

EVALUASI KINERJA ABSORBER FORMALDEHYDE PLANT

¹Jabosar Ronggur Hamonangan Panjaitan*, ¹Renita Ariska, ¹Tia Meyrina, ²Alfaiz Radea Arbianda

¹Program Studi Teknik Kimia, Institut Teknologi Sumatera, Lampung 35365, Indonesia

²PT. Dover Chemical, Jalan Raya Merak Km 117 Kota Cilegon, Banten, Indonesia

*Penulis korespondensi: jabosar.panjaitan@tk.itera.ac.id

Abstrak. Formaldehida adalah senyawa kimia yang banyak digunakan dalam industri. Senyawa ini dapat diproduksi melalui proses oksidasi metanol. Hal penting dalam produksi formaldehida skala pabrik adalah tahap pemurnian yang pada umumnya menggunakan air sebagai adsorben formaldehida. Pada penelitian ini akan diteliti kinerja absorber tingkat 1 pada formaldehyde plant dengan mengevaluasi perbandingan data efisiensi aktual dan desain. Efisiensi aktual absorber 1 dari hasil perhitungan menunjukkan nilai sebesar 44,8%. Sedangkan nilai efisiensi desain absorber 1 sebesar 44,3%. Perbedaan nilai yang tidak jauh ini menunjukkan kinerja dari absorber tersebut baik karena perbedaan nilai efisiensi data aktual dan data desain tidak jauh berbeda. Semakin baik efisiensi absorber 1 yang dihasilkan maka semakin sedikit metanol yang terbuang dan dapat disimpulkan juga bahwa kinerja dari absorber 1 cukup baik dalam mengabsorpsi formaldehida.

Kata kunci: absorber, formalin, formaldehyde

Abstract. Formaldehyde is a chemical compound that was widely used in industry. This compound can be produced through the methanol oxidation process. An important thing in the production of formaldehyde on a factory scale was the purification stage which generally used water as a formaldehyde adsorbent. In this study, the performance of level 1 absorbers in formaldehyde plants will be studied by evaluating the comparison of actual and design efficiency data. The actual efficiency of absorber 1 from the calculation results was 44.8%. While the design efficiency value of absorber 1 was 44.3%. There was not much difference in value between actual and design efficiency data indicated that the performance of the absorber was good. The better efficiency of absorber 1 produced, the less methanol was wasted and it can also be concluded that the performance of absorber 1 was quite good in absorbing formaldehyde.

Keywords: absorber, formalin, formaldehyde

1. Pendahuluan

Formaldehida merupakan senyawa kimia yang ditemukan oleh Alexander Mikhailovich Butlerov pada tahun 1869 (Sabty, dkk, 2016). Formaldehida bersifat racun dan karsinogenik sehingga sangat berbahaya jika digunakan sebagai pengawet makanan (Putri, dkk, 2024). Formaldehida dapat diaplikasikan pada berbagai industri salah satunya sebagai aditif pada industri leather dan karet (Sebastian, dkk, 2024). Formaldehida juga merupakan komponen utama dalam industri resin (Fauzan, dkk, 2025). Sifat fisik formaldehida dapat dilihat pada Tabel 1 (Kirk dan Othmer, 1981).

Tabel 1. Sifat fisik formaldehida

<i>Physical Properties</i>	<i>Value</i>	<i>Unit</i>
<i>Density at 80°C</i>	0,9151	g/cm ³
<i>Density at 20°C</i>	0,8153	g/cm ³

<i>Boiling point at 101,3 kPa</i>	-19	°C
<i>Melting point</i>	-118	°C
<i>Heat of vaporization at 19 °C</i>	23,3[kJ/mol
<i>Heat of formaton at 25 °C</i>	-115,9	kJ/mol
<i>Std free energy at 25 °C</i>	-109,9	kJ/mol
<i>Heat capacity</i>	35,4	J/mol.K
<i>Entropy</i>	218,8	J/mol.K
<i>Heat of combustion</i>	563,5	kJ/mol
<i>Critical temperature</i>	137,2-141,2	°C
<i>Pressure</i>	6,784-6,637	mPa
<i>Flammability in air, lower/upper limits</i>	7,0/73	Mol%
<i>Ignition temperature</i>	430	°C

