



Desain Eksperimen Karakterisasi Perilaku Udara Sekitar dalam Tinjauan Sebagai Gas Ideal atau Gas Nyata

Nur Aji Wibowo^{a*}, Wachid Susilo^{ab}, Albertus Sigit Pradipta^b, Anisa Setiyani^b, Elfira Josmin Fillinditty^b

a Program Studi Fisika, Universitas Kristen Satya Wacana, Salatiga, 50711, Indonesia

b Program Studi Pendidikan Fisika, Universitas Kristen Satya Wacana, Salatiga, 50711, Indonesia

*Corresponding author: Jalan Diponegoro No.52-60, Salatiga, 50711, Indonesia. E-mail addresses: nurajiwibowo@gmail.com

article info

Article history:

Received: 14 August 2017

Received in revised form: 15 September 2017

Accepted: 14 December 2017

Available online: December 2017

Keywords:

Instructional Media

Environmental Air

Van der Waals

Temperature

Pressure

Kata Kunci:

Media Pembelajaran

Udara lingkungan

Van der Waals

Suhu

Tekanan

abstract

EXPERIMENTAL DESIGN OF CHARACTERIZATION OF ENVIRONMENTAL AIR BEHAVIOR IN REVIEW AS AN IDEAL OR REAL GAS. The aim of this study is to characterize the behavior of the environmental air using a simple method which can be implemented as a learning media in senior high school or undergraduate students. The method used is experimental which combined with curve fitting. From the curve fitting step, the behavior of the air can be explained. Otherwise, the quantitative data such as Van der Waals constants can also be obtained. From this study obtained that the Van der Waals constants, a and b, of the chosen air samples as large as $(11.23 \pm 0.84) \text{ J.m}^3/\text{mol}^2$ and $(2.04 \pm 0.15) \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{mol}$ respectively. These results can be used to predict that the chosen air samples will act as an ideal gas at 636.5 K and 105 Pa in temperature and pressure respectively.

Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui perilaku udara sekitar dalam tinjauan sebagai gas ideal atau gas nyata dengan metode sederhana yang dapat diterapkan sebagai media pembelajaran baik di tingkat perguruan tinggi maupun sekolah menengah atas. Metode yang digunakan adalah eksperimen yang dipadukan dengan pencocokan kurva. Informasi terkait kecenderungan perilaku udara sekitar diperoleh dari tahapan pencocokan kurva. Nilai kuantitatif yang berupa konstanta Van der Waals dari sampel udara sekitar juga dapat diperoleh dari persamaan hasil pencocokan kurva yaitu a dan b secara berturut-turut sebesar $(11.23 \pm 0.84) \text{ J.m}^3/\text{mol}^2$ dan $(2.04 \pm 0.15) \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{mol}$. Nilai konstanta yang diperoleh dapat digunakan untuk memprediksi bahwa sampel udara yang diamati akan berperilaku sebagai gas ideal ketika bersuhu 636.5 K dengan tekanan 105 Pa.

2017 Scientiae Educatia: Jurnal Pendidikan Sains

1. Pendahuluan

Sejak satu dekade terakhir, pembelajaran sains melalui aktivitas laboratorium menjadi fokus dari berbagai pemangku kepentingan pendidikan (Greene and Wilson, 2011; Koponen and Mäntylä, 2006; Krišťák et al., 2013). Integrasi antara pemahaman teori dengan aktivitas laboratorium diyakini mampu menumbuhkan pola berpikir ilmiah di kalangan pelajar. Proses untuk memperoleh dan mengintegrasikan fakta-fakta ilmiah hingga membangun sebuah pengetahuan akan suatu fenomena alam dapat secara langsung dialami oleh pelajar selama

melakukan kerja laboratorium (Stern et al., 2017). Alasan inilah yang mendorong para tenaga pengajar untuk mengintegrasikan pembelajaran sains berbasis eksperimen.

