

EVALUASI KINERJA KOLOM STRIPPER PADA PROSES CO₂ REMOVAL DI UNIT AMONIA

Juro Dufan Saragih¹, Kevin Gabriel Hutasoit¹, Dennis Farina Nury^{1,2*}

¹Program Studi Teknik Kimia, Institut Teknologi Sumatera, Jl. Terusan Ryacudu, Way Huwi, Kec. Jati Agung, Lampung Selatan, 35365

²Program Studi Teknologi Proses Industri Petrokimia, Politeknik Industri Petrokimia Banten, Jl. Raya Karang Bolong, Cikoneng, Kec. Anyar, Kabupaten Serang, Banten 42166

dennis.farina@poltek-petrokimia.ac.id

Abstract

The ammonia production process requires the removal of carbon dioxide (CO₂) to ensure the synthesis gas is free from contaminants that can damage the catalyst. One of the essential units in this process is the stripper column, which functions to release CO₂ from the semi-lean solution so it can be reused in the absorption cycle. This study aims to evaluate the performance of the CO₂ stripper by comparing design data with actual data obtained from the Distributed Control System (DCS) and laboratory analysis over five months. The evaluation includes mass and energy balance calculations, thermal efficiency, and the percentage of CO₂ successfully separated. The results indicate that the stripper's efficiency fluctuates, with an average of 90.11%, which is still within the plant's design tolerance. These fluctuations are likely caused by variations in operating conditions, fouling accumulation, and suboptimal equipment performance. This evaluation provides a foundation for improved operational optimization and maintenance planning.

Keywords: Ammonia, CO₂ removal, efficiency, stripper, thermal

Abstrak

Proses produksi amonia memerlukan tahapan penghilangan karbon dioksida (CO₂) agar gas sintesis terbebas dari senyawa pengganggu yang dapat merusak katalis. Salah satu unit penting dalam proses ini adalah kolom stripper yang berfungsi untuk melepaskan CO₂ dari larutan semi-lean agar dapat digunakan kembali dalam siklus penyerapan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja stripper berdasarkan perbandingan data desain dan data aktual yang diperoleh dari Distributed Control System (DCS) dan analisis laboratorium selama lima bulan. Evaluasi mencakup perhitungan neraca massa, neraca energi, efisiensi termal, dan persen CO₂ yang berhasil dipisahkan. Hasil studi menunjukkan bahwa efisiensi stripper mengalami fluktuasi dengan rata-rata sebesar 90,11%, yang masih dalam batas toleransi desain. Fluktuasi ini diduga disebabkan oleh variasi kondisi operasi, akumulasi fouling, serta performa peralatan yang tidak optimal. Evaluasi ini memberikan dasar untuk optimasi operasional dan pemeliharaan yang lebih baik di masa mendatang.

Kata Kunci: Amonia, CO₂ removal, efisiensi, stripper, termal

1. Pendahuluan

Saat ini, konsumsi energi global terutama dalam tiga aspek: industri, bangunan, dan transportasi, di antaranya konsumsi energi industri menyumbang proporsi terbesar yang melebihi 50% [1]. Indonesia merupakan salah satu negara agraris dengan luas area industri perkebunan dan pertanian mencapai 24,52 juta hektar [2], [3]. Kebutuhan akan pupuk untuk menunjang sektor ini terus meningkat seiring bertambahnya luas lahan pertanian dan perkebunan. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut, beberapa pabrik pupuk telah dibangun oleh pemerintah, termasuk di antaranya pabrik-pabrik yang mengusung teknologi terbaru dalam proses produksi amonia dan urea [4].

