

Visualization of the Kinetic Gas Theory Concept through the Air Expansion Experiment in Balloons as a Simple Practical Media

Lia Rosa Sihombing¹, Nabil Ma'ruf¹, Jeliana Veronika Sirait^{1*}

¹ Program Studi Pendidikan Fisika, Universitas Jambi, Jambi, Indonesia.

Received: 08-12-2025

Revised: 27-12-2025

Accepted: 30-12-2025

Published: 02-01-2026

Corresponding Author:

Author Name*: Jeliana Veronika

Sirait

Email*: jelianasirait@unja.ac.id

© 2026 The Authors. This open access article is distributed under a (CC-BY License)



Abstract: This study was conducted to understand how temperature variations affect the change in air volume within a balloon, referencing the key concepts in the Kinetic Gas Theory. In the experimental procedure, a balloon with an initial diameter of 20 cm was immersed in water at temperatures of 30°C, 45°C, and 60°C, with three repetitions for each condition to ensure stable results. Observations showed that the diameter of the balloon increased as the water temperature was raised. This increase is related to the rise in the kinetic energy of the gas particles when heated, causing the pressure against the balloon's walls to increase, which results in a larger volume. These findings demonstrate a direct relationship between temperature and changes in gas volume within a closed space. This discovery explains that heating has a significant effect on the expansion of air inside the balloon and supports the fundamental principle of gas behavior in response to changes in thermal energy. Overall, the study emphasizes that temperature variation plays an important role in volume changes, and the results can serve as a foundation for teaching or research related to gas dynamics.

Keywords: Balloon volume, gas expansion, kinetic energy, temperature change, water temperature

Pendahuluan

Perilaku gas secara makroskopik dapat diinterpretasikan lewat teori kinetik, yang menyajikan gas sebagai kumpulan partikel-partikel kecil yang bergerak secara acak dan berinteraksi melalui tumbukan (Fenny, 2018; Oss, 2025; Runstedtler & Duchesne, 2022; Sprittles, 2024). Gerakan mikroskopis ini menghasilkan tekanan dan temperatur yang dapat dijelaskan dari energi kinetik rata-rata molekul (Liu et al., 2024; Yu et al., 2025; Zhang & Hess, 2021). Model ini memungkinkan hubungan antara gerakan partikel dan sifat termodinamika gas dijelaskan secara konseptual.

Hukum Charles merupakan salah satu hukum penting dalam termodinamika gas: jika tekanan dijaga konstan, maka volume gas berbanding lurus dengan temperatur absolut (skala Kelvin). Ketika menggunakan wadah fleksibel seperti balon, perubahan volume akibat pemanasan dapat diamati secara nyata, sehingga teori ini dapat diuji secara eksperimental dengan cara sederhana (Muldiani, 2023).

Meski demikian, dalam praktik eksperimen kemungkinan muncul penyimpangan dari teori ideal. Gas yang diuji mungkin tidak sepenuhnya ideal, dan sifat elastis balon serta variasi suhu dapat memengaruhi hasil, sebagaimana diungkapkan oleh Kunlestiawati, Muldiani, dan Pratama bahwa perilaku gas nyata sering menyimpang dari asumsi model ideal ketika dipraktikkan di laboratorium (Muldiani dkk., 2023). Model dasar mengasumsikan tidak ada interaksi antar partikel dan bahwa partikel gas tidak

How to Cite:

Sihombing, L. R., Ma'ruf, N., & Sirait, I. V. (2026). Visualization of the kinetic gas theory concept through the air expansion experiment in balloons as a simple practical media. *RAJENDRA: Journal of Science and Technology Learning Innovation*, 1(1). <https://journal.sigufi.com/index.php/rajendra>

memiliki volume sendiri, sementara kenyataan eksperimen mungkin tidak selalu memenuhi asumsi tersebut. Dalam ranah pendidikan dan demonstrasi laboratorium, menggunakan balon untuk menunjukkan efek pemanasan pada gas adalah metode yang mudah dan efektif. Dengan mencelupkan balon berisi udara ke dalam air bersuhu berbeda, perubahan ukuran balon dapat diukur sebagai proksi perubahan volume gas, memberikan ilustrasi langsung dari konsep pemuaian termal (Nasution dkk., 2025).