Namun demikian, tidak banyak modul-modul eksperimen yang tersedia untuk memenuhi kebutuhan pembelajaran di setiap topik bahasan dari berbagai level pendidikan. Bahkan, untuk tingkat perguruan tinggi, ketersediaan akan modul-modul eksperimen juga terbatas (Ross et al., 2005). Padahal, pada aras tersebut, eksperimen merupakan metode yang harus dilakukan dalam proses pembelajaran untuk menghasilkan lulusan sarjana yang memiliki pola pikir ilmiah.

Salah satu bahasan di dalam sains yang memerlukan perhatian lebih adalah perilaku gas, baik gas ideal maupun gas nyata. Bahasan ini seringkali menjadi hal yang abstrak di kalangan pelajar (Kibar et al., 2013). Topik ini menjadi sulit dipahami (Kautz et al., 2005) dan hanya menjadi sebuah kelas teori karena objek tidak bisa teramati secara langsung. Penelitian terkait metode pembelajaran dengan topik perilaku gas terus-menerus dilakukan untuk memperoleh hasil pembelajaran yang optimal (Aydeniz et al., 2012; Ayyıldız and Tarhan, 2013; Roehrig and Garrow, 2007; Schuttlefield et al., 2012).

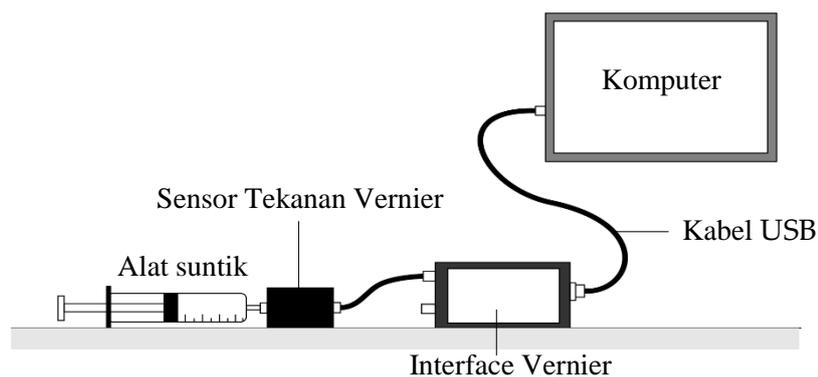
Untuk mempelajari perilaku gas, terdapat tiga tahapan pemahaman yang harus dilalui, yaitu makroskopis, mikroskopis, dan simbolisasi (Hammar, 2013). Pada level terakhir yang disebutkan, perilaku gas akan dinyatakan dalam bentuk persamaan matematis. Sebagai pengajar, level ini sangat penting untuk menjadi perhatian karena seringkali pelajar hanya menghafalkan persamaan-persamaan matematis yang ada tanpa mengetahui dari mana asal-usulnya. Oleh karena itu, di dalam makalah ini, pembahasan akan difokuskan pada metode pembelajaran di level simbolisasi melalui eksperimen dengan topik perilaku gas ideal dan gas nyata.

Makalah ini akan menyajikan desain eksperimen untuk mengetahui perilaku udara sekitar dalam tinjauan sebagai gas ideal atau gas nyata. Metode eksperimen yang dipergunakan cukup sederhana dan mudah diterapkan baik di aras perguruan tinggi maupun sekolah menengah atas.

2. Metode Penelitian

Pengumpulan data dilakukan dengan cara observasi langsung melalui dua tahap penelitian. Pada tahap pertama, tekanan dan volume dari sampel udara lingkungan diukur pada keadaan isothermal. Skema eksperimen tahap pertama ditunjukkan oleh Gambar 1. Pada tahap ini,

