



**(Engineering Design Process pada STEM melalui Authentic PBL dan
Asesmen Formatif : Meninjau Desain Argumentasi Ilmiah Siswa
Terkait Termodinamika)**

Oktavianus Deke ^{1*}, Aurelia Astria L. Jewaru ², Yohanis Umbu Kaleka³

¹ Pendidikan IPA, Universitas Katolik Weetebula

² Pendidikan IPA, Universitas Katolik Weetebula

³ Pendidikan Fisika, Universitas Katolik Weetebula

Article History:

Received: September 20th, 2022

Accepted: October 02nd, 2022

Published: October 28th, 2022

Abstract

Penelitian ini bertujuan untuk menggali kemampuan argumentasi ilmiah siswa pada materi Termodinamika melalui EDP-authentic PBL dan asesmen formatif. Metode yang digunakan yaitu mixed method dengan sampel 32 siswa kelas XI IPA di Sumba Barat (NTT). Instrumen tes Argumentasi Ilmiah terdiri dari 5 butir soal essay dengan reliabilitas 0,728. Analisis kuantitatif berdasarkan data pretest dan posttest menggunakan uji Paired Samples Test, N-gain, dan effect size. Data kualitatif dari hasil jawaban siswa, wawancara dan observasi. Argumentasi ilmiah siswa dikategorikan berdasarkan level 1 (sangat lemah), level 2 (lemah), level 3 (cukup kuat), level 4 (kuat), dan level 5 (sangat kuat). Hasil kemampuan argumentasi ilmiah siswa menunjukkan peningkatan yang signifikan, dengan N-gain = 0,60 (kategori sedang), dan effect size = 3,86 (kategori kuat). Rata-rata tingkat argumentasi ilmiah siswa dari sangat lemah (pretest) menjadi cukup kuat (posttest). Selain itu, siswa masih mengalami kesulitan dalam membuat komponen-komponen argumentasi saling berkaitan. Penelitian selanjutnya sebaiknya menambahkan aspek "Seni" dan "Agama", menjadi pendekatan STREAM dalam upaya membangun kemampuan argumentasi ilmiah yang lebih baik.

Kata Kunci: *engineering design process, authentic PBL, asesmen formatif argumentasi ilmiah, termodinamika.*

Copyright © 2022 Oktavianus Deke, Aurelia Astria

* **Correspondence Address:**

Email Address: aureliaastrid27@gmail.com

A. Pendahuluan

Termodinamika banyak dipelajari dalam bidang fisika, kimia, teknologi, dan engineering (Erduran & Villamanan, 2009; Kruatong et al., 2006; Ugursal & Cruickshank, n.d.; Wattanakasiwich et al., 2013), karena berkaitan dengan kegiatan-kegiatan ilmiah dan science (Erduran & Villamanan, 2009; Goedhart & Kaper, 2002; S. S. Lin & Mintzes, 2010). Siswa yang mempelajari konsep termodinamika sering mengkonseptualisasikan atau berargumentasi ke arah yang salah (Brookes & Etkina, 2015; Meltzer, 2004). Hal ini disebabkan oleh beberapa tantangan yang dialami siswa pada teori termodinamika, seperti konsepnya yang terkesan abstrak, sulit dipahami, serta miskonsepsi dengan makna-makna yang terkandung di dalamnya (Cox et al., 2003; Goedhart & Kaper, 2002; Mulop et al., 2012; Sreenivasulu et al., 2013). Pada konsep hukum pertama termodinamika siswa kesulitan menerapkan pemecahan masalah. Selain itu, terjadi miskonsepsi terkait makna energi, transformasi energi dan konservasi energi (Bezen et al., 2016; Gunawan et al., 2019), serta memahami perbedaan antara panas, energi, dan suhu ((Nottis et al., 2010). Walaupun siswa telah berhasil menyelesaikan tugas yang relevan, namun masih kesulitan memahami konsep-konsep pada materi Fisika (Nottis et al., 2010).

Kesulitan siswa dalam memahami konsep fisika seperti termodinamika ini dipengaruhi oleh literasi sains yang masih rendah (R. Duschl, 2008; Heng et al., 2015; PISA, 2019). Literasi sains yang rendah dipengaruhi oleh peran argumentasi ilmiah di dalamnya (Erduran & Villamanan, 2009; Jönsson, 2016). Dalam penelitian Tsai (2015) menemukan bahwa dengan argumentasi dapat meningkatkan literasi sains siswa pada kompetisi sains PISA. Namun sistem pendidikan di sekolah lebih fokus pada ujian dan berorientasi pada instruksi dari guru. Waktu yang dimanfaatkan untuk membahas gagasan ilmiah dan menafsirkan temuan dari sebuah eksperimen tidak mencukupi, sehingga kegiatan argumentatif seperti presentasi, diskusi, sesi tanya jawab tentang ide-ide yang diperoleh jarang dilakukan, akhirnya berorientasi pada guru yang menjelaskan (Heng et al., 2015; Sampson & Clark, 2011). Pembelajaran yang bersifat instruksi dari guru mengakibatkan siswa untuk menghafal fakta ilmiah saja (Sam & George Tan, 2011), sehingga tidak membantu berkembangnya argumentasi ilmiah siswa. Dengan begitu perlu untuk melatih kemampuan argumentasi ilmiah siswa di dalam kelas.

