



Experimental Analysis of Deviations of Real Gases from Ideal Gases at Constant Temperature

Defrianto Pratama^{*1)}, Kunlestiowati Hadiningrum²⁾, Ratu Fenny Muldiani³⁾

¹⁾ Department of Electrical Engineering, Politeknik Negeri Bandung

²⁾ Department of Chemical Engineering, Politeknik Negeri Bandung

³⁾ Department of Energy Conversion Engineering, Politeknik Negeri Bandung

e-mail: ^{*1)} defrianto.pratama@polban.ac.id

Abstract

This research aims to examine the deviations in experimental results of real gases from the ideal gas model at a constant temperature. The research method involves using specially designed and developed experimental apparatus to measure the pressure and volume of gases at various pressure variations up to 600 KPa. The pressure and volume data of gases are analyzed by comparing the Van der Waals Gas model with the ideal gas model. The analysis results indicate that the Van der Waals Gas model is significantly more accurate in modeling the behavior of real gases compared to the ideal gas model. The Van der Waals Gas model has a lower Root Mean Square Error (RMSE) value (1509.8 Pa) and a coefficient of determination (R square) value approaching 1 (0.99), while the ideal gas model exhibits a high RMSE (352121.0 Pa) and a low R square (0.082). Deviations from ideal gas behavior occur at high pressures (above 150,000 Pa) and low pressures (below 90,000 Pa), while within the pressure range between these two points, the ideal gas model still provides reasonably good results. The Van der Waals gas model is significantly more accurate than the ideal gas model in modeling the behavior of real gases at a constant temperature.

Keywords: deviation, ideal gas, real gas, Van der Waals

Submitted: 2023-09-21

Accepted: 2024-07-09

Analisis Penyimpangan Hasil Eksperimen Gas Nyata terhadap Gas ideal pada Suhu Tetap

Defrianto Pratama^{*1)}, Kunlestiowati Hadiningrum²⁾, Ratu Fenny Muldiani³⁾

¹⁾ Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung

²⁾ Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Bandung

³⁾ Jurusan Teknik Konversi Energi, Politeknik Negeri Bandung

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk memeriksa penyimpangan hasil eksperimen gas nyata terhadap model gas ideal pada suhu tetap. Metode penelitian melibatkan penggunaan alat eksperimen yang dirancang dan dikembangkan khusus untuk mengukur tekanan dan volume gas pada berbagai variasi tekanan hingga 600 KPa. Data tekanan dan volume gas dianalisis dengan membandingkan model Gas Van der Waals dengan model gas ideal. Hasil analisis menunjukkan bahwa model Gas Van der Waals secara signifikan lebih akurat dalam memodelkan perilaku gas nyata dibandingkan dengan model gas ideal. Model Gas Van der Waals memiliki nilai Root Mean Square Error (RMSE) yang lebih rendah (1509,8 Pa) dan nilai koefisien determinasi (R square) yang mendekati 1 (0,99), sementara model gas ideal memiliki RMSE yang tinggi (352121,0 Pa) dan R square yang rendah (0,082). Penyimpangan data eksperimen dari gas ideal terjadi pada tekanan tinggi (di atas 150000 Pa) dan tekanan rendah (di bawah 90000 Pa), sementara pada rentang tekanan antara kedua titik tersebut, model gas ideal masih memberikan hasil yang cukup baik. Model Gas Van der Waals secara signifikan lebih akurat daripada model gas ideal dalam memodelkan perilaku gas nyata pada suhu tetap.

Kata kunci: deviasi, gas ideal, gas nyata, Van der Waals

Pendahuluan

Gas ideal adalah salah satu konsep fundamental dalam ilmu fisika dan kimia yang telah menjadi dasar bagi pemahaman kita tentang perilaku gas pada berbagai kondisi (Lewis et al., 2020). Menurut hukum gas ideal, gas dianggap ideal ketika ia mematuhi persamaan keadaan gas ideal, yang dinyatakan sebagai $PV = nRT$, dengan P adalah tekanan, V adalah volume, n adalah jumlah mol, R adalah konstanta gas (8,314 J/mol.K), dan T adalah suhu. Konsep ini telah terbukti sangat berguna dalam menjelaskan perilaku gas di berbagai kondisi, terutama pada tekanan rendah dan suhu ruang (Vestřalová et al., 2018).

