

Simulasi Pemurnian Biogas Secara Absorpsi Menggunakan Perangkat Lunak DWSIM

Surya Iryana Ihsanpuro¹, Kukuh Arief Ramadhan¹, Azmi Alvian Gabriel², Abdul Halim^{1*}

¹Departemen Teknik Kimia, Universitas Internasional Semen Indonesia

²Departemen Teknologi Industri Pertanian, Universitas Internasional Semen Indonesia

Abstrak

Prospek biogas ke depannya dapat menjadi inovasi energi alternatif. Namun, biogas memiliki kandungan karbon dioksida cukup tinggi mencapai 46,8% (bergantung *feedstock* dan teknologi yang digunakan) yang dapat mempengaruhi pembakaran biogas sehingga perlu dilakukan pemurnian. Pemurnian dapat menggunakan metode absorpsi. Validasi efektivitas absorpsi menggunakan simulasi agar dapat menghemat biaya dan mempersingkat waktu. Selama ini, proses simulasi menggunakan perangkat lunak berbayar seperti Hysys. Perangkat lunak tidak berbayar seperti DWSIM memiliki fitur yang hampir sama dengan berbayar namun perlu dilakukan proses validasi. Untuk itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui proses absorpsi karbon dioksida (CO₂) dan kondisi optimum kolom absorpsi CO₂ pada biogas secara simulasi menggunakan DWSIM. Hasil yang diperoleh kemudian divalidasi menggunakan perangkat lunak Hysys. Penelitian ini mendapatkan hasil bahwa kenaikan suhu dari 100-220 °C, kenaikan tekanan *feed* dari 101,3-1001,84 kPa, kenaikan konsentrasi DEA dari 10%-50% dan kenaikan tekanan kolom absorpsi dari 1-10 atm akan meningkatkan laju absorpsi gas karbon dioksida pada biogas sehingga metana yang didapatkan sebesar 76,8%. Kemudian, dilakukan validasi dengan perangkat lunak Hysys untuk membandingkan hasil simulasi menggunakan DWSIM sebesar 86,9%. Hasil persentase *output* keduanya lebih dari 75% dengan perlakuan yang sama. Artinya dengan menggunakan kedua perangkat lunak dapat menjawab lebih dari 75% data simulasi secara tepat.

Keywords: *Absorpsi, Biogas, CO₂, DWSIM*

1. Latar Belakang

Potensi energi terbarukan Indonesia mencapai 432 GW atau 7-8 kali pembangkit listrik saat ini (IESR, 2017; Tampubolon & Adiatma, 2019). Biogas merupakan sumber energi terbarukan yang dihasilkan dari proses dekomposisi anaerobik. Biogas mengandung metana yang jika tidak dimanfaatkan dapat berperan sebagai gas rumah kaca 21 kali lebih tinggi dibandingkan dengan karbon dioksida (Wahyuni, 2013). Jika diperlukan biogas dalam bentuk *liquid*, tekanan berkisar antara 20 MPa dan pada suhu -161 °C yang dibutuhkan. Tabel 1 menunjukkan panas yang dikeluarkan untuk komponen dan komposisi pada biogas (Walsh dkk., 1989). Biogas mampu untuk menggantikan bahan bakar fosil dalam bidang transportasi atau pembangkit listrik.

Akhir-akhir ini, pemerintah Indonesia mengembangkan biogas sebagai bahan bakar alternatif karena sifatnya yang murah dan ramah lingkungan (Dirjen EBTKE, 2021).

Biogas dapat diproduksi melalui limbah aktivitas manusia seperti kotoran hewan, kotoran pertanian dan kotoran rumah tangga (Wahyuni, 2018). Di India kegiatan produksi biogas terus dilakukan semenjak abad ke-19. Saat ini, negara berkembang lainnya, seperti China, Filipina, dan Papua Nugini, telah melakukan berbagai riset dan pengembangan alat penghasil biogas. Selain di negara berkembang, teknologi biogas juga telah dikembangkan di negara maju seperti Jerman.

Biogas terdiri dari dua komponen utama yaitu, metana (CH₄) dan karbon dioksida (CO₂). Komponen lain juga termasuk dalam biogas seperti, hidrogen sulfida (H₂S), Nitrogen (N₂), dan oksigen (O₂) yang bersifat sebagai pengotor (Prayugi dkk., 2014). Konsentrasi umum pada komposisi biogas ditunjukkan pada Tabel 2.

Proses pemurnian yang paling umum adalah absorpsi seperti *water scrubbing*, *pressure swing absorption*, *chemically assisted absorption* (absorpsi dengan bantuan zat

^{1*} Corresponding author: abdul.halim@uisi.ac.id

kimia), dan *membrane absorption* (absorpsi menggunakan membran). *Water scrubbing* menggunakan air sebagai pelarut gas karbon dioksida dan hidrogen sulfida karena kelarutannya yang lebih tinggi dari gas metana. Dari proses ini diperoleh metana dengan konsentrasi antara 88-97% volume (Koonaphapdeelert dkk., 2020). *Pressure Swing Adsorption* (PSA) adalah proses lain untuk memisahkan karbon dioksida dari biogas mentah. Tingkat kemurnian biometana yang dapat dihasilkan dari proses ini adalah 95%. Pada proses ini menggunakan adsorben seperti Zeolit atau karbon aktif untuk menangkap

karbon dioksida secara selektif. Karbon dioksida tertarik ke salah satu adsorben yang lebih kuat daripada metana. Kuantitas yang tepat tergantung secara spesifik pada sifat-sifat adsorben seperti luas permukaan, komposisi, dan ukuran pori. Secara komersial, PSA umumnya digunakan karena energi yang dibutuhkan rendah, keamanan, fleksibilitas desain, dan efisiensi tinggi dibandingkan dengan metode pemisahan gas lainnya. Masalah utama dengan teknik ini adalah biaya. Karena merupakan metode yang sangat mahal dan penelitian diperlukan untuk menurunkan biaya (Koonaphapdeelert dkk., 2020).