Carbon Dioxide Removal merupakan salah satu tahapan penting dalam proses produksi amonia karena keberadaan karbon dioksida (CO_2) dalam gas sintesis harus dikendalikan pada level yang sangat rendah untuk mencegah kerusakan terhadap katalis di reaktor sintesis amonia [5]. Teknologi yang digunakan pada unit ini adalah OASE 2 stage, yang dirancang untuk menyerap CO_2 dari gas proses dengan konsentrasi awal 18,5% hingga mencapai 500 ppmv (basis kering) [6]. Proses penyerapan CO_2 berlangsung di absorber pada tekanan tinggi (36,7 kg/cm²) dan temperatur yang bervariasi antara 50 °C (bagian atas) hingga 85 °C (bagian bawah), menggunakan semi-lean solution dan lean solution sebagai larutan penyerap. Setelah mencapai kejenuhan, larutan penyerap perlu diregenerasi melalui tahap stripping yang dilakukan pada tekanan relatif tinggi dan temperatur tinggi agar dapat digunakan kembali dalam siklus penyerapan.

Salah satu komponen utama dalam unit *CO₂ removal* adalah *stripper*, sebuah kolom pemisah yang digunakan untuk meregenerasi larutan penyerap CO_2 agar dapat digunakan kembali. Proses stripping melibatkan pemisahan CO_2 dari larutan *semi-lean* (yang masih mengandung CO_2 dalam jumlah sedang) dengan cara pemanasan dan pengurangan tekanan. Umumnya, larutan penyerap yang digunakan adalah *activated methyl diethanol amine* (aMDEA), yang memiliki afinitas tinggi terhadap CO_2 .

Stripper merupakan salah satu peralatan yang menunjang kinerja unit *CO₂ removal* [7]. *Stripping* adalah proses regenerasi termal dimana pada proses ini CO_2 akan terlepas dari larutan *semi-lean*. Dalam proses *stripping*, CO_2 dilepaskan dari larutan dengan bantuan panas dan tekanan tertentu. Evaluasi terhadap kinerja *stripper* perlu dilakukan untuk mengetahui seberapa efisien alat ini bekerja dalam regenerasi larutan, serta untuk mengidentifikasi potensi penyimpangan operasi yang dapat memengaruhi performa keseluruhan unit *CO₂ Removal*.

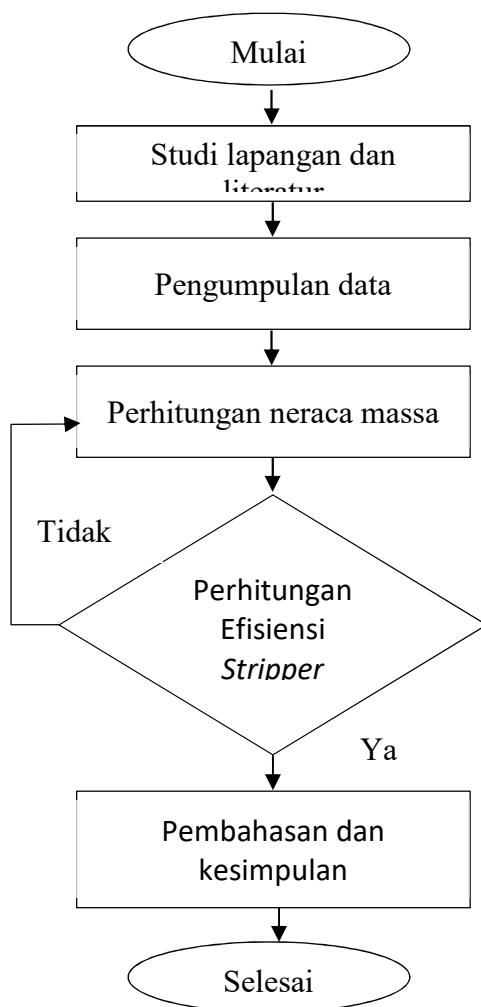
Kolom *stripper* biasanya beroperasi pada suhu tinggi dan tekanan rendah hingga sedang, dan dilengkapi dengan *packed bed* atau tray untuk memperluas area kontak antara larutan dan gas, sehingga proses desorpsi CO_2 dapat berlangsung lebih efektif [8]. Efisiensi dari proses *stripping* sangat dipengaruhi oleh kondisi operasi seperti suhu, tekanan, komposisi larutan, dan desain internal kolom. Jika *stripper* tidak berfungsi secara optimal, maka larutan penyerap yang diregenerasi tidak akan memiliki kapasitas penyerapan CO_2 yang cukup saat digunakan kembali di absorber, yang pada akhirnya menurunkan performa keseluruhan sistem [9].

