

Identifikasi Kualitas Argumentasi Ilmiah Siswa SMA pada Termodinamika

Aurelia Astria L. Jewaru¹, Parno¹, Nasikhudin¹

¹Pendidikan Fisika-Universitas Negeri Malang

INFO ARTIKEL

Riwayat Artikel:

Diterima: 09-08-2021

Disetujui: 15-09-2021

Kata kunci:

*the quality of scientific
argumentation;
thermodynamics;
students in senior high school;
kualitas argumentasi ilmiah;
termodinamika;
siswa sekolah menengah atas*

ABSTRAK

Abstract: The purpose of this study was to identify the quality of students' scientific argumentation on thermodynamics. This research is a case study research using descriptive method. Research subjects 78 students from two high schools. The instrument is an essay test with 5 items with reliability of 0.728. Descriptive statistics show that students have 46.54 scientific arguments (medium category), and dominant at level 3 (quite strong). At this level students are able to write components of an argument that are quite good or related but less scientific. The lowest average of students is at level 2, it is in the subtopic of work and thermodynamic processes, because they are only able to write claims. For further research, learning such as ADI, authentic PBL, or STEM approaches is needed.

Abstrak: Tujuan penelitian ini untuk mengidentifikasi kualitas argumentasi ilmiah siswa pada termodinamika. Penelitian ini merupakan penelitian studi kasus dengan menggunakan metode deskriptif. Subjek penelitian 78 siswa dari dua sekolah menengah atas. Instrumen soal adalah tes esai dengan lima butir soal dengan reliabilitas 0,728. Statistic deskriptif menunjukkan bahwa siswa memiliki argumentasi ilmiah 46.54 (kategori sedang), dan dominan pada level 3 (cukup kuat). Pada level ini siswa sudah mampu menulis komponen argumentasi yang cukup baik atau saling berkaitan namun kurang ilmiah. Rata-rata terendah siswa berada pada level 2, yaitu pada submateri usaha dan proses-proses termodinamika karena hanya mampu untuk menulis claim saja. Untuk penelitian selanjutnya diperlukan pembelajaran seperti ADI, authentic PBL, atau pendekatan STEM.

Alamat Korespondensi:

Aurelia Astria L. Jewaru
Pendidikan Fisika
Universitas Negeri Malang
Jalan Semarang 5 Malang
E-mail: aureliaastrid27@gmail.com

Termodinamika merupakan bagian penting dari kurikulum fisika sekolah menengah, karena merupakan sebuah jembatan dari fisika menuju ilmu lain, seperti kimia dan biologi (Dreyfus et al., 2015; Malgieri et al., 2016). Konsep termodinamika seperti energi dan mekanika berkaitan erat dengan kegiatan-kegiatan ilmiah, engineering, teknologi, dan fenomena alam yang bermanfaat dalam kehidupan sehari-hari (Erduran & Villamanan, 2009; Goedhart & Kaper, 2002). Pemanfaatan Termodinamika di kehidupan sehari-hari, yaitu dalam pemanasan dan penerangan yang dapat diukur seperti suara, panas, dan cahaya serta memiliki jenis energi kinetik, potensial, listrik, panas, dan nuklir (Besson & De Ambrosis, 2014; Bezen et al., 2016). Dalam bidang engineering konsep termodinamika digunakan untuk studi dan desain berbagai sistem energi, seperti jet dan roket, sistem mesin pendingin, proses kimia, mobil, dan pembangkit listrik (Mulop et al., 2012). Konsep dan teori termodinamika digunakan untuk mengembangkan berbagai sistem industri dan teknologi di dunia (Gunawan et al., 2019).

Tantangan utama materi termodinamika yaitu tingkat abstraksi konsepnya yang mempelajari tentang hubungan antara energi dan kerja suatu system (Amin et al., 2012; Cigdemoglu & Geban, 2015; Mulop et al., 2012; Saricayir et al., 2016). Konsep yang abstrak ini membuat Siswa kesulitan dalam memahami hukum pertama termodinamika, menerapkan pemecahan masalah dan beranggapan bahwa termodinamika tidak berdampak dalam kehidupan mereka (Kapon et al., 2018). Siswa juga mengalami miskonsepsi dengan makna energi itu sendiri, dimana pengetahuan mereka bertentangan dengan fakta ilmiah, khususnya tentang transformasi energi dan konservasi energi (Bezen et al., 2016; Gunawan et al., 2019; Sinensis et al., 2019). Memahami perbedaan makna ilmiah panas, energi, dan suhu dalam fisika adalah masalah bagi siswa, bahkan setelah siswa berhasil menyelesaikan tugas yang relevan (Levrini et al., 2014; Nottis et al., 2010). Selain itu, siswa mengalami kesulitan dalam mengidentifikasi persamaan matematis (Bain et al., 2014), arah kalor mengalir, menggambarkan usaha sebagai interaksi antara sistem dan lingkungan, serta konsep siklus carnot dan entropi (Bain et al., 2014; Smith et al., 2015).

Kesulitan siswa dalam memahami konsep Termodinamika ini dipengaruhi oleh literasi sains yang masih rendah (Duschl, 2008; Heng, Surif, & Seng, 2015; PISA, 2019). Literasi sains yang rendah dipengaruhi oleh peran argumentasi ilmiah didalamnya (Erduran et al., 2005; Jönsson, 2016). Dalam penelitian (Tsai, 2015) menemukan bahwa dengan argumentasi dapat meningkatkan literasi sains siswa pada kompetisi sains PISA. Bentuk argumentasi ilmiah mendorong proses kognitif dan metakognitif, keterampilan komunikasi, dan keterampilan penalaran kritis (Kuhn & Reiser, n.d.; Wang & Buck, 2016) dimana ketrampilan-ketrampilan ini yang berkontribusi dalam peningkatan literasi sains (Cavagnetto, 2010). Dengan demikian, argumentasi ilmiah siswa perlu dilatih.

