

Evaluasi Menara Distilasi melalui Program Aspen Hysys

Syabrina Alfisyahri Miledhiya¹, Dessy Agustina Sari^{2*}

^{1,2} Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Singaperbangsa Karawang

*dessy.agustina8@staff.unsika.ac.id

Abstract

PT XXX is the first and only formic acid production plant in Southeast Asia. The production process that takes place at the plant consists of two main stages, namely the methyl formate production stage and the formic acid production stage. The main raw materials used in this production process are carbon monoxide (CO) gas, methanol (CH₃OH), a catalyst in the form of potassium methoxide (KOCH₃), and water (H₂O). Formic acid is one of the chemicals that can be used for industrial purposes, e.g., in the rubber industry, as a natural rubber coagulant; in the pharmaceutical industry, especially for disinfecting drugs; as a preservative; in the textile industry, as a conditioner in the drying and finishing process; in the leather industry, to neutralize lime; and also to acidify animal feed. Therefore, a comparison was made between the Aspen Hysys simulation and the manual calculations to find out which was the most optimal, and after doing both, it was found that there were still different results from both, and the most optimal was to use the manual calculations or to use the mass balance equation.

Keyword: Azeotrope, boiling point difference, distillation tower, mass balance, separation apparatus.

Abstrak

PT XXX merupakan pabrik produksi asam formiat pertama dan satu-satunya di Asia Tenggara. Proses produksi yang berlangsung di dalam pabrik terdiri dari dua tahap utama, yaitu tahap pembuatan metil format dan tahap pembentukan asam formiat. Bahan baku utama yang digunakan dalam proses produksi ini diantaranya gas karbon monoksida (CO), metanol (CH₃OH), katalis yang berupa kalium metoksida (KOCH₃), dan air (H₂O). Asam formiat merupakan salah satu bahan kimia yang dapat digunakan untuk kepentingan industri seperti dalam industri karet yaitu sebagai bahan koagulan karet alam dalam industri farmasi, terutama desinfektan obat-obatan dan dipakai sebagai zat pengawetan dalam industri tekstil digunakan dalam proses *drying* dan *finishing* sebagai *conditioner*, dalam industri kulit digunakan untuk menetralkan kapur, juga digunakan untuk mengasamkan makanan ternak. Maka dari itu diadakannya perbandingan antara simulasi Aspen Hysys dengan perhitungan manual agar mengetahui mana yang paling optimal dan setelah dilakukan keduanya didapatkanlah masih yang berbeda dari hasil keduanya dan yang paling optimal adalah menggunakan perhitungan manual atau menggunakan persamaan neraca massa.

Kata Kunci: Alat pemisahan, azeotrop, menara destilasi, neraca massa, perbedaan titik didih.

1. PENDAHULUAN

PT XXX merupakan pabrik produksi asam formiat pertama dan satu-satunya di Asia Tenggara, dengan kapasitas produksi 11.000 ton/tahun. Secara garis besar proses produksi yang berlangsung di dalam pabrik terdiri dari dua tahap utama, yaitu tahap pembuatan metil format dan tahap pembentukan asam formiat. Bahan baku utama yang digunakan dalam proses produksi ini diantaranya gas karbon monoksida (CO), metanol (CH₃OH), katalis yang berupa kalium metoksida (KOCH₃), dan air (H₂O).

Asam formiat merupakan asam karboksilat yang paling sederhana dengan rumus kimia (HCOOH) atau (CH₂O₂) menurut [1]. Penemuan awal senyawa asam formiat diperoleh dari proses distilasi semut. Awal mula tahun 1671, ilmuwan Inggris yang bernama John Ray menjelaskan tentang isolasi bahan aktif. Beliau mengumpulkan dan mendistilasi semut mati dalam jumlah besar, kemudian asam semut yang ditemukan diberi nama asam formiat. Pada tahun 1855, kimiawan asal Prancis yang bernama Marcellin Berthelot mengembangkan sintesis asam formiat melalui penggunaan karbon monoksida yang sampai saat ini masih digunakan. Sifat kimia dari asam formiat yaitu bersifat stabil, namun mudah terbakar dan bersifat higroskopis. Senyawa ini larut dalam air disertai dengan pelepasan panas. Asam formiat merupakan salah satu bahan kimia yang dapat digunakan untuk kepentingan industri seperti dalam industri karet yaitu sebagai bahan koagulan karet alam dalam industri farmasi, terutama desinfektan obat-obatan dan dipakai sebagai zat pengawetan dalam industri tekstil digunakan dalam proses *drying* dan *finishing* sebagai *conditioner*, dalam industri kulit digunakan untuk menetralkan kapur, juga digunakan untuk mengasamkan makanan ternak.