Argumentasi ilmiah dapat diartikan sebagai proses membangun suatu penjelasan melalui pembelajaran argumentasi dimana setiap siswa mempertahankan pendapatnya dan merespon pendapat orang lain dengan menggunakan bukti-bukti yang diperolehnya (Wang & Buck, 2016). Ketika argumentasi ilmiah dijadikan salah satu bagian dalam pembelajaran, maka dapat menavigasi pemahaman siswa tentang fenomena alam menuju penjelasan ilmiah yang lebih koheren (Chen et al., 2019; Faize et al., 2018). Kemampuan argumentasi ilmiah ini juga dapat meningkatkan kemampuan lain seperti kemampuan berkomunikasi, pemahaman otentik, fenomena yang bermakna (Chen et al., 2019; Wang & Buck, 2016).

Aspek-aspek dalam argumentasi ilmiah seperti bukti pada data, warrant, backing, dan kesimpulan pada qualifier dan rebuttal harus sesuai teori ilmiah dan saling mendukung untuk memperkuat claim (Dawson & Venville, 2009; Nababan et al., 2019;

Pateliya et al., 2013). Namun aspek-aspek tersebut jarang dilatih saat pembelajaran karena waktu untuk membahas gagasan ilmiah dan menafsirkan temuan dari sebuah eksperimen sangat sedikit sehingga berorientasi pada Guru (Heng et al., 2014, 2015). Selain itu, kegiatan argumentatif seperti presentasi, diskusi, sesi tanya jawab tentang ide-ide dapat melatih argumentasi ilmiah namun jarang dilakukan, akhirnya berorientasi pada guru yang menjelaskan (Faize et al., 2018; Heng et al., 2014). Siswa tidak dapat mengembangkan pengetahuan dan keterampilan berargumentasi di sekolah karena siswa tidak mempunyai kesempatan untuk mempelajari praktik-praktik otentik (R. A. Duschl, 2007; Sampson & Clark, 2011).

Beberapa penelitian sebelumnya telah membahas untuk mengatasi permasalahan terkait argumentasi ilmiah sebagai berikut, (1) pembelajaran berbasis masalah dapat membantu meningkatkan kemampuan argumentasi ilmiah siswa (Duda et al., 2019; Jumadi et al., 2021; Perdana et al., 2019; Pratiwi et al., 2019); (2) Pendekatan integrasi disiplin STEM memberikan peningkatan pada argumentasi ilmiah siswa dalam pembelajaran (Farach et al., 2021; Gulen & Yaman, 2019; Köngül & Yıldırım, 2021); (3) menggunakan kombinasi PBL-STEM dengan asesmen formatif dapat membantu meningkatkan kemampuan pemecahan masalah (Alfiana et al., 2021) dan literasi sains siswa (Aulia et al., 2021).

Berdasarkan penelitian-penelitian sebelumnya masih kurang dalam beberapa hal yaitu, (1) Proses pembelajaran belum melibatkan permasalahan yang autentik, (2) Proses pembelajaran sudah menggunakan kombinasi model pembelajaran dan pendekatan STEM serta penilaian formatif, namun tidak ditinjau dari permasalahan argumentasi ilmiah siswa yang masih rendah (3) Penelitian (Erduran & Villamanan, 2009) yang membahas argumentasi ilmiah pada termodinamika lebih spesifik membahas pada topik efek petlier saja dan sampel penelitian adalah mahasiswa teknik. Belum ada yang membahas bagaimana argumentasi ilmiah itu sendiri pada topik termodinamika yang meliputi seluruh sub topik dan menggunakan sampel penelitian siswa di tingkat sekolah menengah atas. Dapat disimpulkan bahwa dalam menangani permasalahan argumentasi ilmiah siswa pada materi termodinamika yang masih rendah, masih jarang yang menerapkan kombinasi model pembelajaran dan pendekatan pembelajaran serta penilaian untuk membantu proses pembelajaran.

Berdasarkan kurikulum sains masa ini menunjukkan bahwa pengetahuan ilmiah siswa meliputi hubungan antara sains, teknologi, masyarakat, dan lingkungan, dimana keempat hal ini harus dimasukkan dalam proses pembelajaran (Ryu et al., 2019; Yuenyong & Narjaikaew, 2009). Selain itu, reformasi pendidikan membutuhkan pendekatan scientific dimana dapat membantu dunia teknologi yang terus berkembang saat ini (Psycharis, 2016). Begitu pula dengan pembelajaran fisika, dimana ilmu fisika sangat erat kaitannya dengan tekonologi seperti teknologi dalam pemanasan dan penerangan (Hwang et al., 2015). Dengan demikian pendekatan pembelajaran fisika yang dapat melatih siswa untuk mengaplikasikan ilmunya dalam perkembangan teknologi adalah pembelajaran STEM (Ryu et al., 2019).

