

OPTIMASI KEMURNIAN PRODUK HASIL UNIT ABSORBER MELALUI PENGGANTIAN AKTIVATOR MONOETHANOLAMINE MENJADI DIETHANOLAMINE

Ananda Maulana Sativa Putra¹, Mujtahul Fatimah¹, Muhammad Muadz Sudirman¹,
Tun Sriana^{1*}

¹Teknik Pengolahan Minyak dan Gas, Politeknik Energi dan Mineral Akamigas, Jalan gajah mada No. 38, Cepu,
Blora, Jawa Tengah, 58315
E-mail: tun.sriana@gmail.com

ABSTRAK

Unit CO₂ removal di PT MMA berfungsi untuk menghilangkan kandungan karbon dioksida (CO₂) dari gas proses guna menghasilkan gas dengan kemurnian tinggi. Proses ini menggunakan sistem absorpsi kimia dengan pelarut amina sebagai media penyerap utama. Salah satu faktor yang memengaruhi efisiensi pemisahan adalah jenis aktivator yang digunakan dalam larutan amina. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan kemurnian gas hasil (*sweet gas*) melalui penggantian aktivator Monoethanolamine (MEA) menjadi Diethanolamine (DEA) pada unit absorber. Validasi simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak Aspen Plus dengan membandingkan hasil simulasi terhadap data desain dan data aktual operasi, yang menunjukkan tingkat kesalahan relatif kecil sehingga model dinyatakan sesuai dengan kondisi nyata sesuai dengan data. Hasil simulasi menunjukkan bahwa penggunaan DEA mampu menurunkan fraksi mol CO₂ pada gas keluaran dibandingkan MEA, dengan nilai 0,04-0,06% untuk DEA dan 0,05-0,07% untuk MEA. Variasi konsentrasi aktivator menunjukkan penurunan kadar CO₂ seiring peningkatan persen berat, di mana DEA menunjukkan kinerja penyerapan lebih stabil dan efisien pada rentang 5,8-14,5% berat. Dengan demikian, DEA dinilai lebih efektif dan ekonomis dalam meningkatkan kemurnian gas produk serta kestabilan operasi sistem CO₂ absorber di PT MMA.

Kata kunci: Absorpsi CO₂, Pelarut Amina, Monoethanolamine, Diethanolamine, Kemurnian Gas

1. PENDAHULUAN

Salah satu jenis limbah gas yang dihasilkan dari industri adalah karbon dioksida (CO₂) yang dihasilkan melalui pembakaran bahan bakar fosil yang dilakukan. Gas CO₂ yang dihasilkan dari pembakaran itu dapat mengakibatkan udara di kawasan industri menjadi tercemar. Gas CO₂ yang berlebihan di udara dapat menyebabkan peningkatan suhu atmosfer, yang dapat mengakibatkan efek pemanasan global. Di samping itu, kelebihan gas CO₂ di udara dapat merusak keseimbangan lingkungan sekitar. Gas CO₂ tidak hanya muncul akibat proses pembakaran, tetapi juga dapat dihasilkan dan ditemukan dalam berbagai industri, seperti yang terjadi dalam industri gas alam, pupuk, biogas, dan lainnya. Oleh karena itu, diperlukan metode untuk menangkap atau menyerap gas CO₂ [1].

Gas alam yang berasal dari sumur memiliki karakteristik yang berbeda. Hal ini disebabkan oleh variasi dalam komposisi setiap aliran gas. Gas alam umumnya terdiri dari metana (CH₄), karbon dioksida (CO₂), nitrogen (N₂), hidrokarbon dengan rantai panjang, serta sejumlah kecil hidrogen sulfida (H₂S), argon (Ar), helium (He), oksigen (O₂), dan uap air (H₂O). Sebelum gas ini digunakan dalam proses, biasanya CO₂ dengan H₂S dan uap air harus dipisahkan. Hal ini sangat penting karena ketiga gas tersebut berbahaya dan menyebabkan kerusakan. Selain dapat merusak peralatan perpipaan karena sifat korosifnya, CO₂ juga dapat mengurangi hasil nilai

kalori dari gas alam yang dihasilkan [2].