Beberapa penelitian sebelumnya yang membahas peningkatan argumentasi ilmiah pada pelajaran fisika, yaitu penelitian (Perdana et al., 2019) pada topik Optik dengan 28 siswa menggunakan PBL dengan simulasi berbasis web. Pada penelitian tersebut (Perdana et al., 2019) sudah mengkategorikan persentase siswa ke dalam level-level argumentasi dengan menggunakan PBL dengan Simulasi CK 12 Interaktif. Penelitian (Pratiwi et al., 2019) menggunakan PBL pada topik gaya apung. Namun penelitian-penelitian tersebut membahas kemampuan argumentasi ilmiah siswa dengan menggunakan model pembelajaran, serta masih jarang membahas level-level argumentasi ilmiah siswa pada topik Termodinamika sehingga dalam meningkatkan argumentasi ilmiah dapat digunakan model pembelajaran yang sesuai. Penelitian-penelitian tersebut juga membahas peningkatan argumentasi ilmiah setelah diberikan perlakuan khusus. Selain itu, masih jarang penelitian yang membahas argumentasi ilmiah secara khusus pada topik termodinamika.

Berdasarkan hal-hal yang telah dibahas, pentingnya melihat kembali dan mengidentifikasi argumentasi ilmiah siswa lebih detail pada materi termodinamika yang cenderung sulit bagi siswa untuk mengetahui solusi atau model pembelajaran yang tepat dalam meningkatkan argumentasi ilmiah. Dalam penelitian ini ditinjau dengan studi kasus untuk mengetahui kualitas argumentasi ilmiah siswa SMA pada topik termodinamika.

METODE

Desain dan Subjek Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif dengan pendekatan kualitatif untuk menggambarkan fenomena yang ada baik fenomena yang terjadi secara alami atau hasil perlakuan. Penelitian ini dilakukan di dua sekolah yaitu SMAS Kristen Waikabubak dan SMAN 1 Waikabubak dengan total sampel penelitian 78 siswa kelas XII IPA yang telah mempelajari materi Termodinamika.

Pengumpulan dan Analisis Data

Pengumpulan data dikumpulkan dengan tes tertulis topik termodinamika berupa soal esai yang terdiri dari lima soal esai. Soal esai memuat tiga sub materi pembahasan yang terdiri dari usaha dan proses-proses termodinamika (nomor soal 1 dan 2), hukum I termodinamika (nomor soal 3 dan 4), hukum II termodinamika (nomor soal 5). Reliabilitas soal esai tersebut menggunakan Cronbach's alpha dengan nilai 0,728. Jawaban argumentasi ilmiah siswa, meliputi *claim*, *data*, *warrant*, *backing*, *qualifier*, dan *rebuttal*. Hasil tes yang diperoleh dianalisis dengan statistik deskriptif untuk mengetahui rata-rata data argumentasi ilmiah pada materi Termodinamika, selanjutnya hasil tes digunakan untuk menganalisis kualitas argumentasi ilmiah siswa ke dalam lima level argumentasi ilmiah. Adapun lima level tersebut meliputi sangat lemah, lemah, cukup kuat, kuat, dan sangat kuat. Kelima level argumentasi tersebut diberi kode secara berurutan argumentasi sangat lemah (level 1), argumentasi lemah (level 2), argumentasi cukup kuat (level 3), argumentasi kuat (level 4), dan argumentasi sangat kuat (level 5). Rata-rata skor total yang diperoleh siswa dalam tes argumentasi ilmiah dikategorikan berdasarkan tabel (Arikunto, 2006).

Tabel 1. Kategori Nilai Argumentasi Ilmiah

Nilai Siswa	Kategori
81—100	Sangat Tinggi
61—80	Tinggi
41—60	Sedang
21—40	Rendah
0—20	Sangat Rendah

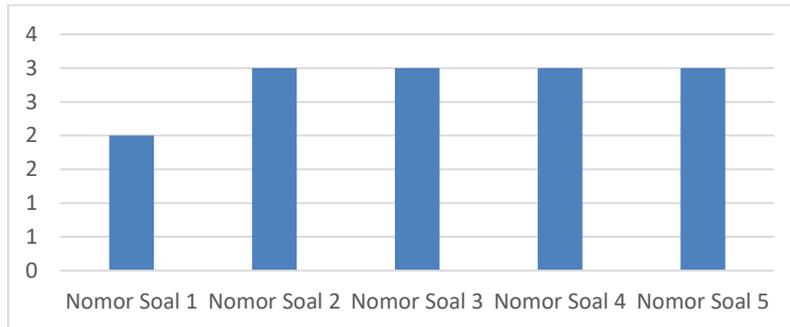
HASIL

Skor yang diperoleh pada tes esai argumentasi ilmiah dianalisis dengan statistik deskriptif, dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Analisis Siswa

Statistik Deskriptif	Nilai
Jumlah Sampel	78
Minimum	20,00
Maksimum	80,00
Rata-rata	46,54
Median	45,00
Modus	45,00
Standar Deviasi	12,67

Berdasarkan tabel 2 diperoleh nilai rata-rata argumentasi ilmiah 46,54 dimana termasuk dalam kategori sedang. Rata-rata perolehan level argumentasi ilmiah siswa di setiap butir soal ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Rata-rata level argumentasi ilmiah siswa pada setiap nomor soal

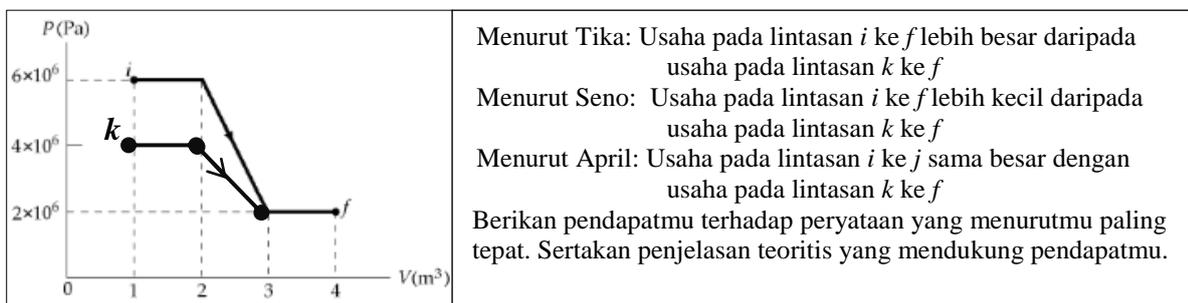
Grafik pada gambar 1 menunjukkan bahwa dominan siswa memiliki argumentasi ilmiah pada level 3 dengan kualitas cukup kuat. Hanya pada soal nomor 1 siswa memiliki argumentasi ilmiah yang berada pada level 2.