Berdasarkan pentingnya peranan unit *stripper* dalam proses regenerasi larutan penyerap CO_2 , evaluasi terhadap kinerja *stripper* menjadi hal yang esensial untuk memastikan kelangsungan dan efisiensi proses *CO₂ Removal* dalam produksi amonia. Penelitian ini

bertujuan untuk mengevaluasi kinerja kolom CO₂ *stripper* berdasarkan efisiensi pelepasan CO₂ dari larutan semi-lean dan persentase CO₂ yang berhasil dipisahkan, dengan membandingkan antara data desain dan data aktual operasi. Evaluasi dilakukan melalui analisis neraca massa dan energi, serta perhitungan efisiensi termal untuk mengetahui sejauh mana kinerja alat sesuai dengan parameter yang telah ditentukan

2. Metode Penelitian

Pada penelitian ini, data yang digunakan merupakan data desain yang diperoleh dari Departemen Perencanaan dan Pengendalian Produksi. Sedangkan data aktual diperoleh dari DCS (Distributed Control System) dan data analisis laboratorium selama 5 bulan pada tahun 2023.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Pendekatan yang digunakan untuk mengambil data yang diperlukan yaitu sebagai berikut:

A. Pengumpulan Data

Pengumpulan data diperlukan untuk penyelesaian perhitungan efisiensi dan persentase CO₂ yang dihasilkan. Data-data yang dibutuhkan antara lain:

1. Data desain CO₂ Stripper, meliputi:
 - a. Laju alir dan konsentrasinya tiap komponen masuk dan keluar CO₂ Stripper
 - b. Kondisi operasi yaitu temperature dan tekanan aliran masuk dan keluar CO₂ Stripper (122-D)
2. Data *actual*, diambil dari Departemen Perencanaan dan Pengendalian Produksi dengan periode 1 kali setiap bulan pada rentang 5 bulan pada tahun 2023 dengan data sebagai berikut:
 - a. Laju alir dan konsentrasinya tiap komponen masuk dan keluar CO₂ Stripper
 - b. Kondisi operasi, meliputi temperatur dan tekanan aliran masuk dan keluar CO₂ Stripper
3. Pengolahan Data, perhitungan neraca massa CO₂ Stripper dilakukan dalam beberapa tahapan berikut:
 - a. Menghitung laju alir komponen masuk
 - b. Menghitung laju alir komponen keluar

$$\text{laju alir masuk} = \text{laju alir keluar} \quad (1)$$

B. Perhitungan Neraca Energi

Perhitungan neraca energi CO₂ Stripper dilakukan dalam beberapa tahapan berikut:

1. Menghitung panas sensibel masuk dan keluar syn gas
2. Menghitung panas sensibel masuk lean oase
3. Menghitung panas sensible masuk semi lean oase
4. Menghitung panas yang hilang

$$Q = m \cdot cp \cdot \Delta T \quad (2)$$

$$Q_{\text{masuk}} = Q_{\text{keluar}} \quad (3)$$

C. Perhitungan Persen CO₂ terpisahkan

Perhitungan efisiensi kerja CO₂ Stripper digunakan rumus berikut:

$$\text{CO}_2 \text{ yang dihasilkan} = \frac{\text{massa masuk}}{\text{massa keluar}} \times 100\% \quad (4)$$

D. Perhitungan Efisiensi Panas

Perhitungan efisiensi panas dengan rumus berikut:

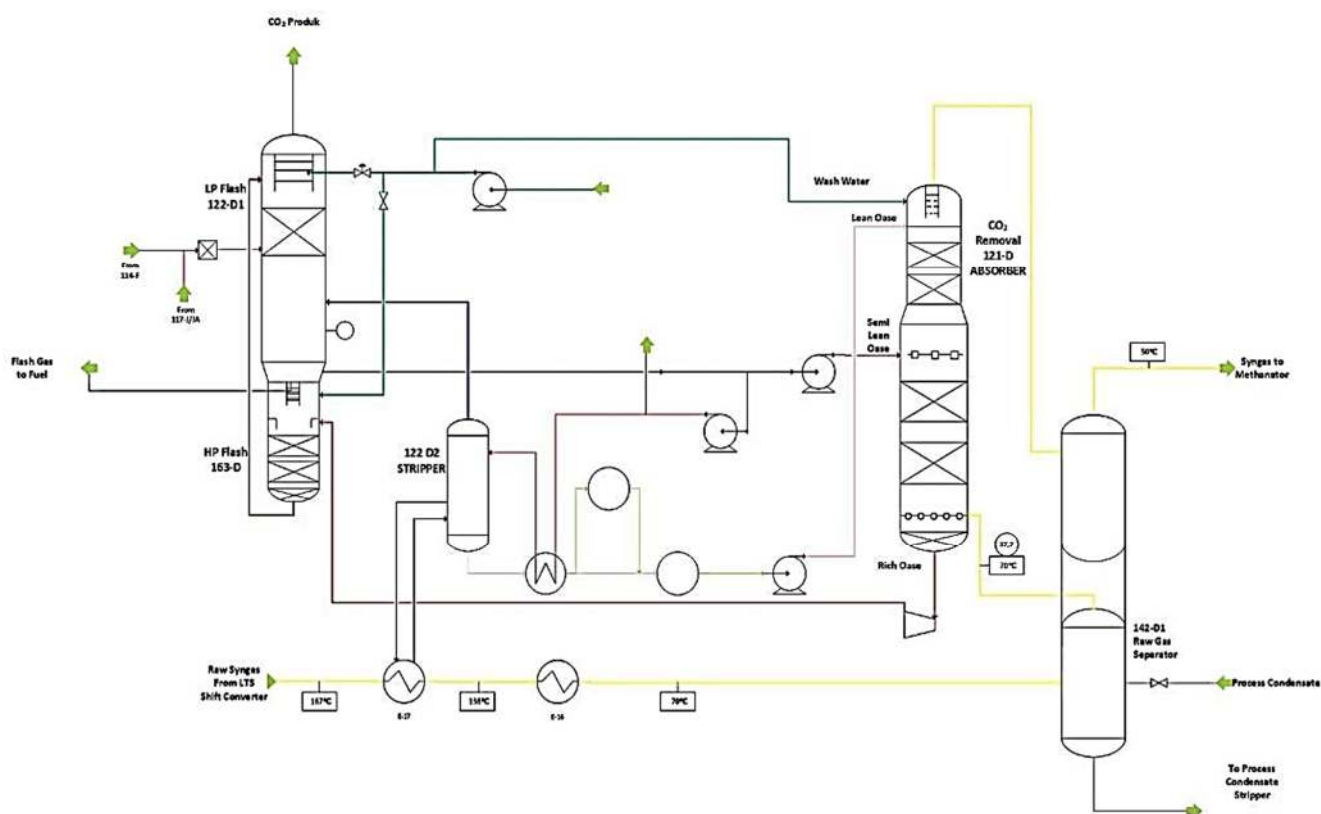
$$\text{Efisiensi} = \frac{\text{total panas masuk} - \text{heat loss}}{\text{total panas masuk}} \times 100\% \quad (5)$$

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Evaluasi CO₂ removal

Proses CO₂ Removal merupakan tahapan vital dalam produksi amonia untuk menurunkan kandungan karbon dioksida dalam gas sintesis yang dapat meracuni katalis di unit sintesis. Unit ini menggunakan larutan aMDEA yang menyerap CO₂ melalui dua tahap absorber dan mengeluarkan kembali CO₂ di stripper untuk regenerasi larutan.