Tabel 1 Sifat Gas Pada Tekanan Atmosfer Dan Pada Suhu 0 °C (Walsh dkk, 1988)

Komposisi Biogas	(CH ₄)	(CO ₂)	(H ₂)	(H ₂ S)	60% CH ₄ , 40% CO ₂	65% CH ₄ , 34% CO ₂ , 1% Other
Heating value (Mj/m ³)	35.64	-	10.8	22.68	21.6	24.48
Ignition ratio (% air)	5-15	-	4-80	4-45	6-12	7.7-23
Ignition temperature (0 °C)	650-750	-	585	-	650-750	650-750
Change of state Pressure (MPa)	4.7	7.5	1.3	8.9	7.5-8.9	7.5-8.9
Transition temperature (0 °C)	-82.5	31	-240	100	-82.5	-82.5
Density (kg/m ³)	0.72	1.98	0.09	1.54	1.2	1.15
Heat Capacity (kJ/m ³ /°C)	1.6	1.6	1.3	1.4	1.6	1.6

Salah satu zat kimia sebagai adsorben yang menjanjikan adalah *diethylene amine* (Koonaphapdeelert dkk., 2020). Penangkapan karbon dioksida dengan pelarut amina banyak digunakan di industri seperti kilang, pabrik petrokimia, dan pabrik pengolahan gas alam. Proses ini menghilangkan hidrogen sulfida dan karbon dioksida. Proses ini dapat digunakan untuk pengolahan biogas mentah. Hambatan utama untuk penerapan skala besar dari teknologi ini adalah konsumsi energinya yang tinggi terkait dengan desorpsi CO₂ dan degradasi amina (hingga 30% per-tahun) karena suhu yang tinggi (110-140°C). Proses ini menggunakan amina seperti *Monoethanolamine* (MEA) atau *Diethanolamine* (DEA), dan *Diglycolamine* (DGA). CO₂ yang bersifat asam bereaksi secara kimiawi dengan pelarut alkalin amina. CO₂ bereaksi secara reversibel dengan amina membentuk karbamat. Regenerasi ini merupakan proses yang melibatkan konsumsi energi yang tinggi. Keuntungan dari *scrubbing* kimiawi adalah amina hanya menangkap

karbon dioksida dan tidak mempengaruhi metana.

Metode *Absorption with Physical Solvents* mirip dengan *water scrubbing*, hanya saja pelarut organik digunakan untuk menyerap O₂ dari biogas. Proses tersebut umum digunakan di Amerika Serikat. Proses secara fisik digunakan dalam pemisahan gas industri. Pelarut amina yang merupakan pelarut kimia bergantung pada reaksi kimia dan sifatnya berbeda dengan pelarut fisik. Metode ini adalah teknologi tangguh yang dapat menangani berbagai kotoran dalam biogas dengan menangkap gas asam dan oleh karena itu dapat menangkap kotoran lain seperti, H₂S, NH₃, dan *volatile organic compounds* (VOC) serta CO₂. Prosesnya tidak terganggu dengan konsentrasi tinggi H₂S atau NH₃ dalam gas mentah. Kelarutan CO₂ dalam pelarut kimia, secara fisik bisa lima kali lebih tinggi dibandingkan air. Kolom yang digunakan lebih kecil daripada *water scrubber* karena lebih sedikit pelarut yang dibutuhkan. Pengeringan tambahan pada biogas tidak diperlukan karena kelembapan mudah diserap. Akan tetapi, regenerasi pelarut

organik ini sulit dilakukan karena kelarutan CO₂ yang tinggi.

Proses Selexol menggunakan pelarut campuran dimetil eter dan polietilen glikol yang menyerap gas asam dari biogas pada tekanan yang relatif tinggi, antara 2-14 MPa. Pelarut yang digunakan dalam proses ini yaitu genosorb. Proses ini dapat beroperasi secara selektif untuk memulihkan hidrogen sulfida dan karbon dioksida sebagai aliran terpisah.

Pemisahan dengan membran adalah proses lain yang digunakan untuk meningkatkan biogas. Metode tersebut menggunakan prinsip bahwa gas memiliki permeabilitas yang berbeda saat melalui serat membran. Umumnya, membran tak berpori yang terbuat dari polyaramida, poliamida, dan polimida digunakan untuk pemisahan gas. Struktur membran asimetris dengan lapisan selektif yang terletak di atas lapisan pendukung berpori. Membran memiliki ukuran pori kurang dari 1 nm untuk memisahkan gas. Karbon dioksida dan hidrogen sulfida terdifusi dengan kecepatan yang lebih tinggi daripada metana. Seiring berjalannya waktu, metana terkonsentrasi di satu sisi membran. Biasanya akan ada beberapa membran yang tertata berurutan. Metode ini dapat menghasilkan konsentrasi biometana sebesar 96%. (Hoyer,

2016). Proses pengoperasian dengan menggunakan tekanan tinggi dapat menghasilkan gas yang berada pada setiap sisi membran.