Pemisahan asam formiat yang telah terbentuk dilakukan pada distilasi *packed* dengan isian *poll ring* polypropilen, dimana pemisahan bersifat azeotrop dengan titik didih antara asam formiat dan air yang berdekatan, yaitu air 100°C dan asam formiat 100,8°C, sehingga baik produk atas maupun produk bawahnya menghasilkan keluaran yang belum murni pada bagian kolom destilasi ini mengandung 70% asam formiat bagian atas dan 30% air bagian bawah. Sebagian dari asam formiat yang ada di dasar kolom AT-760 akan melepas gas CO yang tidak terkondensasi oleh kondensor AG-766 kemudian dibuang ke *flare*. Dalam penelitian ini dibahas variabel – variabel penting yang mempengaruhi proses pemisahan dan permurnian di dalam kolom destilasi AT-760, menganalisa serta mengkaji performa kolom distilasi pada proses permurnian asam formiat PT XXX dengan simulasi Aspen Hysys.

Aspen Hysys adalah salah satu *software* yang biasa digunakan untuk mensimulasikan suatu alat, *software* Aspen Hysys simulator proses yang sangat mudah digunakan untuk industri penyulingan minyak dan gas [2]. Aspen Hysys dapat memberikan manfaat untuk lulusan teknik kimia dalam membuat simulasi *flowsheet* standar industri yang tersedia serta meminimalkan desain waktu [3]. *Software* ini bisa menghitung secara otomatis dan *software* ini bisa mensimulasikan rancangan di dalam suatu pabrik [4]. Aspen Hysys bisa menghitung seperti neraca massa, energi komponen murni, campuran, *compositions* dan *material streams* jika tidak cocok dengan yang di masukan dari data yang kita punya, *software* Aspen Hysys mendukung perhitungan neraca massa dan data dari Aspen Hysys bisa dibandingkan dengan data Perusahaan [5], [6].

Tahap pertama yang dilakukan adalah input komponen, Kemudian memilih *property* termodinamika yaitu Peng-Robinson, Selanjutnya memasukkan kondisi operasi pada kolom distilasi yang meliputi laju alir masuk, tekanan, temperatur, selanjutnya klik *run* saat melakukan simulasi ini ada data yang harus diganti seperti suhu destilat dan tekanan *bottom* karena tidak sesuai dengan yang diminta Aspen Hysys karena Aspen Hysys akan menyarankan untuk mengganti dengan data yang sesuai [7].

Distilasi adalah cara pemisahan zat cair dari campurannya berdasarkan perbedaan titik didih atau berdasarkan kemampuan zat untuk menguap [8]. Dalam penyulingan, campuran zat dididihkan sehingga menguap dan uap ini kemudian didinginkan kembali ke dalam bentuk cairan. Zat yang memiliki titik didih lebih rendah akan menguap terlebih dahulu, sedangkan zat yang memiliki titik didih yang lebih tinggi akan mengembun dan akan menguap apabila telah mencapai titik didihnya [9], [10]. Tidak semua campuran dapat dipisahkan dengan distilasi sederhana dikarenakan terdapat beberapa campuran yang bersifat azeotropik [11] secara *single*, bukan multi efek distilasi [12]. Distilasi fraksinasi dapat dilakukan dalam pemisahan komponen yang memiliki titik didih berdekatan dan dapat digunakan untuk memisahkan bermacam-macam komponen sekaligus dalam satu kali operasi. Jenis distilasi yang digunakan adalah jenis distilasi azeotrop (campuran dua atau lebih komponen yang sulit dipisahkan) biasanya dalam proses digunakan senyawa lain yang dapat memecahkan ikatan azeotrop tersebut atau dengan menggunakan tekanan tinggi menurut [13]. Menurut [8] perbedaan komposisi antara fase cair dan fase uap. Hal ini merupakan syarat utama supaya pemisahan dengan distilasi dapat dilakukan. Kalau komposisi fase cair dan uap sama dengan komposisi fase cair, maka pemisahan dengan jalan distilasi tidak dapat dilakukan. Pemisahan campuran azeotrop bisa dilakukan dengan beberapa cara yaitu distilasi-adsorpsi, distilasi ekstraksi, dan distilasi azeotrop [14], [15].

