

Analisis Pengaruh Pemilihan Property Package terhadap Prediksi Sifat Termodinamika Campuran Methane–Carbon Dioxide Menggunakan Aspen HYSYS

Khairani Yulia^{1*}

¹ Program Studi Teknik Kimia, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta,
Jl. SWK 104 (Lingkar Utara), Condongcatur, Sleman, Yogyakarta 55283, Indonesia.
*E-mail: khairaniyulia19@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh pemilihan property package terhadap prediksi sifat termodinamika campuran methane (CH₄) dan carbon dioxide (CO₂) menggunakan simulasi Aspen HYSYS serta pendekatan persamaan keadaan. Model yang digunakan adalah Peng–Robinson (PR) dan Soave–Redlich–Kwong (SRK). Simulasi dilakukan pada variasi tekanan 101,3 kPa, 1000 kPa, 3000 kPa, dan 5000 kPa dengan komposisi campuran 90/10, 50/50, dan 30/70. Parameter yang dianalisis meliputi faktor kompresibilitas (Z), densitas, dan entalpi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan tekanan menyebabkan penurunan nilai faktor kompresibilitas dan peningkatan densitas secara signifikan, sedangkan entalpi tidak mengalami perubahan yang berarti terhadap variasi tekanan. Pengaruh komposisi juga terlihat dominan, di mana peningkatan fraksi carbon dioxide meningkatkan densitas dan menurunkan nilai faktor kompresibilitas. Perbandingan model menunjukkan bahwa model Peng–Robinson memberikan hasil yang lebih konsisten dibandingkan Soave–Redlich–Kwong, terutama pada kondisi tekanan tinggi dan sistem gas non-ideal. Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengembangkan sistem dengan komponen yang lebih kompleks serta memperluas variasi kondisi operasi guna meningkatkan akurasi dan penerapan hasil simulasi.

Kata kunci: Aspen HYSYS, Peng–Robinson, Soave–Redlich–Kwong, faktor kompresibilitas, densitas, entalpi

1. Pendahuluan

Penggunaan perangkat lunak simulasi proses telah menjadi bagian penting dalam teknik kimia untuk mendukung perancangan, optimasi, dan analisis sistem proses secara efisien dalam dunia industri maupun pendidikan (De Tommaso dkk., 2020). Selain itu, simulasi juga berperan dalam meningkatkan pemahaman terhadap fenomena termodinamika dan operasi unit secara lebih sistematis. Melalui simulasi, berbagai kondisi operasi dapat dianalisis tanpa harus melakukan eksperimen langsung yang memerlukan biaya dan waktu yang besar, sehingga meningkatkan efisiensi dalam pengembangan proses (Kong dkk., 2024).

Aspen HYSYS merupakan salah satu perangkat lunak simulasi yang banyak digunakan dalam analisis proses karena kemampuannya dalam memodelkan sistem yang kompleks serta meningkatkan akurasi

prediksi sifat fluida dalam berbagai aplikasi industri (Nekrasov dkk., 2023; Nurlilasari, 2025). Dengan menggunakan perangkat lunak ini, berbagai sifat termodinamika seperti densitas, entalpi, dan faktor kompresibilitas dapat dihitung berdasarkan model yang dipilih.

Namun demikian, akurasi hasil simulasi sangat bergantung pada model termodinamika yang digunakan, khususnya dalam pemilihan property package (Gopal dkk., 2023). Persamaan keadaan (equation of state) digunakan untuk menggambarkan hubungan antara tekanan, temperatur, dan volume dalam sistem fluida, serta memprediksi perilaku campuran gas dalam berbagai kondisi operasi (Simão dkk., 2024). Setiap model memiliki pendekatan matematis yang berbeda, sehingga menghasilkan tingkat akurasi yang berbeda pula dalam memprediksi sifat termodinamika (Wang dkk., 2024).

Model Peng–Robinson (PR) merupakan salah satu persamaan keadaan yang banyak digunakan dalam sistem hidrokarbon karena mampu memprediksi kesetimbangan fase uap–cair secara akurat pada berbagai kondisi tekanan dan temperatur (Petropoulou dan Voutsas, 2022). Sementara itu, model Soave–Redlich–Kwong (SRK) banyak digunakan dalam analisis sistem gas karena memiliki formulasi yang lebih sederhana serta efisien dalam perhitungan kesetimbangan fase (Bertucco dan Fermeglia, 2022). Perbedaan pendekatan antara kedua model ini dapat menghasilkan variasi dalam prediksi sifat termodinamika fluida, tergantung pada kondisi sistem yang dianalisis (Mohamed dkk., 2024).