Peralatan industri seperti kolom absorpsi memerlukan investasi yang besar, sehingga simulasi adalah alat yang menjanjikan untuk mengevaluasi desain dan kondisi proses (Halim dkk., 2013, 2014, 2022). Keberadaan perangkat lunak menjadi sangat dibutuhkan akan tetapi banyak mahasiswa dan perguruan tinggi di negara berkembang seperti Indonesia tidak dapat menjangkau. Salah satu perangkat lunak gratis adalah DWSIM. DWSIM berfungsi seperti halnya Hysys. Akan tetapi, karena perangkat lunak ini tergolong baru, lebih banyak data penelitian terkait akurasi masih diperlukan (Tangsriwong dkk., 2020). Selain itu DWSIM memenuhi standar CAPE-OPEN karena dapat berkomunikasi dengan program CAPE-OPEN lainnya. Dalam penelitian ini efektivitas absorpsi disimulasikan menggunakan DWSIM kemudian dibandingkan dengan hasil simulasi Hysys. Metode Penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui kondisi optimal kolom absorpsi dalam mengabsorpsi biogas menjadi Biometana dengan pelarut DEA pada *outlet* bagian atas kolom absorpsi.

Tabel 2 Komposisi Umum Pada Biogas (Koonaphapdeelert dkk, 2020)

Komposisi Biogas	Tingkat Konsentrasi
Metana (CH ₄)	50-80 % dari volume
Karbon Dioksida (CO ₂)	20-50 % dari volume
Ammonia (NH ₃)	0-300 ppm
Hidrogen Sulfida (H ₂ S)	50-5000 ppm
Nitrogen (N ₂)	1-4% dari volume
Oksigen (O ₂)	<1% dari volume
Air (H ₂ O)	Saturated 2-5% dari massa

2. Metode Penelitian

Persamaan Peng-Robinson digunakan dalam perhitungan termodinamika. Persamaan ini dapat menyelesaikan satu sampai tiga fase dengan efisiensi tinggi dan direkomendasikan untuk aplikasi perhitungan minyak dan gas ataupun petrokimia. Hasil simulasi DWSIM akan divalidasi dengan perangkat lunak Hysys. Empat variabel bebas digunakan yaitu suhu dengan variasi 100 °C, 120 °C, 140 °C, 160 °C, 180 °C, 200 °C, 220 °C (Lin, 2009), tekanan feed masuk dengan variasi 101,3 kPa, 153,6 kPa, 245,7 kPa, 607,5 kPa, 679,7 kPa,

840,77 kPa, 1001,84 kPa (Megawati dkk., 2020), konsentrasi pelarut DEA 10%, 20%, 30%, 40%, 50% (Alhady & Arifin, 2017), tekanan kolom absorpsi dengan variasi 1 Atm, 5 Atm, dan 10 Atm (Alhady & Arifin, 2017). Variabel tetap yang digunakan pada penelitian ini adalah *mass flow* sebesar 115.930 lb/hr untuk biogas dan 195.947 lb/hr untuk absorben. Proses absorpsi biogas terjadi pada kondisi *steady state*, proses fisik dari gas diasumsikan sebagai gas ideal, campuran gas bersifat homogen, reaksi pada fase gas seluruhnya terjadi di dalam kolom absorpsi, dan sistem

berjalan secara isothermal. Sistem yang dipelajari pada penelitian ini adalah hasil simulasi dengan perangkat lunak DWSIM divalidasi dengan perangkat lunak Hysys. Komposisi biogas dengan kandungan CH₄ sebesar 53,1%, CO₂ sebesar 46,8% dan H₂S sebesar 0,215% berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh (Tippayawong & Thanompongchart, 2010).

Gambar 1 adalah model dan state aliran simulasi dengan DWSIM. Simulasi pemurnian biogas akan diabsorpsi menggunakan pelarut dietil amina (DEA) ke dalam kolom absorpsi. Kemudian, hasilnya berupa biometana akan keluar pada bagian *treated off gas*. Sedangkan, pelarut DEA yang telah digunakan untuk mengabsorpsi biogas akan keluar pada bagian *rich DEA* dan dialirkan dengan *valve* menuju DEA regeneration unit untuk dilakukan proses regenerasi.

Validasi data *input* yang dimasukkan dalam kolom absorpsi yaitu biogas dan DEA. Biogas dan DEA akan saling berkontak pada kolom absorpsi yang dilakukan secara simulasi menggunakan perangkat lunak DWSIM dan Hysys. DWSIM merupakan perangkat lunak yang terintegrasi terhadap CAPE-OPEN *standard*, yaitu *standard* keseragaman untuk *interfacing component* pada proses modeling perangkat lunak, terutama untuk mendesain dan operasi pada proses kimia. CAPE-OPEN bersifat *open source*, multi-platform dan gratis. Setelah dilakukan simulasi dengan DWSIM nantinya akan dilakukan validasi menggunakan Hysys. Hysys adalah simulasi proses desain untuk melayani beberapa industri proses terutama minyak dan gas. Hysys dapat membuat model *steady state* dan dinamis untuk perancangan pabrik, *monitoring* kinerja, *troubleshooting*, improvisasi operasi, perencanaan bisnis dan manajemen asset yang sudah terlisensi dan sudah teruji pada beberapa proses simulasi (Dimawarnita dkk., 2021).