2. METODE PENELITIAN

Perhitungan neraca massa kolom distilasi menggunakan data sebagai berikut:

a. Data primer

Data primer merupakan data hasil pengamatan secara langsung dari sumbernya. Data ini diambil dari bagian *Process Engineering* dan *Control Room* unit kolom distilasi untuk data desain. Data yang di ambil antara lain

- Komposisi umpan masuk kolom distilasi
- Komposisi asam formiat produk atas kolom distilasi
- Komposisi asam formiat produk bawah kolom distilasi

b. Data sekunder

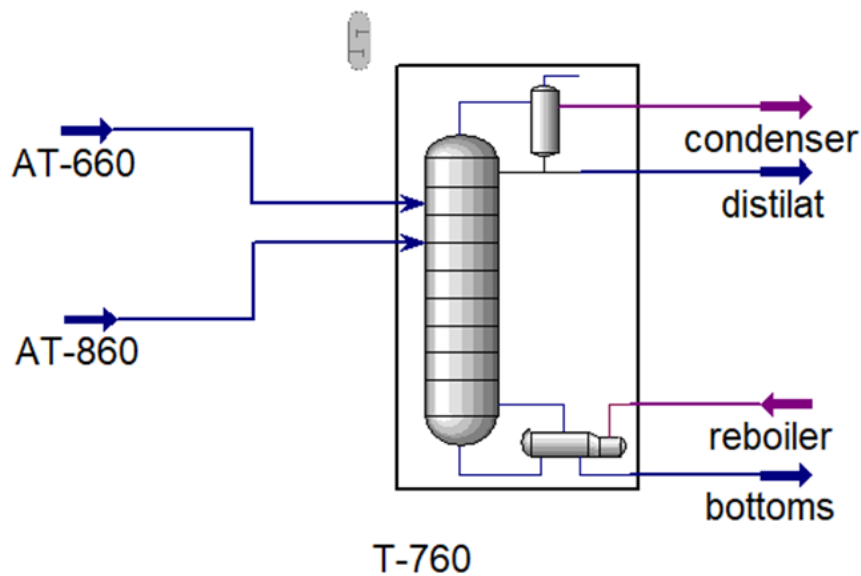
Data sekunder merupakan data yang diperoleh secara tidak langsung dari sumbernya dan digunakan untuk mendukung data primer. Data ini berasal dari manual book dan jurnal –jurnal yang terkait.

Data yang digunakan meliputi data spesifikasi desain dan data pengamatan lapangan dari menara distilasi dari pabrik PT XXX di Indonesia yang ditunjukkan pada Tabel 1 dan Gambar 1 sebagai berikut.

Tabel 1. Spesifikasi Menara Distilasi di Pabrik

Parameter		Kondisi Operasi
<i>Mass flow feed 1</i>	kg/jam	4.100

<i>Mass flow feed 2</i>	kg/jam	1.150
<i>Feed temperature 1</i>	°C	115
<i>Feed temperature 2</i>	°C	85
<i>Feed pressure 1</i>	bar	2
<i>Feed pressure 2</i>	bar	1
Jumlah tray		10
<i>Mass flow condensor</i>		2.650
<i>Condensor temperature</i>	°C	28
<i>Condensor pressure</i>	bar	4
<i>Mass flow reboiler</i>	kg/jam	2620
<i>Reboiler temperature</i>	°C	175
<i>Reboiler pressure</i>	bar	6,5



Gambar 1. Flowsheet kolom distilasi AT-760 dengan Aspen Hysys

Neraca massa total

Massa semua aliran masuk = massa semua aliran keluar

Feed mass flowrate (F_1+F_2) = *Distillate mass flowrate* (D_1) + *Bottom mass flowrate* (B_1)