Pendekatan STEM banyak dikombinasikan dengan model pembelajaran lain, seperti STEM-PjBL (Hanif et al., 2019; Samsudin et al., 2020), STEM-PBL (Tawfik et al., 2013), dan STEM melalui Engineering Design Process (English et al., 2017; Nurtanto et al., 2020). Pendekatan STEM melatih siswa untuk belajar bagaimana menyelesaikan masalah dengan menghubungkan antara konten dan praktik dimana termasuk di dalam

argumentasi ilmiah (Ryu et al., 2019). STEM dalam pembelajaran fisika membantu siswa untuk meningkatkan kemampuan berpikir kritis, terampil memecahkan masalah, keterampilan komunikasi, kolaborasi, kreativitas, keterampilan penemuan, teknologi, dan tugas berbasis proyek (Bao et al., 2019). Keterampilan-keterampilan inilah yang membantu siswa dalam meningkatkan argumentasi ilmiah di dalam kelas. Salah satu aspek penting dari pembelajaran STEM adalah engineering (Lin et al., 2018). Guru diharapkan untuk menekankan pendidikan STEM melalui engineering design process dalam proses pembelajaran di dalam kelas (Yu et al., 2020). Faktanya sebagian besar guru masih belum mengetahui cara efektif untuk mengimplementasikan desain engineering dalam pembelajaran IPA (Schnittka, 2012). Implementasi yang sukses dari dua atau lebih disiplin STEM tergantung pada konsep atau praktik otentik sebagai jembatan untuk menumbuhkan penguasaan konsep dan kemampuan memecahkan masalah (Hallström & Schönborn, 2019). Dengan demikian, penggunaan pendekatan engineering design process (EDP) dalam materi termodinamika membutuhkan model pembelajaran yang autentik, karena termodinamika sangat banyak pemanfaatannya dalam kehidupan sehari-hari (Bezen et al., 2016; Kapon et al., 2018).

Pembelajaran autentik merupakan pembelajaran yang memiliki banyak manfaat untuk mengembangkan kemampuan berpikir siswa dalam pemecahan masalah (Herrington, 2006). Fokus aPBL adalah penyelesaian masalah autentik seperti yang terjadi dalam kehidupan sehari-hari. Masalah autentik (Lombardi & Oblinger, 2007) merupakan masalah dalam kehidupan sehari-hari (real life), konteks bermakna (meaningful context) dan praktik terkini (current practice). Konteks yang bermakna selalu berangkat dari berbagai persoalan yang secara nyata ditemukan, dibutuhkan, atau ditemukan penyelesaiannya dalam kehidupan. Masalah harus dirancang yang meliputi, keaslian, masalah pembelajaran terkini, aktivasi pengetahuan sebelumnya, kualitas pembelajaran mandiri, dan isyarat masalah (Stanton & McCaffrey, 2010). Pembelajaran berbasis masalah autentik dapat melatih kemampuan argumentasi ilmiah siswa pada materi termodinamika, karena konsep dan fenomenanya banyak digunakan dalam kehidupan real. Sehingga pembelajaran dengan masalah-masalah autentik atau autentik PBL efektif digunakan dalam topik termodinamika. Proses pembelajaran dengan masalah autentik membantu tercapainya tujuan argumentasi ilmiah siswa yang lebih baik (Jiménez, 2007; Passmore & Svoboda, 2012).

Penggunaan autentik PBL-STEM untuk agumentasi ilmiah dan keterampilan proses sains pada materi termodinamika ini terkesan sedikit rumit, karena guru membutuhkan alat penilaian untuk menata semua proses pembelajaran dan aktivitas yang dilakukan siswa (Harlen & Gardner, 2010; Windschitl et al., 2012). Dalam membantu siswa dengan pembelajaran engineering design process pada STEM melalui authentic PBL, maka asesmen formatif akan efektif untuk dimasukkan dalam proses pembelajaran (Andersson & Palm, 2017b; Y. Lee et al., 2019). Asesmen formatif berfokus pada peningkatan pembelajaran siswa daripada evaluasi siswa pada akhir pembelajaran, maka istilah lain yang sering digunakan yaitu penilaian untuk pembelajaran (Andersson & Palm, 2017b; Box, 2019). Tujuan penilaian formatif adalah untuk meningkatkan pembelajaran, dan biasanya dalam bentuk umpan balik untuk membantu guru membuat instruksi dan membantu siswa belajar lebih baik (Chng & Lund, 2018).

Penelitian ini menerapkan pembelajaran engineering design process pada STEM melalui authentic PBL dan asesmen formatif untuk meninjau kualitas desain argumentasi ilmiah siswa pada materi termodinamika. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis bagaimana kualitas desain argumentasi ilmiah siswa yang menggunakan pembelajaran engineering design process pada STEM melalui authentic PBL dan asesmen formatif.

B. Tinjauan Pustaka

Karakteristik Materi Termodinamika

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).

Pembelajaran yang menggunakan pendekatan teknologi sangat cocok untuk digunakan dalam materi ini karena penerapannya dalam berbagai dunia teknologi, sehingga pendekatan STEM sesuai untuk digunakan. Pendidikan STEM adalah pendekatan pedagogis di mana masalah dunia nyata ditangani, sehingga siswa dapat menerima stimulus untuk belajar (Bagiati & Evangelou, 2015). Agar STEM dapat diterapkan dengan baik dibutuhkan kombinasi dengan model pembelajaran yang berbasis masalah autentik, yaitu autentik PBL.

Materi termodinamika ini terdapat dalam kurikulum 2013 revisi tahun 2019 untuk jenjang SMA pada materi semester genap. Pada materi termodinamika berisi tentang sub materi yang terdiri dari, (1) Usaha pada proses-proses termodinamika, (2) Hukum I Termodinamika, (3) Hukum II Termodinamika.