Namun, dalam eksperimen dunia nyata, seringkali terjadi penyimpangan dari perilaku gas ideal, terutama pada tekanan yang tinggi dan suhu ekstrem (Mansour et al., 2022). Penyimpangan ini menjadi lebih jelas dan signifikan ketika kita mendekati kondisi gas nyata. Penyimpangan ini dapat disebabkan oleh berbagai faktor seperti interaksi antar molekul gas, volume molekul gas, dan lainnya. Untuk mengatasi penyimpangan ini, ilmuwan Johannes Diderik van der Waals mengembangkan model gas yang dikenal dengan nama Gas Van der Waals (Avramenko et al., 2021).

Model Gas Van der Waals memperhitungkan dua aspek penting yang sering diabaikan dalam model gas ideal. Pertama, model ini memperhitungkan volume eksklusif dari molekul gas, yang mengakibatkan volume aktual gas lebih kecil daripada volume yang diprediksi oleh gas ideal. Kedua, model ini memperhitungkan gaya tarik antara molekul gas, yang menyebabkan tekanan aktual gas lebih rendah daripada yang diperkirakan oleh gas ideal (Burger et al., 2020). Oleh karena itu, persamaan Gas Van der Waals dinyatakan pada persamaan (1)

$$\left(P + \frac{a n^2}{V^2}\right)(V - nb) = nRT \quad (1)$$

dengan a adalah koefisien koreksi untuk gaya tarik antar molekul, dan b adalah volume eksklusif dari molekul gas (Zucker & Biblarz, 2019)

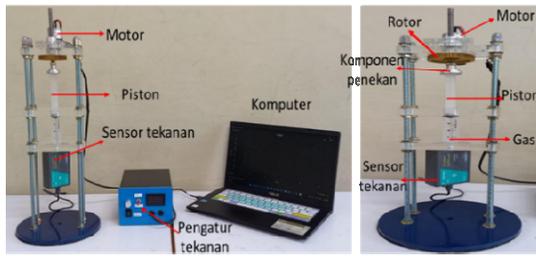
Penting untuk memahami dan mengukur penyimpangan ini karena memiliki implikasi yang signifikan dalam berbagai aplikasi ilmiah dan teknologi, termasuk desain dan operasi reaktor kimia (Castellanos et al., 2022), pengeboran minyak dan gas (Zhuang et al., 2017), serta pemahaman yang lebih baik tentang perilaku gas di bawah kondisi ekstrem (Muratore, 2019).

Kajian ini bertujuan untuk menginvestigasi dan memverifikasi penyimpangan hasil eksperimen gas nyata terhadap gas ideal pada suhu tetap. Data eksperimental berupa tekanan dan volume gas diambil dalam berbagai kondisi tekanan pada suhu tetap tertentu. Data ini dibandingkan dengan prediksi yang diberikan oleh model gas ideal dan model Gas Van der Waals. Penelitian ini diharapkan menjadi kontribusi dalam meningkatkan pemahaman mengenai perilaku gas nyata, terutama ketika berhadapan dengan tekanan tinggi dan suhu ekstrem, dan sejauh mana model-model tersebut dapat menjelaskan penyimpangan tersebut.

Penelitian ini juga memiliki tujuan untuk mendukung pengembangan kegiatan eksperimen di perguruan tinggi. Dengan memahami penyimpangan gas nyata terhadap gas ideal, kita dapat merancang eksperimen yang lebih relevan dan mendalam dalam pengajaran tingkat perguruan tinggi. Pengetahuan ini dapat membantu pengajar dan mahasiswa dalam meningkatkan kualitas pembelajaran dan pemahaman tentang konsep gas serta aplikasinya dalam dunia nyata.

