

# Deskripsi Pemahaman Konsep Mahasiswa dalam Menganalisis Usaha, Kalor, dan Energi Internal pada Proses Termodinamika

Agista Sintia Dewi Adila<sup>1</sup>, Sutopo<sup>1</sup>, Wartono<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Pendidikan Fisika-Pascasarjana Universitas Negeri Malang

## INFO ARTIKEL

### Riwayat Artikel:

Diterima: 29-06-2018

Disetujui: 10-10-2018

### Kata kunci:

*understanding of concepts;*  
*business;*  
*heat;*  
*internal energy;*  
*pemahaman konsep;*  
*usaha;*  
*kalor;*  
*energi internal*

### Alamat Korespondensi:

Agista Sintia Dewi Adila  
Pendidikan Fisika  
Pascasarjana Universitas Negeri Malang  
Jalan Semarang 5 Malang  
E-mail: agistasintia24@gmail.com

## ABSTRAK

**Abstract:** The purpose of this study is to describe students understanding related to work, heat and internal energy that is represented in  $P$ - $V$  diagrams. Subjects consisted of 103 students who are undergraduate physics education, undergraduate physics and graduate physics education students at State University of Malang. The results show that students tend to interpret work as the state quantities and interpret internal energy and heat as process quantities.

**Abstrak:** Tujuan penelitian ini adalah untuk mendeskripsikan pemahaman mahasiswa yang telah mengerjakan soal berkaitan dengan usaha, kalor, dan energi internal yang direpresentasikan dalam bentuk diagram  $P$ - $V$ . Subjek penelitian terdiri dari 103 mahasiswa yang sedang menempuh pendidikan S1 Pendidikan Fisika, S1 Fisika, dan S2 Pendidikan Fisika di Universitas Negeri Malang. Hasil yang didapat menunjukkan mahasiswa cenderung memaknai usaha sebagai besaran keadaan serta energi internal dan kalor sebagai besaran proses.

Termodinamika memiliki peran yang besar terhadap berbagai bidang keilmuan. Oleh karena itu, pemahaman konsep dasar termodinamika harus baik. Konsep-konsep dasar termodinamika yang perlu dipahami mahasiswa adalah energi internal, usaha dan kalor. Selain itu, mahasiswa juga harus bisa mengidentifikasi usaha dan kalor pada diagram  $P$ - $V$  karena proses termodinamika sering direpresentasikan menggunakan diagram  $P$ - $V$ . Penelitian sebelumnya menemukan bahwa mahasiswa masih kesulitan untuk memahami energi internal, usaha, dan kalor dengan benar (Loverude, Kautz and Heron, 2002; Meltzer, 2004; Meltzer, 2007; Wattanakasiwich *et al.*, 2013; Clark, Thompson and Mountcastle, 2014; Triwiyono and Lumbu, 2015). Kesulitan yang sering muncul adalah memahami bahwa usaha dan kalor bergantung pada keadaan awal dan akhir. Misalnya, usaha total pada proses siklik adalah nol karena proses kembali ke keadaan semula.

Soal yang digunakan para peneliti untuk mengukur pemahaman mahasiswa terkait konsep dasar cenderung sama. Salah satunya adalah soal tentang dua proses yang berbeda, namun keadaan awal dan akhirnya (Meltzer, 2004; Meltzer, 2007; Pollock, Thompson and Mountcastle, 2007; Wattanakasiwich *et al.*, 2013; Clark, Thompson and Mountcastle, 2014, 2013; Triwiyono and Lumbu, 2015). Keunggulan soal tersebut adalah tidak menjelaskan proses yang terjadi pada diagram  $P$ - $V$ . Mahasiswa secara mandiri diminta untuk mengidentifikasi proses yang terjadi. Selain itu, soal yang kerap digunakan oleh penelitian sebelumnya adalah mencari usaha total pada proses siklik (Loverude, Kautz and Heron, 2002; Wattanakasiwich *et al.*, 2013). Berbeda dengan soal sebelumnya yang tidak menjelaskan proses yang terjadi, soal ini menjelaskan secara runtut proses apa yang terjadi. Mahasiswa juga diminta untuk menentukan nilai usaha yang dilakukan oleh sistem.