PEMBAHASAN

Komponen argumentasi ilmiah terdiri dari enam komponen, yaitu claim, data, warrant, backing, qualifier, dan rebuttal (Toulmin, 2003). Rubrik penilaian untuk menentukan kualitas argumentasi ilmiah terdiri dari lima level argumentasi ilmiah, yaitu level 1 adalah sangat lemah, level 2 adalah lemah, level 3 adalah cukup kuat, level 4 adalah kuat, dan level 5 adalah sangat kuat (Bugarcic et al., 2014; Dawson & Venville, 2009; Rachmatya & Supardiyono, 2020; Toulmin, 2003).

Sub Bab Usaha dan Proses-Proses Termodinamika

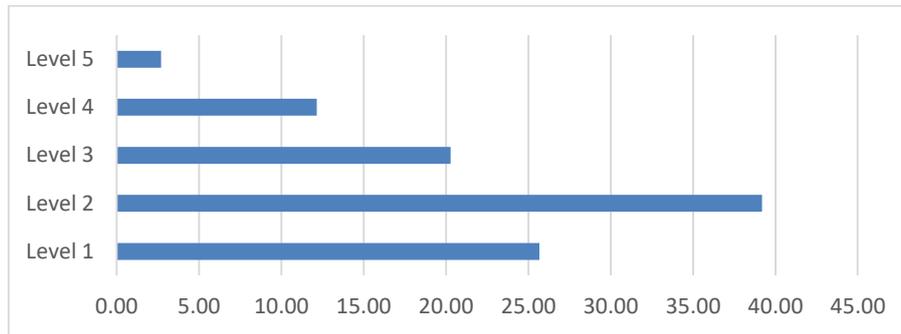
Soal nomor 1 berkaitan dengan sub materi usaha dan proses-proses termodinamika, diadaptasi dari (Serway & Jewett, 2013). Indikator pada nomor soal ini tentang kegiatan praktikum proses-proses termodinamika beserta grafik P-V dengan dua lintasan, sehingga siswa harus menentukan usaha yang lebih besar antara kedua lintasan tersebut.



Menurut Tika: Usaha pada lintasan i ke f lebih besar daripada usaha pada lintasan k ke f
 Menurut Seno: Usaha pada lintasan i ke f lebih kecil daripada usaha pada lintasan k ke f
 Menurut April: Usaha pada lintasan i ke j sama besar dengan usaha pada lintasan k ke f
 Berikan pendapatmu terhadap pernyataan yang menurutmu paling tepat. Sertakan penjelasan teoritis yang mendukung pendapatmu.

Gambar 2. Soal tes esai nomor 1 tentang sub bab usaha dan proses-proses termodinamika

Pada soal ini siswa menguraikan jawabannya dengan indikator-indikator argumentasi ilmiah berupa claim, data, warrant, backing, qualifier, dan rebuttal. Selanjutnya, akan dikategori berdasarkan level-level argumentasi ilmiah. Pengkategorian jawaban siswa pada soal nomor 1 ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3. Persentase frekuensi level argumentasi ilmiah siswa pada soal nomor 1

Berdasarkan gambar 3, persentase level argumentasi ilmiah siswa terbanyak pada level 2, yang artinya kualitas argumentasi ilmiah siswa adalah lemah. Siswa pada level 2 menulis argumentasi mereka hanya sebatas claim yaitu usaha pada lintasan i-f lebih besar tanpa menyertakan bukti-bukti lain. Siswa benar menulis claim karena mereka beranggapan bahwa garis kurva i-f mempunyai tekanan yang lebih besar bukan karena luas daerah yang lebih besar. Kualitas argumentasi ilmiah yang lemah ini dipengaruhi oleh tidak mampu membuat klaim serta bukti-bukti yang berkualitas terkait pendekatan ilmiah dan temuan eksperimental, namun berdasarkan metode pemahaman mereka yang tidak ilmiah (Bugarcic et al., 2014). Berdasarkan hasil jawaban argumentasi siswa, pada saat lintasan mempunyai tekanan tetap, mereka tidak menghitung perubahan volumenya namun menggunakan nilai volume akhir pada lintasan tersebut. Siswa kesulitan menentukan nilai-nilai dari besaran pada grafik PV. Hal ini menunjukkan bahwa kemampuan siswa dalam menganalisis grafik P-V masih rendah, karena kesulitan dalam pemahaman integral dan kesulitan konseptual fisika untuk melihat bahwa usaha sama dengan luas daerah di bawah kurva (Digambar et al., 2013; Pollock et al., 2007). Siswa yang berada pada level 5 atau mempunyai kualitas argumentasi yang sangat kuat sudah mampu menentukan claim dengan benar serta bukti-bukti seperti data yang ditulis sesuai, warrant mendukung data, serta pada backing menghitung besar usaha menggunakan luas daerah dibawah kurva sehingga memperkuat claim, data, dan warrant. Siswa pada level 5 sudah paham konsep pada soal nomor 1 sehingga dalam membuat rebuttal atau sanggahan mereka beranggapan bahwa agar usaha pada lintasan k-f lebih besar daripada lintasan i-f maka dapat memperbesar nilai tekanan atau volume gas ideal sehingga luas daerah di bawah kurva lebih besar. Dengan demikian, kualitas argumentasi ilmiah yang baik berkaitan erat dengan pemahaman siswa dalam domain matematika, bahasa, sains, dan studi social (Demirbag, 2014; Lin & Mintzes, 2010).

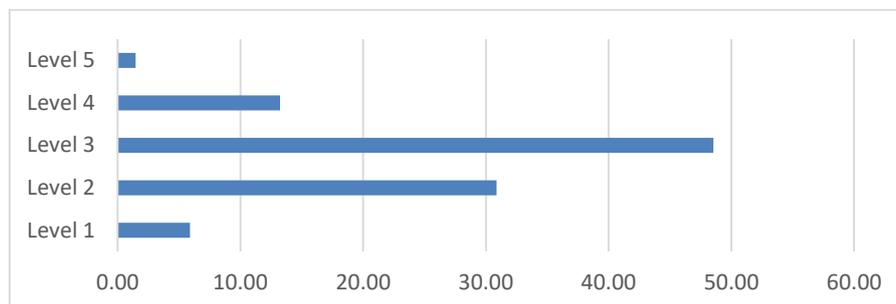
Soal nomor 2 berkaitan dengan sub materi usaha dan proses-proses termodinamika, diadaptasi dari (Meltzer, 2004). Indikator pada nomor soal ini tentang dua kondisi proses-proses termodinamika pada piston yang bisa diamati dalam kehidupan sehari-hari dan sebuah pernyataan salah pada soal, sehingga siswa harus mengkritik pernyataan yang salah tersebut dan menjelaskan pernyataan yang benar secara ilmiah.