Larutan amina merupakan salah satu jenis pelarut kimia yang banyak digunakan dalam proses pengolahan gas alam, terutama pada tahap pemisahan gas asam seperti H_2S dan CO_2 . Amina memiliki sifat basa yang memungkinkan terjadinya reaksi dengan komponen asam tersebut, membentuk senyawa yang lebih mudah dipisahkan [3]. Secara umum, larutan amina diklasifikasikan menjadi tiga tipe utama, yaitu amina primer, sekunder, dan tersier. Amina primer seperti MEA dan Diglycolamine (DGA) berinteraksi secara langsung dengan H_2S , CO_2 , dan karbonil sulfida (COS). Amina sekunder, seperti DEA dan Diisopropanolamine (DIPA), juga berinteraksi secara langsung dengan H_2S , CO_2 , serta sebagian COS. Sementara itu, amina tersier seperti Triethanolamine (TEA) dan Methyldiethanolamine (MDEA) hanya bereaksi secara langsung dengan H_2S , sedangkan reaksi dengan CO_2 dan COS bersifat tidak langsung dan terjadi dalam jumlah kecil [4]. Selain ketiga tipe utama tersebut, kini telah dikembangkan pula pelarut amina khusus berbasis formulasi campuran atau nonkonvensional yang dirancang untuk meningkatkan selektivitas terhadap H_2S sekaligus mengurangi degradasi termal. Pemilihan jenis amina umumnya disesuaikan dengan kebutuhan proses, tekanan operasi, serta target spesifikasi gas produk [5].

Pemilihan absorbent bergantung pada kondisi operasi yang berlangsung seperti tekanan dan suhu dari gas yang masuk, komposisinya, serta tingkat kemurnian gas produk yang diinginkan. Selain itu, juga penting untuk secara selektif menghilangkan gas H_2S dan CO_2 dengan hanya menghapus satu jenis kontaminan [6].

Proses absorpsi merupakan metode untuk memisahkan zat dari campuran gas dengan mengikatnya pada permukaan cairan yang menyerap, yang kemudian diikuti oleh pelarut dengan reaksi kimia antara CO_2 dan senyawa amina. Pelarut yang umum digunakan untuk menyerap CO_2 adalah MEA, DEA, dan MDEA [7]. Menurut Al Ghawas [8], campuran pelarut amina seperti MEA dan DEA dapat meningkatkan efisiensi penyerapan CO_2 karena kombinasi sifat kinetik MEA dan kapasitas penyerapan DEA.

Penelitian oleh Adeosun [9], membandingkan efektivitas MEA dan DEA dalam proses penyerapan CO_2 dan menunjukkan bahwa DEA memiliki laju reaksi yang lebih cepat serta kapasitas penyerapan yang lebih tinggi dibandingkan MEA. Sementara itu, Gangadharan [10], menyimpulkan bahwa peningkatan konsentrasi amina dapat meningkatkan efisiensi penyerapan CO_2 hingga batas tertentu, namun viskositas pelarut yang tinggi dapat menghambat difusi gas. Oleh karena itu, diperlukan keseimbangan antara konsentrasi dan kondisi operasi untuk mencapai hasil yang optimal. Selanjutnya, optimasi kondisi operasi seperti suhu, tekanan, dan konsentrasi pelarut dapat dilakukan menggunakan pendekatan simulasi proses untuk mencapai efisiensi maksimum. Penelitian oleh Chakraborty [11], membuktikan bahwa penggunaan metode simulasi mampu meningkatkan efisiensi penyerapan CO_2 hingga 15% dibandingkan metode konvensional. Dengan demikian, penelitian ini berfokus pada optimasi kemurnian gas hasil unit absorber melalui penggantian aktivator MEA menjadi DEA sebagai upaya peningkatan performa sistem CO_2 removal di PT MMA. Penelitian ini dilakukan untuk menilai pengaruh penggantian aktivator terhadap kemurnian gas produk serta efisiensi energi sistem CO_2 absorber di PT MMA.