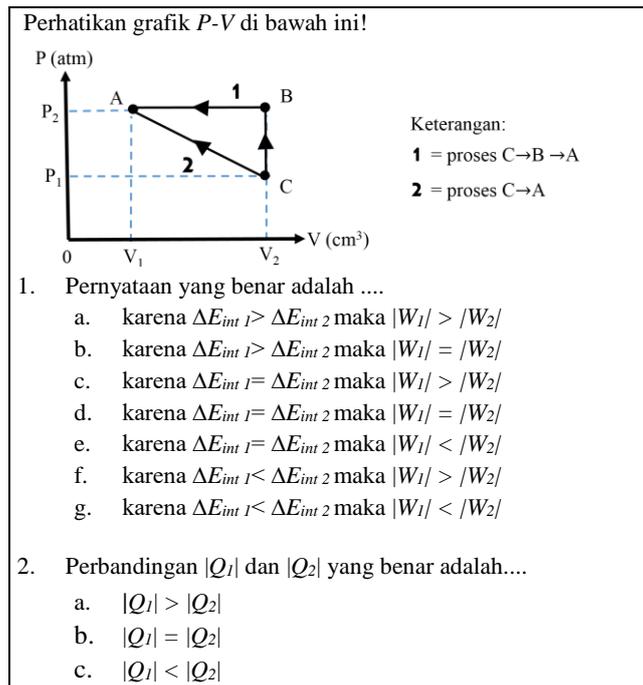
Soal yang digunakan pada penelitian ini berbeda dengan penelitian sebelumnya. Namun, esensi soal yang digunakan tidak berubah yaitu mencari usaha, kalor, dan energi internal pada dua proses yang berbeda dan proses siklik. Proses yang terjadi juga dibuat lebih mudah dengan harapan mahasiswa lebih mudah memahami soal yang diberikan. Tujuan artikel ini adalah mendeskripsikan pemahaman mahasiswa terkait energi internal, usaha, dan kalor pada dua proses yang berbeda serta proses siklik.

## METODE

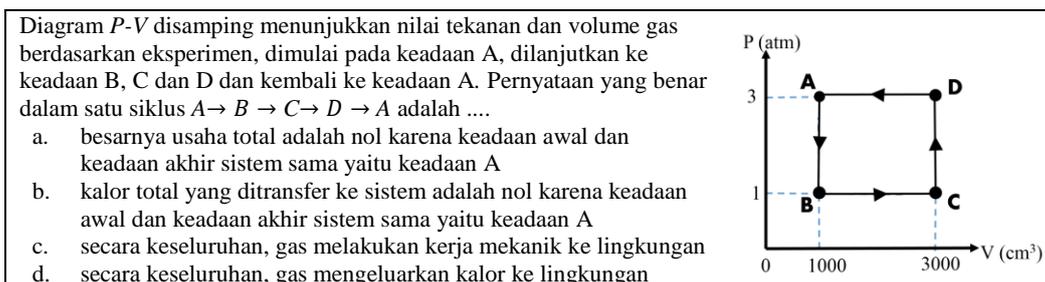
Subjek penelitian ini terdiri atas 103 mahasiswa yang telah menerima kuliah termodinamika. Sebanyak 23 mahasiswa S1 Fisika angkatan 2017, 33 mahasiswa S1 Pendidikan Fisika angkatan 2015, dan 47 mahasiswa S2 Pendidikan Fisika angkatan 2017. Metode pengumpulan data pada penelitian ini melalui tes tulis berbentuk pilihan ganda beralasan. Deskripsi kesulitan mahasiswa digali dari jawaban dan alasan mahasiswa yang telah mengerjakan dua jenis soal. Soal jenis pertama terdiri atas dua

butir soal. Soal jenis pertama adalah membandingkan energi internal, usaha, dan kalor pada dua proses yang berbeda, namun keadaan awal dan akhirnya sama (Gambar 1). Soal jenis kedua terdiri atas satu butir soal. Pada soal ini mahasiswa diminta untuk menentukan usaha dan kalor pada proses siklik (Gambar 2). Teknik *constant comparative* digunakan untuk menganalisis alasan jawaban mahasiswa (Demirdogen, 2016). Cara penganalisisan dilakukan dengan mengelompokkan jawaban mahasiswa berdasarkan pilihan jawaban mahasiswa. Kemudian, mengelompokkan alasan-alasan yang serupa sehingga didapatkan pola pikir mahasiswa terkait konsep energi internal, usaha, dan kalor.