Argumentasi ilmiah

Argumentasi ilmiah merupakan proses pembentukan suatu pernyataan ilmiah yang digunakan untuk menjelaskan suatu fenomena atau memecahkan suatu masalah berdasarkan beberapa bukti yang telah dievaluasi secara ilmiah. Argumentasi ilmiah secara umum terdiri dari klaim, bukti dan penalaran (Sampson & Clark, 2011; Toulmin, 2003). Jika dijabarkan terdiri dari enam komponen, yaitu claim, data, warrant, backing, qualifier, dan rebuttal.

Authentic Problem Based Learning (authentic PBL)

Pembelajaran autentik merupakan pembelajaran yang memiliki banyak manfaat untuk mengembangkan kemampuan berpikir siswa dalam pemecahan masalah (Herrington, 2006). Fokus aPBL adalah penyelesaian masalah autentik seperti yang terjadi dalam kehidupan sehari-hari. Masalah autentik (Lombardi & Oblinger, 2007) merupakan masalah dalam kehidupan sehari-hari (real life), konteks bermakna (meaningful context) dan praktik terkini (current practice). Konteks yang bermakna

selalu berangkat dari berbagai persoalan yang secara nyata ditemukan, dibutuhkan, atau ditemukan penyelesaiannya dalam kehidupan. Masalah harus dirancang yang meliputi, keaslian, masalah pembelajaran terkini, aktivasi pengetahuan sebelumnya, kualitas pembelajaran mandiri, dan isyarat masalah (Stanton & McCaffrey, 2010).

Engineering Design Process

Proses *engineering* atau teknik merupakan penerapan konsep, matematis, untuk menyelesaikan masalah yang kompleks dalam bentuk desain teknologi, terdapat batasan terkait waktu, uang, alat, bahan, dan pertimbangan lingkungan (Capraro & Jones, 2013). Komponen *engineering* meliputi identifikasi masalah, mengumpulkan informasi, mengembangkan beberapa kemungkinan solusi, memilih solusi terbaik, mendesain dan membuat, menguji, memperbaiki, dan menilai (Barroso, 2016). Beberapa penelitian menunjukkan dampak pembelajaran yang mengintegrasikan aspek *engineering* antara lain dapat mendukung keberhasilan dalam membentuk generasi abad 21, salah satunya mampu bersaing di dunia kerja, meningkatkan kemampuan pemecahan masalah, penguasaan konsep, berpikir interdisipliner dan memiliki pemikiran yang terbuka (Capraro & Jones, 2013; Psycharis, 2016). Adapun langkah atau sintaks pada *engineering design process* (Science Buddies, 2012) yaitu, 1) *Identification of a Problem or Needs Statement*; 2) *Do Background research*; 3) *Specify requirements in an Engineering Design Challenge*; 4) *Create Alternative Solutions, Choose the Best one and Develop it*; 5) *Build a Prototype*; 6) *Test and Redesign as Necessary*; 7) *Communicate Results*.

C. Metode Penelitian

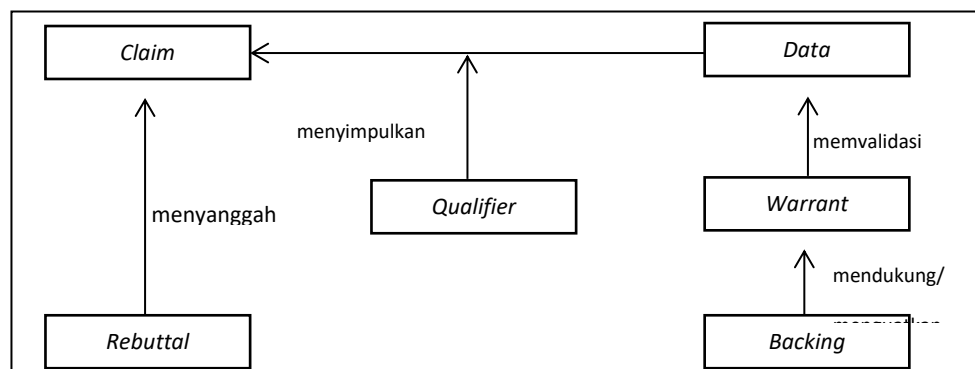
Penelitian ini menggunakan mixed method yang menggabungkan metode kuantitatif dan kualitatif. Desain yang digunakan adalah embedded experimental design (Creswell, 2012). Sampel penelitian dipilih secara purposive sampling di kelas XI IPA dengan jumlah sampel 32 siswa. Kelas eksperimen ini menggunakan model pembelajaran *engineering design process* pada STEM melalui authentic PBL dan asesmen formatif. Instrumen yang digunakan untuk pengumpulan data kuantitatif menggunakan tes essay argumentasi ilmiah sebanyak lima item pertanyaan. Data kualitatif menggunakan hasil variasi jawaban siswa, wawancara, dan observasi. Penelitian diawali dengan pemberian pretest essay argumentasi ilmiah pada siswa dilanjutkan dengan pengumpulan data kualitatif melalui wawancara. Pretest dan wawancara dilakukan sebelum diterapkan pembelajaran, sedangkan selama pembelajaran berlangsung akan diobservasi oleh pengamat yaitu guru, untuk melihat bagaimana implementasi pembelajaran di dalam kelas. Setelah semua proses pembelajaran berakhir siswa melakukan posttest dan wawancara.