2. METODE

Seluruh informasi dan data dari unit CO_2 removal didapat dari PT MMA. Variabel bebas yang terdapat pada penelitian ini meliputi jenis aktivator MEA dan DEA, suhu operasi absorber, tekanan operasi absorber, laju alir gas umpan, dan laju sirkulasi *solvent*. Variabel terikat yang diamati meliputi kandungan CO_2 dalam (*sweet gas*) kemurnian produk, *amine loading* (*rich* atau *lean*), konsumsi energi atau regenerasi, serta indikator performa lain seperti efisiensi

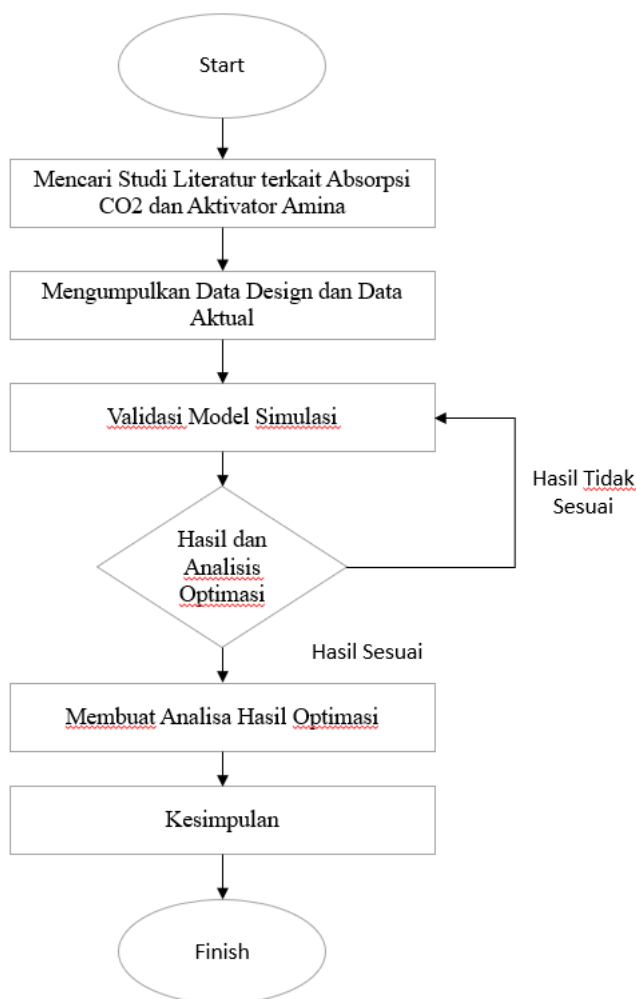
penyerapan CO₂. Data dasar yang digunakan berasal dari komposisi *feed gas*, kondisi operasi aktual suhu dan tekanan, data komposisi larutan amina, dan parameter desain unit absorber yang tersedia di lapangan.

Tahap awal penelitian dimulai dengan penentuan topik, yaitu optimasi kemurnian produk hasil unit absorber melalui penggantian aktivator MEA menjadi DEA. Pada tahap ini dilakukan kegiatan pencarian dan pengumpulan referensi dari berbagai sumber seperti jurnal ilmiah, buku, serta hasil penelitian terdahulu yang relevan dengan proses penghilangan gas CO₂ menggunakan pelarut amina. Tujuan dari tahap ini adalah untuk memahami karakteristik kedua jenis amina MEA dan DEA, mekanisme reaksi penyerapan CO₂, serta faktor-faktor yang memengaruhi efisiensi proses absorpsi.

Selanjutnya, dilakukan pengumpulan data desain dan data operasional aktual pada unit CO₂ removal di PT MMA. Data yang dikumpulkan meliputi komposisi *feed gas*, tekanan dan suhu operasi absorber, laju alir gas umpan, serta laju sirkulasi *solvent*. Data ini digunakan untuk mengetahui kondisi eksisting dengan penggunaan MEA serta sebagai dasar perbandingan terhadap kondisi penggantian *solvent* dengan DEA. Pada gambar 1 berikut ini menunjukkan *flowchart* dari tahapan-tahapan penulisan proses optimasi.

Validasi model simulasi dilakukan dengan cara memastikan bahwa model simulasi yang digunakan agar sesuai dengan kondisi nyata di lapangan. Simulasi dalam penelitian ini menggunakan Aspen Plus. Validasi dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi gas *outlet* absorber terhadap data desain dan data aktual. Setelah model tervalidasi, dilakukan simulasi dan analisis komparatif terhadap dua jenis aktivator, yaitu MEA dan DEA. Hasil dari simulasi selanjutnya dibandingkan berdasarkan kandungan CO₂ pada gas keluaran absorber (*sweet gas*), efisiensi penyerapan CO₂, serta pengaruh konsentrasi aktivator (%wt) terhadap kemurnian produk yang dihasilkan.