Seluruh butir soal dapat dipecahkan menggunakan tiga ide pokok. *Pertama*, energi internal merupakan besaran keadaan atau bergantung pada keadaan awal dan akhir saja. Keadaan awal dan akhir menentukan suhu awal dan akhir dari suatu keadaan. Jika terjadi peningkatan suhu maka energi internal sistem meningkat begitu pula sebaliknya. Cara menghitung suhu pada diagram *P-V* adalah dengan menggunakan persamaan keadaan gas ideal ( $PV=nRT$ ). *Kedua*, usaha merupakan besaran proses atau bergantung pada proses yang dialami. Cara paling mudah untuk menghitung usaha pada diagram *P-V* adalah menghitung luasan di bawah lintasan suatu proses. *Ketiga*, kalor merupakan besaran proses. Besar kalor yang diterima oleh sistem atau keluar dari sistem dapat ditentukan dengan melihat usaha yang dilakukan oleh suatu proses.



Gambar 1. Soal Tipe Pertama



Gambar 2. Soal Tipe Kedua

### HASIL

Hasil jawaban mahasiswa dikategorikan berdasarkan alasan jawaban yang serupa. Soal nomor 1 pada soal jenis pertama memiliki lima variasi pilihan jawaban dengan berbagai alasan (Tabel 1). Soal nomor 2 pada soal jenis pertama memiliki dua variasi pilihan ganda beserta alasannya (Tabel 2). Soal jenis kedua memiliki empat variasi pilihan jawaban beserta alasannya (Tabel 3). Seluruh alasan jawaban ini yang akan dideskripsikan sehingga pemahaman konsep mahasiswa terkait konsep dasar termodinamika dapat diketahui.

**Tabel 1. Distribusi pilihan jawaban dan alasan mahasiswa pada soal nomor 1 (soal jenis pertama)**

Pilihan jawaban	Alasan	Jumlah mahasiswa																												
b	(1) $\Delta E_{int}$ sebagai besaran proses (2) $W$ adalah besaran keadaan (3) Proses CA sebagai proses isothermal atau proses adiabatik (4) Menghitung $\Delta E_{int}$ dan $W$ menggunakan: <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <thead> <tr> <th>Proses</th> <th><math>\Delta E_{int}</math></th> <th><math>W</math></th> <th><math>Q</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>(a) CB (isokhorik)</td> <td><math>Q</math></td> <td>0</td> <td><math>nC_V\Delta T</math></td> </tr> <tr> <td>BA (isobarik)</td> <td>0</td> <td><math>-P\Delta V</math></td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>CA (isothermal)</td> <td>0</td> <td><math>-P\Delta V</math></td> <td><math>-W</math></td> </tr> </tbody> </table> <p style="margin-left: 20px;">Sehingga perbandingan <math>\Delta E_{int}</math> dan <math>W</math>:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\Delta E_{int 1} = \Delta E_{int CB} + \Delta E_{int BA}</math>  <math>= nC_V\Delta T + nC_P\Delta T + (-P\Delta V)</math></li> <li>• <math>W_1 = W_{CB} + W_{BA}</math>  <math>= 0 + (-P\Delta V)</math>  <math>= -P\Delta V</math></li> <li><math>\Delta E_{int 2} = \Delta E_{int CA} = 0</math>  <math>W_2 = W_{CA}</math>  <math>= -P\Delta V</math>  maka <math>W_1 = W_2</math></li> </ul> <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <tbody> <tr> <td>(b) CB (isokhorik)</td> <td><math>Q - W</math></td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>BA (isobarik)</td> <td><math>Q</math></td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>CA (adiabatik)</td> <td><math>W</math></td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table> <p style="margin-left: 20px;">Sehingga perbandingan <math>\Delta E_{int}</math> dan <math>W</math>:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\Delta E_{int 1} = \Delta E_{int CB} + \Delta E_{int BA}</math>  <math>= Q - W + Q</math>  <math>= 2Q - W</math></li> <li><math>\Delta E_{int 2} = -W</math>  maka <math>\Delta E_{int 1} &gt; \Delta E_{int 2}</math> dan <math>W_1 = W_2</math></li> </ul>	Proses	$\Delta E_{int}$	$W$	$Q$	(a) CB (isokhorik)	$Q$	0	$nC_V\Delta T$	BA (isobarik)	0	$-P\Delta V$	-	CA (isothermal)	0	$-P\Delta V$	$-W$	(b) CB (isokhorik)	$Q - W$	-	-	BA (isobarik)	$Q$	-	-	CA (adiabatik)	$W$	-	-	26
Proses	$\Delta E_{int}$	$W$	$Q$																											
(a) CB (isokhorik)	$Q$	0	$nC_V\Delta T$																											
BA (isobarik)	0	$-P\Delta V$	-																											
CA (isothermal)	0	$-P\Delta V$	$-W$																											
(b) CB (isokhorik)	$Q - W$	-	-																											
BA (isobarik)	$Q$	-	-																											
CA (adiabatik)	$W$	-	-																											
c	(1) $\Delta E_{int}$ sebagai besaran keadaan (2) $W$ adalah besaran proses dan dihitung dari luas daerah dibawah lintasan	6																												
d	(1) Proses CA sebagai proses isothermal maka suhu di keadaan A dan C sama besar sehingga $\Delta E_{int 1} = \Delta E_{int 2}$ $V_C > V_A$ maka $P_A > P_C$ karena $W = P\Delta V$ maka $W_1 = W_2$ (2) $\Delta E_{int 1} = \Delta E_{int 2} = 0$ karena suhu konstan (isothermal) $W_1 = W_{CB} + W_{BA} = 0 + P(V_2 - V_1) = P_2(V_2 - V_1)$ dan $W_2 = W_{CA} = P(V_2 - V_1)$ sehingga $W_1 = W_2$	19																												
f	Proses CA adalah proses isothermal sehingga $\Delta E_{int 1} > \Delta E_{int 2} = 0$ $W_1 = -P\Delta V$ ; $W_2 = -nRT \ln(V_f/V_i)$ sehingga $W_1 > W_2$	2																												
Tidak menjawab		7																												