Penyerapan berlangsung pada tekanan tinggi (sekitar 36,7 kg/cm²) dan temperatur antara 50–85 °C, sedangkan pelepasan CO₂ di kolom stripper dilakukan pada tekanan lebih rendah dan temperatur lebih tinggi (sekitar 126 °C). Berdasarkan data operasional selama lima bulan, konsentrasi CO₂ dalam larutan semi-lean masuk ke stripper berkisar 2,5–3,1%, dan turun menjadi <0,5% pada larutan lean yang keluar dari kolom, menunjukkan keberhasilan proses desorpsi CO₂. Evaluasi ini sejalan dengan literatur yang menyatakan bahwa kinerja sistem CO₂ removal sangat dipengaruhi oleh stabilitas operasi, jenis larutan amina, dan konfigurasi kolom yang digunakan [10], [11].



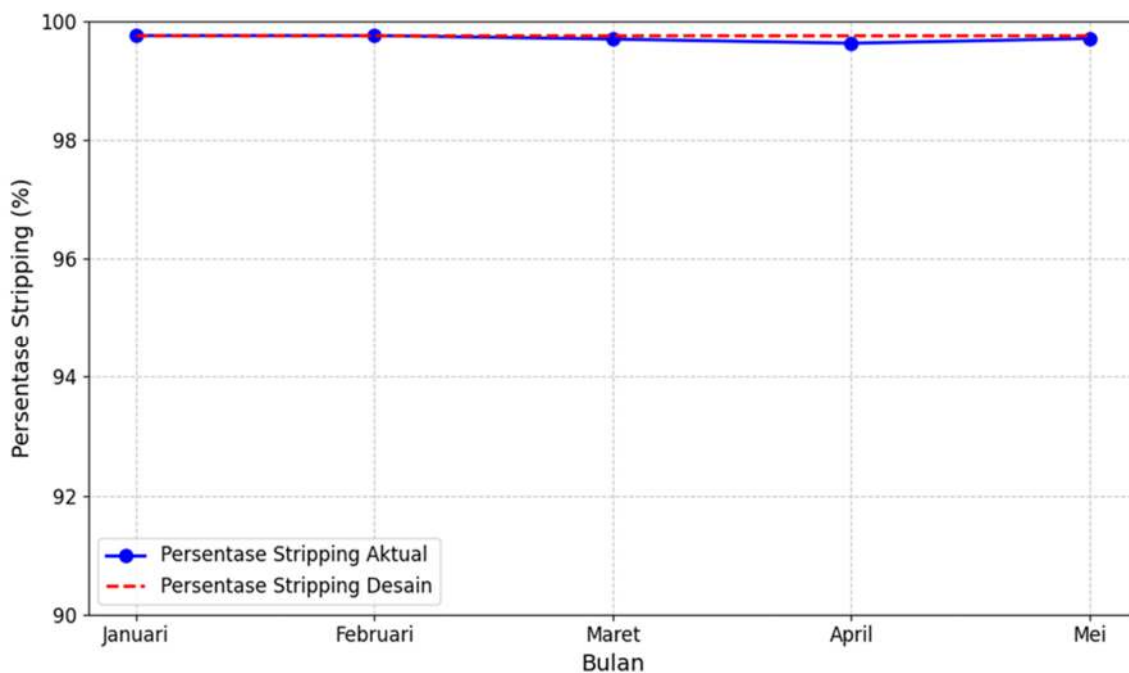
Gambar 2. Process Flow Diagram CO₂ removal