$$= 5,250 \frac{\text{kg}}{\text{jam}} = 2,650 + B$$

$$= 2,620 \frac{\text{kg}}{\text{jam}}$$

Neraca massa komponen asam formiat masuk: $5,250 \times 70\% = 3,675$

Neraca massa komponen asam formiat keluar: $5,270 \times 65\% = 3,4255$

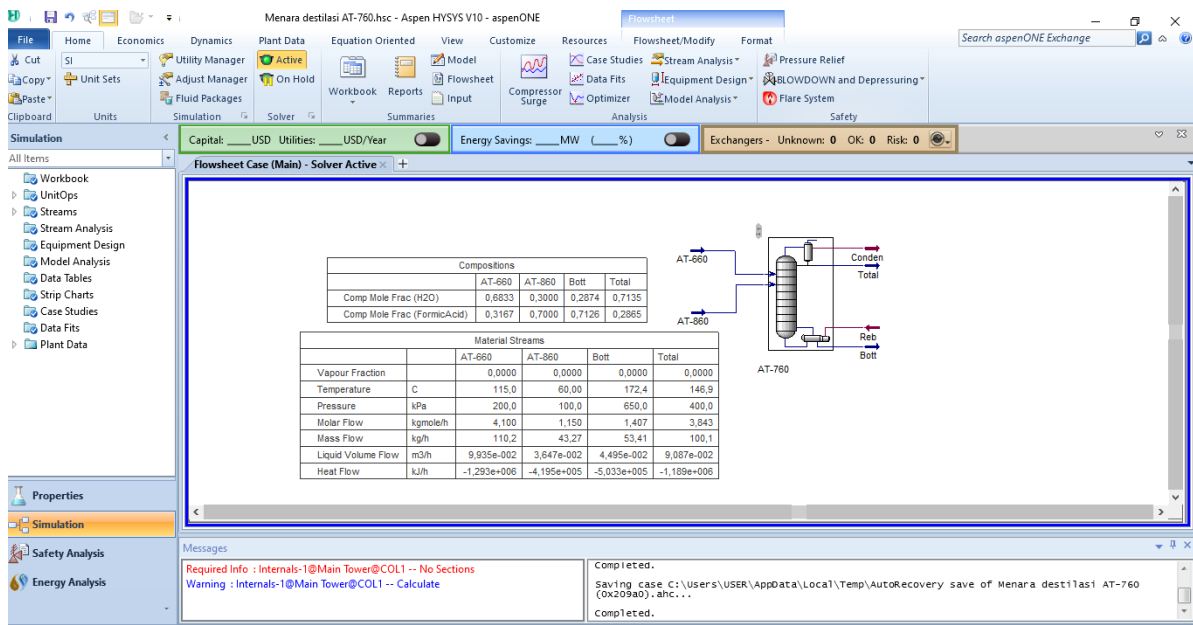
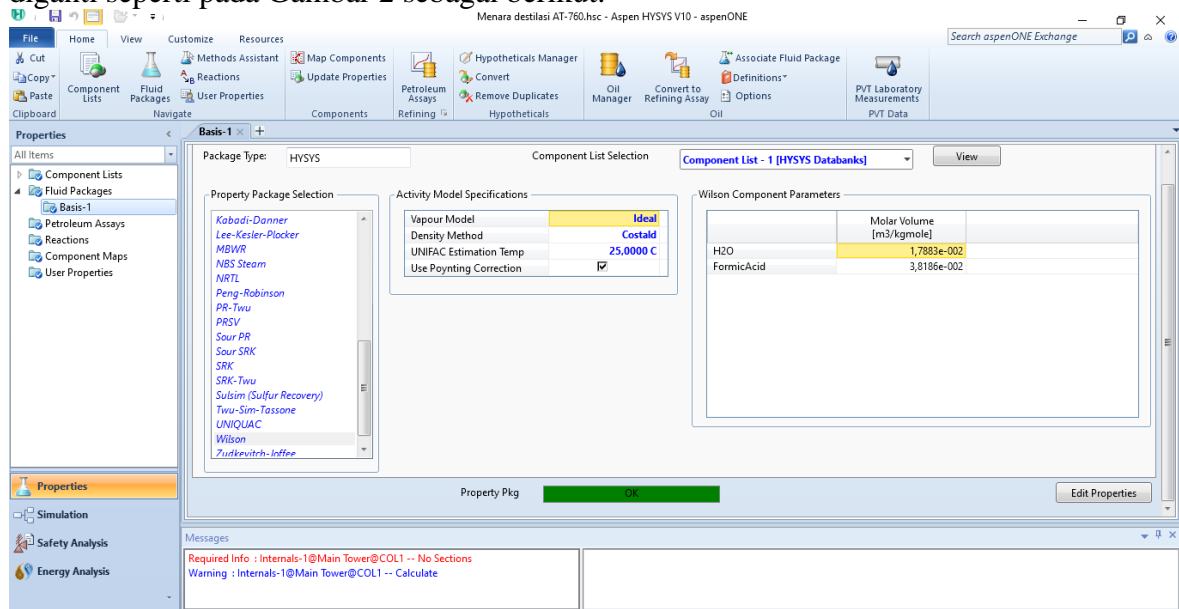
$$\text{Efisiensi asam format} = \frac{\text{asam format pada aliran bottom neraca massa aktual}}{\text{asam format pada aliran bottom neraca massa ideal}} \times 100\%$$