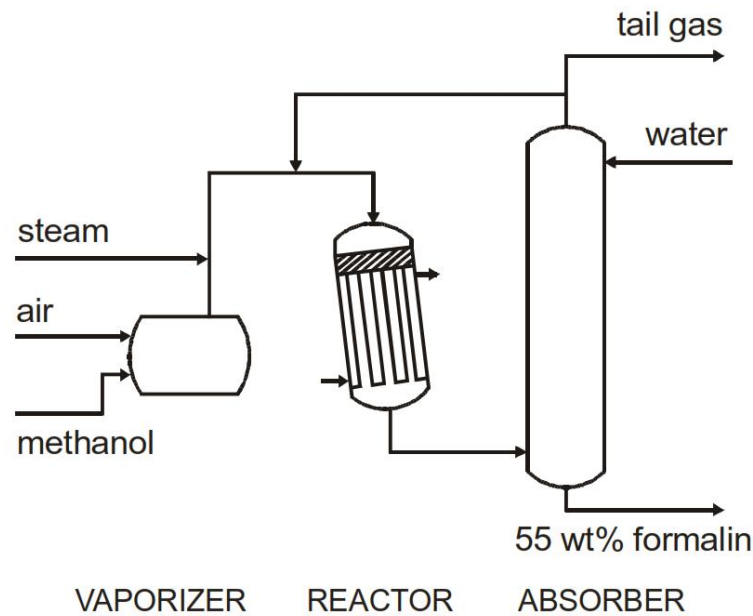
Formaldehida dapat diproduksi dengan oksidasi parsial methanol (Sebastian, dkk, 2024). Sebanyak 30% konsumsi methanol digunakan untuk memproduksi formaldehida (Fauzan, dkk, 2025). Formaldehida dapat diproduksi dari methanol dengan menggunakan katalis perak (Dewi, dkk, 2023). Pada proses produksinya, gas formaldehida yang diproduksi dari methanol menghasilkan gas pengotor sebagai produk samping yang harus dipisahkan dari gas formaldehida. Proses pemurnian gas formaldehida ini dapat dilakukan dengan proses absorpsi. Absorpsi merupakan proses transfer massa suatu komponen dalam fasa gas ke dalam suatu pelarut cair. Proses ini umumnya di industri dilakukan menggunakan alat absorber (Pérez Sánchez, dkk, 2016).

Absorber merupakan unit yang sering digunakan di industri untuk memisahkan komponen gas dari suatu campuran dengan menggunakan zat cair sebagai pelarut. Pada prosesnya, absorpsi dalam unit absorber terdiri dari komponen yang diserap yaitu solute dan cairan yang menyerap disebut solven. Proses ini dapat digunakan untuk menyerap satu komponen atau multikomponen. Jika proses absorpsi lebih dari satu komponen maka disebut absorpsi multikomponen. Cairan yang mampu melarutkan bahan yang akan disebut absorben atau dikenal juga sebagai cairan pencuci. Contoh material yang umum digunakan sebagai absorben antara lain air, senyawa asam dan basa. Kolom atau tabung tempat terjadinya proses absorpsi disebut kolom absorpsi.

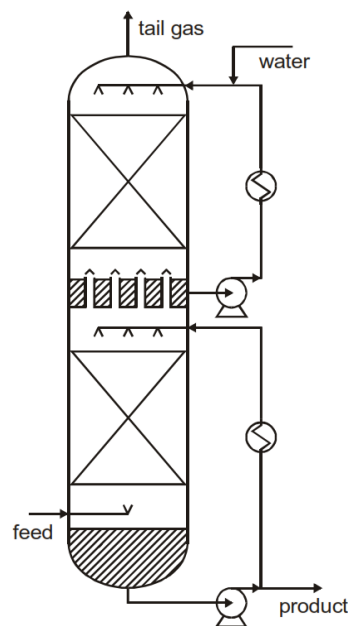
Absorber bekerja berdasarkan prinsip kelarutan gas dalam cairan. Prinsip kerja absorber melibatkan pengumpanan campuran gas dari bagian bawah absorber dan mengontakkannya dengan zat cair atau absorben dari bagian atas absorber. Komponen gas yang tidak larut dalam absorben akan bergerak ke atas dan menjadi produk atas, sedangkan komponen gas yang memiliki kelarutan terbesar dalam cairan akan larut bersama absorben dan menjadi produk bawah. Jenis - jenis absorpsi antara lain absorpsi fisik yang melibatkan pelarutan gas dalam cairan tanpa disertai reaksi kimia. Sedangkan absorpsi kimia merupakan proses pelarutan gas dalam cairan penyerap yang disertai dengan reaksi kimia. Faktor - faktor yang mempengaruhi laju absorpsi antara lain koefisien transfer massa, luas permukaan kontak, laju alir fluida, konsentrasi gas, tekanan operasi, temperatur komponen terlarut dan pelarut serta kelembaban gas.