**Tabel 2. Distribusi pilihan jawaban dan alasan mahasiswa pada soal nomor 2 (soal jenis pertama)**

Pilihan jawaban	Alasan	Jumlah mahasiswa
a	(1) Proses 2 sebagai proses isothermal ( $\Delta E_{int} = 0$ ) atau adiabatik ( $Q=0$ ) (2) $\Delta E_{int}$ merupakan besaran proses dan $W$ merupakan besaran keadaan sehingga perbandingan kalornya $Q_1 > Q_2$ (3) Kalor bergantung pada proses $\Delta E_{int} = Q - W$ . $\Delta E_{int}$ merupakan besaran keadaan maka $Q_1 - W_1 = Q_2 - W_2$ . untuk dapat melakukan usaha lebih besar maka gas harus menerima kalor yang lebih besar juga (4) Proses 1: tekanan naik dan volume turun; Proses 2: Volume dan tekanan turun maka $Q_1 > Q_2$ (5) $Q_1 = nC_V\Delta T + nC_P\Delta T$ sedangkan $Q_2 = 0$ karena proses adiabatik maka $Q_1 > Q_2$	68
c	Proses CA adalah proses adiabatik sehingga $Q = -W$ Proses CBA adalah proses isokhorik sehingga $Q = 0$ maka $Q_1 < Q_2$	10
Tidak menjawab		4

**Tabel 3. Distribusi pilihan jawaban dan alasan mahasiswa pada soal jenis kedua**

Pilihan Jawaban	Alasan	Jumlah Mahasiswa
a	(1) Usaha total nol karena usaha bergantung pada keadaan awal dan akhir saja (besaran keadaan) (2) Gas menerima kalor dari lingkungan. Usaha bergantung pada proses sehingga usaha dapat dihitung dengan menghitung luas daerah lintasan sedangkan kalor tidak bergantung pada keadaan awal dan akhir (3) Proses AB dan CD adalah proses isokorik, sedangkan proses AD dan BC adalah proses isobarik $W_{total} = W_{AB} + W_{BC} + W_{CD} + W_{DA} = nC_v\Delta T + nC_v\Delta T + (-nC_v\Delta T - nC_v\Delta T) = 0$	58
b	$Q_{DA} = (-)$ ; $Q_{AB} = (-)$ ; $Q_{BC} = (+)$ ; $Q_{CD} = (+)$ sehingga $Q_{total} = 0$	14
c	(1) Usaha dan kalor merupakan besaran proses (2) Seara keseluruhan sistem melakukan usaha dan menerima kalor	9
d	Proses yang terjadi pada proses siklik adalah sistem dikenai kerja bukan sistem melakukan kerja	16
<b>Tidak menjawab</b>		6

