

ANALISIS KINERJA KOLOM ABSORBER GAS ASAM DENGAN PELARUT MDEA DAN A-MDEA PADA GAS PLANT

Baroroh Nurjanah¹, Muhammad Ammar Syahid¹, Rigel Adityo Wijoyo¹, Tun Sriana^{1*}

¹Teknik Pengolahan Minyak dan Gas, Politeknik Energi dan Mineral Akamigas, Jalan Gajah Mada No. 38 Cepu, Blora, Jawa Tengah 58311

E-mail: tun.sriana@gmail.com

ABSTRAK

Kolom absorpsi gas asam merupakan peralatan yang penting dalam proses pemurnian gas alam, khususnya untuk menghilangkan hidrogen sulfida (H_2S) dan karbon dioksida (CO_2) agar memenuhi spesifikasi penjualan maupun standar proses hilir. Salah satu pelarut yang banyak digunakan adalah Methyldiethanolamine (MDEA), dan performanya dapat ditingkatkan melalui penambahan piperazine sehingga membentuk *activated* MDEA (a-MDEA). Studi ini bertujuan untuk membandingkan dan menganalisis kinerja pelarut MDEA dan a-MDEA menggunakan simulasi Aspen HYSYS. Terdapat tiga variasi solvent yang diuji, yaitu MDEA, a-MDEA 0,5 mol%, dan a-MDEA 1 mol%, berdasarkan komposisi *treated gas* dan performa proses. Hasil simulasi menunjukkan bahwa solvent MDEA murni telah mampu menghilangkan H_2S secara sempurna menjadi 0, namun kadar CO_2 pada *treated gas* masih sebesar 0,1382, sedangkan a-MDEA 0,5 mol% dan 1 mol% menurunkan CO_2 menjadi 0,0172 dan 0,0014. Penambahan piperazine menurunkan kebutuhan energi regenerasi serta biaya operasional, tanpa menurunkan stabilitas tekanan dan temperatur operasi kolom absorber. Perubahan tersebut memaksimalkan kinerja penyerapan pada solvent terhadap gas asam, serta mengurangi jumlah gas asam yang terbuang ke *flare* sehingga meningkatkan efisiensi proses dan mengurangi potensi emisi.

Kata kunci: *Piperazine*, MDEA, a-MDEA, *Absorber Column*, Gas Asam

1. PENDAHULUAN

Gas alam yang diproduksi dari *reservoir* umumnya mengandung komponen gas asam berupa hidrogen sulfida (H_2S) dan karbon dioksida (CO_2) dengan kadar yang bervariasi[1]. Kandungan CO_2 pada gas alam dapat berkisar antara 1–70%, sedangkan kadar H_2S dapat berada pada rentang beberapa ppm hingga lebih dari 20% tergantung karakteristik *reservoir*[2]. Keberadaan gas asam ini harus dikurangi karena dapat menimbulkan korosi, menurunkan nilai kalor, serta tidak memenuhi spesifikasi gas pipa[3].

Proses pemurnian gas asam pada fasilitas pengolahan gas secara umum dilakukan dengan metode absorpsi menggunakan larutan amina [4]. Salah satu pelarut yang banyak digunakan adalah Methyldiethanolamine (MDEA), karena memiliki selektivitas tinggi terhadap H_2S , tekanan uap rendah, serta stabilitas kimia yang baik[5]. Namun, MDEA memiliki keterbatasan berupa laju absorpsi CO_2 yang relatif lambat sehingga dapat meningkatkan beban energi pada unit regenerasi[6].

Kinerja MDEA dapat ditingkatkan melalui penambahan *piperazine* (PZ) sebagai aktivator[7]. Penambahan *piperazine* mempercepat mekanisme reaksi pembentukan karbamat, sehingga laju penyerapan CO_2 meningkat dan efisiensi sistem bertambah[8]. Campuran ini dikenal sebagai *activated*-MDEA (a-MDEA) dan telah banyak dilaporkan memberikan peningkatan kapasitas absorpsi serta penurunan konsumsi energi regenerasi[9].