Selain berfungsi sebagai alat bantu visual, eksperimen ini juga melatih keterampilan ilmiah, seperti melakukan pengukuran, mengontrol variabel, serta mencatat dan menganalisis data hasil pengamatan. Dengan demikian, praktikum sederhana ini tidak hanya memperkuat pemahaman teori kinetik gas, tetapi juga menumbuhkan kemampuan berpikir ilmiah dan sikap teliti dalam eksperimen (Yaumi & Zulaikah, 2021).

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh suhu air yaitu 30 °C, 45 °C, dan 60 °C pada ekspansi udara dalam balon dengan diameter awal 20 cm. Melalui tiga ulangan pada masing-masing kondisi, penelitian mengeksplorasi konsistensi dan validitas model pemuaian gas dalam kondisi nyata. Selain itu, penelitian ini mempertimbangkan batasan eksperimen seperti asumsi gas ideal dan kesalahan pengukuran, serta membahas potensi aplikasi hasil pada pembelajaran fisika.

Metode

Penelitian ini menggunakan desain eksperimen kuantitatif dengan pendekatan eksperimen langsung (*direct experiment*) untuk menguji pengaruh suhu terhadap perubahan volume udara dalam balon. Desain ini dipilih karena memungkinkan peneliti mengontrol variabel independen secara langsung dan mengamati respons variabel dependen secara terukur (Amelia, 2025). Variabel independen dalam penelitian ini adalah suhu air dengan tiga tingkat perlakuan, yaitu 30 °C, 45 °C, dan 60 °C. Variabel dependen adalah perubahan volume udara dalam balon yang direpresentasikan melalui pengukuran diameter balon setelah proses pemanasan.

Penelitian dilaksanakan menggunakan satu unit balon lateks berdiameter awal 20 cm, sebuah bejana air tahan panas, termometer, serta pemanas air. Perlakuan dilakukan dengan mencelupkan balon ke dalam air yang telah diatur suhunya sesuai variasi yang ditentukan. Untuk menjaga objektivitas dan reliabilitas data, setiap perlakuan suhu diulang sebanyak tiga kali. Seluruh pengukuran diameter dilakukan menggunakan pita ukur fleksibel untuk meminimalkan kesalahan pembacaan. Alat dan bahan yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Alat dan Bahan Eksperimen

Prosedur penelitian dimulai dengan mengukur diameter awal balon pada suhu ruang. Selanjutnya, air dipanaskan hingga mencapai suhu target pertama, yaitu 30 °C. Balon kemudian dicelupkan sepenuhnya dan dibiarkan selama dua menit agar suhu udara di dalam balon mencapai kesetimbangan termal. Setelah itu, diameter balon diukur dan dicatat. Langkah yang sama diulang pada suhu 45 °C dan 60 °C serta diulang tiga kali pada setiap kondisi untuk memperoleh data yang stabil dan dapat direplikasi.

Untuk memastikan validitas internal, penelitian menjaga konsistensi kondisi eksperimen seperti tekanan lingkungan, kedalaman pencelupan balon, dan durasi pemanasan. Selain itu, seluruh pengukuran

dilakukan oleh peneliti yang sama untuk mengurangi variasi antar-pengamat. Data hasil pengukuran kemudian dianalisis secara deskriptif untuk melihat pola perubahan volume serta membandingkan hasil antarvariabel suhu.

Desain penelitian ini memungkinkan pengujian langsung terhadap prinsip dasar Teori Kinetik Gas, yaitu hubungan antara peningkatan energi termal dan pemuaian udara dalam sistem tertutup. Melalui metode eksperimen terkontrol, penelitian ini berupaya menghasilkan data empiris yang reliabel dan dapat dijadikan dasar untuk analisis lebih lanjut mengenai perilaku gas terhadap perubahan suhu.