## PEMBAHASAN

### Proses-Proses Termodinamika pada Proses CBA dan Proses CA

Pola pikir mahasiswa terkait soal jenis pertama bervariasi. Secara umum, mahasiswa telah memahami jika proses CB adalah proses isokhorik sehingga  $\Delta E_{int}$  hanya bergantung pada  $Q$ . Mahasiswa juga telah memahami jika proses BA adalah proses isobarik sehingga  $\Delta E_{int}$  bergantung pada  $Q$  dan  $W$ . Namun, mahasiswa masih salah dalam memahami proses CA. Mereka berpikir bahwa proses CA sebagai proses isothermal atau adiabatik. Konsekuensi pemaknaan proses CA sebagai proses isothermal adalah menganggap suhu di keadaan A dan C sama besar sehingga  $\Delta E_{int 2} = 0$ . Sedangkan konsekuensi mahasiswa yang berpikir proses CA sebagai proses adiabatik adalah  $\Delta E_{int 2}$  hanya bergantung pada usaha saja. Berdasarkan alasan yang telah disampaikan dapat disimpulkan jika mahasiswa telah memahami konsep energi internal, usaha, dan kalor pada proses familiar (isobarik, isokhorik, isothermal, dan adiabatik). Namun, karena mereka belum bisa mengidentifikasi proses selain proses familiar maka mereka tidak bisa mengerjakan soal jenis pertama dengan baik. Selain itu, mahasiswa belum terbiasa menghitung suhu di suatu keadaan menggunakan persamaan keadaan gas ( $PV=nRT$ ).

### Pemahaman Konsep Energi Internal, Usaha, dan Kalor pada Dua Proses yang Berbeda

Alasan mahasiswa yang secara implisit menyatakan energi internal sebagai besaran proses terdapat pada pilihan jawaban a, b, dan f. Secara umum, mahasiswa menghitung besar energi internal melalui usaha dan kalor (Tabel 1). Sehingga diduga bahwa mahasiswa belum memahami hubungan antara energi internal dan suhu ( $\Delta E_{int} = \frac{3}{2}NKT$ ).

Alasan pilihan jawaban c menunjukkan bahwa mahasiswa telah memahami konsep energi internal dengan baik. Namun, alasan pilihan jawaban d menunjukkan bahwa mahasiswa berpikir  $\Delta E_{int 1} = \Delta E_{int 2}$  karena suhu di keadaan A dan C sama. Mereka tidak memahami jika  $\Delta E_{int 1} = \Delta E_{int 2}$  karena perubahan suhu proses 1 dan 2 sama besar.

Alasan yang dikemukakan pada pilihan jawaban b mengindikasikan bahwa mahasiswa berpikir usaha bergantung pada keadaan awal dan akhir (Tabel 1). Namun, perhitungan yang digunakan masih menggunakan konsep  $\Delta E_{int 1} > \Delta E_{int 2}$ . Mahasiswa belum menyadari bahwa usaha dapat dihitung dengan menghitung luasan di bawah lintasan.

Konsep yang dikemukakan mahasiswa terkait kalor sudah benar yaitu kalor bergantung pada proses. Mahasiswa menghitung kalor yang keluar dari sistem pada proses 1 dengan baik, namun mereka masih salah saat menghitung kalor pada proses 2. Karena mahasiswa mengira proses 2 sebagai proses adiabatik ( $Q_2 = 0$ ) sehingga  $Q_1 > Q_2$ . Selain itu, ada beberapa mahasiswa yang berpikir  $Q_1 < Q_2$  karena usaha lingkungan melakukan usaha ke sistem ( $-W$ ).

### Pemahaman Mahasiswa terkait Usaha dan Kalor pada Proses Siklik

Sebanyak 58 mahasiswa berpikir bahwa usaha total pada proses siklik adalah nol. Pemahaman mahasiswa yang masih salah yaitu menganggap usaha bergantung pada keadaan awal dan akhir. Karena proses siklik akan kembali ke keadaan semula maka usaha totalnya nol. Walaupun demikian, ternyata ada beberapa mahasiswa yang telah memahami jika usaha bergantung pada proses, namun tetap menghitung usaha totalnya nol. Selain itu, mahasiswa juga menghitung usaha menggunakan persamaan kalor.