Metode Penelitian

Penelitian ini menerapkan metode eksperimental untuk mengumpulkan data. Data yang dikumpulkan kemudian dianalisis dengan menggunakan persamaan gas ideal dan persamaan Van der Waals. Regresi Linier (Abu-Faraj et al., 2022) digunakan untuk menganalisis data hasil eksperimen. Selanjutnya, dilakukan perhitungan nilai RMSE (*Root Mean Square Error*) dan koefisien determinasi (*R square*) (Karunasingha, 2022). Gambar 1 menunjukkan alat yang digunakan dalam pengambilan data penelitian ini.

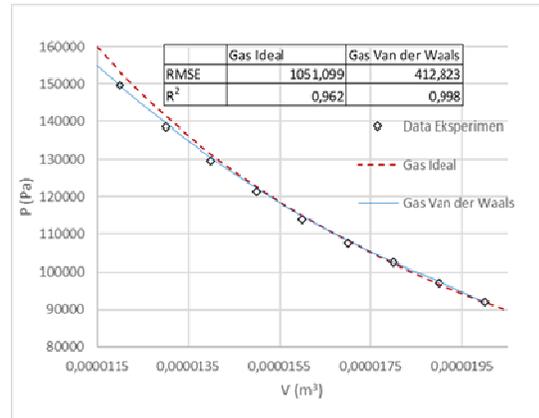


Gambar 1. Alat pengambilan data eksperimen.

Alat eksperimen telah dirancang dan dikembangkan dengan tujuan untuk memahami perilaku gas pada suhu tetap. Alat eksperimen dan komponennya dapat dilihat pada Gambar 1. Alat eksperimen ini terdiri dari piston berisi gas (udara) yang diberikan tekanan dengan bantuan motor listrik. Motor listrik memberikan tekanan yang kuat dan tetap pada setiap perubahan volume dibandingkan dengan pemberian tekanan menggunakan kekuatan tangan. Tekanan maksimum yang dihasilkan motor listrik pada piston sekitar ~ 600 KPa. Tekanan gas pada piston diukur menggunakan sensor tekanan yang dihubungkan dengan komputer. Data perubahan tekanan untuk perubahan volume gas dapat langsung terekam pada komputer. Kemudian data diplot hingga menghasilkan grafik yang menunjukkan perubahan tekanan terhadap perubahan volume pada suhu tetap. Hasil dibandingkan dengan model gas van der Waals dan model gas ideal.

Hasil dan Pembahasan

Pengambilan data dilakukan dengan Variasi Tekanan dan Volume untuk mengetahui penyimpangan yang terjadi pada gas nyata hasil eksperimen terhadap model Van der Waals dan gas ideal, dengan kondisi volume udara awal $2,0 \times 10^{-5} \text{ m}^3$, suhu ruangan $298,3 \text{ K}$ dengan tekanan udara luar $92,4 \text{ kPa}$. Melalui Gambar 2, terlihat bahwa kurva hasil analisis variasi tekanan dan volume lebih mendekati data eksperimen pada model gas Van der Waals dibandingkan dengan model gas ideal, seperti yang tercermin dari nilai *Root Mean Square Error* (RMSE) yang lebih rendah pada model Van der Waals. Nilai RMSE model gas Van der Waals $1509,8 \text{ Pa}$ dan nilai RMSE model gas ideal $352121,0 \text{ Pa}$.

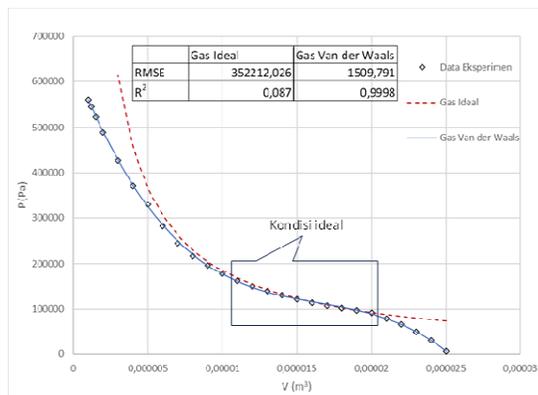


Gambar 2. Hubungan tekanan terhadap volume gas pada suhu tetap.