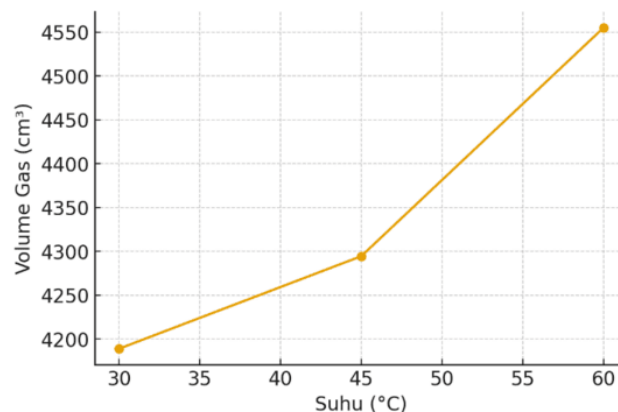
Hasil dan Pembahasan

Sebelum menampilkan hasil pada Tabel 1, penting untuk memberikan gambaran mengenai pengaturan eksperimen dan hasil yang diamati. Bagian ini menjelaskan tentang eksperimen yang dirancang untuk menguji bagaimana variasi suhu memengaruhi ekspansi udara dalam balon. Data yang disajikan pada Tabel 1 mencatatkan diameter balon pada tiga suhu air yang berbeda, yaitu 30°C, 45°C, dan 60°C. Setiap suhu diuji dalam tiga ulangan untuk memastikan keandalan dan konsistensi pengukuran. Hasil ulangan ini menunjukkan hubungan antara suhu dan perubahan volume gas di dalam balon, yang memberikan bukti empiris yang mendukung teori kinetik gas. Tabel berikut merangkum pengukuran yang tercatat selama eksperimen.

Tabel 1. Hasil Eksperimen Ekspansi Balon

Suhu	303 K	318 K	333 K
Percobaan 1	20.0 cm	20.1 cm	20.6 cm
Percobaan 2	20.0 cm	20.2 cm	20.5 cm
Percobaan 3	20.0 cm	20.2 cm	20.6 cm

Untuk memperjelas pola yang diperoleh dari Tabel 1, Gambar 1 ditampilkan untuk menggambarkan hubungan antara suhu dan volume gas dalam balon secara visual. Grafik ini menunjukkan perubahan diameter balon pada suhu 30°C, 45°C, dan 60°C, yang masing-masing diuji dalam tiga ulangan. Dengan melihat grafik ini, pembaca dapat lebih mudah memahami bagaimana peningkatan suhu memengaruhi ekspansi volume gas dalam balon. Pola yang terbentuk pada grafik ini juga mengkonfirmasi bahwa volume gas berbanding lurus dengan suhu, sesuai dengan prediksi hukum Charles.



Gambar 1. Grafik Hubungan Suhu Terhadap Volume Gas

Hasil eksperimen menunjukkan bahwa perubahan suhu memberikan pengaruh nyata terhadap diameter balon yang berisi gas. Diameter awal balon sebelum dipanaskan adalah 20 cm dan pada suhu 30°C, tiga kali pengulangan menghasilkan diameter akhir yang tetap sama, yaitu 20 cm. Kondisi ini menunjukkan bahwa pada suhu tersebut, energi termal yang diterima gas tidak cukup besar untuk menghasilkan perubahan volume yang dapat diamati. Ketika suhu dinaikkan menjadi 45°C, barulah terjadi perubahan kecil pada diameter balon menjadi 20,1 cm, 20,2 cm, dan 20,2 cm. Meskipun perubahan yang terjadi terlihat sangat kecil, hal ini menjadi indikasi bahwa molekul-molekul gas mulai memperoleh tambahan energi kinetik sehingga menumbuk dinding balon dengan frekuensi yang sedikit lebih tinggi. Ketika suhu dinaikkan lebih jauh menjadi 60°C, perubahan diameter menjadi jauh lebih jelas, yaitu 20,6

cm, 20,5 cm, dan 20,6 cm. Perubahan sebesar 0,5–0,6 cm dari ukuran awal menunjukkan bahwa energi yang terserap pada suhu tinggi cukup besar untuk menyebabkan ekspansi volume yang signifikan pada balon.