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk meneliti absorpsi formaldehida. Formaldehida dapat diabsorpsi menggunakan karbon aktif (Darmawan, dkk, 2010). Karbon aktif merupakan adsorben dan umum diproduksi dari biomassa sehingga ketersediaannya sangat melimpah. Penyerapan formaldehida menggunakan karbon aktif

berkisar antara 2,75 – 33,16% (Darmawan, dkk, 2010). Akan tetapi, dalam produksinya dengan mempertimbangkan kesederhanaan proses dan nilai penyerapan yang lebih tinggi, formaldehida dapat juga diabsorpsi menggunakan air (Kuramshina dan Pavlova, 2016). Gas formaldehida memiliki kelarutan yang baik dengan air dan dapat bereaksi dengan air menghasilkan methylene glycol (Winkelman, 2003). Berdasarkan Winkelman (2003), penyerapan formaldehida menggunakan air bisa mencapai 55% yang merupakan nilai penyerapan yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan penyerapan menggunakan karbon aktif. Skema produksi formaldehida dan tipe kolom absorber formaldehida dapat dilihat pada Gambar 1 dan 2 (Winkelman, 2003).

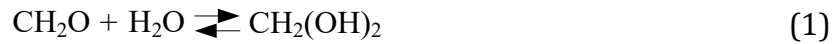


Gambar 1. Skema produksi formaldehida (Winkelman, 2003)



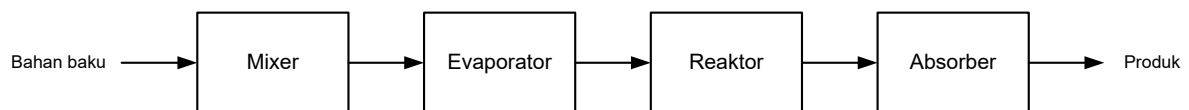
Gambar 2. Skema tipe kolom absorber formaldehida (Winkelman, 2003)

Adapun proses penyerapan formaldehida menggunakan air masih terkendala dengan resistensi perpindahan massa dan panas eksotermis penyerapan (Winkelman, 2003). Larutan formaldehida jenuh dalam air disebut juga formalin. Formalin mengandung sekitar 37% formaldehid dalam air (POM, 2005). Persamaan mekanisme adsorpsi formaldehida dalam air sesuai persamaan (1) (Kuramshina dan Pavlova, 2016) (Braz, dkk, 2020) (Winkelman, 2003).



Absorpsi formaldehida dengan air telah banyak diaplikasikan dan telah dilakukan modeling dan simulasi absorpsi formaldehid menggunakan air agar mencapai proses absorpsi yang efektif (Braz, dkk, 2020). Akan tetapi, belum ada penelitian yang meneliti kinerja absorber dalam penyerapan formaldehid menggunakan air berdasarkan data aktual absorpsi yang ada. Oleh sebab itu, pada penelitian ini akan diteliti evaluasi dari kinerja absorber dalam proses penyerapan formaldehida menggunakan air pada absorber tingkat 1 di pabrik formaldehid. Penelitian ini mengevaluasi kinerja absorber dengan membandingkan data efisiensi absorpsi aktual dan desain.