Dalam verifikasi hasil penelitian dengan menggunakan perangkat lunak DWSIM

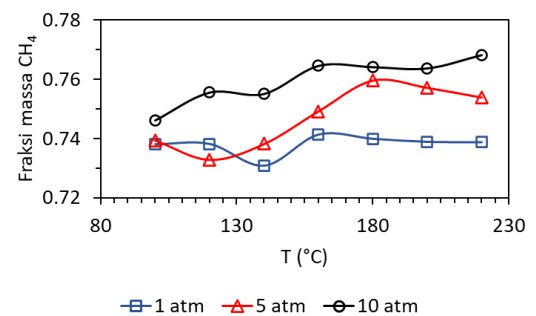
dilakukan validasi. Tujuan dilakukannya validasi ini adalah untuk membandingkan hasil simulasi dengan hasil eksperimen. Namun, karena belum ada penelitian terdahulu yang menggunakan variabel yang sama dengan hasil simulasi penelitian ini, maka untuk validasi ini dipilih perangkat lunak Hysys sebagai data pembandingan hasil penelitian ini. Dalam membandingkan dengan perangkat lunak Hysys ini hanya membandingkan pada kondisi optimal.

3. Hasil dan Pembahasan

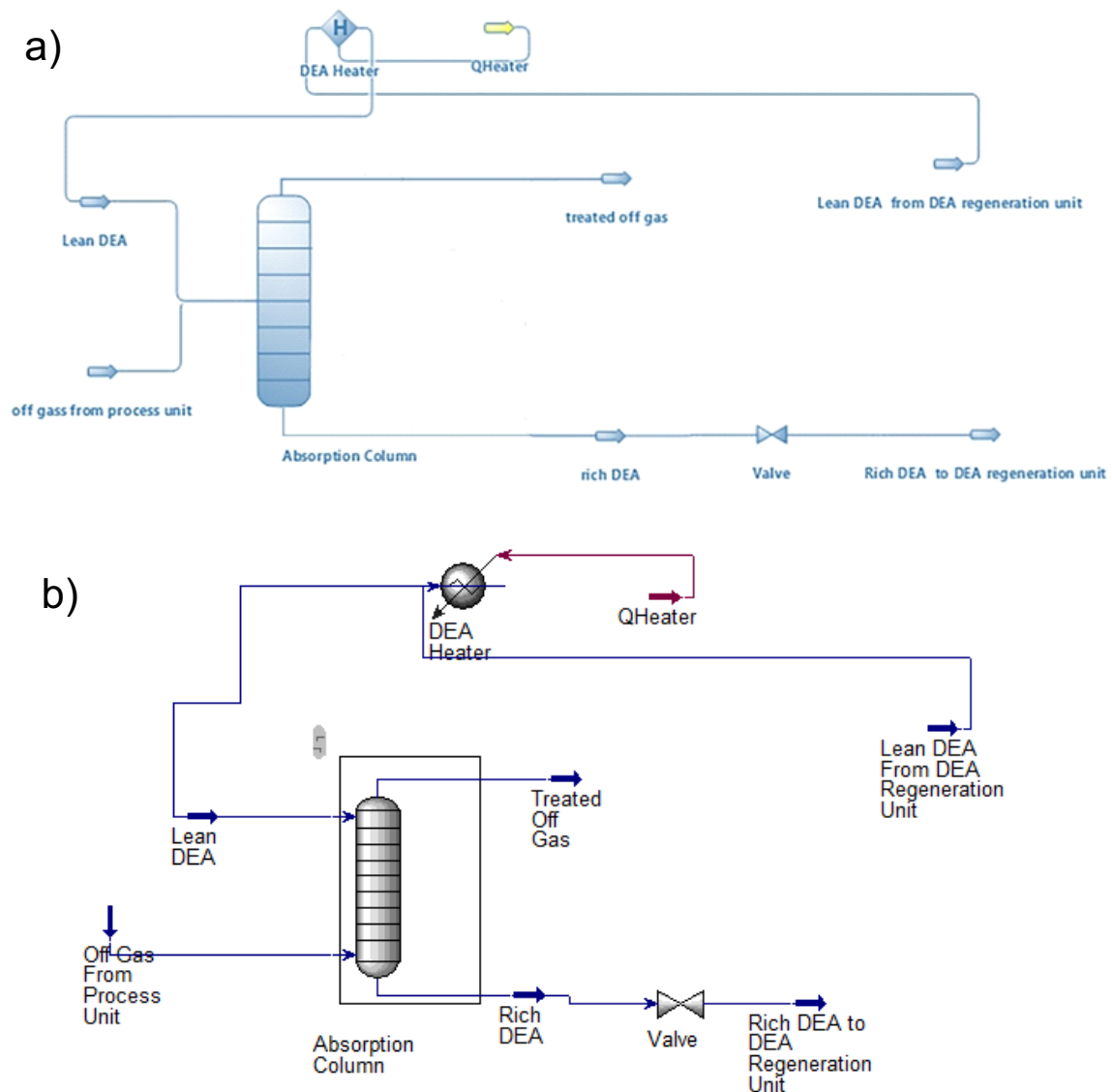
Pada tahap validasi data ini dimulai dengan melakukan *input* komponen data yang digunakan dalam penelitian, *property package* yang digunakan, serta pemodelan yang digunakan. Gambar 2 adalah *flow diagram* pemodelan dengan menggunakan perangkat lunak Hysys. Selanjutnya menginputkan data komposisi, tekanan, suhu, *flowrate feed* dan *absorber* serta kondisi operasi yang digunakan dalam simulasi Hysys.