Seorang siswa sedang mengamati dua kondisi berikut:
 Pada **kondisi A** Terdapat logam silinder berisi gas dan air dengan piston yang dapat bergerak bebas tanpa gesekan. Logam silinder berada pada suhu kamar. Kemudian Logam tersebut dipanaskan secara bertahap, dan piston bergerak ke atas secara perlahan. Saat pemanasan dihentikan, piston berhenti bergerak seperti yang ditunjukkan pada **kondisi B**. Setelah melihat kondisi A dan B,

“Proses dari kondisi A sampai kondisi B adalah usaha negatif yang dilakukan pada gas oleh lingkungan”
 Pernyataan di atas terdapat kesalahan, manakah pernyataan yang salah dan jelaskan argumentasimu?

Gambar 4. Soal tes esai nomor 2 tentang sub bab usaha dan proses-proses termodinamika

Pada soal ini siswa menguraikan jawabannya dengan indikator-indikator argumentasi ilmiah berupa *claim*, *data*, *warrant*, *backing*, *qualifier*, dan *rebuttal*. Selanjutnya, dikelompokkan berdasarkan level-level argumentasi ilmiah. Pengategorian jawaban siswa pada soal nomor 2 ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 5. Persentase frekuensi level argumentasi ilmiah siswa pada soal nomor 2

Berdasarkan gambar 5, persentase level argumentasi ilmiah siswa terbanyak pada level 3, yang artinya kualitas argumentasi ilmiah siswa adalah cukup kuat. Siswa pada level 3 menulis *claim* yang valid dan ide-ide dalam bukti cukup akurat untuk mendukung *claim*. Hubungan antara klaim dan bukti adalah cukup baik, namun beberapa penjelasan kurang ilmiah. Beberapa Siswa sudah memahami bahwa saat logam dipanaskan maka volume gas ideal bertambah, namun mereka tidak menjelaskan bagaimana pengaruh dengan tekanan gas, sehingga siswa tidak menuliskan proses yang terjadi adalah proses isobarik. Sedangkan siswa lainnya kesulitan dengan tanda positif atau negatif pada usaha, sehingga tidak mengetahui usaha yang dilakukan sistem atau usaha yang dilakukan pada system (Wattanakasiwich et al., 2013). Siswa yang berada pada level 5 atau mempunyai kualitas argumentasi yang sangat kuat memiliki persentase paling sedikit. Siswa mampu menulis penjelasan, bukti, serta kesimpulan secara jelas.

Sub Bab Hukum I Termodinamika

Soal nomor 3 berkaitan dengan sub materi hukum I termodinamika. Indikator pada nomor soal ini tentang kapal uap yang bisa berjalan dengan uap air yang dipanaskan, sehingga siswa harus menjelaskan bagaimana kapal dapat bergerak.

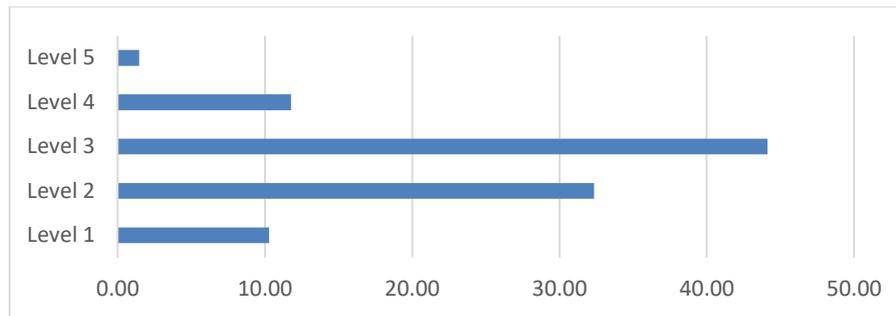
Fitri dan adiknya sedang bermain kapal uap seperti pada gambar. Kapal tersebut dapat bergerak sendiri tanpa menggunakan mesin didalamnya.



Fitri dan adiknya mulai menjalankan kapal uap tersebut menggunakan lilin yang diletakkan di bawah wadah yang berisi air. Setelah itu, dengan sendirinya kapal uap akan bergerak di atas air. Tuliskan argumentasi anda, bagaimana api pada lilin dapat menggerakkan mainan kapal uap tersebut?

Gambar 6. Soal tes esai nomor 2 tentang sub bab hukum I termodinamika

Pada soal ini siswa menguraikan jawabannya dengan indicator-indikator argumentasi ilmiah berupa *claim*, *data*, *warrant*, *backing*, *qualifier*, dan *rebuttal*. Selanjutnya, akan dikategori berdasarkan level-level argumentasi ilmiah. Pengategorian jawaban siswa pada soal nomor 3 ditunjukkan pada gambar 7.



Gambar 7. Persentase frekuensi level argumentasi ilmiah siswa pada soal nomor 3

Berdasarkan gambar 7, persentase level argumentasi ilmiah siswa terbanyak pada level 3, yang artinya kualitas argumentasi ilmiah siswa adalah cukup kuat. Siswa pada level 3 menulis claim yang baik dan menuliskan bukti-bukti yang saling mendukung, sehingga hubungan antara klaim dan bukti adalah cukup baik, namun beberapa penjelasan kurang lengkap dan ilmiah. Beberapa Siswa sudah mampu menjelaskan bahwa kapal bergerak sesuai dengan rumusan hukum I termodinamika dimana kapal digerakkan oleh uap yang panas, namun tidak menjelaskan bagaimana dengan konsep tekanan pada uap tersebut. Padahal kapal mampu bergerak karena tekanan uap air yang berkaitan dengan gaya dorong. Dengan mempelajari fenomena sehari-hari dapat membantu siswa dalam memahami konsep termodinamika yang lebih bermakna (Bezen et al., 2016). Beberapa siswa lainnya pada level 3 ini menjelaskan penyanggahan pada rebuttal yang tidak teoritis. Siswa menuliskan rebuttal bahwa kapal tidak dapat bergerak jika wadah berisi air tidak dilubangi karena uap tidak dapat keluar. Kemampuan Siswa dalam menulis rebuttal tidak cukup kuat sehingga tidak sesuai konsep yang dipelajari atau tidak ilmiah. Padahal kemampuan dalam membuat sanggahan dalam rebuttal menunjukkan kualitas argumentasi ilmiah yang sangat baik (Heng, Surif, Seng, et al., 2015; Lin & Mintzes, 2010).