Adapun langkah atau sintaks pada *engineering design process* atau EDP (Dantsker & Mancuso, 2019; King & English, 2016; Marulcu & Barnett, 2013) yaitu, 1) *Identification of a Problem or Needs Statement*; 2) *Do Background research*; 3) *Specify requirements in an Engineering Design Challenge*; 4) *Create Alternative Solutions, Choose the Best one and Develop it*; 5) *Build a Prototype*; 6) *Test and Redesign as Necessary*; 7) *Communicate Results*. Sedangkan langkah-langkah authentic PBL

(Barrows & Lynda, 2007; Yuliati et al., 2018) terdiri dari 1) orientasi (Orientation); 2) menemukan masalah (Encountering The Problem); 3) menyelesaikan masalah pembelajaran (Tackling The Learning Issues); 4) menyatakan dan menilai kembali masalah (Reiterating and Reassessing The Problem); 5) membuat ringkasan dan pengetahuan abstrak (Summarizing and Knowledge Abstraction); 6) melakukan evaluasi diri dan kelompok (Evaluating Self and Group); 7) melakukan evaluasi guru (Evaluating Tutor).

Tes essay argumentasi ilmiah diadaptasi dari berbagai literatur (Cochran & Heron, 2006; Meltzer, 2004; Serway & Jewett, 2013; Smith et al., 2009), kemudian diuji coba kepada 78 siswa sekolah menengah atas kelas XII IPA. Diperoleh hasil reliabilitas instrumen adalah 0,728, dimana termasuk dalam kategori tinggi. Hasil data kuantitatif pada pretest dan posttest pada kedua kelas eksperimen dianalisis menggunakan uji beda Paired Samples Test, N-gain, dan d-effect size. Data kualitatif diperoleh berdasarkan hasil variasi jawaban, wawancara, dan observasi, kemudian dianalisis dengan mereduksi data, pengkodean, dan penarikan kesimpulan.

Komponen argumentasi diadaptasi dari Sampson (2011) dan Toulmin (2003) yang terdiri dari claim, data, warrant, qualifier, dan rebuttal. Kriteria kemampuan argumentasi ilmiah siswa dibagi menjadi lima level, 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; Rachmatya & Supardiyono, 2020; Toulmin, 2003). Kerangka argumentasi ilmiah dapat dilihat pada gambar 1. Argumentasi ilmiah siswa pada termodinamika terdiri dari beberapa sub topik pembahasan, yaitu usaha pada proses-proses termodinamika, hukum I termodinamika, dan hukum II termodinamika.



Gambar 1. Kerangka Argumentasi Ilmiah

D. Hasil dan Pembahasan

Data hasil pretest dan posttest argumentasi ilmiah siswa dianalisis secara kuantitatif melalui statistic deskriptif dan uji beda menggunakan uji paired samples test karena data pretest dan posttest terdistribusi normal. Selain itu, menghitung nilai pengaruh menggunakan n-gain dan d-effect size. Hasil analisis ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil pre-test dan post-test argumentasi ilmiah siswa

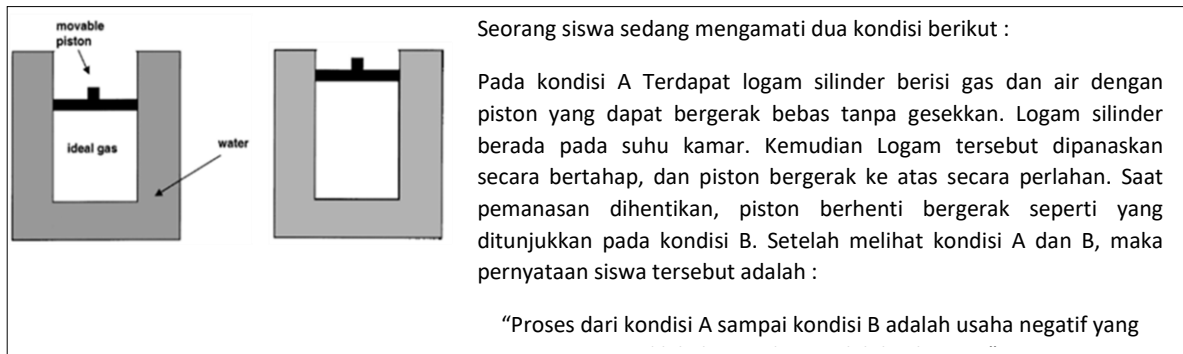
Statistik	Pretest	Posttest	Uji Paired Samples Test	N-gain	d-effect size
Total siswa	32	32	0,000	0,60	3.86
Minimum	8.00	32.00	(signifikan)	(kategori sedang)	(kategori kuat)
Maksimum	32.00	88.00			
Rata-rata	21.13	66.88			

Berdasarkan hasil pada tabel 1, nilai rata-rata kemampuan argumentasi ilmiah siswa antara pretest dan posttest mengalami peningkatan. Hasil uji paired samples test menunjukkan taraf signifikan 0,000, artinya terdapat perbedaan yang signifikan pada nilai kemampuan argumentasi ilmiah siswa antara pretest dan posttest. Sedangkan untuk mengetahui peningkatan hasil kemampuan argumentasi ilmiah siswa antara pretest dan posttest diperoleh berdasarkan hasil uji n-gain yaitu 0,60 dengan kategori sedang. Hal ini berarti terjadi peningkatan kemampuan argumentasi ilmiah siswa akibat pemberian pembelajaran engineering design process melalui authentic PBL dan asesmen formatif dengan kategori sedang. Selain itu untuk mengetahui efektivitas pemberian eksperimen atau pembelajaran dapat dilihat pada hasil uji d-effect size. Hasil uji d-effect size diperoleh 3,86 dan termasuk dalam kategori kuat. Dapat disimpulkan bahwa kombinasi pembelajaran engineering design process melalui authentic PBL dan asesmen formatif dapat meningkatkan kemampuan argumentasi ilmiah siswa pada materi termodinamika. Hal ini didukung dengan hasil penelitian bahwa pembelajaran berbasis masalah dapat membantu meningkatkan kemampuan argumentasi ilmiah siswa (Choden, 2020; Pratiwi et al., 2019; Purwati, 2019; Soekisno et al., 2015; Stark et al., 2015).