Perbedaan dalam hasil analisis antara model Van der Waals dan model gas ideal menunjukkan tingkat kesalahan yang berbeda dalam memperkirakan tekanan gas pada variasi volume. Selain itu, kemampuan model Van der Waals dalam menjelaskan variasi data eksperimen juga tampak jauh lebih baik daripada model gas ideal. Nilai RMSE yang lebih rendah pada model Van der Waals mencerminkan kesalahan yang lebih kecil dalam prediksi tekanan gas pada suhu yang sama. Selain itu, nilai R square yang signifikan pada model Van der Waals (0,99) kontras dengan nilai yang rendah pada model gas ideal (0,082), mengindikasikan bahwa model Gas Van der Waals lebih sesuai dengan data eksperimen. Tingkat akurasi yang hampir sempurna yang ditunjukkan oleh R square mendekati 1 menandakan kemampuan model Van der Waals yang unggul dalam menjelaskan perilaku gas dalam variasi data eksperimental (Kasuya, 2019).

Profil grafik dalam Gambar 2 untuk model gas Van der Waals dan data eksperimen mempunyai bentuk yang sama bahkan berimpit, sedangkan profil grafik gas ideal terdapat penyimpangan.

Penyimpangan data eksperimen terhadap gas ideal mulai terjadi pada kondisi tekanan di atas 150000 Pa ($\sim 1,5 \text{ atm}$) dan tekanan dibawah 90000 Pa ($\sim 0,9 \text{ atm}$). Pada kondisi tersebut gas (udara) sudah berperilaku sebagai gas nyata. Kondisi gas ketika masih mendekati kondisi ideal pada rentang 90000 Pa ($\sim 0,9 \text{ atm}$) hingga 150000 Pa ($\sim 1,5 \text{ atm}$) dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Hubungan tekanan terhadap volume pada kondisi mendekati gas ideal.

Gambar 3 menunjukkan pada rentang tekanan 90000 Pa ($\sim 0,9$ atm) hingga 150000 Pa ($\sim 1,5$ atm) terlihat bahwa data eksperimen masih memiliki kecocokan dengan model gas ideal, dengan nilai RMSE 1051,1 Pa yang jauh lebih kecil dibandingkan dengan nilai RMSE pada data di gambar 3. Selain itu, nilai sebesar R square 0,96 menunjukkan bahwa model gas ideal mempunyai kecocokan yang cukup baik jika dibandingkan nilai R square pada data di gambar 4 yang memiliki kecocokan rendah sebesar 0,082. Akan tetapi, model Van der Waals memiliki kecocokan yang sedikit lebih baik pada rentang tekanan ini, dengan nilai RMSE 412,8 dan R square 0,99. Meskipun model gas ideal masih cocok pada rentang tekanan tertentu, terutama pada tekanan yang lebih rendah, model Gas Van der Waals tetap menjadi pilihan yang lebih baik untuk menggambarkan perilaku gas nyata dalam berbagai kondisi, khususnya pada tekanan tinggi.

Model Gas Van der Waals lebih baik daripada model gas ideal dalam menjelaskan perilaku gas berdasarkan data eksperimen karena Model Gas Van der Waals memperhitungkan interaksi antar molekul gas melalui parameter a dalam persamaannya, yang mencerminkan gaya tarik antar molekul (Hermann et al., 2017). Ini lebih sesuai dengan perilaku nyata gas, terutama pada tekanan tinggi di mana interaksi ini semakin signifikan (Putri et al., 2023). Sebaliknya, model gas ideal menganggap gas sebagai entitas yang sepenuhnya independen, tanpa mempertimbangkan gaya tarik antar molekul (Bråten et al., 2021).

Keterbatasan pada penelitian yaitu gas yang diuji masih pada suhu kamar. Saran penelitian selanjutnya, yaitu penelitian yang melibatkan rentang suhu yang lebih luas, termasuk suhu

rendah dan tinggi, akan membantu memahami perilaku gas di luar suhu kamar.

Kesimpulan

Berdasarkan analisis data, dapat disimpulkan bahwa model Gas Van der Waals secara signifikan lebih akurat daripada model gas ideal dalam memodelkan perilaku gas nyata. Hal ini tercermin dalam nilai RMSE yang lebih rendah dan nilai R square yang mendekati 1 pada model Gas Van der Waals, menunjukkan tingkat kesalahan prediksi yang lebih kecil dan kesesuaian yang sangat tinggi dengan data eksperimen.