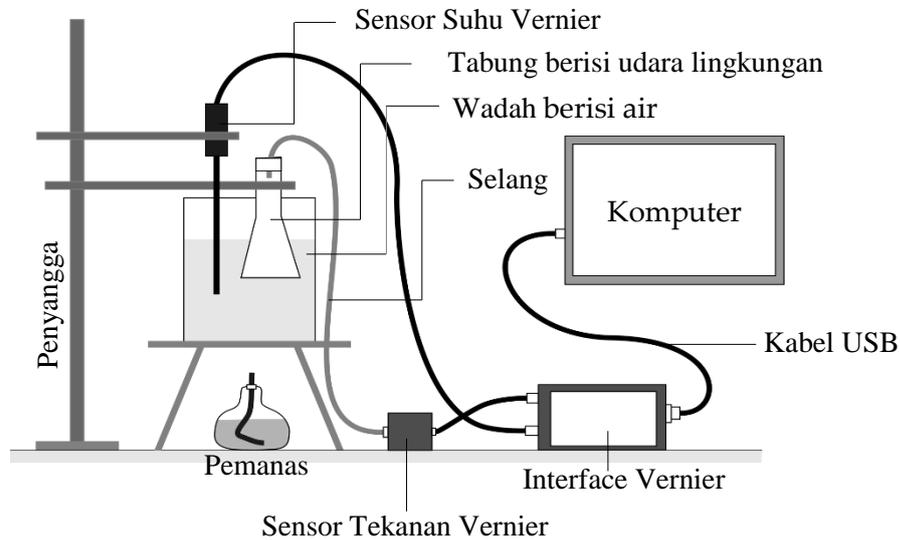
antara sistem (udara di dalam alat suntik) dan lingkungan (ruangan) tidak dibatasi oleh isolator panas sehingga dimungkinkan untuk terjadi pertukaran panas yang mengakibatkan sistem dan lingkungan mengalami kesetimbangan termal. Karena ukuran sistem jauh lebih kecil dibanding lingkungan, maka perubahan kecil suhu pada sistem tidak berdampak secara signifikan terhadap suhu kesetimbangan sistem-lingkungan, sehingga dapat dianggap bahwa suhu sistem selalu tetap. Peralatan yang dipergunakan diantaranya adalah komputer yang sudah terinstal dengan perangkat lunak Logger Lite, antar-muka Vernier dengan kemampuan pembacaan 12.000 sampel per detik, sensor tekanan Vernier dengan ketelitian ± 4 kPa, dan Kit Eksperimen Panas dan Kalor yang diproduksi oleh Pudah Scientific. Mula-mula, klep alat suntik diatur pada angka 10 mL. Selanjutnya tuas alat suntik ditarik atau ditekan sehingga klep tersebut menunjukkan angka 4 mL, 5 mL, 6 mL, dan seterusnya hingga angka 20 mL. Nilai tekanan yang dihasilkan dari setiap volume tersebut dicatat.



Gambar 1. Skema Eksperimen Tahap Pertama

Pada tahap kedua, tekanan dan suhu dari sampel udara lingkungan diukur pada keadaan isokhorik. Skema eksperimen tahap kedua ditunjukkan oleh Gambar 2. Wadah yang digunakan sebagai pembatas antara sistem dan lingkungan merupakan benda kaku (terbuat dari kaca) yang mana bila dikenai tekanan tidak mengalami perubahan volume secara signifikan, sehingga dapat dianggap bahwa volume sistem selalu tetap. Pada tahap ini, media air digunakan sebagai lingkungan untuk memanaskan udara di dalam gelas erlenmeyer. Hal ini bertujuan untuk meminimalkan kontak antara sistem dan udara luar, sehingga didapatkan pengukuran suhu yang lebih akurat. Selain apa yang sudah dipergunakan pada tahapan sebelumnya, peralatan yang dipergunakan dalam tahapan ini adalah sensor suhu Vernier dengan ketelitian $\pm 0,5$ °C. Pada tahapan ini, air di dalam gelas ukur dipanaskan hingga

mencapai suhu 60 °C. Selama proses pemanasan, tekanan dan suhu gas di dalam erlenmayer akan terekam secara *real-time* di komputer.