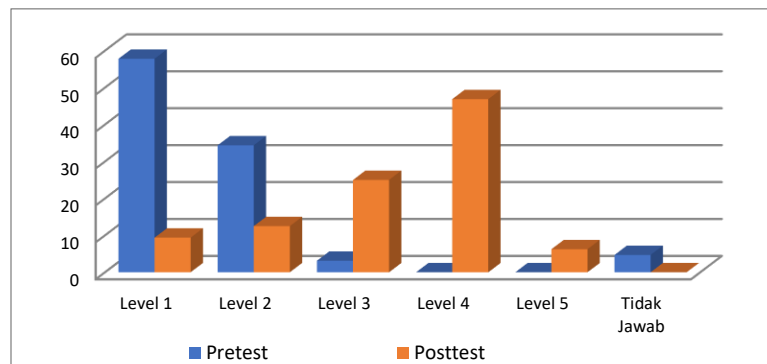
Fokus authentic PBL adalah penyelesaian masalah autentik seperti yang terjadi dalam fenomena kehidupan sehari-hari (Barrows & Lynda, 2007). Authentic PBL dirancang untuk menyediakan pengetahuan dan kemampuan yang dibutuhkan untuk dunia kerja (Woods, 2012), kemampuan untuk terus menerus belajar yang diperlukan dalam menyelesaikan permasalahan baru dan tantangan-tantangan, serta memiliki kemampuan yang terus berkembang (Barrows & Lynda, 2007). Sehingga, model pembelajaran authentic PBL sesuai jika dikombinasikan dengan pendekatan EDP dimana membantu siswa untuk menganalisis masalah kompleks selama proses belajar berdasarkan kemajuan teknologi saat ini atau dunia kerja di abad 21 (Fan & Yu, 2017; Motyl et al., 2017; Mourtos, 2015). Pembelajaran dengan pendekatan STEM dimana terdapat aspek EDP di dalamnya dapat membantu meningkatkan kemampuan siswa dalam proses argumentasi ilmiah (Butler et al., 2014; Capraro & Jones, 2013; Ryu et al., 2019). Untuk memperkuat pembelajaran dikombinasi dengan asesmen formatif sebagai alat atau media sehingga tercapainya proses dan hasil belajar yang lebih baik (Black & Wiliam, 1998; Box, 2019).

Subbab Usaha pada Proses-Proses Termodinamika

Pertanyaan berikut adalah salah satu pertanyaan mengenai usaha pada proses-proses termodinamika, diadaptasi dari (Meltzer, 2004) yang dapat dilihat pada gambar 2. Pada soal tersebut yang ditunjukkan pada gambar 1, siswa harus memahami dengan baik bagaimana bentuk usaha pada gas ideal dan bagaimana usaha yang terjadi. Siswa diminta untuk mengoreksi pernyataan yang salah pada pertanyaan tersebut, lalu menjelaskan argumentasinya secara ilmiah. Kalkulasi persentase jawaban siswa pada hasil pretest dan posttest ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 2. Pertanyaan subbab usaha pada proses-proses termodinamika



Gambar 3. Persentase frekuensi pretest dan posttest level argumentasi ilmiah siswa untuk subbab usaha pada proses termodinamika

Gambar 3 tersebut menunjukkan bahwa pada saat pretest, siswa dominan menjawab pertanyaan pada level 1 yang dikategorikan sangat lemah. Kemampuan argumentasi ilmiah siswa sebelum diberikan pembelajaran EDP-authentic PBL dan asesmen formatif masih sangat lemah. Level tertinggi siswa saat pretest hanya mencapai level 3 atau dikategorikan menjadi argumentasi cukup kuat dengan persentase hanya 3,13%. Hasil wawancara pada siswa level 3 memberikan pernyataan bahwa, “secara logika gas ideal itu membuat piston terangkat ke atas artinya gas melakukan usaha pada lingkungannya sehingga dapatlah usaha positif, namun konsepnya saya tidak paham, bu.” Siswa cenderung memahami konsep singkat atau berupa hafalan saja, mereka tidak memahami bagaimana sebenarnya usaha menjadi positif atau negatif saat terjadi perubahan volume. Jawaban yang diberikan tidak ilmiah atau bukti-bukti yang diberikan tidak lengkap akan menyebabkan siswa tidak dapat

membuat kesimpulan atau mengembangkan pendapat lain untuk mendapatkan argumentasi yang lebih ilmiah (Rachmatya & Supardiyono, 2020). Siswa lain pada level 1 dan level 2 belum mampu membuat argumentasi ilmiah dengan baik. Jawaban argumentasi ilmiah siswa pada subbab usaha dan proses-proses termodinamika dikategorikan berdasarkan kriteria-kriteria argumentasi ilmiah pada tabel 2.