3.1. Hubungan Suhu Terhadap Konsentrasi Akhir Metana

Hasil simulasi mendapatkan hubungan antara suhu terhadap konsentrasi akhir metana yang ditunjukkan pada Gambar 1 dengan berbagai kondisi tekanan kolom absorpsi pada kondisi optimal konsentrasi pelarut DEA 50%.



Gambar 1. Pengaruh suhu feed, terhadap konsentrasi akhir metana pada berbagai kondisi tekanan kolom absorpsi. Tekanan feed 1001,84 kPa dan Pelarut DEA 50%



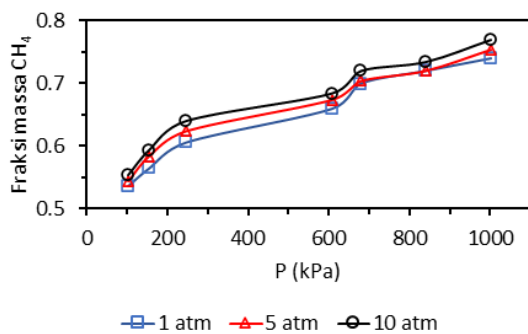
Gambar 2. Model flow diagram pada simulasi menggunakan DWSIM (a) dan Hysys (b).

Berdasarkan Gambar 1 dapat dilihat bahwa meningkatnya suhu *feed* dan pelarut DEA, maka dapat meningkatkan konsentrasi akhir CH_4 . Hal ini dikarenakan, dengan meningkatnya suhu dapat mengakibatkan peningkatan pada laju reaksi. sehingga pada saat biogas bereaksi dengan pelarut, maka semakin banyak CO_2 dan H_2S yang terabsorpsi dan konsentrasi keluaran biometana akan tinggi. Semakin meningkatnya suhu, maka energi kinetik molekul-molekul zat yang bereaksi akan bertambah sehingga reaksi yang terjadi akan semakin cepat serta, dengan kenaikan suhu absorpsi menjadi meningkat

(Tippayawong & Thanompongchart, 2010). Berdasarkan penelitian dari (Hartanto dkk., 2017) menyatakan semakin tinggi suhu operasi maka semakin kecil komposisi CO_2 pada *sweet gas* dan semakin tinggi *loading* CO_2 yang diperoleh. Hal ini terjadi akibat kinetika absorpsi yang semakin cepat apabila suhu dinaikkan. Semakin kecil komposisi CO_2 yang terdapat di *sweet gas* menunjukkan bahwa semakin banyak CO_2 yang bereaksi dengan pelarut DEA di aliran *rich amine* sehingga semakin besar *loading* CO_2 yang dihasilkan.

3.2. Hubungan Tekanan Terhadap Konsentrasi Akhir Metana

Tekanan *feed* dalam biogas maupun dalam *absorber* berpengaruh penting dalam penyerapan CO₂ sehingga dapat menghasilkan konsentrasi biometana yang tinggi. Pada simulasi ini di dapatkan hubungan tekanan (*feed* dan pelarut) terhadap konsentrasi akhir metana yang ditunjukkan pada Gambar 3 menunjukkan pengaruh tekanan *feed* terhadap konsentrasi akhir metana di berbagai kondisi tekanan kolom absorpsi pada kondisi optimal konsentrasi pelarut DEA 50% dan suhu 220 °C.

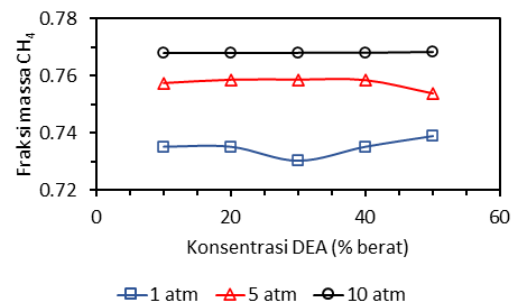


Gambar 3. Pengaruh tekanan *feed* terhadap konsentrasi akhir metana berbagai kondisi tekanan kolom absorpsi pada suhu 220 °C. pelarut DEA 50%.

Berdasarkan Gambar 3 dapat dilihat bahwa meningkatnya tekanan *feed* dan pelarut DEA, maka dapat meningkatkan konsentrasi akhir CH₄. Hal ini dikarenakan, pada proses absorpsi diperlukan tekanan tinggi untuk membantu dalam penyerapan CO₂. Semakin tingginya tekanan, maka kelarutan CO₂ dalam larutan DEA juga semakin besar sehingga kenaikan tekanan akan meningkatkan jumlah penyerapan CO₂ dan menghasilkan konsentrasi biometana yang tinggi. Menurut, Arifal pada tahun 2012 pengaruh tekanan dalam menyerap CO₂ dengan tekanan tinggi ini akan dipaksa untuk masuk ke dalam pori-pori molekul pelarut. Ketika tekanan semakin bertambah, maka jumlah CO₂ juga semakin besar. Berdasarkan penelitian dari Megawati, dkk. pada tahun 2020 yang menyatakan bahwa adanya kenaikan daya serap kolom absorpsi terhadap CO₂ dengan adanya variasi kenaikan tekanan 40 sampai 50 kg/m² hal ini disebabkan karena semakin tingginya tekanan maka, kelarutan CO₂ dalam larutan DEA juga semakin besar sehingga tekanan akan meningkatkan penyerapan CO₂.