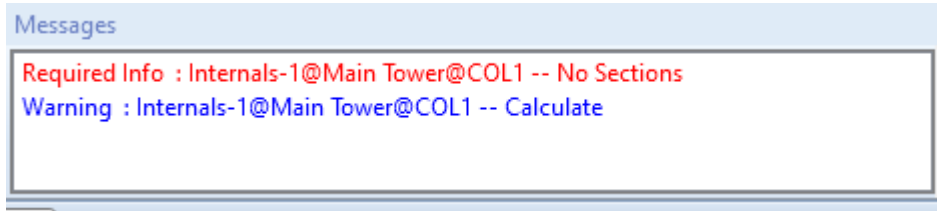
$$\text{Efisiensi asam format} = \frac{3,4255}{3,675} \times 100\%$$

$$\text{Efisiensi asam format} = 93,21 \%$$

Penggunaan program Aspen Hysys

Penggunaan Aspen Hysys membutuhkan beberapa data yang ada data yang dibutuhkan adalah suhu, tekanan, laju alir dan harus mengetahui tipe alat apa yang akan dipakai. Pertama klik properti pilih *component* yang dipakai lalu pilih *fluid packed* lalu klik simulasi dan pilih alat yang ingin disimulasikan. Lalu pada tahap ini data yang ada pada Tabel 1 sebelumnya dimasukkan untuk data yang di pakai pada distilasi setelah di masukan semua data lalu pilih klik *run* dan klik *active data* yang telah dimasukan akan secara otomatis diolah oleh program. Apabila ada sebuah kesalahan pada Aspen Hysys maka program akan memberikan pesan *error* dan memberitahu mana saja yang harus diganti seperti pada Gambar 2 sebagai berikut.



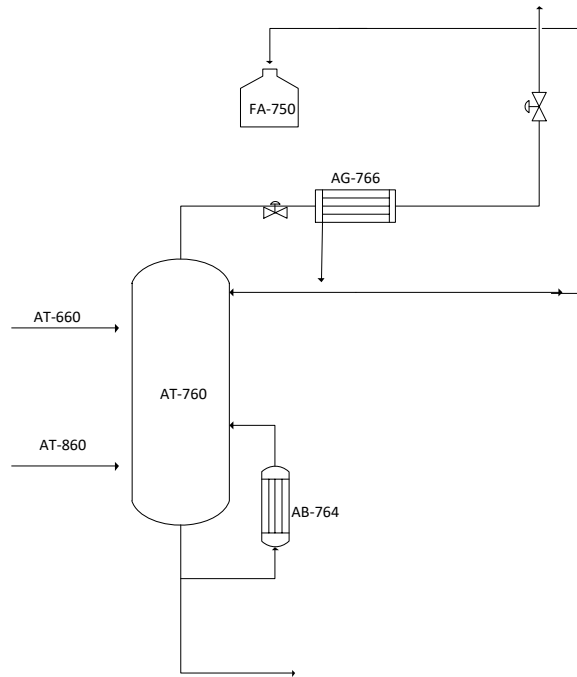


Gambar 2. Simulasi Aspen Hysys

3. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

HASIL

Neraca Massa Ideal Kolom Distilasi AT-760



Gambar 3. Aliran Kolom Distilasi AT-760

Perhitungan manual

Tabel 2. Komponen Unit Distilasi AT-760

Komponen		AT-660	AT-860	AG-766	AB-764
Temperatur	°C	1150C	850C	280C	1750C
Tekanan	bar	2	1	4	6,5
Mass flow	kg/jam	4.100	1.150	2.650	2,620
Mole fraction					
H ₂ O		0,397	0,3	0,35	0,35
Formic acid		0,603	0,7	0,65	0,65