Soal nomor 4 berkaitan dengan sub materi hukum I termodinamika, diadaptasi dari (Cochran & Heron, 2006; Smith et al., 2009). Indikator pada nomor soal ini tentang siklus mesin carnot sehingga siswa harus memecahkan masalah untuk mengetahui apakah mesin dapat berfungsi atau tidak.

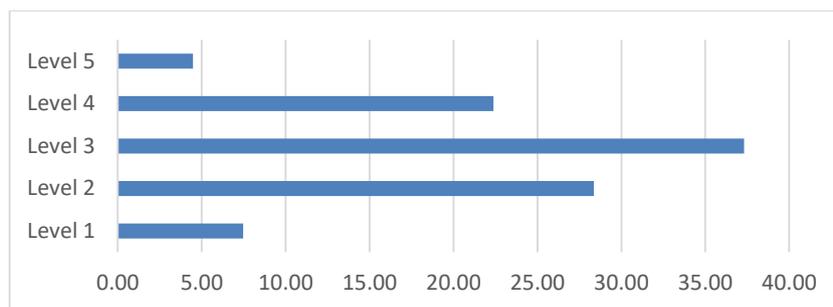
Pada mesin tersebut temperatur tinggi dan temperatur rendah masing-masing berada pada 600 K dan 400 K. Perpindahan panas dari suhu tinggi suatu reservoir ke zat kerja selama satu siklus lengkap adalah 600 J. Perpindahan panas dari zat kerja ke reservoir suhu rendah selama satu siklus lengkap adalah 350 J. Pekerjaan yang dilakukan oleh zat kerja selama satu siklus lengkap adalah 250 J.

- Menurut Triyanto: Mesin dapat berfungsi
- Menurut Muni : Mesin tidak dapat berfungsi

Jelaskan pendapat siapa yang menurutmu tepat dan berikan argumentasi yang ilmiah!

Gambar 8. Soal tes esai nomor 4 tentang sub bab hukum I termodinamika

Pada soal ini siswa menguraikan jawabannya dengan indicator-indikator argumentasi ilmiah berupa *claim*, *data*, *warrant*, *backing*, *qualifier*, dan *rebuttal*. Selanjutnya akan dikategori berdasarkan level-level argumentasi ilmiah. Pengkategorian jawaban siswa pada soal nomor 4 ditunjukkan pada gambar 9.



Gambar 9. Persentase frekuensi level argumentasi ilmiah siswa pada soal nomor 4

Berdasarkan gambar 9, persentase level argumentasi ilmiah siswa terbanyak pada level 3 yang artinya kualitas argumentasi ilmiah siswa adalah cukup kuat. Siswa pada level 3 mampu menulis claim dengan baik dan menuliskan bukti-bukti yang saling mendukung sehingga hubungan antara klaim dan bukti adalah cukup baik, namun beberapa penjelasan kurang lengkap dan ilmiah. Beberapa Siswa menjawab pada claim bahwa mesin dapat berfungsi, namun setelah dibuktikan dengan data, warrant, dan backing, akhirnya siswa menyimpulkan pada qualifier bahwa mesin sebenarnya tidak dapat berfungsi karena efisiensi mesin kalor lebih besar dari efisiensi mesin idealnya. Penjelasan siswa sudah saling berkaitan di setiap indicator argumentasi ilmiah, namun beberapa siswa ada yang hanya menghitung efisiensi mesinnya saja tanpa membandingkan dengan efisiensi mesin idealnya, sehingga pada qualifier siswa menulis bahwa mesin dapat berfungsi, padahal sebaliknya Siswa cenderung kesulitan menalar tentang sesuatu yang tidak mungkin terjadi (Smith et al., 2015). Bagian rebuttal siswa hanya menuliskan pernyataan sanggahan saja tetapi tidak ilmiah, sehingga terkesan pemahaman konsep tentang siklus mesin carnot ini terbatas. Seharusnya dalam membuat rebuttal siswa bisa menghubungkan dengan rumusan efisiensi, seperti nilai dari $\frac{T_r}{T_t} < \frac{W}{Q_t}$, sehingga nilai efisiensi mesin carnot akan lebih kecil daripada efisiensi mesin idealnya. Adapun siswa yang menulis demikian yaitu siswa yang berada pada level 5. Siswa pada level 5 lainnya menulis rebuttal yang kuat dengan menjelaskan bahwa agar mesin dapat berfungsi maka suhu pada reservoir tinggi harus dinaikkan menjadi 700 K sehingga nilai efisiensi mesin idealnya menjadi 42,9% dimana efisiensi mesin idealnya akan lebih besar dari efisiensi mesinnya.

Sub Bab Hukum II Termodinamika

Soal nomor 5 berkaitan dengan sub materi hukum II termodinamika diadaptasi dari (Christensen et al., 2009). Indikator pada nomor soal ini tentang sistem yang terisolasi dan mengalami proses *irreversible* sehingga siswa dapat menganalisis entropi yang sebenarnya dapat terjadi pada keadaan tersebut.

Saat pelajaran Fisika, Guru meminta empat orang siswa untuk menyatakan pendapatnya terkait situasi apa yang sebenarnya dapat terjadi jika:

“Sebuah subsistem **A** berada dalam kontak termal dengan lingkungannya yaitu **B**, dimana keduanya membentuk sistem yang terisolasi dan mengalami proses irreversibel.”

Siswa 1: Entropi sistem meningkat sebesar 5 J / K; entropi lingkungan berkurang 5 J / K.

Siswa 2: Entropi sistem meningkat sebesar 5 J / K; entropi lingkungan berkurang 3 J / K.