Berdasarkan hal tersebut, studi ini melakukan analisis dan perbandingan kinerja MDEA dan a-MDEA 0,5% dan 1% *piperazine* berbasis *mole fraction* melalui simulasi proses pada

kolom *absorber* gas asam. Evaluasi dilakukan untuk melihat pengaruh variasi komposisi pelarut terhadap penurunan kadar CO₂ dan H₂S serta dampaknya terhadap aspek operasi dan keekonomian. Hasil kajian ini diharapkan dapat memberikan gambaran teknis mengenai performa masing-masing pelarut serta pertimbangannya dalam penerapan di fasilitas pengolahan gas.

2. METODE

A. Data Desain Kolom *Absorber*

Simulasi dilakukan menggunakan *software* Aspen HYSYS V14, sebuah perangkat lunak yang umum dipakai untuk melakukan simulasi berbagai permodelan proses di kilang. Paket termodinamika yang digunakan adalah *Acid Gas - (Chemical Solvent)* karena mampu memodelkan reaksi kimia antara pelarut amina (MDEA dan a-MDEA) dengan CO₂ dan H₂S[10]. Tabel 1 menyajikan parameter desain kolom *absorber* yang digunakan sebagai dasar dalam simulasi proses.

Tabel 1. Data Desain Kolom Absorber

Parameter	Spesifikasi	Nilai
<i>Pressure</i>	<i>Top</i>	389.0 psig
	<i>Bottom</i>	395.0 psig
<i>Temperature</i>	<i>Top</i>	120.0 °F
	<i>Bottom</i>	187.0 °F
Jenis Kolom	-	<i>Packed Column</i>
Jenis <i>Packing</i>	-	<i>Rasching Ring</i>
<i>Material Packing</i>	-	Metal
Ukuran <i>Packing</i>	-	50 mm
Tinggi <i>Packed</i>	-	13.12 ft
Diameter Kolom	-	8.50 ft

B. Bahan Baku

Pada kolom *absorber*, bahan baku yang digunakan antara lain yaitu *feed gas* yang digunakan berasal dari *Gas Separation Unit (GSU)* dengan laju alir sebesar 8525 lbmole/hr. Komposisi *feed gas* ditunjukkan pada Tabel 2. *Solvent* yang digunakan adalah *Methyldiethanol-amine* (MDEA), baik dalam bentuk murni maupun campuran dengan *piperazine* (PZ) pada konsentrasi 0,5% dan 1%.

Tabel 2. Data Komposisi pada *Feed Gas*

<i>Components</i>	<i>Mole Fraction</i>
Methane	0.6949
Ethane	0.0263
Propane	0.0095
i-Butane	0.0019
n-Butane	0.0025
i-Pentane	0.0010
n-Pentane	0.0008
n-Hexane	0.0008
H ₂ O	0.0417

Selain *feed gas*, proses absorpsi juga menggunakan *lean solvent* sebagai pelarut utama[11]. Variasi pelarut yang digunakan dalam simulasi meliputi MDEA murni, MDEA dengan penam-

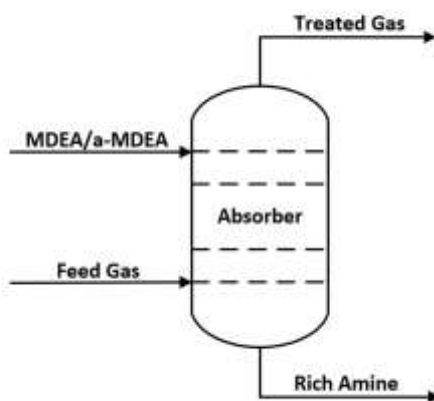
bahan *piperazine* 0,5%, dan MDEA dengan *piperazine* 1%. Pelarut ini berfungsi untuk menyerap kandungan H_2S dan CO_2 , sementara *piperazine* ditambahkan sebagai aktivator untuk meningkatkan laju absorpsi CO_2 dan menurunkan beban energi pada proses regenerasi[12]. Komposisi setiap pelarut ditunjukkan pada Tabel 3. Data ini digunakan sebagai *input* awal simulasi untuk memastikan kondisi *lean solvent* konsisten pada setiap variasi sehingga perbandingan kinerja absorpsi dapat dievaluasi secara objektif.