3.3. Hubungan Konsentrasi Pelarut DEA Terhadap Konsentrasi Akhir Metana

Pelarut digunakan untuk mengabsorb kandungan CO₂ dalam biogas sehingga dapat dihasilkan biometana dengan konsentrasi yang tinggi. Namun, dalam menyerap CO₂ tergantung dari penggunaan konsentrasi pelarut yang digunakan. Pelarut DEA digunakan karena termasuk dalam senyawa amina yang bersifat basa lemah sehingga, laju absorpsi menjadi semakin cepat. Gambar 4 menunjukkan pengaruh konsentrasi pelarut DEA 50% terhadap konsentrasi akhir metana pada berbagai kondisi tekanan kolom absorpsi di suhu 220 °C.



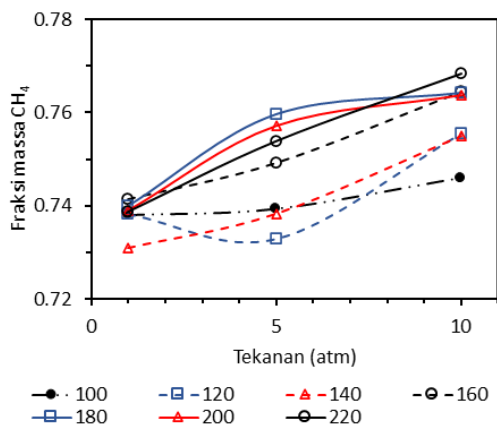
Gambar 4. Pengaruh konsentrasi pelarut DEA, terhadap konsentrasi akhir metana pada berbagai kondisi tekanan kolom absorpsi di suhu 220 °C. tekanan 1001,84 kpa, kondisi operasi tekanan kolom absorpsi 10 atm

Dari Gambar 4 dapat dilihat semakin tinggi konsentrasi pelarut yang digunakan, maka semakin tinggi konsentrasi CH₄ dan semakin banyak CO₂ yang terabsorb dalam kolom absorpsi. Sehingga, komposisi CO₂ dalam *treated off* gas menjadi semakin rendah. Berdasarkan penelitian dari Hartanto, dkk. pada tahun 2017 menyatakan bahwa adanya perbedaan konsentrasi pelarut dapat mengabsorb lebih banyak CO₂ dan keluaran pada bagian atas kolom absorpsi juga semakin rendah dengan adanya variasi konsentrasi 0,4 hingga 0,6 fraksi massa DEA. Semakin besar konsentrasi DEA yang digunakan maka semakin kecil komposisi CO₂ di *sweet gas* dan *loading* CO₂ pada *rich amine* yang diperoleh. Semakin besar konsentrasi pelarut maka, jumlah CO₂ yang terabsorpsi menjadi semakin banyak sehingga komposisi CO₂ pada *sweet gas* menjadi semakin rendah.

3.4. Hubungan Tekanan Operasi Terhadap Konsentrasi Akhir Metana

Berdasarkan hasil simulasi yang dilakukan didapatkan hubungan tekanan operasi (atm) terhadap konsentrasi akhir metana yang ditunjukkan pada Gambar 5 menunjukkan pengaruh tekanan operasi dengan berbagai semua suhu penelitian.

Berdasarkan Gambar 5 dapat dilihat bahwa meningkatnya tekanan operasi dapat meningkatkan konsentrasi CH₄ dengan kandungan CO₂ yang rendah. Hal ini karena dengan meningkatnya tekanan operasi pada kolom absorpsi maka kelarutan gas dalam cairan akan meningkat. Peningkatan ini menunjukkan bahwa difusivitas akan semakin meningkat, seperti gas yang dipaksa masuk ke dalam larutan. Berdasarkan penelitian dari (Alhady & Arifin, 2017) menyatakan Hasil ini sejalan dengan hasil penelitian yang menyatakan adanya perbedaan kondisi operasi kolom absorpsi dapat menghasilkan konsentrasi CO₂ yang rendah dengan variasi kondisi operasi kolom absorpsi 10 hingga 40 atm. Meningkatnya tekanan operasi maka, dapat meningkatkan %removal gas CO₂ dan H₂S. Hal ini dikarenakan semakin meningkatnya tekanan maka, kelarutan gas dalam cairan akan meningkat karena jika tekanan ditingkatkan berarti nilai difusivitas juga akan meningkat, sehingga seolah-olah gas dipaksa untuk masuk ke dalam pelarut.



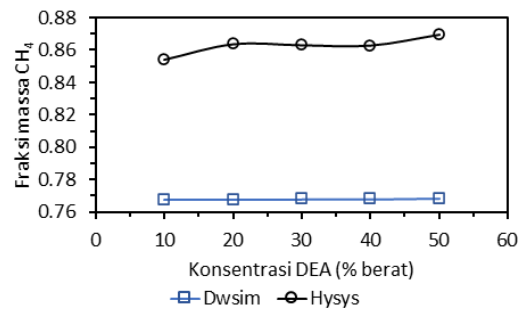
Gambar 5. Pengaruh konsentrasi pelarut DEA, terhadap konsentrasi akhir metana pada berbagai kondisi tekanan kolom absorpsi di suhu 220 oc. tekanan 1001,84 kpa, kondisi operasi tekanan kolom absorpsi 10 atm

Pada Gambar 5 menunjukkan bahwa seiring dengan peningkatan tekanan kolom absorpsi didapatkan konsentrasi CH₄ yang meningkat dengan konsentrasi CO₂ yang