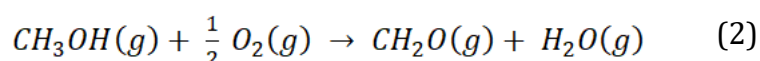
2. Bahan dan Metode



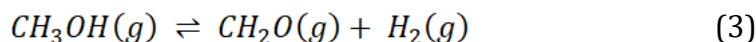
Gambar 3. Blok flow diagram produksi formaldehyde pada PT. Dover Chemical

Pada PT. Dover Chemical proses produksi formaldehida terdiri atas tiga tahap yaitu persiapan bahan baku, produksi formaldehida dan pemurnian formaldehida sesuai Gambar 3. Bahan baku utama dalam produksi *formaldehyde* adalah metanol dan oksigen. Proses produksi dimulai dengan tahap persiapan bahan baku dimana metanol yang disimpan dalam kondisi cair. Alat *mixer* berfungsi untuk mencampurkan metanol dengan air murni yang diperoleh dari unit utilitas hingga merata. Campuran metanol dan air kemudian dimasukkan ke dalam evaporator untuk diubah dari fase cair menjadi fase uap pada suhu 70-74°C. Oksigen yang diperoleh dari udara lingkungan sekitar dihisap menggunakan *blower* dan melewati *filter scrubber* untuk menyaring debu dan kelembapan. *Blower* juga mengalirkan udara ke evaporator. Pada tahap pembentukan produk, campuran metanol dan oksigen yang telah dikondisikan dialirkan ke reaktor *fixed bed multitube*. Reaksi pembentukan *formaldehyde* terjadi pada reaktor *fixed bed multitube* yang merupakan reaksi eksotermis sehingga memerlukan sistem pendingin berupa air murni. Reaksi yang terjadi di dalam reaktor *fixed bed multitube* selama pembentukan *formaldehyde* dapat dilihat pada persamaan (2) sampai (5). Setelah proses pembentukan formaldehida, formaldehida yang terbentuk akan dimurnikan melalui absorber bertingkat.

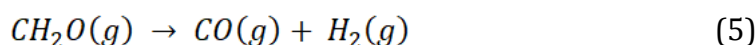
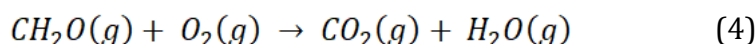
Reaksi Oksidasi



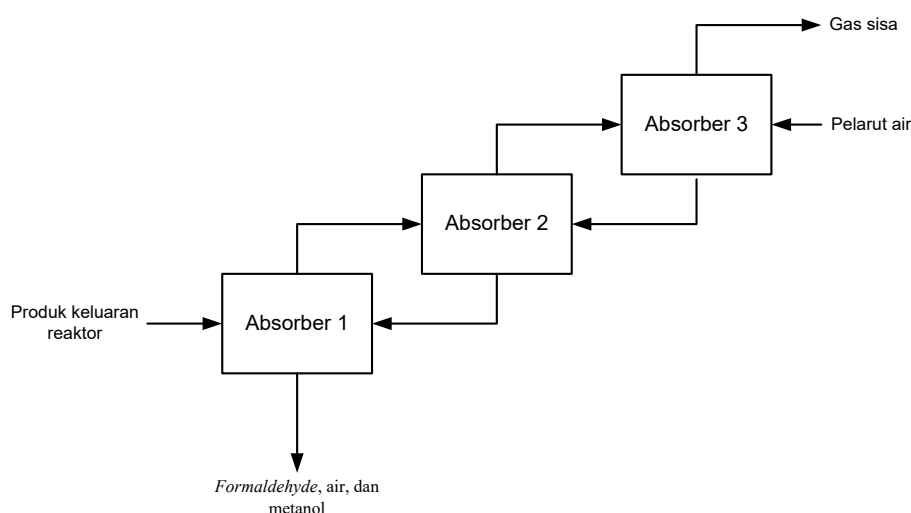
Reaksi Dehidrogenasi



Reaksi Samping



Pemurnian formaldehida merupakan bagian yang dievaluasi pada penelitian ini. Pelaksanaan penelitian ini menggunakan data sekunder dari data efisiensi absorber 1 pada bulan agustus 2024 di PT. Dover Chemical untuk mengevaluasi kinerja absorber. Proses blok flow diagram pemurnian formaldehida dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Blok flow diagram pemurnian formaldehida