Tabel 2. Kriteria argumentasi ilmiah siswa subbab usaha pada proses-proses termodinamika

Level	Kriteria Argumentasi Ilmiah	Pre (%)	Post (%)
1	Claim tidak sesuai konteks yang ditanyakan	15.63	0.00
	Claim tidak akurat dan tidak menuliskan bukti (data, warrant, dan backing)	32.81	3.13
	Claim yang tidak akurat, atau bukti dan kesimpulan tidak akurat	9.38	1.56
	Total persentase level 1	57.82	4.69
2	Claim valid namun tidak ada bukti (data, warrant, dan backing) dan kesimpulan	10.94	3.13
	Menuliskan bukti namun tidak saling berkaitan antara bukti (data, warrant, dan backing) satu dan lainnya, atau antara bukti dengan claim	18.75	1.56
	Hubungan antara claim, data, dan warrant masih lemah	4.69	7.81
	Total persentase level 2	34.38	12.50
3	Claim valid tapi jawaban parsial, dan Ide-idenya cukup akurat untuk mendukung claim	-	6.25
	Hubungan antara claim dan bukti yang cukup bagus	-	15.63
	Hubungan antar komponen saling berkaitan namun beberapa penjelasan kurang ilmiah	3.13	1.56
	Total persentase level 3	3.13	25.00
4	Claim tersebut valid, datanya kuat, serta bukti lain cukup baik	-	12.50
	Hubungan antara claim dan bukti yang baik	-	18.75
	Hubungan antar komponen yang kuat	-	15.63
	Total persentase level 4	0.00	46.88
5	Claim yang sangat valid, data untuk memperjelas claim, termasuk bukti yang kuat	-	4.69
	Hubungan antara claim dan bukti kuat	-	1.46
	Hubungan antar komponen argumen yang meyakinkan	-	0.00
	Total persentase level 5	0.00	10.94
Tidak menjawab		4.69	-

Berdasarkan kriteria jawaban pretest siswa pada tabel 2, dapat diketahui bahwa dominan siswa yang berada pada level 1 menuliskan claim tidak akurat dan tidak menuliskan bukti-bukti (data, warrant, dan backing). Pada kriteria ini siswa belum mempunyai kemampuan untuk mengetahui jawaban atau memecahkan masalah, sehingga kemampuannya dalam argumentasi masih sangat lemah. Claim yang dibuat siswa tidak akurat karena mereka sekedar mengulang pernyataan dan hanya mengganti usaha negatif menjadi positif. Memahami usaha yang dilakukan sistem atau usaha yang dilakukan pada sistem merupakan salah satu tantangan bagi siswa dalam materi termodinamika (Wattanakasiwich et al., 2013). Siswa pada level 2 atau argumentasi lemah dominan menulis bukti, seperti hanya menulis data dan warrant namun tidak berkaitan. Siswa sudah menulis data yang ditemukan pada soal, namun data tersebut tidak berkaitan dengan claim, contohnya siswa menulis deskripsi piston yang terbuat dari logam pada data. Bukti-bukti yang tidak berkaitan dengan claim tidak menghasilkan pernyataan yang sistematis dan ilmiah (Bugarcic et al., 2014; Dawson & Venville, 2009; Sampson & Clark, 2008).

Pada hasil jawaban posttest terlihat perubahan terbesar secara berurutan terjadi pada level 1, level 4, level 3, dan level 2. Hasil posttest siswa pada level 1 mengalami penurunan dibandingkan pretest. Jumlah siswa pada level 1 mengalami penurunan sebesar 53,13%, artinya sebagian besar siswa mengalami kenaikan level argumentasi ilmiah. Siswa yang masih berada pada level 1 menulis kriteria argumen yang sama seperti pretest.

Pada subbab “Usaha pada proses-proses termodinamika” siswa dominan memperoleh level 4 dan mengalami kenaikan sebesar 46,88% pada posttest dengan kriteria dominan yaitu hubungan antara claim dan bukti yang baik. Penulisan komponen-komponen pada subbab ini meliputi penulisan backing dengan penjelasan matematis tentang usaha pada proses isobaric secara lengkap, dan kesimpulan yang cukup ilmiah. Siswa menyatakan bahwa, “usaha dapat bernilai negatif jika terjadi penurunan volume atau saat terjadi kompresi”, namun tidak dijelaskan bagaimana penurunan volume pada piston dapat terjadi jika piston ditekan. Aspek rebuttal yang tidak lengkap dan ilmiah karena siswa kurang mampu menganalisa keterkaitan konsep pada soal dengan konsep lainnya untuk menyanggah claim, sehingga hanya mampu menjawab soal namun tidak dapat menyanggah claim dengan penjelasan lain (Chen et al., 2019; Faize et al., 2018; Toulmin, 2003).