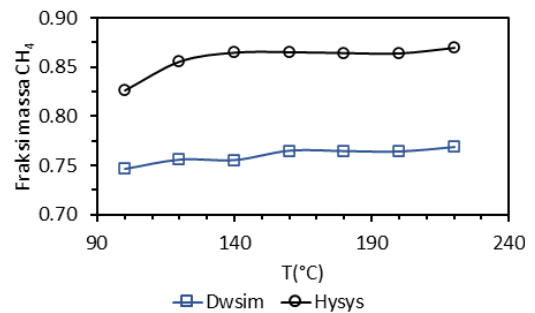
menurun. Hal ini disebabkan kelarutan CO₂ dalam pelarut DEA meningkat seiring dengan peningkatan tekanan (Raksajati dkk., 2020). Berdasarkan penelitian dari (Ciptorini & Arsi, 2015) menyatakan seiring dengan kenaikan suhu, maka konsentrasi metana cenderung naik dan konsentrasi CO₂ cenderung menurun. Peningkatan konsentrasi metana disebabkan semakin meningkatnya suhu maka energi kinetik molekul zat yang bereaksi akan bertambah sehingga reaksi akan semakin cepat disertai dengan kenaikan suhu difusifitas.

3.5. Validasi Data

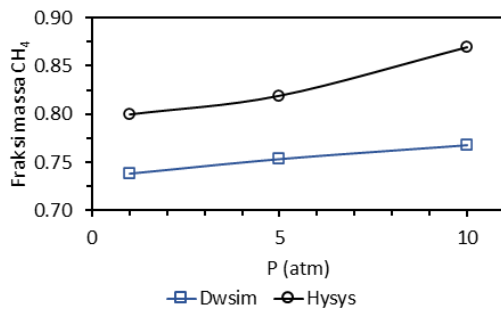
Perbedaan dari perangkat lunak Hysys dan DWSIM berada pada tingkat keakuratan simulasi yang dapat dibuktikan di hasil simulasi pada Gambar 6-8 dengan tingkat keakuratan konsentrasi metana yang dihasilkan.



Gambar 6. Validasi pengaruh konsentrasi DEA terhadap konsentrasi akhir metana.



Gambar 7. Validasi pengaruh suhu terhadap konsentrasi akhir metana.



Gambar 8. Validasi pengaruh kondisi tekanan operasi terhadap konsentrasi akhir metana.

Validasi menggunakan perangkat lunak Hysys yang dilakukan pada berbagai macam kondisi operasi seperti, suhu, konsentrasi DEA dan tekanan kolom absorpsi terhadap konsentrasi DEA didapatkan hasil konsentrasi akhir metana sebesar 0,8695 yang dapat dilihat pada Gambar 7-8, sedangkan pada perangkat lunak DWSIM menunjukkan hasil 0,7683. Dapat disimpulkan bahwa hasil simulasi pada kedua perangkat lunak tersebut terdapat perbedaan. Hal ini, dikarenakan bahwa tingkat koreksi perhitungan pada setiap perangkat lunak tentu berbeda. Namun persentase *output* keduanya lebih dari 75%. Artinya, dengan menggunakan kedua perangkat lunak dapat menjawab lebih dari 75% data simulasi secara tepat dan hasil ini adalah hasil optimum pada penelitian yang telah dilakukan.

4. Kesimpulan

Hasil simulasi menggunakan DWSIM dan telah divalidasi menggunakan Hysys didapatkan hasil yang cukup baik sebesar 75%. Hasil simulasi dengan menggunakan kedua perangkat lunak tersebut terdapat perbedaan, hal ini dikarenakan bahwa tingkat koreksi perhitungan pada setiap perangkat lunak tentu memiliki perbedaan pula. Penggunaan *property package* Peng-Robinson pada penelitian ini dengan menggunakan perangkat lunak DWSIM dan Hysys memberikan hasil yang cukup baik. Hal ini terlihat dari segi akurasi yang dihasilkan cukup baik untuk pemurnian biogas. Penggunaan variabel bebas dan variabel tetap pada penelitian ini menunjukkan hasil yang cukup baik dengan didapatkan laju absorpsi CO₂ yang cukup tinggi sehingga dihasilkan konsentrasi metana yang tinggi. Namun, validasi data dengan data hasil percobaan untuk meningkatkan akurasi pada

model simulasi yang dibuat tetap diperlukan. Untuk penelitian selanjutnya, simulasi ditambah dengan jumlah *plate* pada kolom absorpsi untuk meningkatkan kinerja dalam mengabsorpsi CO₂ dan melakukan perbandingan pendekatan model dengan menggunakan persamaan lain yang dapat mempertimbangkan interaksi antar molekul di dalam perhitungannya.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada LPPM UISI atas skema riset Mandiri.