Analisis dilakukan untuk melihat pengaruh penggantian aktivator MEA menjadi DEA terhadap performa sistem absorpsi. Tahap ini mencakup perbandingan kadar CO₂ pada gas keluaran (*sweet gas*), *amine loading*, serta efisiensi proses. Hasil analisis juga diinterpretasikan untuk menentukan aktivator mana yang memberikan performa terbaik terhadap peningkatan kemurnian produk. Pada tahap ini disusun kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan, meliputi hasil perbandingan kinerja antara MEA dan DEA serta efektivitas penggantian aktivator terhadap kemurnian gas produk. Tahap akhir merupakan penutupan dari keseluruhan proses penelitian setelah semua langkah analisis dan optimasi selesai dilakukan serta kesimpulan yang telah dirumuskan.



Gambar 1. Flowchart Penelitian

3. PEMBAHASAN

A. Validasi Pendekatan Simulasi

Untuk menjamin keakuratan dan reliabilitas program simulasi yang digunakan dalam penelitian ini, langkah validasi menjadi sangat penting. Validasi ini bertujuan untuk mengonfirmasi bahwa model simulasi mampu mereplikasi kondisi nyata sesuai dengan spesifikasi awal. Metode validasi yang diterapkan untuk mencapai tujuan tersebut adalah dengan membandingkan secara langsung data gas *outlet* absorber yang tercantum dalam data desain awal dengan nilai hasil simulasi yang diperoleh dari program. Perbandingan gas *outlet* absorber hasil simulasi berdasarkan data desain ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan Gas *Outlet* Absorber Hasil Simulasi Berdasarkan Data Desain

No.	Stream Name	Inlet Stream		Outlet Stream		%Error
		Natural Gas	Benfield	Data Desain	Simulasi	
1.	Temperature (°C)	100	115	70	78,2213	11,74

2.	Pressure (kg/cm ² G)	28,300	32,720	28,200	29,2323	3,66
3.	Total Molar Flow (Kmol/hr)	6942,390	46608,5 27	5482,420	5587,954	1,76
4.	Mole Fraction					
	H ₂	0,583		0,745	0,075	-2,68
	N ₂	0,190		0,243	0,237	-2,47
	CO	0,003		0,004	0,004	0
	CO ₂	0,183		0,005	0,007	20
	Ar	0,003		0,004	0,003	-25
	CH ₄	0,002		0,003	0,003	0
	H ₂ O	0,035	0,834			
	K ₂ CO ₃		0,210			
	KHCO ₃		0,116			
	DEA		0,029			

Dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa nilai persentase *error* untuk setiap parameter relatif kecil, menandakan bahwa hasil simulasi mampu merepresentasikan kondisi aktual berdasarkan data desain dengan baik. Kesamaan nilai-nilai yang dihasilkan menunjukkan bahwa model simulasi yang dibangun telah tervalidasi secara memadai, sehingga dapat digunakan untuk tahap analisis selanjutnya. Setelah model simulasi tervalidasi terhadap data desain, langkah berikutnya adalah melakukan perbandingan terhadap data aktual operasi di lapangan, guna memastikan bahwa model juga mampu menggambarkan kondisi nyata sistem CO₂ *removal* secara akurat. Perbandingan hasil simulasi berdasarkan data aktual tersebut disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan Gas Outlet Absorber Hasil Simulasi Berdasarkan Data Aktual

No.	Stream Name	Inlet Stream		Outlet Stream		%Error
		Natural Gas	Benfield	Data Aktual	Simulasi	
1.	Temperature (°C)	100	110		78,2213	
2.	Pressure (kg/cm ² G)	28,300	32		29,2323	
3.	Total Molar Flow (Kmol/hr)	6984,789	48796,7 25		5464,433	
4.	Mole Fraction					
	H ₂	0,6595		0,748	0,725	-3,07
	N ₂	0,1963		0,234	0,237	1,28
	CO	0,0026		0,003	0,004	33,33
	CO ₂	0,1714		0,005	0,006	20
	Ar	0,0023		0,003	0,003	0
	CH ₄	0,0052		0,007	0,003	-54,55
	H ₂ O	0,029	0,6452			
	K ₂ CO ₃		0,227			
	KHCO ₃		0,116			
	DEA		0,0155			