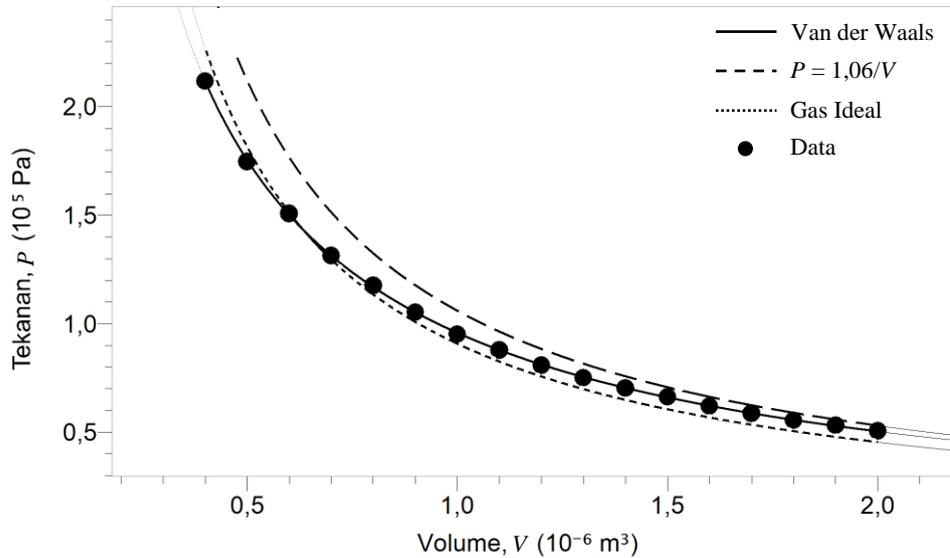


Gambar 2. Skema Eksperimen Tahap Kedua

Serangkaian data yang sudah diperoleh dianalisis dengan cara pencocokan kurva (*curve fitting*). Dengan pencocokan kurva, informasi yang hilang sebagai akibat dari keterbatasan data eksperimen dapat diatasi (Noor et al., 2015). Metode pencocokan kurva banyak dipergunakan untuk memodelkan perilaku dari serangkaian data guna memperoleh informasi yang lebih mendalam dari suatu hasil eksperimen yang terbatas (Lukšič et al., 2014; Metsämäki et al., 2002; Saaban et al., 2015; Said and Al-ameeri, 1987; Shao et al., 2014). Untuk pencocokan dengan perilaku gas ideal, maka digunakan persamaan kurva $P = AV^{-1}$ dengan P adalah tekanan, V adalah volume, dan A adalah konstanta. Sedangkan untuk pencocokan dengan perilaku gas nyata, digunakan persamaan gas $P + AV^{-2} = B(V - C)$ dan A , B , dan C merupakan konstanta hasil dari pencocokan kurva. Persamaan yang terakhir disebut merupakan bentuk dasar dari persamaan gas nyata Van der Waals dengan A , B , dan C secara berturut-turut mewakili n^2a , nRT , dan nb . Persamaan gas Van der Waals dipilih karena cukup representative untuk digunakan sebagai acuan perilaku dari gas nyata (Berberan-Santos et al., 2008; de Visser, 2011). Perilaku gas diperoleh dengan mengamati simpangan antara distribusi data dengan kurva-kurva dari persamaan gas yang dijadikan model.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Keterkaitan Tekanan Udara Lingkungan Terhadap Volume