Perhitungan neraca massa dan neraca panas terhadap data *design* dan data *actual* juga dilakukan untuk menghitung efisiensi absorber. Efisiensi absorber perlu diketahui karena dengan mengetahui efisiensi dari suatu alat maka kita dapat mengetahui bagaimana kinerja atau kemampuan alat tersebut dalam menunjang suatu produksi. Efisiensi absorber dihitung untuk mengetahui berapa banyak CO₂ yang dapat terserap dalam absorber sehingga gas proses untuk produksi ammonia akan bebas dari CO₂ yang dapat merusak katalis pada proses *ammonia converter*, serta untuk mengetahui seberapa

banyak gas CO₂ yang dapat terserap. Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan terhadap data *design* dan juga data *actual*, maka diperoleh ekspresi % CO₂ yang dipisahkan pada Gambar 1 dan efisiensi *stripper* pada Gambar 2.

3.2. Persentase Stripping

Persentase stripping dihitung untuk menentukan seberapa besar fraksi CO₂ yang berhasil dilepaskan dari larutan semi-lean dalam proses stripping. Data lima bulan menunjukkan bahwa nilai stripping aktual berada pada rentang 99,63%–99,76%, mendekati nilai desain 99,76%. Nilai tertinggi dicapai pada bulan Januari dan Februari, sedangkan titik terendah terjadi pada April (99,63%).



Gambar 3. Persentase Stripping

Gambar 3 menunjukkan data persentase *stripping* aktual dari bulan Januari hingga Mei, dibandingkan dengan nilai desain sebesar 99,76%. Persentase stripping menggambarkan seberapa besar komponen yang berhasil dipisahkan dalam kolom *stripper* dari campuran awalnya dalam konteks ini, semakin tinggi nilainya, semakin efektif proses pemisahan tersebut. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa nilai aktual cenderung sedikit di bawah nilai desain namun masih berada dalam kisaran yang relatif tinggi, yaitu antara 99,63% hingga 99,76%. Nilai tertinggi tercatat pada bulan Januari dan Februari, yang sesuai dengan target desain.

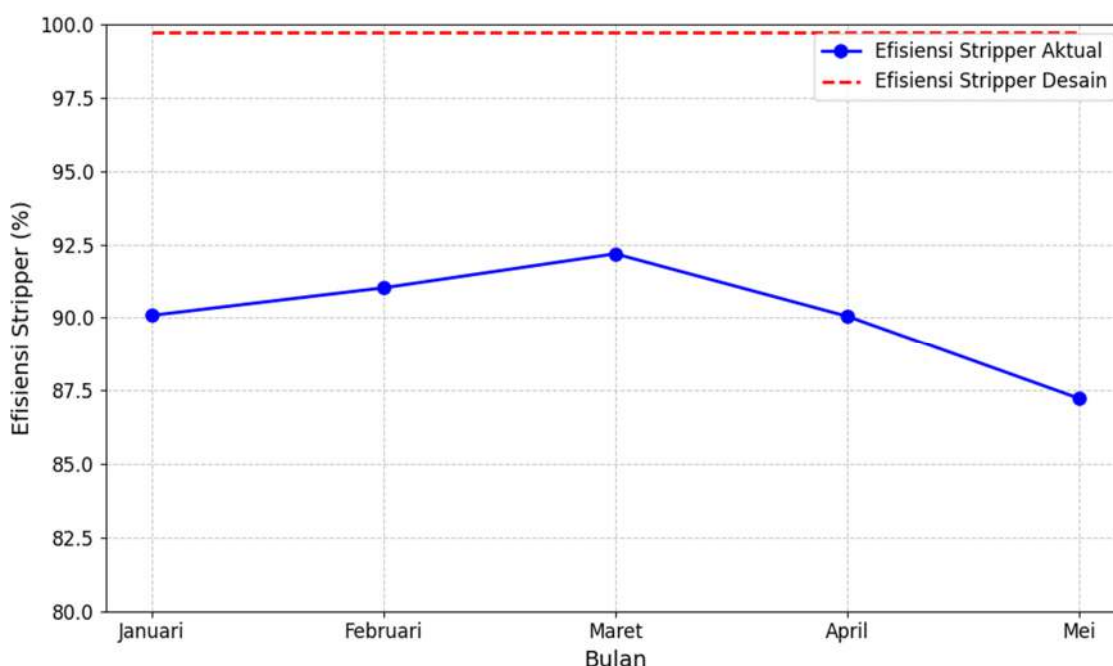
Namun, mulai bulan Maret hingga Mei terjadi sedikit penurunan, dengan titik terendah pada bulan April (99,63%). Penyimpangan kecil dari nilai desain ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor, seperti fluktuasi kondisi operasi, penurunan performa alat dan akumulasi fouling atau kondisi *tray* yang tidak optimal. Presentase *stripping* menunjukkan nilai di atas 99,6%, maka secara umum performa kolom *stripper* dapat dikatakan stabil dan baik.