Empat belas mahasiswa berpikir bahwa kalor total pada proses siklik adalah nol. Mereka menggunakan pemahaman bahwa kalor akan keluar sistem saat proses DA dan AB serta kalor akan masuk ke sistem saat proses BC dan CD berlangsung. Mereka menganggap besarnya kalor yang masuk dan keluar sistem sama besar sehingga kalor totalnya nol. Dari alasan tersebut dapat diketahui bahwa mahasiswa tidak memahami jika besar kalor yang keluar sistem pada proses DA lebih besar daripada besarnya kalor yang masuk ke sistem pada proses BC.

Sebanyak sembilan mahasiswa telah memahami jika usaha dan kalor bergantung pada proses, sedangkan energi internal bergantung pada keadaan awal dan akhir. Namun, mereka masih belum bisa memahami usaha yang dilakukan oleh sistem oleh lingkungan serta kalor yang keluar dari sistem atau kalor masuk ke sistem dengan baik.

### SIMPULAN

Secara umum, mahasiswa masih kesulitan menganalisis energi internal, usaha dan kalor pada diagram  $P$ - $V$ . Pada dua proses yang berbeda, mahasiswa cenderung berpikir bahwa energi internal dan kalor bergantung pada proses, sedangkan usaha bergantung pada keadaan awal dan akhir. Mahasiswa yang berpikir energi internal sebagai besaran proses mengartikan proses garis lurus yang miring sebagai proses isothermal atau adiabatik. Proses isothermal mengindikasikan  $T_A = T_C$  ( $\Delta E_{\text{int}} = 0$ ), sedangkan proses adiabatik mengindikasikan tidak ada kalor yang keluar masuk sistem atau perubahan energi internal hanya dipengaruhi oleh usaha. Pada proses siklik, mahasiswa cenderung berpikir usaha total bernilai nol. Mahasiswa belum menggunakan Hukum I Termodinamika untuk mengidentifikasi usaha yang dilakukan oleh sistem atau usaha yang dilakukan oleh lingkungan serta kalor yang keluar masuk sistem.

### DAFTAR RUJUKAN

- Clark, J. W., Thompson, J. R., & Mountcastle, D. B. (2013). Comparing Student Conceptual Understanding of Thermodynamics in Physics and Engineering Comparing Student Conceptual Understanding of Thermodynamics in Physics and Engineering', *AIP Conference Proceedings*, 1513(2013), pp. 102–105. doi: 10.1063/1.4789662.
- Clark, J. W., Thompson, J. R., & Mountcastle, D. B. (2014). Investigating Student Conceptual Difficulties in Thermodynamics Across Multiple Disciplines: The First Law and P-V Diagrams Investigating Student Conceptual Difficulties in Thermodynamics Across Multiple Disciplines: The First Law and P-V Diagrams', *ASEE annual conference & exposition proceedings*.
- Loverude, M. E., Kautz, C. H., & Heron, P. R. L. (2002). Student understanding of the first law of thermodynamics: Relating work to the adiabatic compression of an ideal gas', *American Journal of Physics*, 70(2), pp. 137–148. doi: 10.1119/1.1417532.
- Meltzer, D. E. (2004). Investigation of students' reasoning regarding heat, work, and the first law of thermodynamics in an introductory calculus-based general physics course', *American Journal Physics*, 72, pp. 1432–1446. doi: 10.1119/1.1789161.
- Meltzer, D. E. (2007). Investigation of Student Learning In Thermodynamics and Implications for Instruction in Chemistry and Engineering', *AIP Conference Proceedings*, 883, pp. 38–42.
- Pollock, E. B., Thompson, J. R., & Mountcastle, D. B. (2007). Student Understanding of The Physics and Mathematics of Process Variables In P-V Diagrams', *AIP Conference Proceedings*, 951, pp. 168–171. doi: 10.1063/1.2820924.
- Triwiyono and Lumbu, A. (2015). Investigasi Pemahaman Calon Guru tentang Konsep Kalor', *Jurnal Pendidikan Fisika dan Teknologi*, 1(4).
- Wattanakasiwich, P. et al. (2013). Development and Implementation of a Conceptual Survey in Thermodynamics', *International Journal of Innovation in Science and Mathematics Education*, 21(1), pp. 29–53.