Berdasarkan analisa data perbandingan dalam Tabel 1 dan Tabel 2 yang melibatkan data desain, data aktual, dan hasil simulasi untuk gas *outlet* absorber, ditemukan persentase *error* yang rendah. Hasil ini menjadi dasar untuk menyimpulkan bahwa pemodelan telah tervalidasi.

B. Perbandingan Aktivator Diethanolamine (DEA) dengan Monoethanolamine (MEA)

1. Pengaruh Jenis Aktivator Terhadap Gas *Outlet* Absorber

Pengaruh jenis aktivator terhadap gas *outlet* absorber dilakukan dengan mensimulasikan terhadap unit penghilang CO₂ (CO₂ *removal*) dengan memanfaatkan DEA dan MEA. Hasil pengaruh jenis aktivator terhadap gas *outlet* absorber diperlihatkan pada Tabel 3:

Tabel 3. Outlet Gas Absorber Berdasarkan Data Simulasi

No.	Komponen	%wt	DEA	MEA
			%Dry Mol	%Dry Mol
1.	H ₂	1,55	72,50	74,50
2.	N ₂	1,55	23,70	23,87
3.	CO	1,55	0,40	0,39
4.	CO ₂	1,55	0,60	0,70
5.	Ar	1,55	0,30	0,33
6.	CH ₄	1,55	0,30	0,21
Total			97,8	100

Berdasarkan data simulasi pada Tabel 3, yang dimana fraksi mol CO₂ *outlet* pada simulasi menunjukkan nilai DEA lebih rendah daripada MEA. Oleh karena itu, hasil simulasi menunjukkan bahwa pada tingkat konsentrasi aktivator pada kondisi operasi aktual (1,55%wt) DEA cenderung memberikan penyerapan CO₂ yang lebih efektif sehingga menghasilkan kemurnian *sweet gas* yang sedikit lebih tinggi. Untuk melihat pengaruh variasi konsentrasi aktivator terhadap kinerja penyerapan, hasil variasi %wt untuk DEA dan MEA disajikan pada Tabel 4:

Tabel 4. Pengaruh perubahan persen berat (%wt) aktivator DEA dan MEA terhadap persen *dry* mol CO₂ absorber.

No.	%wt aktivator	%Dry mol CO ₂ Absorber	
		DEA	MEA
1.	5,8	0,40	0,48
2.	8,7	0,32	0,40
3.	11,16	0,22	0,30
4.	14,5	0,15	0,22

Berdasarkan Tabel 4 terlihat *tren* yang konsisten bahwa peningkatan persen berat aktivator menurunkan persentase *dry* mol CO₂ *outlet* untuk kedua aktivator. Dalam rentang konsentrasi yang diuji, DEA secara konsisten menunjukkan nilai CO₂ *outlet* yang lebih rendah dibandingkan MEA sehingga menghasilkan kemurnian *sweet gas* yang relatif lebih tinggi. Hasil ini sesuai dengan hasil perbandingan pada Tabel 3 yang juga menunjukkan kecenderungan DEA memberikan fraksi CO₂ *outlet* lebih rendah pada kondisi uji tertentu, meskipun perbandingan antar tabel harus dilakukan dengan kehati-hatian karena adanya perbedaan skala dan format

penulisan angka, oleh karena itu untuk memperkuat kesimpulan direkomendasikan verifikasi tambahan melalui pengukuran eksperimental atau simulasi pada titik konsentrasi yang sama serta normalisasi satuan agar analisis kuantitatif menjadi lebih akurat.