Dalam praktiknya, masih banyak pengguna, khususnya mahasiswa, yang menggunakan Aspen HYSYS tanpa mempertimbangkan secara mendalam pemilihan property package yang sesuai (Nurlilasari, 2025; Gopal dkk., 2023). Namun demikian, pemilihan model termodinamika yang tidak tepat dapat menghasilkan perbedaan prediksi sifat fluida yang signifikan, khususnya pada kondisi tekanan tinggi dan sistem gas non-ideal, di mana interaksi antar molekul menjadi lebih dominan (Lozano-Martín dkk., 2025). Pada kondisi tersebut, interaksi antar molekul menjadi lebih dominan sehingga menyebabkan penyimpangan dari perilaku gas ideal (Manuel dkk., 2023).

Campuran gas yang mengandung karbon dioksida dalam jumlah tinggi cenderung menunjukkan perilaku non-ideal yang signifikan, sehingga mempengaruhi sifat termodinamika seperti densitas dan faktor kompresibilitas (Raju dkk., 2024). Hal ini menunjukkan bahwa pemilihan model termodinamika yang tepat menjadi faktor penting dalam menentukan keakuratan hasil simulasi, khususnya pada sistem campuran gas kompleks (Barde dkk., 2024).

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh pemilihan property package terhadap prediksi sifat termodinamika campuran methane dan carbon dioxide menggunakan Aspen HYSYS. Analisis dilakukan dengan membandingkan dua model, yaitu Peng–Robinson (PR) dan Soave–Redlich–Kwong (SRK), pada berbagai kondisi tekanan dan komposisi campuran. Parameter yang dikaji meliputi faktor kompresibilitas (Z), densitas, dan entalpi, serta dilakukan analisis perbedaan hasil antar model untuk mengevaluasi tingkat akurasi dan sensitivitas masing-masing model terhadap kondisi non-ideal.

2. Metodologi

Penelitian ini dilakukan menggunakan pendekatan simulasi dengan bantuan perangkat lunak Aspen HYSYS untuk menganalisis sifat termodinamika campuran gas methane (CH_4) dan carbon dioxide (CO_2).

2.1. Sistem yang dianalisis

Sistem yang digunakan dalam penelitian ini adalah campuran biner methane dan carbon dioxide. Variasi komposisi dan tekanan yang digunakan dalam simulasi ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi campuran methane–carbon dioxide dan variasi tekanan yang digunakan dalam simulasi

No	CH ₄ (%)	CO ₂ (%)	Tekanan (kPa)
1	90	10	101,3
2	90	10	1000
3	90	10	3000
4	90	10	5000
5	50	50	101,3
6	50	50	1000
7	50	50	3000
8	50	50	5000
9	30	70	101,3
10	30	70	1000
11	30	70	3000
12	30	70	5000

Berdasarkan Tabel 1, variasi dilakukan pada komposisi campuran dan tekanan

sistem. Adapun variabel tetap yang digunakan dalam penelitian ini adalah temperatur sebesar 25°C dan laju alir sebesar 100 kmol/jam.

2.2. Pemilihan property package

Pemilihan property package merupakan salah satu faktor penting dalam simulasi proses karena berpengaruh langsung terhadap akurasi prediksi sifat termodinamika fluida. Dalam penelitian ini digunakan dua model persamaan keadaan, yaitu Peng–Robinson (PR) dan Soave–Redlich–Kwong (SRK), untuk menganalisis sifat termodinamika campuran methane dan carbon dioxide. Model Peng–Robinson (PR) merupakan salah satu persamaan keadaan kubik yang banyak digunakan dalam sistem hidrokarbon karena kemampuannya dalam memprediksi kesetimbangan fase uap–cair secara akurat (Petropoulou dan Voutsas, 2022). Persamaan Peng–Robinson dinyatakan sebagai:

$$P = \frac{RT}{V-b} - \frac{a}{V(V+b)+b(V-b)} \tag{1}$$

Sementara itu, model Soave–Redlich–Kwong (SRK) merupakan pengembangan dari persamaan Redlich–Kwong yang digunakan untuk memprediksi sifat termodinamika pada sistem gas dengan formulasi yang lebih sederhana (Bertucco dan Fermeglia, 2022). Persamaan SRK dinyatakan sebagai:

$$P = \frac{RT}{V-b} - \frac{a}{V(V+b)} \tag{2}$$

Keterangan:

P : tekanan (kPa)

T : temperatur (K)

V : volume molar (m³/kmol)

R : konstanta gas universal

a, b : konstanta interaksi molekul

Simulasi dilakukan secara terpisah untuk masing-masing model dengan kondisi yang sama untuk memastikan perbandingan yang valid.

2.3. Parameter yang dianalisis

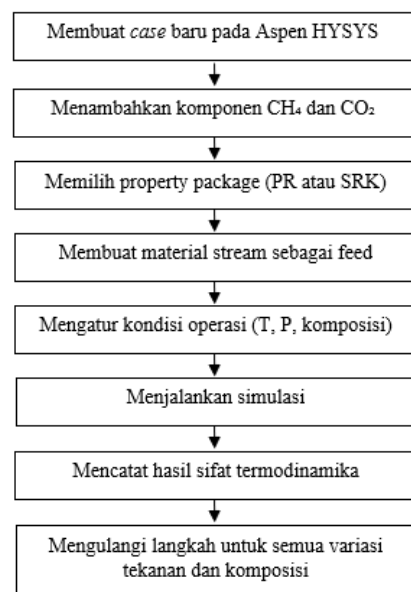
Parameter yang dikaji meliputi:

- 1). Faktor kompresibilitas (Z)
- 2). Densitas (kg/m³)
- 3). Entalpi (kJ/kmol)

2.4. Prosedur simulasi

Prosedur simulasi dalam penelitian ini dilakukan menggunakan perangkat lunak Aspen HYSYS untuk menganalisis sifat termodinamika campuran methane dan carbon dioxide. Tahapan simulasi dimulai dengan pembuatan case baru, penambahan komponen methane (CH₄) dan carbon dioxide (CO₂), serta pemilihan property package yang digunakan, yaitu Peng–Robinson (PR) dan Soave–Redlich–Kwong (SRK).

Selanjutnya, dibuat material stream sebagai aliran umpan (feed) dengan pengaturan kondisi operasi meliputi temperatur, tekanan, dan komposisi campuran sesuai variasi yang telah ditentukan. Simulasi kemudian dijalankan untuk setiap variasi tekanan dan komposisi, serta dilakukan pencatatan terhadap parameter yang dianalisis, yaitu faktor kompresibilitas, densitas, dan entalpi. Diagram alur prosedur simulasi ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alur simulasi proses menggunakan Aspen HYSYS

2.5. Perhitungan parameter

Nilai faktor kompresibilitas (*Z*) digunakan untuk mengevaluasi deviasi dari perilaku gas ideal dan dihitung menggunakan persamaan:

$$Z = \frac{PV}{RT} \tag{3}$$

Keterangan:

- Z : faktor kompresibilitas (-)
- P : tekanan (kPa)
- V : volume molar (m³/kmol)
- R : konstanta gas (kJ/kmol·K)
- T : temperatur (K)

Densitas fluida dihitung menggunakan hubungan:

$$\rho = \frac{PM}{ZRT} \tag{4}$$

Keterangan:

- ρ : densitas (kg/m³)
- P : tekanan (kPa)
- M : massa molekul (kg/kmol)
- Z : faktor kompresibilitas (-)
- R : konstanta gas
- T : temperatur (K)

Selain itu, perbedaan hasil antara model Peng–Robinson (PR) dan Soave–Redlich–Kwong (SRK) dievaluasi menggunakan persamaan error relatif:

$$Error (\%) = \left| \frac{PR-SRK}{SRK} \right| \times 100\% \tag{5}$$

Keterangan:

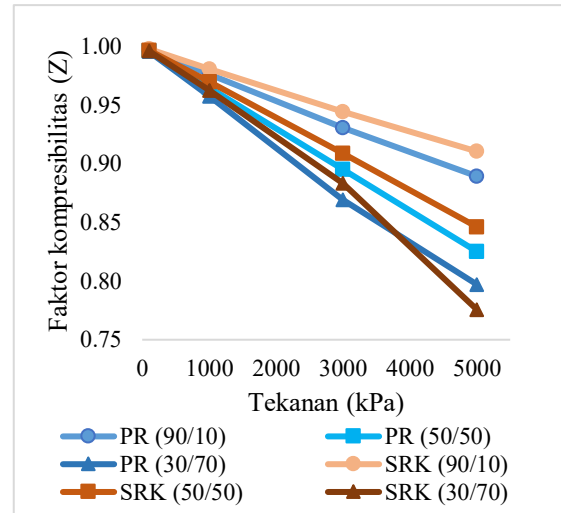
- PR : hasil model Peng–Robinson
- SRK : hasil model Soave–Redlich–Kwong

3. Hasil dan pembahasan

3.1 Pengaruh tekanan terhadap faktor kompresibilitas (*Z*)

Berdasarkan Gambar 2, peningkatan tekanan menyebabkan nilai faktor kompresibilitas (*Z*) menurun pada seluruh komposisi campuran methane–carbon dioxide. Pada tekanan rendah, nilai *Z* masih mendekati 1, yang menunjukkan bahwa sistem masih berada dekat dengan perilaku gas ideal. Namun, seiring kenaikan tekanan hingga 5000 kPa, nilai *Z* menurun secara nyata pada seluruh variasi komposisi. Fenomena ini sejalan dengan konsep persamaan keadaan yang menunjukkan bahwa pada tekanan tinggi interaksi

antarmolekul menjadi lebih dominan sehingga penyimpangan dari perilaku ideal semakin besar (Simão dkk., 2024; Manuel dkk., 2023).



Gambar 2. Pengaruh tekanan terhadap faktor kompresibilitas (*Z*) campuran methane–carbon dioxide pada berbagai komposisi menggunakan model PR dan SRK

Pengaruh komposisi juga terlihat jelas pada Gambar 2. Campuran dengan fraksi carbon dioxide yang lebih tinggi menunjukkan nilai *Z* yang lebih rendah dibandingkan campuran dengan fraksi methane yang lebih besar. Pada tekanan 5000 kPa, model PR menghasilkan nilai *Z* sebesar 0,890 untuk komposisi 90/10, 0,825 untuk komposisi 50/50, dan 0,7972 untuk komposisi 30/70. Tren yang sama juga diperoleh pada model SRK, yaitu 0,911; 0,846; dan 0,7758. Hasil ini menunjukkan bahwa peningkatan fraksi carbon dioxide memperbesar non-idealitas campuran. Temuan ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa keberadaan carbon dioxide dalam campuran gas dapat meningkatkan deviasi dari perilaku gas ideal dan berpengaruh terhadap sifat termodinamika seperti faktor kompresibilitas (Raju dkk., 2024).

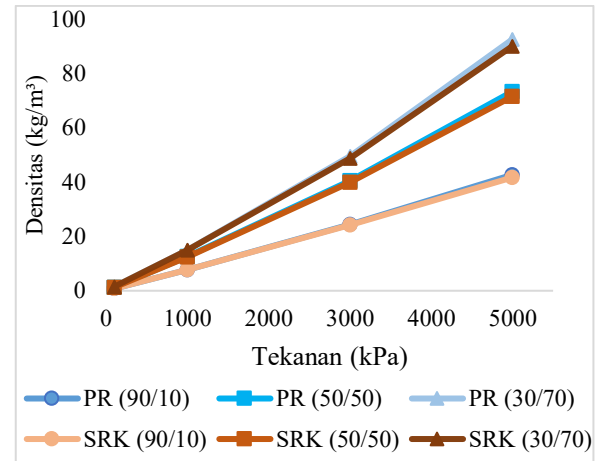
Perbandingan antara model Peng–Robinson (PR) dan Soave–Redlich–Kwong (SRK) menunjukkan bahwa model SRK cenderung menghasilkan nilai *Z* yang sedikit lebih tinggi dibandingkan model PR

pada sebagian besar kondisi, khususnya pada komposisi 90/10 dan 50/50. Namun, pada komposisi 30/70 dan tekanan 5000 kPa, model SRK justru memberikan nilai yang lebih rendah dibandingkan PR. Hal ini menunjukkan bahwa perbedaan formulasi kedua persamaan keadaan memberikan sensitivitas yang berbeda terhadap tekanan dan komposisi campuran. Perbedaan pendekatan ini memang dikenal dapat menghasilkan variasi dalam prediksi sifat termodinamika, terutama pada sistem gas non-ideal (Mohamed dkk., 2024; Gopal dkk., 2023).