Gambar 3. Perubahan Tekanan Terhadap Volume dari Sampel Udara Lingkungan

Dari eksperimen yang dilakukan diperoleh data keterkaitan antara tekanan dan volume sampel udara lingkungan yang ditunjukkan oleh Gambar 3. Dapat dilihat bahwa seiring dengan kenaikan volume, tekanan udara lingkungan cenderung semakin kecil. Berdasarkan hasil pencocokan kurva, dapat dilihat bahwa data yang diperoleh lebih cocok didekati dengan menggunakan persamaan Van der Waals dibanding persamaan gas ideal. Hal ini ditunjukkan oleh nilai *Root Mean Square Error* (RMSE) dari persamaan Van der Waals yang lebih kecil yaitu hanya sebesar 399.3 dibandingkan dengan nilai RMSE dari persamaan gas ideal yang mencapai 6216. Hasil ini mengindikasikan bahwa udara lingkungan pada suhu ruangan (terukur 300 K) cenderung berperilaku sebagai gas nyata dibanding sebagai gas ideal. Persamaan 1 merupakan persamaan hasil pencocokan kurva dengan menggunakan pendekatan persamaan Van der Waals dengan P adalah tekanan (Pa) dan V adalah volume (m^3). Melalui perbandingan dengan persamaan Van der Waals, diperoleh informasi bahwa nilai 1.06, 8.68×10^{-7} , dan 2.03×10^{-6} menunjukkan nilai dari nRT , nb , dan n^2a . Dari konstanta-konstanta tersebut diperoleh nilai konstanta Van der Waals dari sampel udara sekitar adalah a sebesar $(11.23 \pm 0.84) \text{ J} \cdot \text{m}^3/\text{mol}^2$ dan b sebesar $(2.04 \pm 0.15) \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{mol}$. Nilai a merupakan faktor koreksi penurunan tekanan akibat adanya gaya antar molekul udara lingkungan, sedangkan nilai b menunjukkan faktor koreksi volume udara lingkungan.

$$P = \left(\frac{1.06}{V - 8.68 \times 10^{-7}} \right) - \left(\frac{2.03 \times 10^{-6}}{V^2} \right) \quad (1)$$

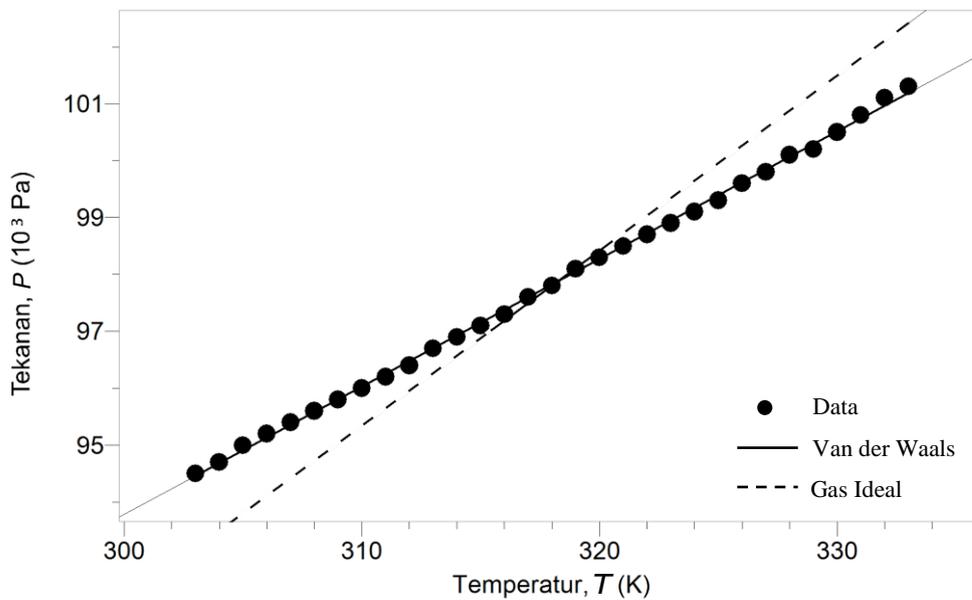
$$P = \frac{1.06}{V} \quad (2)$$

Untuk mengidentifikasi jenis interaksi antar partikel yang terjadi di dalam sampel udara, maka diperlukan persamaan gas ideal dari sampel tersebut pada keadaan yang sama sebagai pembanding. Persamaan gas ideal dari sampel udara yang diteliti diberikan oleh Persamaan 2. Terlihat dari Gambar 3 bahwa besarnya tekanan udara lingkungan cenderung berada di bawah tekanan sampel udara ketika berperilaku sebagai gas ideal. Hal ini menunjukkan bahwa pada suhu 300 K, terjadi interaksi tarik-menarik antar partikel dari sampel udara yang diteliti sehingga mengurangi tekanan total yang diberikan oleh udara tersebut.