Jika diameter balon dikonversi ke volume menggunakan pendekatan bentuk bola, maka perubahan kecil pada diameter ternyata menghasilkan perubahan volume yang jauh lebih besar karena volume bola berbanding lurus dengan pangkat tiga dari jari-jari. Misalnya, balon dengan diameter awal 20 cm memiliki volume sekitar 4188 cm³, sedangkan pada diameter sekitar 20,2 cm volume meningkat menjadi sekitar 4319 cm³, dan pada diameter 20,6 cm volumenya mencapai kisaran 4571 cm³. Hal ini memperlihatkan bahwa kenaikan diameter hanya 0,5 cm mampu menghasilkan kenaikan volume ratusan cm³. Hubungan matematis inilah yang menjelaskan mengapa perubahan diameter terlihat kecil, tetapi secara fisik perubahan volume gas yang terjadi sebenarnya cukup besar.

Hasil tersebut konsisten dengan teori kinetik gas yang menjelaskan bahwa suhu menentukan energi kinetik rata-rata partikel gas. Ketika suhu meningkat, partikel-partikel gas bergerak lebih cepat dan menabrak dinding balon dengan gaya yang lebih besar serta frekuensi yang lebih tinggi. Teori kinetik gas menjelaskan bahwa suhu merupakan ukuran energi kinetik rata-rata partikel; semakin tinggi suhu, semakin besar energi kinetik partikel gas, dan semakin sering serta kuat tumbukan terhadap dinding wadah (Zhang & Li, 2017). Model mikroskopik ini menjadi landasan berbagai hukum gas, termasuk hukum Charles, yang menyatakan bahwa volume gas berbanding lurus dengan suhu absolut pada tekanan konstan (Clark & DeLeo, 2019). Hubungan ini sangat penting dalam memahami sifat termodinamika gas serta penggunaannya dalam teknologi modern.

Hal ini menyebabkan tekanan internal balon meningkat, sehingga balon mengembang sampai mencapai kondisi setimbang baru. Data eksperimen menunjukkan pola yang sejalan dengan karakteristik hukum Charles, yaitu volume gas berbanding lurus dengan suhu mutlaknya selama tekanan dibuat konstan. Jika dilihat dari suhu dalam satuan Kelvin (30°C = 303 K, 45°C = 318 K, dan 60°C = 333 K), peningkatan suhu berbanding lurus dengan peningkatan volume balon. Jika data tersebut diplot ke dalam grafik Volume terhadap Suhu, pola garis yang terbentuk akan cenderung linear, menandakan bahwa hubungan antara keduanya bersifat proporsional.

Hukum-hukum yang Mendasari Gas Ideal

Fenomena perubahan diameter balon pada variasi suhu dapat dianalisis lebih dalam dengan melibatkan tiga hukum dasar gas, yaitu hukum Boyle, hukum Charles, dan hukum Gay-Lussac. Ketiganya merupakan pondasi dari persamaan gas ideal dan sangat relevan untuk menjelaskan perilaku udara di dalam balon ketika menerima tambahan energi termal dari air panas. Dalam konteks eksperimen ini, kondisi yang dominan adalah perubahan suhu yang menyebabkan perubahan volume, sehingga hukum Charles menjadi hukum yang paling tepat untuk menggambarkan fenomenanya. Namun demikian, dua hukum lainnya tetap memberikan kerangka konseptual yang membantu memahami mengapa gas mengembang ketika dipanaskan dan bagaimana tekanan internal berperilaku selama proses berlangsung (Kua, 2023).