Penghargaan

Ucapan terima kasih untuk Politeknik Negeri Bandung melalui Pusat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Politeknik Negeri Bandung yang telah memberikan pendanaan untuk penelitian ini sesuai dengan Surat Perjanjian Pelaksanaan Penelitian No. B/94.12/PL1.R7/PG.00.03/2023.

Daftar Pustaka

- Abu-Faraj, M. A., Al-Hyari, A., & Alqadi, Z. (2022). Experimental analysis of methods used to solve linear regression models. *Computers, Materials & Continua*, 72(3), 5699-5712. <https://doi.org/10.32604/cmc.2022.027364>
- Avramenko, A. A., Shevchuk, I. V., & Kovetskaya, M. M. (2021). An analytical investigation of natural convection of a van der waals gas over a vertical plate. *Fluids*, 6(3), 1-13. <https://doi.org/10.3390/fluids6030121>
- Bråten, V., Bedeaux, D., Wilhelmssen, Ø., & Schnell, S. K. (2021). Small size effects in open and closed systems: What can we learn from ideal gases about systems with interacting particles? *The Journal of Chemical Physics*, 155(24), 1-15. <https://doi.org/10.1063/5.0076684>
- Burger, F. A., Corkery, R. W., Buhmann, S. Y., & Fiedler, J. (2020). Comparison of theory and experiments on van der waals forces in media—a survey. *The Journal of Physical Chemistry C*, 124(44), 24179-24186. <https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.0c06748>
- Castellanos-Gomez, A., Duan, X., Fei, Z., Gutierrez, H. R., Huang, Y., Huang, X., ...

- & Sutter, P. (2022). Van der Waals heterostructures. *Nature Reviews Methods Primers*, 2(1), 1-38. <https://doi.org/10.1038/s43586-022-00139-1>
- Hermann, J., DiStasio Jr, R. A., & Tkatchenko, A. (2017). First-principles models for van der Waals interactions in molecules and materials: Concepts, theory, and applications. *Chemical Reviews*, 117(6), 4714-4758. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.6b00446>
- Karunasingha, D. S. K. (2022). Root mean square error or mean absolute error? Use their ratio as well. *Information Sciences*, 585, 609-629. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2021.11.036>
- Kasuya, E. (2019). *On the use of r and r squared in correlation and regression* (Vol. 34, No. 1, pp. 235-236). Hoboken, USA: John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1111/1440-1703.1011>
- Lewis, G. N., Randall, M., Pitzer, K. S., & Brewer, L. (2020). *Thermodynamics*. Courier Dover Publications.
- Mansour, A., Lagrandeur, J., & Poncet, S. (2022). Analysis of transcritical CO₂ vortex tube performance using a real gas thermodynamic model. *International Journal of Thermal Sciences*, 177, 107555. <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2022.107555>
- Muratore, C., Voevodin, A. A., & Glavin, N. R. (2019). Physical vapor deposition of 2D Van der Waals materials: a review. *Thin Solid Films*, 688, 137500. <https://doi.org/10.1016/j.tsf.2019.137500>
- Putri, K. D., Warsito, A., & Louk, A. C. (2023). Kajian keadaan termodinamik gas argon model gas ideal, Van der Waals, Song Mason, dan Beattie Bridgeman berdasarkan komputasi Newton Raphson. *Jurnal Fisika: Fisika Sains dan Aplikasinya*, 8(2), 1-8.
- Vestřálová, M., & Šafařík, P. (2018). Determination of the applicability limits of the ideal gas model for the calculation of moist air properties. In *EPJ Web of Conferences* (Vol. 180, p. 02115). EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/epjconf/201818002115>
- Zhuang, G., Zhang, Z., Jaber, M., Gao, J., & Peng, S. (2017). Comparative study on the structures and properties of organo-montmorillonite and organo-palygorskite in oil-based drilling fluids. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 56, 248-257. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2017.07.017>
- Zucker, R. D., & Biblarz, O. (2019). *Fundamentals of gas dynamics*. John Wiley & Sons.