Hasil perhitungan dengan menggunakan Aspen Hysys

Tabel 3. Data Aspen Hysys

Material Streams		AT-660	AT-860	Bottom	Distilat
Vapour fraction		0,0000	0,0000	0,000	0,000
Temperature	°C	115,0	60,00	172,4	146,9
Pressure	kPa	200,0	100,0	650,0	400,0
Molar flow	kmol/jam	4,100	1,150	1,407	3,843
Mass flow	kg/jam	110,2	43,27	53,41	100,1
Liquid volume flow	m ³ /jam	9,9350	3,6470	4,4950	9,0870
Heat flow	kJ/jam	-1,293006	-4,195005	-5,033005	-1,189006

PEMBAHASAN

Tujuan dilakukannya penelitian ini untuk menganalisa performa kolom distilasi AT-760 pada PT XXX dan memperbandingkan hasil perhitungan manual dengan menggunakan simulasi Aspen Hysys. Sebelum dilakukannya simulasi Aspen Hysys maka terlebih dahulu menghitung menggunakan perhitungan manual yang didapatkan data dari perusahaan bisa dilihat pada Tabel 2 dan 3 data tersebut diperoleh di *control room* dan saat di lapangan data tersebut akan digunakan saat melakukan simulasi Aspen Hysys. Simulasi dilakukan dengan memodelkan data lapangan pada Tabel 2.1 [16]. Untuk menghitung manual menggunakan data yang ada pada Tabel 2.2 [17].

Tabel 4. Perbandingan

Parameter	Aspen Hysys			Manual		
	AT-860	AG-766	AB-764	AT-860	AG-766	AB-764
Temperatur	60	172,4	146,9	85	28	175
Tekanan	100.0	650.0	400.0	100	400	26.50
Mass flow	1.150	1.407	3.843	1.150	2.650	2.620

Perbedaan metode antara penggunaan *software* Aspen Hysys dan perhitungan manual bisa dilihat pada Tabel 4. Perbedaan hasil tidak terlalu signifikan karena pada Aspen Hysys akan merubah kondisi operasi yang sudah ada dan akan mencocokkan angka sesuai dengan kondisi operasi yang disarankan oleh Aspen Hysys. Maka dari itu hasil yang data yang keluar di Aspen Hysys akan berbeda dengan data yang ada di perusahaan. Yang membedakan adalah ada suhu, tekanan dan *mass flow*. Hal tersebut menandakan bahwa kondisi distilasi yang ada pada perusahaan dan yang disimulasikan dengan aplikasi Aspen Hysys berbeda. Temuan ini dapat terjadi karena beberapa penginputan data properti seperti densitas, kondisi fisika-kimia mengalami perbedaan karena data otomatis maupun terkalkulasi secara manual [18]. Namun, perbedaan tersebut tidak signifikan.

Dari data perusahaan pada Tabel 1 dibuatlah persamaan neraca massa dan didapatkan pengaruh hasil aliran *purge*-nya efisiensi kolom distilasi sebesar 93,21 %. Perhitungan tersebut berdasarkan pada sifat dari reaksi pembentukan asam formiat sendiri bersifat reversibel, sehingga sepanjang alirannya terdapat sebagian kecil asam formiat terdekomposisi kembali menjadi karbon monoksida dan air, meskipun dalam ukuran

aliran yang sangat kecil, namun dengan hasil efisiensi tersebut menunjukkan bahwa proses berjalan dengan baik.

Setelah dihitung menggunakan perhitungan manual dan menggunakan simulasi Aspen Hysys. Data yang lebih akurat adalah perhitungan menggunakan perhitungan manual atau menggunakan neraca massa. Secara keseluruhan perbedaan hasil keduanya disebabkan adanya perbedaan data yang diubah saat dimasukkan ke dalam Aspen Hysys [17]. Persamaan melalui persamaan neraca massa dapat didampingi oleh simulasi Aspen Hysys untuk membantu pengecekan silang dan reduksi waktu penyelesaian permasalahan [4]. Selain itu juga keterlibatan adanya pihak industri dan praktisi di dalam perusahaan akan membantu penanganan tindak lanjut maupun pengoptimalan kondisi operasi dilapangan operasi pasca perkuliahan teori di perguruan tinggi dapat terimplementasikan secara praktek [19]. Bagi mahasiswa yang *internship* [20] sebagai aktifitas praktek [21]–[23]. Antara kedua metode akan menemui titik penyelesaian karena saling mendukung satu sama lain [24].