Pemurnian formaldehida dilakukan untuk memisahkan gas-gas pengotor sebagai gas sisa proses seperti H_2 , N_2 , CO_2 , CO , dan O_2 . Proses pemurnian ini menggunakan tiga alat absorber yaitu absorber 1, absorber 2 dan absorber 3. Produk keluaran reaktor masuk kedalam absorber 1 dimana komponen H_2 , N_2 , CO_2 , dan CO dipisahkan menggunakan pelarut yang berasal dari keluaran bottom absorber 2. Formaldehid, air, dan metanol larut dalam pelarut dan menjadi produk bawah dari absorber 1. Gas yang tidak larut dan kandungan formaldehid, metanol, serta air yang lolos dari absorber 1 diteruskan ke absorber 2, pada suhu $77 - 80^\circ C$, di mana pelarutnya berasal dari keluaran bottom absorber 3. Produk bawah absorber 2 adalah formaldehid, air, dan metanol, sedangkan gas yang tidak larut, bersama dengan sedikit formaldehid, air, dan metanol, dipindahkan ke absorber 3. Absorber 3 berfungsi sebagai tahap pemisahan akhir untuk memaksimalkan penyerapan produk. Pelarut yang digunakan untuk mengabsorpsi formaldehid adalah air. Produk atas keluaran dari absorber 3 terdiri dari gas sisa dengan sedikit formaldehid, air, dan metanol. Gas yang tidak terserap oleh absorber dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar.

3. Hasil dan Pembahasan

Proses produksi formaldehid secara umum terdiri atas tiga tahap antara lain persiapan bahan baku, reaksi produksi atau pembentukan produk, dan pemurnian produk. Tahap pemurnian produk penting untuk dilakukan dalam memastikan bahwa produk utama (formaldehid) yang dihasilkan telah bebas dari produk samping dan

kontaminan serta memenuhi spesifikasi penjualan. Produk yang terbentuk yang merupakan keluaran reaktor akan dialirkan ke unit pemurnian berupa absorber sesuai Gambar 3. Gas sisa yang mengandung gas H_2 , N_2 , CO_2 , CO , dan O_2 dipisahkan, sementara produk utama yang merupakan larutan formaldehyde diambil sebagai produk akhir sebagai keluaran dari absorber 1. Proses pemurnian formaldehyde ini melibatkan penggunaan tiga absorber sesuai Gambar 4.

Formaldehyde, air, dan metanol merupakan produk bawah dari absorber 1. Produk bawah dari absorber 1 ini merupakan hasil akhir dari tahap pemurnian formaldehyde. Dalam proses ini, absorber 1 menggunakan produk bawah dari absorber 2 sebagai pelarut, sementara absorber kedua menggunakan produk bawah dari absorber 3 sebagai pelarut, dan absorber ketiga menggunakan pelarut berupa air murni. Penggunaan produk bawah dari absorber ketiga dan kedua sebagai pelarut untuk absorber kedua dan pertama merupakan langkah untuk meningkatkan efisiensi proses sehingga penggunaan air murni sebagai pelarut dapat diminimalkan. Absorber bekerja berdasarkan prinsip kelarutan gas dalam cairan sehingga perlu kondisi operasi yang ideal untuk memaksimalkan daya larut gas dalam fase cair.

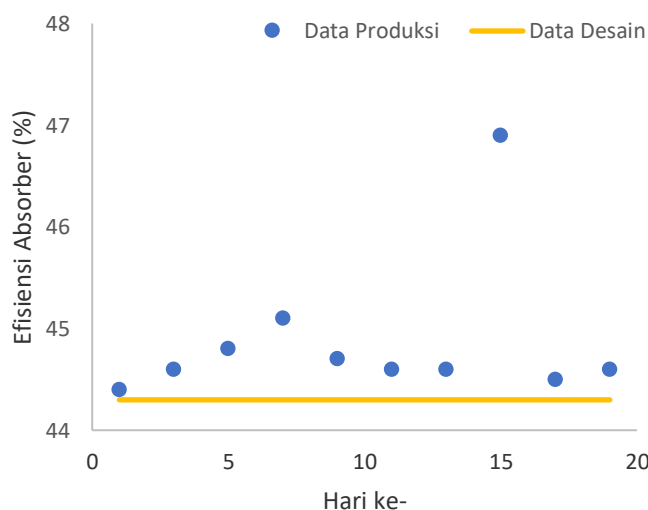
Absorben yang digunakan pada penelitian ini adalah air murni yang telah memenuhi beberapa syarat sebagai absorben. Persyaratan untuk absorben antara lain memiliki kemampuan melarutkan yang baik, selektif terhadap komponen yang diserap, tidak menyebabkan korosi pada peralatan, memiliki viskositas yang rendah, stabil secara termal, tidak mudah berbusa, murah dan mudah didapat. Selain itu, beberapa faktor juga mempengaruhi laju absorpsi antara air dan formaldehyde. Faktor – faktor tersebut antara lain koefisien transfer massa, luas permukaan kontak, laju alir fluida, konsentrasi gas, tekanan operasi, temperatur komponen terlarut dan pelarut dan kelembaban gas.