Tabel 3. Data Komposisi pada *Lean Solvent*

Variasi <i>Solvent</i>	H_2S	CO_2	H_2O	MDEAmine	<i>Piperazine</i>
MDEA murni	0,0001	0,0022	0,8802	0,1175	-
a-MDEA 0,5 mol%	0,0001	0,0022	0,8751	0,1175	0,0050
a-MDEA 1 mol%	0,0001	0,0022	0,8701	0,1175	0,0100

C. Deskripsi Proses

Proses pemurnian gas asam dilakukan dengan menggunakan kolom absorpsi dengan pelarut amina. *Feed gas* yang mengandung CO_2 dan H_2S dialirkan secara *upflow* ke dalam kolom *absorber* dengan *flow feed* sebesar 8525 lbmole/hr, suhu *feed* 95°F, tekanan *feed* 2825 kPa, sementara pelarut amina (*lean amine*) dialirkan secara *counter-current* dari bagian atas kolom dengan *flow solvent* sebesar 28810 lbmole/hr, suhu *solvent* 117 °F, tekanan *solvent* 2885 kPa. Kondisi operasi ini dipertahankan konstan pada seluruh simulasi untuk memastikan perbandingan antar pelarut dilakukan secara objektif. Secara umum, alur proses ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. *Process Flow Diagram* (PFD) Unit Absorpsi Gas Asam

Variabel simulasi yang digunakan dalam studi ini adalah komposisi pelarut amina, terdiri dari:

1. MDEA murni
2. a-MDEA 0,5 mol%
3. a-MDEA 1 mol%

Di dalam kolom, CO_2 dan H_2S bereaksi dengan pelarut amina. CO_2 mengalami pembentukan bikarbonat, sementara penambahan *piperazine* pada a-MDEA memungkinkan

terbentuknya karbamat yang mempercepat laju absorpsi. H₂S diserap lebih cepat dibandingkan CO₂ karena kelarutan dan reaktivitasnya yang lebih tinggi.

Hasil dari kontak antara gas dan pelarut menghasilkan produk utama yaitu *treated gas*. *Treated gas*, yaitu gas bersih yang telah mengalami penurunan kadar gas asam hingga memenuhi spesifikasi proses pada H₂S sebesar 0 ppm dan CO₂ < 2% mol. Gas ini keluar dari bagian atas kolom dan dialirkan ke proses selanjutnya[13]. Selain itu, kolom *absorber* juga menghasilkan *rich amine*, namun ini bukan salah satu dari produk keluaran kolom *absorber*, melainkan bagian dari sirkulasi pelarut. *Rich amine* dikirim ke unit regenerator untuk melepaskan gas asam dan dikembalikan sebagai *lean amine* untuk digunakan kembali dalam siklus absorpsi.

3. PEMBAHASAN

A. Data Komposisi *Treated Gas* pada Variasi MDEA, a-MDEA 0.5% dan a-MDEA 1%

Data komposisi pada *treated gas* ditampilkan pada Tabel 4. Berdasarkan Tabel 4, penggunaan MDEA menghasilkan kandungan CO₂ sebesar 0,1382, sedangkan a-MDEA 0,5 mol% dan a-MDEA 1 mol% mampu menurunkan kandungan CO₂ secara signifikan menjadi 0,0172 dan 0,0014. Nilai H₂S pada seluruh variasi mencapai nol, menandakan bahwa *solvent* MDEA sangat efektif dalam menyerap H₂S. Penurunan drastis kadar CO₂ menunjukkan bahwa keberadaan *piperazine* meningkatkan laju reaksi kimia antara amina dan CO₂. *Solvent* dengan penambahan 1% *piperazine* mampu menurunkan kadar CO₂ pada *treated gas* jika dibandingkan dengan 0,5% dan *non piperazine*.

Tabel 4. Data Komposisi pada *Treated Gas*

Variasi <i>Solvent</i>	H ₂ S	CO ₂
MDEA murni	0	0,1382
a-MDEA 0,5 mol%	0	0,0172
a-MDEA 1 mol%	0	0,0014

B. Data *Economy* pada Variasi MDEA, a-MDEA 0.5 mol% dan a-MDEA 1 mol%

Dari Tabel 5 terlihat bahwa total *capital cost* tetap sama untuk semua variasi *solvent*, yaitu 1.988.490, sedangkan total *operating cost* sedikit menurun dengan bertambahnya konsentrasi a-MDEA. Variasi a-MDEA 0,5 mol% dan 1 mol% memberikan *operating cost* terendah, masing-masing sebesar 1.003.750, dibandingkan MDEA murni yang memiliki *operating cost* 1.003.930. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan a-MDEA pada *solvent* tidak mempengaruhi biaya investasi, tetapi sedikit meningkatkan efisiensi biaya operasional, sehingga optimasi *solvent* dengan a-MDEA dapat memberikan keuntungan ekonomi tanpa menambah total *capital cost*.