1. Hukum Charles

Hukum Charles menyatakan bahwa volume gas berbanding lurus dengan suhu mutlak ketika tekanan dijaga konstan, dirumuskan sebagai:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \quad \dots (1)$$

Saat balon dicelupkan ke dalam air bersuhu 30°C, 45°C, dan 60°C, tekanan udara luar dianggap relatif konstan sehingga ekspansi balon terutama dipengaruhi oleh kenaikan suhu internal. Jika suhu dinaikkan dari 303 K menjadi 318 K, lalu ke 333 K, maka volume gas seharusnya meningkat secara proporsional terhadap kenaikan suhu ini. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa diameter balon bertambah dari 20,0 cm menjadi 20,2 cm dan 20,6 cm, serta ketika dihitung dalam volume menghasilkan kenaikan dari 4188 cm³ menjadi sekitar 4319 cm³ dan 4571 cm³. Kenaikan suhu meningkatkan energi kinetik partikel gas, menyebabkan tumbukan lebih kuat terhadap dinding balon sehingga volume bertambah (Febrianti, 2024). Fenomena ini sejalan dengan hukum Charles, yang memprediksi hubungan linear antara volume dan suhu absolut. Pola ini sejalan dengan prediksi hukum Charles bahwa volume gas akan meningkat ketika suhu naik.

Perbedaan antar pengulangan mencerminkan variabilitas eksperimen nyata. Elastisitas balon sedikit berkurang ketika dipanaskan sehingga respons pemuatan tidak murni ideal (Yusal dkk., 2021).

Fluktuasi suhu air akibat pergerakan konvektif serta ketelitian pita ukur juga memengaruhi hasil. Namun demikian, arah perubahan tetap konsisten dan mencerminkan perilaku gas sesuai teori.

Penelitian terdahulu mendukung temuan ini. Studi Manurung et al. (2018) menunjukkan bahwa pemuaian gas menggunakan balon mengikuti pola linear terhadap kenaikan suhu. Prakoso dan Mutmainah (2021) juga menemukan bahwa meski terdapat deviasi kecil, tren suhu-volume tetap sesuai prediksi model ideal.

2. Hukum Gay-Lussac

Hukum Gay-Lussac yang merumuskan hubungan antara tekanan dan suhu juga berperan dalam eksperimen ini. Hukum tersebut dinyatakan sebagai berikut.

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \quad \dots (2)$$

Dalam eksperimen balon, volume tidak dijaga tetap karena balon dapat mengembang, tetapi gagasan dasar bahwa meningkatnya suhu meningkatkan energi kinetik partikel gas tetap relevan. Ketika suhu bertambah, tekanan internal gas akan cenderung naik. Agar tekanan kembali setimbang dengan tekanan luar, balon mengembang sehingga volume meningkat. Dengan kata lain, ekspansi balon adalah respon alami untuk menyeimbangkan kenaikan tekanan akibat bertambahnya energi kinetik molekul gas sebagaimana dijelaskan oleh hukum Gay-Lussac (Fitriana, 2021).

3. Hukum Boyle

Hukum Boyle atau hubungan tekanan dan volume, yang dituliskan sebagai berikut.

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 \quad \dots (3)$$

Ketika suhu dijaga konstan, tidak berperan secara langsung karena eksperimen justru mengubah suhu. Namun, hukum ini tetap menjelaskan mengapa balon akan mengembang ketika tekanan internal meningkat. Jika suhu naik dan tekanan meningkat, balon merespons dengan menambah volume sehingga tekanan kembali turun. Dengan demikian, hukum Boyle membantu memberikan gambaran bagaimana volume menyesuaikan diri demi menjaga tekanan internal tetap mendekati tekanan luar.