3.2 Keterkaitan Tekanan Udara Lingkungan Terhadap Suhu

Dari eksperimen tahap kedua diperoleh data keterkaitan antara tekanan dan suhu udara lingkungan yang ditunjukkan oleh Gambar 4. Dari Gambar 4 terlihat bahwa seiring dengan kenaikan suhu, tekanan udara lingkungan juga cenderung semakin besar. Secara lebih khusus teramati pula bahwa kenaikan tekanan ini cenderung bersifat linear terhadap peningkatan suhu. Berdasarkan hasil pencocokan kurva, distribusi data yang diperoleh pada tahap ini juga lebih cocok didekati dengan menggunakan persamaan Van der Waals dibanding persamaan gas ideal. Hasil pencocokan kurva dengan menggunakan persamaan Van der Waals ditunjukkan oleh Persamaan 3 dengan P adalah tekanan (Pa) dan T adalah suhu (K). Persamaan ini menunjukkan adanya linearitas perubahan tekanan terhadap suhu. Selain itu, dapat diprediksi pula bahwa tekanan udara lingkungan akan bernilai sebesar (26.530 ± 380) Pa pada suhu 0 K.

$$P = (224.2T + 26.530) \quad (3)$$



Gambar 4. Perubahan Tekanan Udara Terhadap Suhu dari Sampel Udara Lingkungan

Manfaat lebih jauh dari hasil eksperimen ini adalah dimungkinkannya prediksi terhadap perilaku udara sekitar pada keadaan yang lain dengan memanfaatkan nilai konstanta Van der Waals yang diperoleh. Sebagai contoh, dari nilai a dan b yang diperoleh pada proses pencocokan kurva, sampel udara yang diteliti ini diprediksi akan berperilaku sebagai gas ideal ketika berada pada keadaan dengan tekanan dan suhu secara berturut-turut sebesar 10^5 Pa dan 636.5 K.

4. Simpulan

Telah dilakukan eksperimen sederhana untuk karakterisasi perilaku udara lingkungan dengan menganalisa kurva hasil pengukuran antara tekanan-volume dan tekanan-suhu. Melalui metode pencocokan kurva diperoleh bahwa tekanan dari sampel udara lingkungan, selain dipengaruhi oleh volume, juga meningkat secara linear terhadap suhu. Pada suhu ruangan (terukur 300 K), udara lingkungan cenderung berperilaku sebagai gas nyata dan memenuhi persamaan Van der Waals dengan nilai konstanta, $a = (11.23 \pm 0.84) \text{ J} \cdot \text{m}^3/\text{mol}^2$ dan $b = (2.04 \pm 0.15) \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{mol}$. Dapat diprediksi pula bahwa pada tekanan 10^5 Pa dan suhu 636.5 K, sampel udara berperilaku sebagai gas ideal.