Dalam studi ini, didapatkan hasil dari percobaan yang dilakukan menggunakan *software Hysys* dengan menggunakan data komposisi *feed gas* dan perbandingan tiga variasi *solvent* yaitu MDEA, a-MDEA 0,5 mol%, dan a-MDEA 1 mol%. Hasil simulasi ini dilakukan untuk menganalisis kinerja *absorber column* dalam menyerap kandungan gas asam, terutama H₂S dan CO₂, sekaligus untuk meninjau aspek operasional dan ekonomi dari penggunaan masing-masing variasi pelarut. Hasil ini akan memberikan gambaran nyata mengenai potensi peningkatan performa proses absorpsi pada industri pengolahan gas alam.

Tabel 5. Data Economy

Variasi Solvent	Total Capital Cost	Total Operating Cost
MDEA murni	1.988.490	1.003.930
a-MDEA 0,5 mol%	1.988.490	1.003.750
a-MDEA 1 mol%	1.988.490	1.003.750

Perbedaan dari kinerja *absorber* column antara penggunaan MDEA dan a-MDEA terlihat sangat signifikan. Pada penggunaan MDEA, untuk kandungan H₂S pada *treated gas* sudah berhasil dihilangkan yaitu sebesar 0,0000, namun untuk kandungan pada CO₂ masih cukup tinggi yaitu sebesar 0,1382. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun MDEA mampu bekerja dengan baik dalam mengurangi H₂S, kapasitasnya dalam menyerap CO₂ masih terbatas ketika fraksi CO₂ dalam *feed* cukup besar. Ketika dilakukannya penambahan *piperazine* sebesar 0,5% hasil simulasi menunjukkan peningkatan performa yang nyata. Kinerja absorpsi meningkat signifikan dengan kadar CO₂ menurun menjadi 0,0172, sementara H₂S tetap berada pada angka nol. Peningkatan yang lebih besar terlihat pada variasi dengan penambahan *piperazine* 1% dimana kandungan CO₂ turun drastis hingga 0,0014, dan H₂S tetap tidak ada. Perbandingan ini membuktikan bahwa keberadaan untuk *piperazine* sebagai amina sekunder mampu mempercepat reaksi penyerapan CO₂, sehingga meningkatkan kapasitas penyerapan *solvent* secara keseluruhan.

Secara teori, MDEA sendiri merupakan amina tersier yang memiliki selektivitas tinggi namun laju reaksinya terhadap CO₂ relatif lambat karena melalui mekanisme pembentukan ion karbonat (HCO₃⁻). *Piperazine*, sebagai amina sekunder, mampu membentuk karbamat dengan lebih cepat, sehingga ketika dikombinasikan dengan MDEA, reaksi penyerapan akan berlangsung lebih efektif. Hal inilah yang menjelaskan peningkatan yang besar meskipun *piperazine* hanya ditambahkan dalam jumlah kecil yaitu sebesar 0,5-1%.

Selain hasil perbandingan kandungan *treated gas*, analisis juga dilakukan terhadap kondisi operasi kolom *absorber*. Data menunjukkan bahwa kondisi operasi aktual sedikit berbeda dengan kondisi desain. Suhu bagian atas kolom dalam kondisi aktual tercatat sebesar 117,41 °F, sedangkan pada desain adalah 120 °F. Perbedaan ini justru menguntungkan proses absorpsi, karena pada temperatur yang lebih rendah kelarutan gas dalam cairan meningkat, sehingga penyerapan gas asam oleh pelarut menjadi lebih efektif. Tekanan operasi kolom tercatat 390,70 psig di bagian atas, yang masih sesuai dengan rentang desain (389 psig). Hal ini menunjukkan bahwa kondisi aktual tidak hanya stabil, tetapi juga mampu mendukung kinerja proses yang lebih baik. Dalam praktik industri, kestabilan kondisi operasi seperti suhu dan tekanan merupakan faktor penting. Hasil ini memperlihatkan bahwa peningkatan performa tidak hanya ditentukan oleh pemilihan pelarut, tetapi juga oleh bagaimana parameter operasi dikendalikan untuk mendukung efisiensi proses.