Secara umum, penurunan nilai Z yang semakin besar pada tekanan tinggi menunjukkan bahwa tekanan merupakan faktor utama yang mengontrol penyimpangan sistem dari keadaan ideal. Namun, pengaruh tekanan tersebut menjadi semakin kuat ketika fraksi carbon dioxide meningkat. Dengan demikian, faktor kompresibilitas tidak hanya dipengaruhi oleh tekanan, tetapi juga oleh sifat molekuler komponen penyusun campuran, khususnya carbon dioxide yang memiliki interaksi antarmolekul lebih kuat dibandingkan methane (Simão dkk., 2024; Raju dkk., 2024).

3.2 Pengaruh tekanan terhadap densitas

Berdasarkan Gambar 3, densitas campuran methane–carbon dioxide meningkat secara signifikan seiring dengan bertambahnya tekanan pada seluruh komposisi. Pada tekanan rendah, densitas masih relatif kecil, namun meningkat tajam pada tekanan tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan tekanan menyebabkan fluida menjadi lebih rapat akibat berkurangnya volume molar sistem. Kecenderungan ini sesuai dengan prinsip dasar termodinamika fluida, dimana kenaikan tekanan meningkatkan kerapatan fase gas dan memperbesar interaksi antarmolekul (Simão dkk., 2024; Manuel dkk., 2023).



Gambar 3. Pengaruh tekanan terhadap densitas campuran methane–carbon dioxide pada berbagai komposisi menggunakan model PR dan SRK

Pengaruh komposisi terhadap densitas juga sangat dominan. Campuran dengan fraksi carbon dioxide yang lebih tinggi secara konsisten menunjukkan densitas yang lebih besar dibandingkan campuran dengan fraksi methane yang lebih tinggi. Pada tekanan 5000 kPa, model PR menghasilkan densitas sebesar 42,72 kg/m³ untuk komposisi 90/10, 73,38 kg/m³ untuk komposisi 50/50, dan 92,61 kg/m³ untuk komposisi 30/70. Sementara itu, model SRK memberikan nilai 41,72 kg/m³, 71,57 kg/m³, dan 90,12 kg/m³ pada komposisi yang sama. Kenaikan densitas ini dipengaruhi oleh massa molekul carbon dioxide yang lebih besar dibandingkan methane, sehingga semakin tinggi fraksi carbon dioxide maka semakin besar pula kerapatan campuran. Hasil ini sejalan dengan penelitian terdahulu yang menunjukkan bahwa kandungan carbon dioxide berpengaruh kuat terhadap sifat termodinamika campuran, khususnya densitas (Raju dkk., 2024).

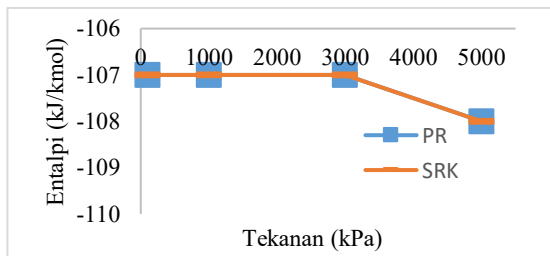
Perbandingan antara model PR dan SRK menunjukkan bahwa kedua model menghasilkan tren densitas yang serupa, tetapi model PR cenderung memberikan nilai densitas sedikit lebih tinggi dibandingkan SRK pada seluruh kondisi. Selisih tersebut relatif kecil pada tekanan rendah, namun menjadi lebih jelas pada

tekanan tinggi. Perbedaan ini menunjukkan bahwa sensitivitas model terhadap kondisi non-ideal meningkat seiring kenaikan tekanan. Dalam konteks simulasi proses, perbedaan kecil pada densitas dapat berdampak pada estimasi laju alir volumetrik, desain peralatan, dan perhitungan energi, terutama ketika diaplikasikan pada skala industri (Barde dkk., 2024).