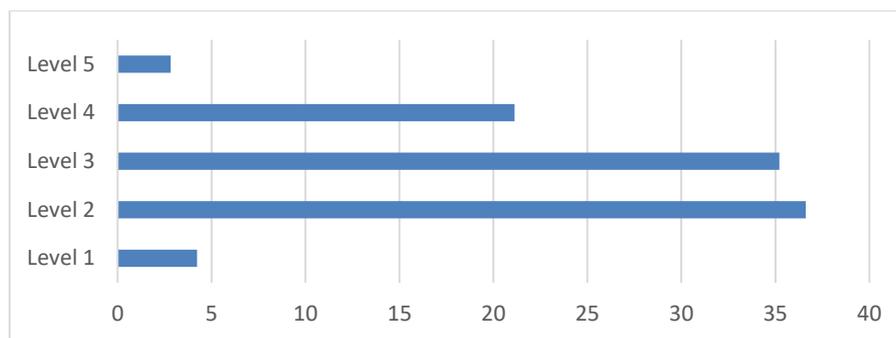
Siswa 3: Entropi sistem meningkat 3 J / K; entropi lingkungan berkurang 5 J / K.

Siswa 4: Entropi sistem berkurang 3 J / K; entropi lingkungan meningkat sebesar 5 J / K.

Dari empat pernyataan di atas, pernyataan siapakah yang dapat terjadi? Jelaskan argumentasimu secara ilmiah!

Gambar 10. Soal tes esai nomor 5 tentang sub bab hukum II termodinamika

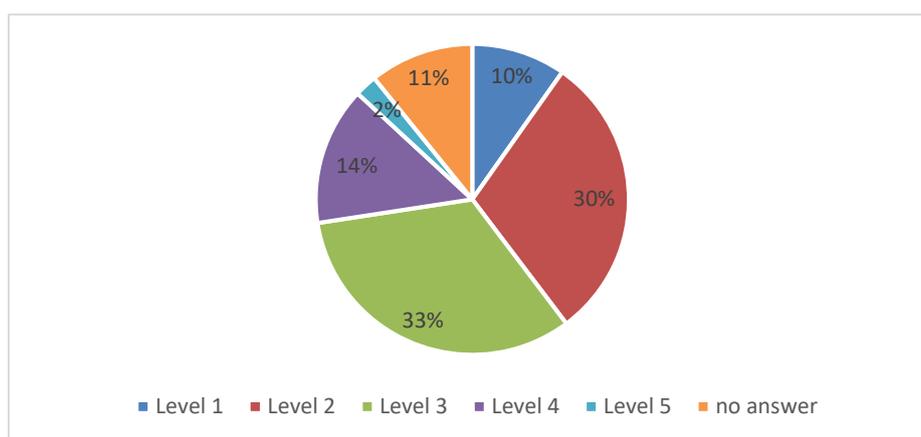
Pada soal ini siswa menguraikan jawabannya dengan indikator-indikator argumentasi ilmiah berupa *claim*, *data*, *warrant*, *backing*, *qualifier*, dan *rebuttal*. Selanjutnya, akan dikategori berdasarkan level-level argumentasi ilmiah. Pengkategorian jawaban siswa pada soal nomor 5 ditunjukkan pada gambar 11.



Gambar 11. Persentase frekuensi level argumentasi ilmiah siswa pada soal nomor 5

Berdasarkan gambar 11, persentase level argumentasi ilmiah siswa terbanyak pada level 2 yang artinya kualitas argumentasi ilmiah siswa adalah lemah. Siswa pada level 2 menulis claim dan bukti-bukti tidak cukup baik, karena tidak saling berkaitan satu dengan lainnya. Siswa menuliskan claim namun saat menuliskan pembuktian tidak akurat. Siswa langsung menuliskan argumennya dengan mengurangi nilai entropi system dan lingkungan, karena mereka berpikir bahwa ΔS artinya mengurangi tanpa memahami bahwa pada system dan lingkungan terjadi peningkatan (+) dan pengurangan (-). Siswa pada level 2 tidak mampu menulis indicator argumentasi ilmiah yang saling berkaitan agar claim menjadi kuat, walaupun claim betul. Argumentasi ilmiah yang baik tidak hanya menulis claim benar, namun dibuktikan dengan teori yang akurat (Nababan et al., 2019). Persentase level argumentasi ilmiah siswa yang hampir dominan juga terdapat pada level 3. Pada level ini kualitas argumentasi siswa cukup kuat. Siswa sudah mampu menuliskan claim serta bukti-bukti yang saling berkaitan, namun beberapa penjelasan kurang ilmiah. Siswa sudah menuliskan claim dengan benar dan menganalisis perubahan entropi tanpa menjelaskan kaitannya dengan perubahan entropi pada proses ireversibel, sehingga siswa menjawab bahwa semua pernyataan betul kecuali pernyataan siswa satu karena mendapat hasil nol. Padahal pernyataan dari siswa 3 diperoleh perubahan entropi semesta negative dua, sehingga siswa menulis kesimpulan yang kurang tepat. Siswa tidak memahami konsep bahwa entropi sebagai fungsi keadaan, namun dipahami sebagai fungsi proses seperti usaha (Smith et al., 2015).

Berdasarkan analisis dan penjelasan kualitas argumentasi siswa pada setiap soal, rata-rata persentase kualitas level argumentasi siswa pada semua nomor soal adalah level 3 yaitu cukup kuat, dapat dilihat persentasenya pada gambar 12. Siswa dengan kualitas kemampuan argumentasi ilmiah cukup kuat menulis claim yang valid tetapi jawaban parsial, ide-ide yang ditulis cukup akurat untuk mendukung claim, hubungan antara claim dan bukti yang cukup baik, dan hubungan antar komponen argumentasi saling berkaitan namun beberapa penjelasan kurang ilmiah, terutama dalam membuat bagian rebuttal. Siswa fokus memecahkan masalah namun kesulitan menyanggah claim karena konsep termodinamika yang mereka ketahui terbatas pada soal yang dikerjakan dan tidak dapat menghubungkan dengan konsep-konsepnya. Selain itu topik termodinamika ini memang merupakan topik yang cenderung sulit untuk dipahami bagi siswa, karena selain terkesan abstrak, memahami konsep fisika dan matematisnya juga tantangan bagi siswa (Bain et al., 2014; Besson & De Ambrosis, 2014; Kapon et al., 2018).