Analisis ekonomi pada studi ini difokuskan pada dua parameter utama, yaitu *total capital cost* dan *total operating cost* untuk setiap variasi pelarut yang digunakan MDEA, a-MDEA 0,5 mol%, dan a-MDEA 1 mol%. Berdasarkan hasil simulasi, *total capital cost* pada seluruh variasi pelarut bernilai sama, yaitu USD 1.988.490. Hal ini disebabkan karena penggunaan *solvent* tidak mengubah desain maupun ukuran peralatan *absorber*. Dengan demikian, *capital cost* tidak dipengaruhi oleh perubahan komposisi pelarut, sehingga nilai tersebut dianggap konstan untuk seluruh simulasi. Perbedaan antar variasi pelarut dapat dilihat pada *total operating cost*, yang menunjukkan adanya perbedaan konsumsi energi proses. MDEA memiliki *total operating cost* lebih besar yaitu sebesar USD 1.003.930, sedangkan penggunaan a-MDEA 0,5 mol% dan a-MDEA 1 mol% menghasilkan *operating cost* yang sedikit lebih rendah, yaitu USD 1.003.750.

Penurunan biaya operasi pada pelarut a-MDEA terjadi karena penambahan *piperazine* meningkatkan efisiensi absorpsi CO₂ sehingga menurunkan beban *reboiler* dan kebutuhan energi pada unit regenerasi. Selain itu, laju sirkulasi *solvent* pada sistem juga menjadi lebih efisien, sehingga beban utilitas menurun.

Selain aspek teknis dan ekonomi, penggunaan campuran MDEA dengan *Piperazine* juga memberikan manfaat lingkungan yang penting. Dengan berkurangnya kandungan CO₂ dalam *treated gas*, jumlah emisi gas yang terbuang ke *flare* dapat ditekan. Hal ini mengurangi potensi pencemaran udara sekaligus menurunkan risiko korosi peralatan akibat adanya gas asam. Dalam konteks industri minyak dan gas, upaya pengurangan emisi dan efisiensi energi merupakan bagian dari implementasi konsep *sustainable operation*. Optimasi *solvent* dengan *piperazine* mendukung target keberlanjutan tersebut karena dapat menekan dampak lingkungan sekaligus meningkatkan produktivitas.

Berdasarkan analisis keseluruhan, hasil simulasi menunjukkan bahwa aplikasi penggunaan campuran a-MDEA, khususnya dengan konsentrasi *piperazine* 1%, merupakan strategi peningkatan kinerja kolom *absorber* yang paling efektif. Dari sisi teknis, campuran ini mampu menurunkan fraksi mol CO₂ hingga 0,0014, jauh lebih rendah dibandingkan MDEA sebesar 0,1382 maupun a-MDEA 0,5 mol% sebesar 0,0172, sehingga performa penyerapan CO₂ lebih baik dari variasi yang lain. Dari sisi ekonomi, meskipun biaya *capital cost* tidak berubah, penggunaan *piperazine* 1% menurunkan biaya operasional dan mengurangi intensitas energi pada proses regenerasi. Dengan demikian, penerapan a-MDEA 1 mol% memberikan efek optimal berupa performa teknis yang baik, efisiensi energi meningkat, dan biaya operasional lebih rendah, sehingga direkomendasikan sebagai *solvent* paling efektif untuk meningkatkan kinerja kolom *absorber*.

4. SIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi, penambahan *piperazine* pada pelarut MDEA terbukti meningkatkan kinerja absorpsi gas asam, khususnya terhadap penurunan CO₂. MDEA murni hanya mampu menurunkan kandungan CO₂ hingga 0,1382 mol *fraction*, sedangkan a-MDEA 0,5 mol% dan a-MDEA 1 mol% mampu menurunkannya menjadi 0,0172 dan 0,0014. Kondisi operasi kolom yang stabil pada seluruh variasi pelarut menunjukkan bahwa proses berjalan dengan baik tanpa perubahan signifikan terhadap temperatur maupun tekanan. Dari sisi ekonomi, penggunaan a-MDEA memberikan biaya operasi yang lebih rendah dibandingkan MDEA murni, meskipun *capital cost* secara konseptual tetap dianggap konstan karena desain fasilitas tidak berubah. Namun demikian, simulasi ini memiliki keterbatasan karena seluruh analisis didasarkan pada simulasi sehingga hasil sangat bergantung pada asumsi model termodinamika dan parameter *input*. Selain itu, biaya bahan kimia tidak dihitung secara eksplisit karena Aspen HYSYS tidak memasukkan harga *solvent* secara otomatis, dan studi ini hanya mencakup satu konfigurasi *gas plant* sehingga tidak dapat digeneralisasi ke kondisi operasi yang berbeda. Oleh karena itu, simulasi lanjutan diperlukan untuk melakukan verifikasi menggunakan data lapangan, mempertimbangkan biaya kimia secara detail, menguji rentang konsentrasi *piperazine* yang lebih luas, serta mengevaluasi dampak jangka panjang penggunaan *solvent* campuran terhadap korosi, degradasi pelarut, dan kebutuhan energi regenerasi. Dengan mempertimbangkan seluruh aspek teknis, operasional, dan ekonomi, a-MDEA 1 mol% dapat direkomendasikan sebagai pelarut dengan kinerja terbaik, sementara a-MDEA 0,5 mol% menjadi alternatif yang lebih ekonomis.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Sembiring, R. L. Panjaitan, S. Susianto, and A. Altway, "Pemanfaatan Gas Alam sebagai LPG (Liquified Petroleum Gas)," *J. Tek. ITS*, vol. 8, no. 2, pp. F206–F211, 2020.
- [2] L. F. Rifaldi, I. Fatimah, and A. Asep, "Penentuan Nilai *Amine* Strength dan H₂S Loading serta Hubungannya dengan pH Sampel Lean *Amine* di Laboratorium PT. SIPL," *Khazanah*, 2021.
- [3] S. Mokhatab, W. A. Poe, and J. Y. Mak, *Handbook of Natural Gas Transmission and Processing: Principles and Practices*. Oxford, UK: Gulf Professional Publishing Elsevier, 2015.
- [4] Y. Hartanto, A. Putranto, and S. Cynthia, "Simulasi Absorpsi Gas CO₂ dengan Pelarut Dietanolamina Menggunakan Simulator Aspen Hysys," *J. Integr. Proses*, vol. 6, no. 3, pp. 100–103, 2017.
- [5] K. Aditya, "Pemurnian Biogas dari Kandungan Hidrogen Sulfida (H₂S) dengan NaOH, CuSO₄, Fe(SO₄)₃ dalam Kolom Secara Kontinyu," *J. Teknol. Kim. dan Ind.*, vol. 4, no. 1, pp. 389–395, 2012.
- [6] G. Astaria, D. W. Savage, and A. Bisio, *Gas Treating with Chemical Solvents*. New York: John Wiley & Sons, 1983.
- [7] H. N. Aulia, "Simulasi *Aspen Hysys* pada Kolom Absorpsi Gas CO₂ dengan *Solvent Methyl-diethanolamine* (MDEA)," *J. Teknol. Technoscientia*, vol. 14, no. 2, pp. 85–89, 2022.
- [8] A. J. Kidnay and W. R. Parrish, *Fundamentals of Natural Gas Processing*. Boca Raton, FL: CRC Press, 2006.
- [9] Y. Kurniati and L. Qomariyah, "Prediksi Solubilitas (Absorpsi) Gas CO₂ dalam Larutan Potassium Karbonat (K₂CO₃) dan MDEA Menggunakan Simulasi ASPEN," *J. Tek. Kim. dan Lingkung.*, vol. 2, no. 1, pp. 1–10, 2018.
- [10] J. M. Smith, H. C. Van Ness, and M. M. Abbott, *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics*. New York: McGraw-Hill Education, 2019.
- [11] A. H. Sutanto, Mulyati, and Hermanto, "Evaluasi Kinerja Methyl Diethanol *Amine* (MDEA) dalam Penyerapan Kandungan H₂S pada Proses Pengolahan Gas Alam," *J. Ilm. Ilmu Dasar dan Lingkung. Hidup*, vol. 20, no. 1, pp. 45–51, 2020.
- [12] C.-H. Yu, C.-H. Huang, and C.-S. Tan, "A Review of CO₂ Capture by Absorption and Adsorption," *Aerosol Air Qual. Res.*, vol. 12, pp. 745–769, 2012.
- [13] A. L. Kohl and R. B. Nielsen, *Gas Purification*. Houston: Gulf Publishing Company, 1997.