4. KESIMPULAN

Evaluasi kinerja alat distilasi AT- 760 yang telah dilakukan perbandingan dengan *software* Aspen Hysys dengan perhitungan manual adalah data yang dihasilkan menggunakan Aspen Hysys dan manual berbeda. Efisiensi asam formiat yang dihasilkan pada kolom distilasi AT-760 sebesar 93,21%. Berdasarkan perhitungan neraca masa masukan dari AT-660 dan AT-860, perbandingan antara perhitungan manual dan Aspen Hysys yang membedakan dari keduanya adalah di *molar flow* dan komposisi.

5. REFERENSI

- [1] J. Gumilar, W. S. Putranto, and E. Wulandari, “Pengaruh penggunaan asam sulfat (H_2SO_4) dan asam formiat ($HCOOH$) pada proses piket terhadap kualitas kulit jadi (leather) domba Garut,” *Jurnal Imu Ternak*, vol. 10, no. 1, pp. 1–6, 2010.
- [2] E. H. Alshbuki, M. M. Bey, and A. Ala. Mohamed, “Simulation production of dimethylether (DME) from dehydration of methanol using Aspen Hysys,” *SIJCMS*, vol. 03, no. 02, pp. 13–18, Feb. 2020, doi: 10.36348/sijcms.2020.v03i02.002.
- [3] P. Santos and T. Van Gerven, “Aspen hysys – unity interconnection. An approach for rigorous computer- based chemical engineering training,” in *Computer Aided Chemical Engineering*, Milano: Elsevier, 2020, pp. 2053–2058. doi: 10.1016/B978-0-12-823377-1.50343-8.
- [4] M. P. Sutardi, M. I. Fardiansyah, F. Fauzia, and D. A. Sari, “Program simulasi Aspen Hysis bagi mahasiswa teknik kimia di semester awal,” in *Prosiding Seminar Nasional Universitas Islam Syekh Yusuf*, Tangerang: Universitas Islam Syekh Yusuf, Dec. 2020, pp. 1370–1373. doi: 10.31219/osf.io/e3t72.
- [5] Q. Smejkal and M. Šoóš, “Comparison of computer simulation of reactive distillation using Aspen Plus and Hysys software,” *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, vol. 41, no. 5, pp. 413–418, 2002, doi: 10.1016/S0255-2701(01)00160-X.