Meskipun terjadi fluktuasi kecil, hasil ini masih berada dalam batas toleransi yang dapat diterima secara teknis. Penurunan efisiensi kemungkinan disebabkan oleh faktor-faktor seperti akumulasi fouling, perubahan temperatur operasi, dan performansi *tray* atau packing yang menurun. Meskipun efisiensi stripping tinggi,

fouling pada packing dapat menurunkan kapasitas pemisahan gas dan menyebabkan penurunan stripping CO_2 secara bertahap [12].

3.3. Efisiensi Stripper

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan terhadap data *design* dan juga data *actual*, maka diperoleh ekspresi efisiensi *stripper* setiap bulannya pada Gambar 4. Efisiensi *stripper* dihitung berdasarkan neraca energi, yang mencakup panas masuk dan panas keluar dari aliran cairan dan gas. Efisiensi aktual yang diperoleh selama lima bulan berada dalam kisaran 87,23% hingga 92,18%, dengan rata-rata sebesar 90,11%, lebih rendah dari nilai desain yaitu 99,72%.



Gambar 4. Efisiensi Stripper

Gambar 4 menunjukkan tren efisiensi *stripper* dalam rentang waktu lima bulan, mulai dari Januari hingga Mei. Efisiensi aktual diukur berdasarkan neraca panas *stripper*. Sebagai referensi, nilai desain efisiensi *stripper* ditetapkan sebesar 99,72%, ditampilkan dalam bentuk garis putus-putus merah pada grafik. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa efisiensi aktual berada cukup jauh di bawah nilai desain, dengan rentang efisiensi antara 87,23% hingga 92,18%. Tertinggi terjadi pada bulan Maret (92,18%) dan terendah pada bulan Mei (87,23%).

Penurunan efisiensi ini dapat mengindikasikan adanya penyimpangan operasional, seperti perubahan laju alir, kondisi *tray* atau *packing* yang tidak optimal, tekanan operasi yang tidak stabil, atau kemungkinan adanya fouling atau kontaminasi pada unit *stripper* [13]. Secara umum, grafik menunjukkan bahwa performa unit *stripper* mengalami fluktuasi selama periode pemantauan. Hal ini menegaskan pentingnya evaluasi berkala terhadap parameter operasi dan potensi kebutuhan perawatan atau modifikasi pada sistem.

Secara umum, grafik menunjukkan bahwa performa unit *stripper* mengalami fluktuasi selama periode pemantauan. Hal ini menegaskan pentingnya evaluasi berkala terhadap parameter operasi dan potensi kebutuhan perawatan atau modifikasi pada

sistem. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa meskipun efisiensi *stripper* masih berada dalam batas operasional, namun terdapat potensi peningkatan melalui optimasi kondisi operasi dan pemeliharaan yang lebih konsisten.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil evaluasi kinerja *stripper* CO₂ pada unit amonia dapat disimpulkan bahwa:

1. Efisiensi *stripper* CO₂ rata-rata mencapai 90,11%, yang masih berada dalam batas toleransi operasional tetapi lebih rendah dari nilai desain sebesar 99,72%.
2. Fluktuasi efisiensi diakibatkan oleh variasi tekanan dan suhu operasi, serta kemungkinan akumulasi senyawa pengotor dalam larutan penyerap CO₂.
3. Diperlukan optimasi dalam pengendalian parameter operasi, termasuk pemantauan lebih ketat terhadap tekanan, suhu, dan komposisi larutan penyerap untuk meningkatkan efisiensi *stripper* CO₂.