Gambar 12. Rerata persentase frekuensi level argumentasi ilmiah siswa

Selain persentase pada level 3, siswa dengan level 2 juga hampir mendominasi. Siswa dengan kualitas argumentasi ilmiah pada level 2 atau lemah mempunyai ciri argumentasi seperti claim dan data tidak mencukupi, claim valid namun tidak ada bukti (data, warrant, dan backing) dan kesimpulan, menuliskan bukti namun tidak saling berkaitan antara bukti (data, warrant, dan backing) satu dan lainnya atau antara bukti dengan klaim, hubungan antara klaim, data, dan warrant masih lemah. Persentase siswa yang tidak menjawab atau tidak menuliskan argumentasi ilmiahnya hampir sama besar dengan persentase siswa pada level 1.

SIMPULAN

Pada penelitian ini menunjukkan bahwa nilai rata-rata yang diperoleh siswa pada tes argumentasi ilmiah adalah 46,54 dan termasuk dalam kategori sedang. Berdasarkan analisis siswa mempunyai rata-rata persentase argumentasi ilmiah pada level 3 atau kualitas cukup kuat. Selain itu, siswa dengan level 2 juga mempunyai persentase hampir sama besar dengan siswa pada level 3. Artinya, kualitas argumentasi siswa cukup kuat, namun didominasi juga oleh siswa yang mempunyai kualitas argumentasi ilmiah yang lemah. Soal yang sulit bagi siswa adalah soal nomor 1, karena siswa cenderung kesulitan menganalisis grafik dan menggunakan persamaan matematis yang sesuai. Bagaimanapun kemampuan siswa dalam argumentasi ilmiah ini perlu dilatih, karena 11% siswa tidak menjawab pertanyaan, 10% siswa berada pada level 1 atau argumentasi sangat lemah, 14% siswa berada pada level 4 atau argumentasi kuat, dan hanya 2% siswa berada pada level 5 atau argumentasi sangat kuat.

Berdasarkan hasil pembahasan dan analisis pada penelitian ini dapat digunakan sebagai dasar untuk merancang model pembelajaran sehingga dapat tercapai kualitas argumentasi ilmiah siswa pada topik termodinamika. Oleh karena itu, pembelajaran yang menggunakan model ADI untuk melatih argumentasi, autentik PBL melatih siswa belajar sesuai fenomena autentik, atau pendekatan STEM karena topik termodinamika sangat berkaitan dengan aspek-aspek pada STEM terutama pada aspek teknologi.

DAFTAR RUJUKAN

- Amin, T. G., Jeppsson, F., Haglund, J., & Strömdahl, H. (2012). Arrow of Time: Metaphorical Construals of Entropy and the Second Law of Thermodynamics. *Science Education*, 96(5), 818–848. <https://doi.org/10.1002/sce.21015>
- Arikunto, S. (2006). *Prosedur Penelitian: Suatu Pendekatan Praktek*. Rineka Cipta.
- Bain, K., Moon, A., Mack, M. R., & Towns, M. H. (2014). A Review of Research on the Teaching and Learning of Thermodynamics at the University Level. In *Chemistry Education Research and Practice* (Vol. 15, Issue 3, pp. 320–335). Royal Society of Chemistry. <https://doi.org/10.1039/c4rp00011k>
- Besson, U., & De Ambrosis, A. (2014). Teaching Energy Concepts by Working on Themes of Cultural and Environmental Value. *Science and Education*, 23(6), 1309–1338. <https://doi.org/10.1007/s11191-013-9592-7>
- Bezen, S., Aykutlu, I., & Bayrak, C. (2016). Conceptual Comprehension of Pre-Service Physics Teachers Towards 1st law of thermodynamics. *Journal of Turkish Science Education*, 13(1), 55–75. <https://doi.org/10.12973/tused.10157a>
- Bugarci, A., Colthorpe, K., Zimbardi, K., Su, H. W., & Jackson, K. (2014). The Development of Undergraduate Science Students' Scientific Argument Skills in Oral Presentations. *International Journal of Innovation in Science and Mathematics Education*, 22(5), 43–60.
- Cavagnetto, A. R. (2010). Argument to Foster Scientific Literacy: A Review of Argument Interventions in K-12 Science Contexts. *Review of Educational Research*, 80(3), 336–371. <https://doi.org/10.3102/0034654310376953>
- Christensen, W. M., Meltzer, D. E., & Ogilvie, C. A. (2009). Student Ideas Regarding Entropy and The Second Law of Thermodynamics in an Introductory Physics Course. *American Journal of Physics*, 77(10), 907–917. <https://doi.org/10.1119/1.3167357>
- Cigdemoglu, C., & Geban, O. (2015). Improving Students' Chemical Literacy Levels on Thermochemical and Thermodynamics Concepts Through a Context-Based Approach. *Chemistry Education Research and Practice*, 16(2), 302–317. <https://doi.org/10.1039/c5rp00007f>
- Cochran, M. J., & Heron, P. R. L. (2006). Development and Assessment of Research-Based Tutorials on Heat Engines and The Second Law Of thermodynamics. *American Journal of Physics*, 74(8), 734–741. <https://doi.org/10.1119/1.2198889>
- Dawson, V., & Venville, G. J. (2009). High-School Students' Informal Reasoning and Argumentation about Biotechnology: An Indicator of Scientific Literacy? *International Journal of Science Education*, 31(11), 1421–1445. <https://doi.org/10.1080/09500690801992870>
- Demirbag, M. (2014). Integrating Argument-Based Science Inquiry with Modal Representations: Impact on Science Achievement, Argumentation, and Writing Skills. *Educational Sciences: Theory & Practice*, 14(1), 386–391. <https://doi.org/10.12738/estp.2014.1.1632>
- Digambar, V., Hutatma, K., Mahavidyalay, R., Savaleram, P., & Prof, T. (2013). Assessing the Conceptual Understanding about Heat and Thermodynamics at Undergraduate Level. In *European Journal of Physics Education* (Vol. 4).