Secara keseluruhan, hasil densitas memperlihatkan bahwa tekanan dan komposisi merupakan dua faktor yang saling memperkuat dalam menentukan perilaku termodinamika campuran. Tekanan meningkatkan kerapatan sistem, sedangkan carbon dioxide memperbesar efek tersebut melalui kontribusi massa molekul dan sifat non-idealnya. Oleh karena itu, parameter densitas menjadi salah satu indikator yang sangat sensitif dalam mengevaluasi pengaruh pemilihan model termodinamika (Raju dkk., 2024; Wang dkk., 2024).

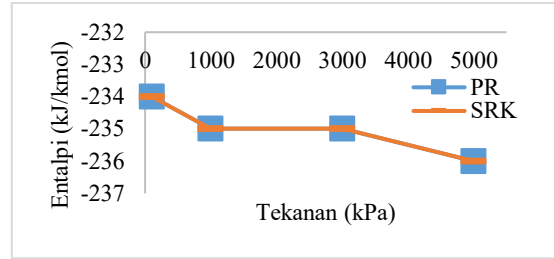
3.3 Pengaruh tekanan terhadap entalpi

Berbeda dengan faktor kompresibilitas dan densitas, hasil simulasi menunjukkan bahwa perubahan tekanan tidak memberikan pengaruh yang terlalu besar terhadap nilai entalpi pada seluruh komposisi yang dikaji. Pada komposisi 90/10, nilai entalpi berada pada kisaran -107 hingga -108 kJ/kmol.



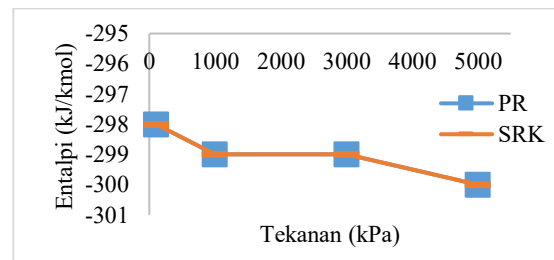
Gambar 4. Pengaruh tekanan terhadap entalpi campuran methane-carbon dioxide pada komposisi 90/10 menggunakan model PR dan SRK

Pada komposisi 50/50, nilainya berada pada kisaran -234 hingga -236 kJ/kmol,



Gambar 5. Pengaruh tekanan terhadap entalpi campuran methane-carbon dioxide pada komposisi 50/50 menggunakan model PR dan SRK

sedangkan pada komposisi 30/70 berada pada kisaran -298 hingga -300 kJ/kmol.



Gambar 6. Pengaruh tekanan terhadap entalpi campuran methane-carbon dioxide pada komposisi 30/70 menggunakan model PR dan SRK

Hal ini menunjukkan bahwa perubahan tekanan dalam rentang penelitian ini tidak menjadi faktor dominan dalam menentukan entalpi campuran.

Sebaliknya, pengaruh komposisi terhadap entalpi terlihat lebih kuat. Semakin tinggi fraksi carbon dioxide dalam campuran, nilai entalpi menjadi semakin negatif. Kecenderungan ini menunjukkan bahwa sifat energi sistem lebih dipengaruhi oleh komposisi campuran daripada perubahan tekanan pada kondisi yang dianalisis. Temuan ini sejalan dengan karakteristik termodinamika campuran gas, di mana komposisi komponen memiliki pengaruh besar terhadap energi internal dan entalpi sistem (Blankschtein, 2020)

Perbandingan antara model PR dan SRK pada parameter entalpi menunjukkan hasil yang hampir identik. Pada seluruh variasi tekanan dan komposisi, kedua model memberikan nilai yang sama atau sangat dekat, sehingga perbedaan antar model pada parameter ini relatif kecil. Hal ini menunjukkan bahwa entalpi dalam sistem yang diteliti kurang sensitif terhadap

pemilihan model persamaan keadaan dibandingkan faktor kompresibilitas dan densitas. Kondisi ini juga menegaskan bahwa tidak semua parameter termodinamika menunjukkan tingkat sensitivitas yang sama terhadap perubahan model, sehingga evaluasi model perlu dilakukan berdasarkan parameter yang paling relevan terhadap tujuan simulasi (Gopal dkk., 2023; Wang dkk., 2024).