Referensi

- [1] S. Yang, L. Zhang, N. Xie, Z. Gu, and Z. Liu, "Thermodynamic analysis of a semi-lean solution process for energy saving via rectisol wash technology," *Energy*, vol. 226, 2021, doi: 10.1016/j.energy.2021.120402.
- [2] "Luas Tanaman Perkebunan Menurut Provinsi (Ribuan Hektar), 2023," *Badan Pusat Statistik Indonesia*, 2024.
- [3] "Satu Data, Satu Suara Sawit Indonesia," *Badan Pusat Statistik Indonesia*, 2022.
- [4] C. M. Annur, "Kapasitas Produksi PT Pupuk Indonesia Capai 13,9 Juta Ton pada 2023," *Databoks*, 2023.
- [5] S. R. Kusumaningrum, N. A. Rosalin, A. Wiguno, and G. Wibawa, "Pra-Desain Pabrik Amonia dari Gas Alam," *J. Tek. ITS*, vol. 12, no. 2, 2023, doi: 10.12962/j23373539.v12i2.121274.
- [6] Muhammad Yusron Mubarak, "Efisiensi Kinerja Alat Pada Waste Heat Boiler Di Pabrik Urea Pupuk Sriwidjaja II B", [Online]. Available: https://www.academia.edu/80627873/Efisiensi_Kinerja_Alat_Pada_Waste_Heat_Boiler_Di_Pabrik_Urea_Pupuk_Sriwidjaja_II_B
- [7] A. Anugrah, M. Hidayat, and W. B. Sediawan, "Evaluation of Stripper Performance for Carbon Dioxide Removal in an Ammonia Plant," vol. 23, no. 1, pp. 21–26, 2023.
- [8] E. Megawati, Y. Yuniarti, and A. Rifandi, "Evaluasi Kolom Stripper C-04-01 di Unit Naphta Hydrotreater (Studi Kasus di PT. PERTAMINA REFINERY UNIT V BALIKPAPAN)," *J. Chemurg.*, vol. 2, no. 2, p. 20, 2019, doi: 10.30872/cmng.v2i2.2234.
- [9] M. Bui, P. Tait, M. Lucquiaud, and N. Mac Dowell, "Dynamic operation and modelling of amine-based CO₂ capture at pilot scale," *Int. J. Greenh. Gas Control*, vol. 79, pp. 134–153, 2018, doi: 10.1016/j.ijggc.2018.08.016.

- [10] Udara S.P.R. Arachchige, "(PDF) Amines' effect on CO₂ removal efficiency", [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/331984466_Amines'_effect_on_CO_2_removal_efficiency
- [11] M. S. Alivand, O. Mazaheri, Y. Wu, G. W. Stevens, C. A. Scholes, and K. A. Mumford, "Catalytic Solvent Regeneration for Energy-Efficient CO₂ Capture," *ACS Sustain. Chem. Eng.*, vol. 8, no. 51, pp. 18755–18788, 2020, doi: 10.1021/acssuschemeng.0c07066.
- [12] A. Mohd Shariff *et al.*, "Factors affecting CO₂ absorption efficiency in packed column: A review Author's personal copy Review Factors affecting CO₂ absorption efficiency in packed column: A review", [Online]. Available: <http://www.elsevier.com/copyright>
- [13] Enggal Nurisman, Merlinda Ariesty Putri, and Mayang Bidari, "Analisis Performa Persentase Stripping dan Efisiensi Panas Stripper (DA-101) pada Unit Sintesa Urea PUSRI-II B," *J. Chem. Process Eng.*, vol. 7, no. 2, pp. 109–116, 2022.