- [6] D. Sotelo, A. Favela-Contreras, C. Lozoya, F. Beltran-Carbajal, G. Dieck-Assad, and C. Sotelo, "Dynamic simulation of a crude oil distillation plant using Aspen-Hysys®," *International Journal of Simulation Modelling*, vol. 18, no. 2, pp. 229–241, 2019, doi: 10.2507/IJSIMM18(2)465.
- [7] Z. Azizah and T. K. Dhaniswara, "Integrasi Aspen Plus Dynamics dengan Matlab Simulink (studi kasus: simulasi proses distilasi propana-isobutana)," *Journal of Chemical Process Engineering*, vol. 6, no. 2, pp. 113–117, 2021, doi: 10.33536/jcpe.v6i2.989.
- [8] K. Nadliroh and A. S. Fauzi, "Optimasi waktu fermentasi produksi bioetanol dari sabut kelapa muda melalui distilator refluks," *Jurnal Pendidik Teknik Mesin Undiksha*, vol. 9, no. 2, pp. 124–133, 2021.
- [9] J. Wibisono, L. Hakim, and N. Za, "Analisa performa kolom distilasi (105D4) di fatty acid plant-1 PT Domas Agroiinti Prima dengan simulasi Aspen Hysys," *Chemical Engineering Journal Storage (CEJS)*, vol. 1, no. 1, p. 1, 2021, doi: 10.29103/cejs.v1i1.4584.
- [10] Z. Ma'sum and W. D. Proborini, "Optimasi proses destilasi uap essential oil," *Jurnal Reka Buana*, vol. 1, no. 2, pp. 105–109, 2016.
- [11] I. Lestari, F. D. Oktavia, A. S. Sanjaya, and Y. Bindar, "Simulasi proses biometil akrilat-air menggunakan metode pressure swing distillation pada Aspen Hysys v8.8," *Jurnal Chemurgy*, vol. 3, no. 2, p. 22, 2019, doi: 10.30872/cmg.v3i2.3580.
- [12] L. K. Wibowo *et al.*, "Perkiraan biaya modal spesifik atas pabrik multi efek distilasi," *inteka*, vol. 7, no. 2, pp. 30–38, 2022, doi: 10.31942/inteka.v7i2.6899.
- [13] K. B. A. Walangare, A. S. M. Lumenta, J. O. Wuwung, and B. A. Sugiarto, "Rancang bangun alat konversi air laut menjadi air minum dengan proses destilasi sederhana menggunakan pemanas elektrik," *e-Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, vol. 2, no. 2, pp. 1–11, 2013.
- [14] T. Sriana, "Pemurnian bioethanol dengan metode distilasi azeotrop," *Konversi*, vol. 8, no. 1, pp. 1–3, 2019, doi: 10.20527/k.v8i1.6504.
- [15] C. Wang, Y. Zhuang, L. Liu, L. Zhang, J. Du, and Z. Zhang, "Design and control of a novel side-stream extractive distillation column for separating methanol-toluene binary azeotrope with intermediate boiling entrainer," *Separation and Purification Technology*, vol. 239, no. 116581, pp. 1–19, 2020, doi: 10.1016/j.seppur.2020.116581.
- [16] H. N. Aulia, "Simulasi Aspen Hysys pada kolom absorpsi gas CO₂ dengan solven metildietanolamine (MDEA)," *Jurnal Teknologi Technoscientia*, vol. 14, no. 2, pp. 85–90, 2022, doi: 10.34151/technoscientia.v14i2.3579.
- [17] I. A. Fitria, D. A. Sari, V. P. Fahriani, and M. Djaeni, "Shell and tube heat exchanger fouling factor via Heat Transfer Research Inc (HTRI) software," *Reka Buana: Jurnal Ilmiah Teknik Sipil dan Teknik Kimia*, vol. 7, no. 2, pp. 104–113, 2022, doi: <https://doi.org/10.33366/rekabuana.v7i2.4030>.
- [18] F. Fitriah and D. A. Sari, "Optimization of distillation column reflux ratio for distillate purity and process energy requirements," *International Journal of Basic and Applied Science*, vol. 12, no. 2, pp. 72–81, 2023. [Online]. Available: <https://ijobas.pelnus.ac.id/index.php/ijobas/article/view/260>.
- [19] M. I. Alfath, A. G. Fadzrin, M. I. Kamil, and D. A. Sari, "Praktikum mahasiswa teknik kimia unsika: teori melalui daring dan praktek di normal baru," in *Prosiding Seminar Nasional Universitas Islam Syekh Yusuf*, Tangerang:

- Universitas Islam Syekh Yusuf, Sep. 2020, pp. 1374–1378. doi: 10.31219/osf.io/q2ack.
- [20] V. S. Ulfa, H. D. Kharisma, and D. A. Sari, “Optimasi akademisi dan mata kuliah teknik kimia melalui peran praktisi industri,” in *Prosiding Seminar Nasional Universitas Islam Syekh Yusuf*, Tangerang: Universitas Islam Syekh Yusuf, Dec. 2020, pp. 1379–1383. doi: 10.31219/osf.io/uf45p.
- [21] K. P. Ni'mah, F. Fitriah, and D. A. Sari, “Performance of an air-cooled heat exchanger in a separation unit based on fouling factor and pressure drop,” *Reka Buana : Jurnal Ilmiah Teknik Sipil dan Teknik Kimia*, vol. 8, no. 2, pp. 128–139, 2023, doi: <https://doi.org/10.33366/rekabua.na.v8i2.4951>.
- [22] M. Ikhsan Kamil and D. Agustina Sari, “Komparasi desain alat penukar panas tipe air-cooled,” *Jurnal Teknologi*, vol. 16, no. 2, pp. 180–186, 2023, doi: 10.34151/jurtek.v16i2.4512.
- [23] D. A. Sari *et al.*, *Top 33 chemical engineering essay competition (part 1)*. Tasikmalaya: Perkumpulan Rumah Cemerlang Indonesia, 2021. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/358356753_Top_33_Chemical_engineering_essay_competition_part_1
- [24] M. S. Rumira *et al.*, “Personal competencies of chemical engineering student graduates before entering the world of work,” *Jurnal Pendidikan Glasser*, vol. 7, no. 2, pp. 423–4300, 2023, doi: 10.32529/glasser.v7i2.2897.