3.4 Perbandingan model PR dan SRK

Secara umum, model Peng–Robinson (PR) dan Soave–Redlich–Kwong (SRK) menunjukkan pola prediksi yang serupa pada seluruh parameter yang dianalisis. Namun, tingkat perbedaan antar model tidak sama untuk setiap parameter. Pada faktor kompresibilitas dan densitas, perbedaan antar model mulai terlihat lebih jelas pada tekanan tinggi dan komposisi carbon dioxide yang lebih besar. Hal ini menunjukkan bahwa kedua model memiliki tingkat sensitivitas yang berbeda dalam menggambarkan perilaku fluida pada kondisi non-ideal (Mohamed dkk., 2024; Bertucco dan Fermeglia, 2022).

Pada parameter faktor kompresibilitas, model SRK umumnya menghasilkan nilai yang sedikit lebih tinggi dibandingkan PR pada sebagian besar kondisi, meskipun pada komposisi tertentu perbedaan arah juga dapat terjadi. Sementara itu, pada parameter densitas, model PR cenderung memberikan nilai sedikit lebih tinggi dibandingkan SRK. Kecenderungan ini menegaskan bahwa masing-masing model memiliki karakteristik formulasi tersendiri dalam merepresentasikan gaya tarik dan tolak antarmolekul (Petropoulou dan Voutsas, 2022).

Untuk entalpi, perbedaan antara kedua model relatif sangat kecil. Hal ini menunjukkan bahwa pemilihan model PR atau SRK tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap prediksi entalpi pada rentang kondisi yang diteliti. Dengan demikian, sensitivitas pemilihan model

lebih dominan terlihat pada parameter yang terkait langsung dengan non-idealitas volumetrik, seperti faktor kompresibilitas dan densitas, dibandingkan parameter energi seperti entalpi (Gopal dkk., 2023; Wang dkk., 2024).

Dalam konteks aplikasi industri, selisih nilai yang tampak kecil pada grafik tetap dapat memberikan dampak yang signifikan ketika digunakan dalam perhitungan desain, perhitungan energi, dan estimasi biaya operasi pada skala besar. Oleh karena itu, pemilihan model termodinamika yang tepat tetap menjadi langkah penting dalam simulasi proses, terutama untuk sistem gas campuran dengan kandungan carbon dioxide yang tinggi (Barde dkk., 2024).

3.5 Perbandingan hasil simulasi dengan perhitungan manual

Untuk mengevaluasi konsistensi hasil simulasi, dilakukan perbandingan antara hasil Aspen HYSYS dan perhitungan manual menggunakan persamaan keadaan PR dan SRK pada kondisi tekanan 101,3 kPa, temperatur 25°C, dan komposisi 90% methane–10% carbon dioxide. Hasil perhitungan manual menunjukkan nilai faktor kompresibilitas sebesar 0,99747 untuk model PR dan 0,99800 untuk model SRK. Sementara itu, hasil simulasi Aspen HYSYS memberikan nilai 0,9976 untuk PR dan 0,9981 untuk SRK.

Perbedaan antara hasil simulasi dan hasil manual sangat kecil, dengan nilai error masing-masing sekitar 0,013% untuk PR dan 0,010% untuk SRK. Nilai error yang sangat rendah ini menunjukkan bahwa hasil simulasi menggunakan Aspen HYSYS konsisten dengan perhitungan berbasis persamaan keadaan. Temuan ini memperkuat bahwa perangkat lunak simulasi dapat digunakan sebagai alat yang andal untuk memprediksi sifat termodinamika campuran gas, terutama pada kondisi yang masih relatif dekat dengan perilaku ideal (Jain dkk., 2019; Gopal dkk., 2023).

Meskipun demikian, perhitungan manual tetap penting sebagai dasar validasi, karena dapat menunjukkan secara langsung bagaimana parameter termodinamika dipengaruhi oleh formulasi persamaan keadaan yang digunakan. Dengan adanya perbandingan ini, hasil simulasi tidak hanya bersifat numerik, tetapi juga memiliki dasar teoritis yang dapat dipertanggungjawabkan.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi, dapat disimpulkan bahwa tekanan dan komposisi memiliki pengaruh signifikan terhadap sifat termodinamika campuran gas. Peningkatan tekanan menyebabkan penurunan faktor kompresibilitas dan peningkatan densitas secara konsisten pada seluruh variasi komposisi.