4. SIMPULAN

Berdasarkan hasil dari data simulasi dan analisis yang telah dilakukan terhadap proses absorpsi CO₂ pada unit CO₂ removal di PT MMA, dapat disimpulkan bahwa penggantian aktivator MEA menjadi DEA memberikan peningkatan nyata terhadap kemurnian gas hasil (*sweet gas*). Dari hasil simulasi dan data aktual, diperoleh bahwa pada konsentrasi aktivator 1,55% wt, fraksi mol CO₂ pada gas keluaran menggunakan DEA lebih rendah 0,04–0,06% dibandingkan dengan MEA 0,05–0,07%, yang berarti kemurnian (*sweet gas*) meningkat. Selain itu, hasil variasi konsentrasi menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi aktivator berbanding terbalik dengan kadar CO₂ pada gas keluaran, baik untuk MEA maupun DEA. Namun, dalam setiap variasi konsentrasi yang diuji 5,8–14,5% wt, DEA secara konsisten menunjukkan kinerja lebih efisien, dengan penurunan kandungan CO₂ dari 0,40% menjadi 0,15%, dibandingkan MEA yang menurun dari 0,48% menjadi 0,22%. Secara umum, DEA terbukti lebih efektif dan stabil dibandingkan MEA dalam menjaga efisiensi proses penyerapan CO₂, terutama pada konsentrasi tinggi, karena memiliki laju reaksi dan kapasitas penyerapan yang lebih optimal. Oleh karena itu, DEA direkomendasikan sebagai aktivator pengganti MEA pada sistem CO₂ absorber di PT MMA guna meningkatkan kemurnian produk gas serta efisiensi energi dalam operasi unit.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. Kurniati and L. Qomariah, “Prediksi Solubilitas Absorpsi Gas CO₂ dalam Larutan Kalium Karbonat (K₂CO₃) dan MDEA Menggunakan Simulasi ASPEN,” *Jurnal Teknik Kimia dan Lingkungan*, vol. II, no. 1, pp. 1–7, 2018.
- [2] S. Faramawy, A. M. Al-Saadi, and H. A. Hussein, “Natural gas origin, composition, and processing: A review,” *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, vol. 38, no. 23, pp. 3304–3316, 2016.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1875510016304139>
- [3] D. S. Kohl, *Gas Purification*, 4th ed. Houston: Gulf Publishing Company, 1997, pp. 120–135.
- [4] D. S. Kohl, *Gas Purification*, 5th ed. Houston: Gulf Publishing Company, 2012, pp. 145–162.
- [5] A. H. Mulyati, “Evaluasi Kinerja Methyl Diethanol Amine (MDEA) dalam Penyerapan Kandungan H₂S pada Proses Pengolahan Gas Alam,” *Ekologia: Jurnal Ilmiah Ilmu Dasar dan Lingkungan Hidup*, vol. 20, no. 1, pp. 45–51, 2020. <https://doi.org/10.33751/ekologia.v20i1.1986>
- [6] Wagiono, *Operation Manual Book Process Trains Purification System Plant-1 PT Badak NGL*, Series 1. Bontang: PT Badak NGL, 2014.
- [7] A. H. Sutanto, A. H. Mulyati, and Hermanto, “Evaluasi Kinerja Methyl Diethanol Amine (MDEA) dalam Penyerapan Kandungan H₂S pada Proses Pengolahan Gas Alam,” *Ekologia: Jurnal Ilmiah Ilmu Dasar dan Lingkungan Hidup*, vol. 20, no. 1, pp. 45–51, 2020.
<https://doi.org/10.33751/ekologia.v20i1.1986>
- [8] A. Al-Ghawas, D. H. Al-Marzouqi, and M. M. Abu-Khader, “Absorption of Carbon Dioxide in Aqueous Blends of Monoethanolamine and Diethanolamine,” *Chemical Engineering Journal*, vol. 76, no. 1, pp. 45–52, 2000.
- [9] A. Adeosun and S. Idowu, “Comparative Study of Monoethanolamine and Diethanolamine in the Absorption of Carbon Dioxide,” *International Journal of Engineering and Applied Sciences*, vol. 3, no. 5, pp. 12–18, May 2013.
- [10] R. P. Gangadharan, K. R. Rajendran, and M. M. Khan, “Effect of Amine Concentration on CO₂ Absorption Efficiency,” *Chemical Engineering Journal*, vol. 172, no. 1, pp. 77–83, Jan. 2011.

- [11] M. S. Chakraborty and A. K. Biswas, "Optimization of Amine-Based CO₂ Absorption Process Using Process Simulation," *Energy Procedia*, vol. 63, pp. 1146–1153, 2014