Daftar Pustaka

- Alhady, N. H., & Arifin, M. Y. (2017). *Simulasi Dan Pemodelan Absorpsi CO₂ & H₂S Dalam Larutan MDEA Dengan Promotor Piperazine (PZ) Menggunakan Tray Column* [Institut Teknologi Sepuluh Nopember]. <https://repository.its.ac.id/3245/>
- Ciptorini, M. H. I., & Arsi, K. (2015). *Studi Kinetika Absorpsi Karbon Dioksida Menggunakan Larutan Diethanolamine (DEA) berpromotor Glycine* [Institut Teknologi Sepuluh Nopember]. <https://repository.its.ac.id/62666/3/2311100045-202%20Undergraduate%20Thesis.pdf>
- Dimawarnita, F., Arfiana, A. N., Mursidah, S., Maghfiroh, S. R., & Suryadarma, P. (2021). Produksi Biodisel Berbasis Minyak Nabati Menggunakan Aspen HYSYS. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 31(1), Article 1. <https://doi.org/10.24961/j.tek.ind.pert.2021.31.1.98>
- Dirjen EBTKE. (2021, March 24). *Strategi Pengembangan Biogas Menuju Target 1 Juta Biodigester*. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. <https://ebtke.esdm.go.id/post/2021/03/25/2829/strategi.pengembangan.biogas.menuju.target.1.juta.biodigester>
- Halim, A., Kusumandari, F. A., Widiyastuti, Setyawan, H., Winardi, S., Siddiq, N. A., Adziimaa, A. F., & Sawitri, D. (2013). The rule of carrier gas flow rate to Li⁺ diffusivity of LiFePo₄ particles as lithium battery application. *2013 International Conference on Renewable Energy and Sustainable Energy (ICRESE)*, 170–174. <https://doi.org/10.1109/ICRESE.2013.6927810>

Halim, A., Widiyastuti, W., Setyawan, H., Machmudah, S., Nurtono, T., & Winardi, S. (2014). Effect of fuel rate and annealing process of LiFePO₄ cathode material for Li-ion batteries synthesized by flame spray pyrolysis method. *AIP Conference Proceedings*, 1586(1), 173–178. <https://doi.org/10.1063/1.4866754>

Halim, A., Widyanti, A. A., Wahyudi, C. D., Martak, F., & Septiani, E. L. (2022). A Pilot Plant Study of Coal Dryer: Simulation and Experiment. *ASEAN Journal of Chemical Engineering*, 22(1), Article 1. <https://doi.org/10.22146/ajche.68745>

Hartanto, Y., Putranto, A., & Cynthia, S. (2017). Simulasi Absorpsi Gas CO₂ dengan Pelarut Dietanolamina (DEA) Menggunakan Simulator ASPEN HYSYS. *Jurnal Integrasi Proses*, 6(3), Article 3. <https://doi.org/10.36055/jip.v6i3.893>

IESR. (2017, March 14). Pojok Energi #1: Energi Terbarukan, Energi Untuk Kini dan Nanti. *IESR*. <https://iesr.or.id/pojok-energi-1-energi-terbarukan-energi-untuk-kini-dan-nanti>
Koonaphapdeelert, S., Aggarangsi, P., & Moran, J. (2020). *Biomethane: Production and Applications* (1st ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-981-13-8307-6>

Megawati, E., Yuniarti, Y., & Fadliih, A. (2020). Analisa Pengaruh dan Hubungan Temperatur Amine, Tekanan Feed Gas dan Laju Alir Feed Gas Terhadap Penyerapan CO₂ pada Unit 1C-2 Absorber (Studi Kasus PT. XYZ). *al Kimiya: Jurnal Ilmu Kimia dan Terapan*, 7(2), Article 2. <https://doi.org/10.15575/ak.v7i2.9361>

Prayugi, G. E., Sumarlan, S. H., & Yulianingsih, R. (2014). Pemurnian Biogas Dengan Sistem Pengembunan Dan Penyaringan Menggunakan Beberapa Bahan Media. *Jurnal Keteknik Pertanian Tropis dan Biosistem*, 3(1), Article 1.

Raksajati, A., Adhi, T., & Ariono, D. (2020). Pengaruh Tekanan Dan Tahap

Kompresi Dalam Pemurnian Biogas Menjadi Biometana Dengan Absorpsi CO₂ Menggunakan Air Bertekanan. *Indonesian Journal of Chemical Research*, 8(1). <https://doi.org/10.30598/10.30598/ijcr.2020.8-ang>

Tampubolon, A., & Adiatma, J. (2019). *Laporan Status Energi Bersih Indonesia: Potensi, Kapasitas Terpasang, dan Rencana Pembangunan Pembangkit Listrik Energi Terbarukan 2019*. Institute for Essential Services Reform (IESR). https://iesr.or.id/wp-content/uploads/2019/07/IESR_Infographic_Status-Energi-Terbarukan-Indonesia.pdf

Tangsriwong, K., P. Lapchit, T. Kittijungjit, T. Klamrassamee, Y. Sukjai, Y. Laonual (2020). Modeling of chemical processes using commercial and open-source software: A comparison between Aspen plus and DWSIM. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 463(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/463/1/012057>

Tippayawong, N., & Thanompongchart, P. (2010). Biogas quality upgrade by simultaneous removal of CO₂ and H₂S in a packed column reactor. *The 3rd International Conference on Sustainable Energy and Environmental Protection, SEEP 2009*, 35(12), 4531–4535. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.04.014>

Wahyuni, S. (2013). *Panduan Praktis Biogas*. Penebar Swadaya Grup.

Wahyuni, S. (2018). *Biogas Hemat Energi Pengganti Listrik BBM, dan Gas Rumah Tangga*. PT. Agromedia Pustaka.

Walsh, J. L., Ross, C. C., Smith, M. S., & Harper, S. R. (1989). Utilization of biogas. *Biomass*, 20(3), 277–290. [https://doi.org/10.1016/0144-4565\(89\)90067-X](https://doi.org/10.1016/0144-4565(89)90067-X)