Daftar Pustaka

- Aydeniz, M., Pabuccu, A., Cetin, P.S., & Kaya, E. (2012). Argumentation and students' conceptual understanding of properties and behaviors of gases. *International Journal of Science and Mathematical Education*. 10, 1303–1324. DOI: 10.1007/s10763-012-9336-1
- Ayyıldız, Y., & Tarhan, L. (2013). Case study applications in chemistry lesson: gases, liquids, and solids. *Chem. Educ. Res. Pract.* 14, 408–420. DOI: 10.1039/C3RP20152J
- Berberan-Santos, M.N., Bodunov, E.N., & Pogliani, L.(2008). The van der Waals equation: analytical and approximate solutions. *Journal of Mathematical Chemistry*. 43, 1437–1457. DOI: 10.1007/s10910-007-9272-4
- De Visser, S.P. (2011). Van der Waals equation of state revisited: importance of the dispersion correction. *J. Phys. Chem. B* 115, 4709–4717. DOI: 10.1021/jp200344e
- Greene, C.A., Wilson, P.S. (2011). Laboratory investigation of a passive acoustic method for measurement of underwater gas seep ebullition. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 131, EL61–EL66. DOI: 10.1121/1.3670590
- Hammar, M. (2013). Teaching the gas properties and gas laws: an inquiry unit with alternative assessment. Diss. Masters Theses Masters Rep. - Open. Available online: <http://digitalcommons.mtu.edu/etds/698/>
- Kautz, C.H., Heron, P.R.L., Loverude, M.E., & McDermott, L.C. (2005). Student understanding of the ideal gas law, part I: a macroscopic perspective. *Am. J. Phys.* 73, 1055–1063. DOI: 10.1119/1.2049286
- Kibar, Z.B., Yaman, F., & Ayas, A. (2013). Assessing prospective chemistry teachers' understanding of gases through qualitative and quantitative analyses of their concept maps. *Chem. Educ. Res. Pract.* 14, 542–554. DOI: 10.1039/C3RP00052D
- Koponen, I.T., & Mäntylä, T. (2006). Generative role of experiments in physics and in teaching physics: a suggestion for epistemological reconstruction. *Sci. Educ.* 15, 31–54. DOI: 10.1007/s11191-005-3199-6
- Křišťák, L., Němec, M., Ján, S., & Zuzana, D. (2013). Interactive P&E method in teaching physics at secondary schools. *Journal of Technology and Information Education* 5, 42–50. DOI: 10.5507/jtie.2013.006
- Lukšič, M., Fennell, C.J., & Dill, K.A. (2014). Using interpolation for fast and accurate calculation of ion–ion interactions. *J. Phys. Chem. B* 118, 8017–8025. DOI: 10.1021/jp501141j
- Metsämäki, S., Vepsäläinen, J., Pulliainen, J., & Sucksdorff, Y. (2002). Improved linear interpolation method for the estimation of snow-covered area from optical data. *Remote Sens. Environ.* 82, 64–78. DOI: 10.1016/S0034-4257(02)00025-1
- Noor, N.M., Abdullah, A.B., Mustafa, M., Yahaya, A.S., & Ramli, N.A. (2015). Comparison of linear interpolation method and mean method to replace the missing values in environmental data set. *Mater. Sci. Forum* 803, 278–281. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.803.278
- Roehrig, G., & Garrow, S. (2007). The impact of teacher classroom practices on student achievement during the implementation of a reform-based chemistry curriculum. *Int. J. Sci. Educ.* 29, 1789–1811. DOI: 10.1080/09500690601091865
- Ross, S.M., Morrison, G.R., & Lowther, D.L., (2005). Using experimental methods in higher education research. *J. Comput. High. Educ.* 16, 39–64. DOI: 10.1007/BF02961474

- Saaban, A., Zainudin, L., & Bakar, M.N.A. (2015). Evaluation of linear interpolation method for missing value on solar radiation dataset in Perlis. *AIP Conf. Proc.* 1660, 050024. DOI: 10.1063/1.4915657
- Said, A.S., & Al-ameeri R. S. (1987). Curve fitting in science and technology. *Sep. Sci. Technol.* 22, 65–84. DOI: 10.1080/01496398708056158
- Schuttlefield, J.D., Kirk, J., Pienta, N.J., & Tang, H. (2012). Investigating the effect of complexity factors in gas law problems. *J. Chem. Educ.* 89, 586–591. DOI: 10.1021/ed100865y
- Shao, C., Fang, F., Bai, F., & Wang, B. (2014). An interpolation method combining snurbs with window interpolation adjustment. *IEEE*, pp. 176–179. DOI: 10.1109/ICIST.2014.6920359
- Stern, C., Echeverría, C., & Porta, D. (2017). Teaching Physics through Experimental Projects. *Procedia IUTAM, 24th International Congress of Theoretical and Applied Mechanics* 20, 189–194. DOI: 10.1016/j.piutam.2017.03.026