random* dalam kolom dengan tinggi 34 cm. Serta *plenum chamber* dengan tinggi 9,5cm.

- b) Variabel proses: suhu maksimum umpan masuk 40°C, laju alir air 5-7 LPM dan laju alir gas 10-15 LPM.
2. Proses terjadinya fenomena *foaming* dipengaruhi oleh parameter rasio L/G dan temperatur. Analisis data dilakukan 3 menit setelah *foaming* terbentuk pada kolom dan alat sudah tidak beroperasi. Parameter yang diamati adalah *foam height* dan *collapse time*.
 - a) Rasio L/G yang digunakan adalah 0,33-0,7 pada tekanan atmosferik. Pengaruh nilai rasio L/G terhadap *foam height* bersifat fluktuatif dengan persamaan $y=48,37x - 1,720$ dan $R^2 = 0,331$. Begitupun pengaruh nilai rasio L/G terhadap *collapse time* yang dipengaruhi oleh nilai *foam height* sehingga bersifat fluktuatif dengan persamaan $y=28,25x + 45,075$ dan $R^2 = 0,4033$.
 - b) Temperatur cairan umpan yang digunakan adalah 26-40°C pada tekanan atmosferik. Pengaruh temperatur terhadap *foam height* berbanding lurus dengan persamaan $y=-0,1429x + 27,714$ dan $R^2=0,1$. Begitupun pengaruh temperatur terhadap *collapse time* berbanding lurus dengan persamaan $y=-x + 92$ dan $R^2 = 0,9423$. Semakin tinggi suhu maka semakin rendah nilai *foam height* dan *collapse time*.

KONTRIBUSI PENULIS

AWP dan RYA melakukan studi literatur mengenai fenomena *foaming*, *packed column*, dan pengaruh kondisi operasi secara fisik. Selain itu juga merancang ukuran *packed column*, menguji alat, dan melakukan pengambilan data. AWP bertanggung jawab dalam menganalisis data pengaruh temperature. RYA bertanggung jawab dalam menganalisis data pengaruh rasio L/G. AF terlibat dalam penyuntingan naskah serta artikel ilmiah, mengawasi keseluruhan penelitian, dan memberikan saran dan masukan selama proses penelitian. Semua penulis berpartisipasi dalam penulisan revisi dan telah membaca serta menyetujui versi final naskah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam pelaksanaan hingga penyusunan karya ilmiah ini penulis banyak sekali mendapat arahan, nasihat, dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan ucapan terimakasih kepada Bapak Ahmad Fauzan S.Pd, M.T, dan Bapak Ir. In Jumanda, M.T. serta Bapak Ir. Nurchayo, M.T selaku dosen pembimbing yang telah memberikan banyak masukan dan saran dalam pembuatan alat dan penyusunan karya ilmiah ini. Kemudian kami ucapkan terima kasih kepada seluruh staf dan para pengajar dari Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Bandung yang telah membantu dan mendukung kami dalam melaksanakan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. Schweitzer, *Handbook of Separation Techniques for Chemical Engineering*. 3rd ed. Mc Graw-Hill, 1997.
- [2] M. Pilling, *Foaming in Fractionation Columns*. Sulzer Chemtech: USA, 2015
- [3] Anonym. Foams: Physics of Foams. <https://softmatter.seas.harvard.edu/index.php/Foams> (diakses pada 16 Januari 2023)
- [4] R. Ali, 2012. Proses Foaming. <https://foamku.com/2012/04/23/proses-foaming/> (diakses pada 16 Januari 2023 pukul 10.00)
- [5] A.F.R. Ghazali, dan N. Sendjaya. Tugas Akhir: *Simulasi Penurunan Senyawa C₆₊ pada Aliran Umpan Gas Alam Untuk Meminimalisasi Dampak Foaming Dalam Sistem Proses di CO₂ Removal Plant PT Rekayasa Industri – Pertamina EP Field Subang*. Bandung: Jurusan Teknik Kimia POLBAN, 2012
- [6] A. Febriyanto, dan R. Febrianto. *Penentuan Kondisi Operasi Optimum Pada Proses Adsorpsi Gas Alam Untuk Menghindari Foaming Pada Rich Solution Solvent aMDEA*. Bandung: Jurusan Teknik Kimia POLBAN, 2011.
- [7] Gauglitz, P.A., Friedmann, F., Kam, S.I. et al. Foam Generation in Porous Media. Presented at the *SPE/DOE Improved Oil Recovery Symposium*, Tulsa, Oklahoma. SPE-75177-MS, 2002.
- [8] L. Fitriana, 2019. *Stripper Column Design dengan Tipe Packed Column pada Pabrik Ethanolamine dengan Proses Ammonia Aqueous*. Semarang: Jurusan Teknik Kimia Universitas Negeri Semarang.
- [9] M.H. Ginting, dan N. Herlina, *Tegangan Permukaan Cairan Dengan Metode Drop Out Dan Metode Bubble*. Medan: Jurusan Teknik Kimia Universitas Sumatera Utara, 2002.
- [10] T.I. Maulana, *Tugas Fenomena Perpindahan*. Semarang: Universitas Diponegoro, 2015.
- [11] H. Kister, *Distillation Design*. United State: McGraw-Hill Inc, 1992.
- [12] W.L. McCabe, J.C. Smith, dan P. Harriot, *Unit Operations of Chemical Engineering*. Singapore: McGraw-Hill, 1993.
- [13] W. Smith, dan W. Qianxi, The role of surface tension on the growth of bubbles by rectified diffusion. *Ultrasonic Sonochemistry*, 98, 8, 2023.
- [14] S.M. Walas, *Chemical Process Equipment*, Department of Chemical and Petroleum Engineering University of Kansas, 1990.
- [15] Sinnott, R. K. 2005. *Coulson & Richardson's Chemical Engineering Design*. Volume 6. 4th Edition. Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann.
- [16] Ludwig, E.E. 1964. *Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants*. Texas: Gulf Publishing Company Houston.
- [17] Wahyuni, Sri. 2004. *Studi Komparatif Pengaruh Suhu Terhadap Tegangan Permukaan Larutan Sabun dengan Menggunakan Metode Gaya Berat dan Metode Pipa Kapiler*. Jember: Program Studi Pendidikan Fisika Universitas Jember.
- [18] Yirka, Tonya. 2017. What Causes Foaming in a Distillation Column?. <https://sciencing.com/causes-foaming-distillation-column-8697646.html> (diakses pada 12 Januari 2023)