Tabel 2. Data efisiensi absorber 1

Hari ke-	Efisiensi absorber (%)
1	44,4
3	44,6
5	44,8
7	45,1
9	44,7
11	44,6
13	44,6
15	46,9
17	44,5
19	44,6

Data efisiensi aktual absorber 1 dapat dilihat pada Tabel 2 dengan nilai rata – rata efisiensi aktual sebesar 44,8%. Sedangkan berdasarkan dari data desain diketahui bahwa efisiensi absorber 1 adalah sebesar 44,3%. Data desain adalah informasi yang diperoleh selama fase perancangan sistem absorber. Data desain bertujuan untuk memberikan panduan mengenai bagaimana sistem harus beroperasi dalam kondisi ideal. Sedangkan data aktual merupakan data yang dikumpulkan dari operasi sistem absorber yang sebenarnya. Data aktual termasuk laju aliran gas atau cairan, suhu, tekanan, dan konsentrasi komponen yang diserap. Data aktual memberikan gambaran tentang bagaimana sistem bekerja dalam kondisi nyata, yang mungkin berbeda dari kondisi desain karena berbagai faktor operasional. Pada penelitian ini kinerja dari absorber 1 di

formaldehyde plant menggunakan data aktual produksi pada bulan agustus 2024. Grafik perbandingan efisiensi absorber dan data desain efisiensi dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Perbandingan data efisiensi absorber aktual dan desain

Pada Gambar 5 menunjukkan bahwa perbandingan data aktual dan data desain yang didapatkan tidak jauh berbeda dengan nilai rata – rata efisiensi aktual sebesar 44,8% dan data desain efisiensi absorber 1 sebesar 44,3%. Jika data aktual mendekati data desain, absorber dianggap berfungsi dengan baik. Penyebab dari perbedaan tersebut terjadi karena, adanya *abnormalities* yang terjadi selama proses absorpsi berlangsung. Kondisi *abnormalities* seperti adanya *blocking* yaitu terbentuk *paraformaldehyde* didalam absorber. *Paraformaldehyde* dapat terbentuk dalam sistem absorber ketika konsentrasi formaldehida tinggi dan kondisi reaksi (seperti suhu dan waktu tinggal) tidak dikontrol dengan baik.

Faktor selanjutnya yang dapat menyebabkan perbedaan nilai data efisiensi aktual dan desain yaitu terbentuknya *foaming* akibat kontaminan. Kondisi ini dapat menyebabkan *back pressure* yang dapat diatasi dengan cara menginjeksikan antifoam (Seader dan Henley, 2006). Selain itu, kondisi operasional yang tidak *steady state* dapat menyebabkan perbedaan data efisiensi. Situasi tidak *steady state* berarti ada perubahan atau fluktuasi dalam variabel proses seperti suhu, tekanan, laju alir, atau komposisi bahan yang bisa berdampak pada kualitas produk dan keamanan operasional (Anchard dan Thacker, 2013). Kondisi yang tidak *steady state* dapat dimonitor dengan memonitor parameter utama proses seperti suhu reaktor, tekanan, laju alir bahan baku yang selanjutnya melakukan pengecekan dan penyesuaian proses yang meliputi penyesuaian laju alir, pengaturan suhu dan tekanan, dan kontrol katalis jika terjadi kondisi yang tidak *steady state*. Penyebab lain terjadinya perbedaan nilai data efisiensi aktual dan desain adalah *open split*. *Open split* adalah kondisi dimana absorber tidak dapat larutan penyerap dari tingkat sebelumnya, sehingga absorber menjadi panas karena mengabsorb dengan beban yang lebih besar tanpa adanya pelarut (Seader dan Henley, 2006). Kemungkinan lain adanya perbedaan nilai data efisiensi aktual dan desain dapat disebabkan oleh kerusakan alat yang dapat mempengaruhi efisiensi absorpsi.