Selain itu, nilai entalpi tidak menunjukkan perubahan signifikan terhadap variasi tekanan, namun lebih dipengaruhi oleh komposisi campuran. Hal ini menunjukkan bahwa kontribusi energi masing-masing komponen memiliki peran dominan dalam menentukan nilai entalpi sistem.

Secara keseluruhan, model Peng–Robinson menunjukkan hasil yang lebih konsisten dibandingkan Soave–Redlich–Kwong, sehingga lebih direkomendasikan untuk digunakan dalam simulasi sistem gas non-ideal.

Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengembangkan analisis dengan menambahkan variasi komponen campuran yang lebih kompleks, seperti etana atau komponen lain yang terdapat dalam gas alam, sehingga dapat merepresentasikan kondisi sistem yang lebih realistis. Selain itu, variasi kondisi operasi seperti temperatur dan komposisi yang lebih luas juga perlu dikaji untuk memperoleh pemahaman yang lebih komprehensif terhadap perilaku termodinamika campuran gas. Penggunaan metode perhitungan yang lebih detail serta perbandingan dengan data eksperimen juga

dapat dilakukan untuk meningkatkan validasi hasil simulasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Barde, E., Oyegoke, T., Aliyu, A., Uzochukwu, M., Odih, C. (2024) Butane dehydrogenation: Thermodynamic modeling and performance analysis of selected process simulators, *Journal of Engineering Sciences*.
- Bertucco, A., Fermeglia, M. (2022) 50 years of Soave equation of state (SRK): A source of inspiration for chemical engineers, *Fluid Phase Equilibria*.
- Blankschtein, D. (2020) Mixture equations of state, mixture departure functions, ideal gas mixtures, ideal solutions, and sample problem, *Lectures in Classical Thermodynamics with an Introduction to Statistical Mechanics*.
- De Tommaso, J., Rossi, F., Moradi, N., Pirola, C., Patience, G., Galli, F. (2020) Experimental methods in chemical engineering: Process simulation, *The Canadian Journal of Chemical Engineering*.
- Gopal, J., Morgan, R., De Sercey, G., Vogiatzaki, K. (2023) Overview of common thermophysical property modelling approaches for cryogenic fluid simulations at supercritical conditions, *Energies*.
- Jain, R., Nayak, P., Dalve, P., Moudgalya, K. M., Naren, P. R., Wagner, D., Fritzson, P. (2019) Implementation of a property database and thermodynamic calculations in OpenModelica for chemical process simulation, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 58(18), 7551–7560.
- Kong, Z., Omar, A., Lau, S., Sunarso, J. (2024) Introducing process simulation as an alternative to laboratory session in undergraduate

- chemical engineering thermodynamics course: A case study from Sunway University Malaysia, Digital Chemical Engineering.
- Lozano-Martín, D., Tuma, D., Chamorro, C. (2025) Evaluation of reference equations of state for density prediction in regasified LNG mixtures using high-precision experimental data, *International Journal of Thermophysics*, 46.
- Mohamed, T., Kozinski, J., Ramos-Pallares, F. (2024) Peng–Robinson or Redlich–Kwong? Which combination produces more accurate results, *ACS Omega*.
- Nekrasov, I., Tynchenko, V., Bukhtoyarov, V., Panfilova, T., Sokolnikov, A., Gorodov, A., Panfilov, I. (2023) Simulation of the hydrocracking process using Aspen HYSYS, *AIP Conference Proceedings*.
- Nurlilasari, P. (2025) Comprehensive review of process simulation to industrial applications and sustainability integration, *Indonesian Journal of Economics, Business, Accounting, and Management*.
- Petropoulou, E., Voutsas, E. (2022) Thermodynamic modelling of industrial mixtures with equation of state, *Fluid Phase Equilibria*.
- Raju, D., Ramdin, M., Vlugt, T. (2024) Thermophysical properties and phase behavior of CO₂ mixtures, *Journal of Chemical & Engineering Data*.
- Simão, J., Emmanuel, L., João, A., Manuel, E., Nzinga, E., Cangue, F., Barros, A. (2024) Analysis of thermodynamic behavior of gaseous mixtures using equations of state, *South African Journal of Chemical Engineering*.
- Wang, J., Xin, O., Lei, C., Peng, S., Wang, Z., Wang, J. (2024) Investigation on adaptability of equation of state models, *International Journal of Hydrogen Energy*.