Jika dibandingkan dengan hasil eksperimen, ketiga hukum tersebut menunjukkan konsistensi yang kuat. Hukum Charles merupakan hukum yang paling cocok menggambarkan data eksperimen karena hubungan antara suhu dan volume sesuai dengan grafik hasil pengukuran. Pada suhu 30°C, volume tidak berubah signifikan karena energi termal belum cukup besar untuk mengatasi elastisitas balon. Pada 45°C dan 60°C, peningkatan diameter yang terukur menunjukkan ekspansi volume yang sesuai dengan prediksi teoritis. Hukum Gay-Lussac menjelaskan mekanisme peningkatan tekanan internal akibat kenaikan suhu, sementara hukum Boyle menggambarkan bagaimana ekspansi volume menurunkan kembali tekanan agar sistem mencapai keadaan setimbang. Dari perspektif teori kinetik gas, ketiga hukum ini menegaskan bahwa energi kinetik molekul meningkat seiring naiknya suhu, menyebabkan tumbukan partikel terhadap dinding balon semakin kuat dan menghasilkan pemuaian yang terukur pada eksperimen.

Variasi kecil pada hasil pengukuran antar pengulangan dapat disebabkan oleh beberapa faktor, seperti perubahan elastisitas balon ketika dipanaskan, fluktuasi suhu air yang belum sepenuhnya stabil, serta faktor *human error* dalam pembacaan diameter. Balon yang dipanaskan berulang kali dapat mengalami perubahan sifat elastis, sehingga kemampuannya menahan ekspansi sedikit berubah pada setiap percobaan. Selain itu, suhu air yang tidak merata akibat gerakan konveksi dapat membuat panas terserap secara berbeda oleh balon. Kesalahan kecil dalam menentukan diameter juga mungkin terjadi karena pengukuran manual sangat rentan terhadap kesalahan sudut pandang dan tingkat ketelitian pengamat. Meski demikian, variasi tersebut tidak mengubah pola umum hasil bahwa suhu yang lebih tinggi selalu menghasilkan diameter dan volume gas yang lebih besar.

Secara keseluruhan, eksperimen ini memperlihatkan bahwa perubahan suhu memiliki pengaruh langsung terhadap volume gas, sebagaimana dijelaskan oleh teori kinetik dan hukum Charles. Meningkatnya diameter balon seiring naiknya suhu menjadi bukti nyata bahwa energi kinetik molekul gas memang meningkat ketika gas dipanaskan. Meskipun alat yang digunakan sederhana, seperti balon dan wadah air, hasil yang diperoleh sangat membantu dalam memvisualisasikan konsep abstrak mengenai gerak molekul gas dalam teori kinetik. Dengan demikian, eksperimen ini tidak hanya berhasil

menunjukkan hubungan antara suhu dan volume gas, tetapi juga memberikan gambaran bagaimana konsep mikroskopik dalam fisika dapat diamati melalui fenomena makroskopik yang sederhana dan mudah dipahami.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil eksperimen yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa perubahan suhu memberikan pengaruh nyata terhadap volume gas yang terperangkap di dalam balon. Pada suhu rendah, yaitu 30°C, diameter balon tidak menunjukkan perubahan, menandakan bahwa energi kinetik molekul gas masih berada pada kondisi yang relatif stabil. Namun, ketika suhu dinaikkan menjadi 45°C dan 60°C, diameter balon mengalami peningkatan bertahap, yang menunjukkan bahwa molekul gas mulai memperoleh energi kinetik tambahan sehingga menyebabkan balon mengembang. Kenaikan diameter yang awalnya terlihat kecil ternyata menghasilkan kenaikan volume yang cukup besar ketika dihitung menggunakan model volume bola, karena volume bergantung pada pangkat tiga dari jari-jari. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun perubahan diameter tidak terlalu signifikan, perubahan volume sebenarnya sangat terasa secara matematis.

Secara teoretis, hasil eksperimen ini mendukung hukum Charles yang menyatakan bahwa volume gas berbanding lurus dengan suhu mutlak jika tekanan dijaga konstan. Ketika suhu dinaikkan, energi kinetik molekul meningkat sehingga frekuensi tumbukan molekul terhadap dinding balon bertambah, mengakibatkan balon mengembang hingga mencapai keadaan setimbang. Dengan demikian, penelitian ini berhasil memperlihatkan hubungan langsung antara suhu dan volume gas melalui eksperimen sederhana yang mudah diamati, sekaligus memberikan bukti empiris bagi konsep-konsep dasar teori kinetik gas.