4. Kesimpulan

Pada penelitian ini diteliti kinerja absorber tingkat 1 di formaldehyde plant dengan mengevaluasi perbandingan data efisiensi aktual dan desain. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai rata – rata efisiensi aktual sebesar 44,8% dan nilai efisiensi desain absorber 1 sebesar 44,3%. Kinerja dari absorber 1 tersebut baik karena perbedaan nilai efisiensi data aktual dan data desain tidak jauh berbeda. Semakin baik efisiensi absorber 1 maka semakin sedikit metanol yang terbuang dan dapat disimpulkan juga bahwa kinerja dari absorber 1 cukup baik.

References

- Anchard, P. N., dan J. W. Thacker. 2013. *Effective Training: System, Strategies, and Practices*.
- Braz, Catarina G., Nicole Lutters, Jorge Rocha, Ricardo Alvim, Eugeny Y. Kenig, dan Henrique A. Matos. 2020. "Modeling and Simulation of an Industrial Formaldehyde Absorption System." *Industrial and Engineering Chemistry Research* 59(13):5996–6006. doi: 10.1021/acs.iecr.9b07013.
- Darmawan, Saptadi, Kurnia Sofyan, Gustan Pari, dan Krisdianto Sugiyanto. 2010. "Effect of Activated Charcoal Addition on Formaldehyde Emission of Medium Density Fiberboard." *Indonesian Journal of Forestry Research* 7(2):100–111. doi: 10.20886/ijfr.2010.7.2.100-111.
- Dewi, Alifa Listina, Risti Ragadhita, Asep Bayu, dan Dani Nandiyanto. 2023. "Reactor Design for Formaldehyde Production From Methanol Oxidation Using Silver Catalyst." *Green and Applied Chemistry* 18:1–8.
- Fauzan, O. K. Muhammad, Ilmi Nur Amalia, Chiera Shelgi, dan Putri Nabila. 2025. "Reducing Energy Consumption in the Formaldehyde Production Process." *Journal of Chemical Engineering Research Progress* 2(1). doi: 10.9767/jcerp.20308.
- Kirk, K. E. dan Othmer, D. F. Kirk. 1981. *Encyclopedia of Chemical Technology*. New York: John Wiley and Sons, Inc.
- Kuramshina, K. S., dan K. A. Pavlova. 2016. "Physical and Chemical Analysis of Formaldehyde Absorption Process." *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences* 11(16):9655–63.
- Pérez Sánchez, A., E. J. Pérez Sánchez, dan R. Segura Silva. 2016. "Design of a Packed-Bed Absorption Column Considering Four Packing Types and Applying Matlab." *Nexo Revista Científica* 29(2):83–104. doi: 10.5377/nexo.v29i2.4577.
- POM. 2005. "Formalin." Retrieved (<https://www.pom.go.id/berita/formalin>).
- Putri, Anggita Rosiana, Kevin Awidarta, Bachtiar Rifai Pratita Ihsan, Intan Khaerunisa, Muhammad Bachrul Ulum, dan Laili Fadhotun Huda. 2024. "Formaldehyde Content in Indonesian Food and the Analysis Method: A Review." *Journal of Food and Pharmaceutical Sciences* 12(1):28–37. doi: 10.22146/jfps.10060.
- Sabty, S. J., M. A. Adham, dan M. A. Mudhafar. 2016. "Production of Formaldehyde." University of Diyala.
- Seader, J. D., and E. J. Henley. 2006. *Separation Process Principles*.

Sebastian, Calvinio Juan, Fidelis Neo Adhyaksa, Mutiara Tabitha Kamal, dan Vincentius Edward Susanto. 2024. "Optimization of Energy Consumption in Formaldehyde Production Process Using Reboiled Absorption Process." *Journal of Chemical Engineering Research Progress* 1(1):11–23. doi: 10.9767/jcerp.20094.

Winkelman, J. G. M. 2003. "Absorption of Formaldehyde in Water." University of Groningen.