- Dreyfus, B. W., Geller, B. D., Meltzer, D. E., & Sawtelle, V. (2015). Resource Letter TTSM-1: Teaching Thermodynamics and Statistical Mechanics in Introductory Physics, Chemistry, and Biology. *American Journal of Physics*, 83(1), 5–21. <https://doi.org/10.1119/1.4891673>
- Duschl, R. (2008). Science Education in Three-Part Harmony: Balancing Conceptual, Epistemic, and Social Learning Goals. *Review of Research in Education*, 32, 268–291. <https://doi.org/10.3102/0091732X07309371>
- Erduran, S., Osborne, J., & Simon, S. (2005). *The Role of Argumentation in Developing Scientific Literacy*.
- Erduran, S., & Villamanan, R. (2009). Cool Argument: Engineering Students' Written Arguments about Thermodynamics in the Context of the Peltier Effect in Refrigeration. *Educación Química*, 20(2), 119–125. [https://doi.org/10.1016/s0187-893x\(18\)30018-1](https://doi.org/10.1016/s0187-893x(18)30018-1)
- Goedhart, M. J., & Kaper, W. (2002). *Chapter 15 from Chemical Energetics To Chemical Thermodynamics*.
- Gunawan, G., Harjono, A., Sahidu, H., Herayanti, L., Suranti, N. M. Y., & Yahya, F. (2019). Using Virtual Laboratory to Improve Pre-service Physics Teachers' Creativity and Problem-Solving Skills on Thermodynamics Concept. *Journal of Physics: Conference Series*, 1280(5). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1280/5/052038>
- Heng, L. L., Surif, J., & Seng, C. H. (2015). Malaysian Students' Scientific Argumentation: Do groups perform better than individuals? *International Journal of Science Education*, 37(3), 505–528. <https://doi.org/10.1080/09500693.2014.995147>
- Jönsson, A. (2016). Student performance on argumentation task in the Swedish National Assessment in science. *International Journal of Science Education*, 38(11), 1825–1840. <https://doi.org/10.1080/09500693.2016.1218567>
- Kapon, S., Laherto, A., & Levrini, O. (2018). Disciplinary authenticity and personal relevance in school science. *Science Education*, 102(5), 1077–1106. <https://doi.org/10.1002/sce.21458>
- Kuhn, L., & Reiser, B. (n.d.). *Scientific Explanations Students Constructing and Defending Evidence-Based Scientific Explanations*.
- Levrini, O., Fantini, P., Pecori, B., & Tasquier, G. (2014). Forms of Productive Complexity as Criteria for Educational Reconstruction: The Design of a Teaching Proposal on Thermodynamics. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 116, 1483–1490. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.01.421>
- Lin, S. S., & Mintzes, J. J. (2010). Learning Argumentation Skills Through Instruction In Socioscientific Issues: The Effect Of Ability Level. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 8(6), 993–1017. <https://doi.org/10.1007/s10763-010-9215-6>
- Malgieri, M., Onorato, P., Valentini, A., & De Ambrosis, A. (2016). *Improving the Connection between The Microscopic and Macroscopic Approaches to Thermodynamics in High School*. <http://iopscience.iop.org/0031-9120/51/6/065010>
- 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 of Physics*, 72(11), 1432–1446. <https://doi.org/10.1119/1.1789161>
- Mulop, N., Yusof, K. M., & Tasir, Z. (2012). A Review on Enhancing the Teaching and Learning of Thermodynamics. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 56, 703–712. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.09.706>
- Nababan, N. P., Nasution, D., & Jayanti, R. D. (2019). The Effect of Scientific Inquiry Learning Model and Scientific Argumentation on the Students' Science Process Skill. *Journal of Physics: Conference Series*, 1155(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1155/1/012064>
- Perdana, R., Jumadi, J., & Rosana, D. (2019). Relationship between Analytical Thinking Skill and Scientific Argumentation Using PBL with Interactive CK 12 Simulation. *International Journal on Social and Education Sciences*, 1(1). <https://interactives.ck12.org/simulations/physics.html>
- PISA. (2019). *PISA 2018 Results (Volume I): Vol. I*. <https://doi.org/10.1787/5f07c754-en>
- 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, 168–171. <https://doi.org/10.1063/1.2820924>
- Pratiwi, S. N., Cari, C., Aminah, N. S., & Affandy, H. (2019). Problem-Based Learning with Argumentation Skills to Improve Students' Concept Understanding. *Journal of Physics: Conference Series*, 1155(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1155/1/012065>
- Rachmatya, R., & Supardiyono, N. (2020). The Correlation Of Scientific Argumentation and Critical Thinking on Global Warming Materials in SMAN 19 Surabaya. *IPF: Inovasi Pendidikan Fisika*, 09(02).
- Saricayir, H., Ay, S., Comek, A., Cansiz, G., & Uce, M. (2016). Determining Students' Conceptual Understanding Level of Thermodynamics. *Journal of Education and Training Studies*, 4(6). <https://doi.org/10.11114/jets.v4i6.1421>
- Serway, R. A., & Jewett, J. W. (2013). *Physics for Scientists and Engineers 9th (ninth) Edition*. Cengage Learning.
- Sinensis, A. R., Firman, H., Hamidah, I., & Muslim, M. (2019). Reconstruction of collaborative problem solving based learning in thermodynamics with the aid of interactive simulation and derivative games. *Journal of Physics: Conference Series*, 1157(3). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1157/3/032042>

- Smith, T. I., Christensen, W. M., Mountcastle, D. B., & Thompson, J. R. (2015). Identifying Student Difficulties with Entropy, Heat Engines, and the Carnot Cycle. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 11(2). <https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.11.020116>
- Smith, T. I., Christensen, W. M., & Thompson, J. R. (2009). Addressing Student Difficulties with Concepts Related to Entropy, Heat Engines and the Carnot Cycle. *AIP Conference Proceedings*, 1179, 277–280. <https://doi.org/10.1063/1.3266735>
- Toulmin, S. E. (2003). *The uses of argument*. Cambridge University Press.
- Tsai, C. Y. (2015). Improving Students' PISA Scientific Competencies Through Online Argumentation. *International Journal of Science Education*, 37(2), 321–339. <https://doi.org/10.1080/09500693.2014.987712>
- Wang, J., & Buck, G. A. (2016). Understanding a High School Physics Teacher's Pedagogical Content Knowledge of Argumentation. *Journal of Science Teacher Education*, 27(5), 577–604. <https://doi.org/10.1007/s10972-016-9476-1>
- Wattanakasiwich, P., Taleab, P., Sharma, M. D., & Johnston, I. D. (2013). Development and Implementation of A Conceptual Survey in Thermodynamics. *International Journal of Innovation in Science and Mathematics Education*, 21(1), 29–53.