Daftar Pustaka

- Clark, J., & Deleo, M. (2019). *A Modern Approach To Kinetic Gas Theory For Undergraduate Laboratories. Physics Review Education*, 12(2), 45–56.
- Amelia, M. (2025). Experimental Analysis Of The Principle Of Equilibrium Of Rigid Objects Using The Beam-Pivot System As A Physics Learning Medium. *Jurnal Pendidikan Dan Ilmu Fisika*, 5(2), 320–331.
- Febrianti, W. (2024). *Islamic Journal Of Integrated Science Education (Ijise)*. 3(3), 147–157.
- Fenny, M. R. (2018). *Optimasi Alat Praktikum Termodinamika Hukum Charles Gay-Lussac Untuk Mahasiswa Rekayasa Politeknik Negeri Bandung*. 237–245.
- Fitriana, D. (2021). *Hasil Belajar Keterampilan Proses Sains Siswa Berbasis*. 10(1), 1–12. <https://doi.org/10.20961/Inkuiri.V10i1.25238>
- Kua, M. Y. (2023). Tabung Suintik Untuk Hukum Boyle, Simulasi Pengukuran Udara Dengan Real World Problem Sebagai Alternatif Pemecahan Masalah. *Ejurnal Imedtech*, 4(2), 43–53.
- Liu, X., Yu, Y., Hou, C., & Ding, J. (2024). Effects Of The Wall Temperature On The Boiling Process And The Molecular Dynamics Behavior Of The Liquid Hydrogen On A Flat Aluminum Wall. *International Journal Of Hydrogen Energy*, 51, 1130–1141.
- Nasution, A. O., Batubara, S. B., Darkia, W., Balqis, S. T., Aprillia, J., & Adristi, T. S. (2025). *Kajian Teoritis Termodinamika Pada Proses Ekspansi Gas Ideal Theoretical Study Of Thermodynamics On Ideal Gas Expansion Process Artikel Penelitian Article History*: 8(2), 1189–1194. <https://doi.org/10.56338/jks.V8i2.6838>
- Oss, S. (2025). Visualizing Thermal Equilibrium Through A Simple Kinetic Simulation. *Physics Education*, 61(1), 15022.
- Ratu Fenny Muldiani, D. P. (2023). *Analisis Model Persamaan Gas Nyata Pada Eksperimen Hukum Gay-Lussac Dan Boyle*. 7, 1–7.
- Runstedtler, A., & Duchesne, M. A. (2022). A Method To Predict Particle Collision Speeds In Fluidized Beds. *Chemical Engineering Science*, 264, 118157.
- Sprittles, J. E. (2024). Gas Microfilms In Droplet Dynamics: When Do Drops Bounce? *Annual Review Of Fluid Mechanics*, 56(1), 91–118.
- Yaumi, M. R., & Zulaikah, S. (2021). *Analisis Penguasaan Konsep Dan Kesulitan Siswa Pada Materi Teori Kinetik Gas*. 1333–1340.
- Yu, X., Dong, H., Li, Y., Liu, C., Zhang, L., & Chen, Z. (2025). Microscopic Insights Into Co₂-Shale Oil Miscibility Via Interaction Energy Coupled With Pore Confinement: Implications For Co₂-Enhanced Oil Recovery. *Advances In Geo-Energy Research*, 17(2), 107–120.
- Yusal, Y., Suhandi, A., Setiawan, W., & Kaniawati, I. (2021). *Peningkatan Level Pemahaman Konsep Teori Kinetik Gas Mahasiswa Calon Guru Fisika Melalui Metode Demonstrasi Interaktif Dengan Bantuan*

Ragam Media Visual. 5(1), 27–32.

Zhang, Y., & Hess, H. (2021). Chemically-Powered Swimming And Diffusion In The Microscopic World. *Nature Reviews Chemistry*, 5(7), 500–510.