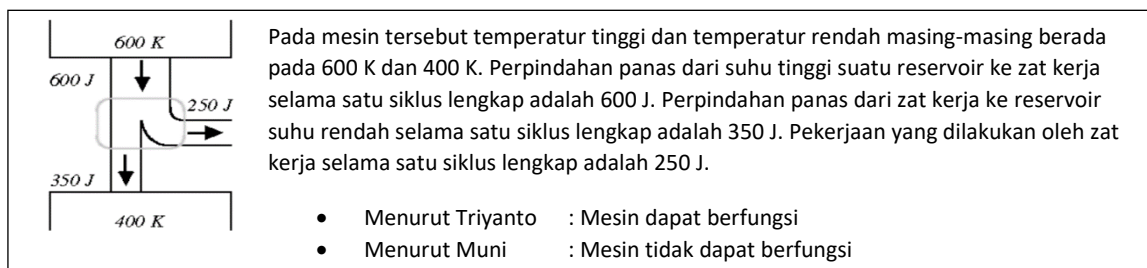
Pada level 3 terjadi kenaikan sebesar 21,87% siswa sehingga mempunyai argumentasi yang cukup kuat pada subbab ini. Jawaban argumentasi ilmiah siswa pada level 3 dominan menulis hubungan antara claim dan bukti-bukti yang cukup baik, sehingga argumentasinya cukup kuat. Hasil wawancara siswa pada level 3 menyatakan bahwa, “saya bisa menentukan claim, data, dan warrant bu, tetapi saya mulai kesulitan saat menulis backing dan penyanggahan pada rebuttal”. Padahal jika siswa mampu membuat sanggahan atau rebuttal artinya siswa sudah dapat mencapai kualitas argumentasi ilmiah yang sangat baik dan menunjukkan kualitas level argumentasi tingkat tinggi (Heng et al., 2015; S. S. Lin & Mintzes, 2010). Adapun siswa lain dengan argumentasi cukup kuat menyatakan bahwa masalah-masalah autentik yang dibahas saat pembelajaran membantu mereka dalam membuat rebuttal. Pemahaman terhadap permasalahan autentik melatih siswa dalam membuat bukti-bukti yang akurat seperti

data, warrant, dan backing pada argumentasinya (Breiner et al., 2012; Passmore & Svoboda, 2012).

Persentase posttest pada subbab ini menunjukkan bahwa siswa yang tidak menjawab berkurang hingga menjadi 0% atau tidak ada siswa yang tidak menjawab. Artinya terjadi dampak yang lebih baik pada siswa setelah melewati proses pembelajaran walaupun masih ada yang salah dalam menulis claim. Berdasarkan hasil wawancara menunjukkan bahwa dengan adanya penugasan pada lembar kerja, tes asesmen formatif di akhir pembelajaran, serta perbaikan atau feedback dari guru dapat membantu memahami membuat argumentasi ilmiah yang lebih baik. Asesmen formatif membantu siswa untuk belajar lebih baik secara individu dan kelompok, sehingga membantu siswa dalam pemecahan masalah dan meningkatkan hasil belajar siswa, didukung oleh hasil penelitian sebelumnya (Andersson & Palm, 2017a; H. Lee et al., 2020).

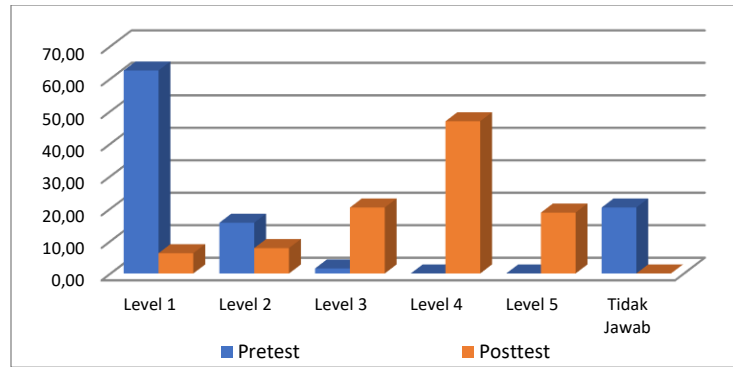
Subbab Hukum I Termodinamika

Subbab kedua tentang hukum 1 termodinamika yang diadaptasi dari Cochran et al. (2006) dan Smith et al. (2009), dapat dilihat pada gambar 4. Pertanyaan pada soal tersebut bertujuan agar siswa memahami bahwa mesin dapat berfungsi jika efisiensi mesin tersebut lebih kecil dari efisiensi mesin idealnya. Siswa diminta untuk menentukan pernyataan yang tepat diantara dua pernyataan yang dipaparkan dengan menjelaskan argumentasi secara ilmiah. Kalkulasi persentase jawaban siswa pada hasil pretest dan posttest ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 4. Pertanyaan subbab hukum I termodinamika

Gambar 5 tersebut menunjukkan bahwa pada saat pretest, siswa dominan menjawab pertanyaan pada level 1 dan hasil n-gain menunjukkan kategori sedang. Kemampuan argumentasi ilmiah siswa sebelum diberikan pembelajaran EDP-authentic PBL dan asesmen formatif masih sangat lemah. Level tertinggi yang dapat dicapai siswa adalah level 3 atau argumentasi cukup kuat dengan persentase hanya 1,56%. Saat siswa pada level 3 diwawancara, siswa memberikan pernyataan bahwa, “data yang saya tulis hanya sesuai keterangan di soal, sebenarnya saya hanya tau bunyi hukum 1 termodinamika saja tapi konsepnya tidak, bu”. Pada subbab ini rata-rata siswa memang belum ada pengetahuan awal, sehingga dapat dilihat sebagian besar siswa masih dominan di level 1. Jawaban argumentasi ilmiah siswa pada subbab hukum I termodinamika dikategorikan berdasarkan kriteria-kriteria argumentasi ilmiah pada tabel 3.



Gambar 5. Persentase frekuensi pretest dan posttest level argumentasi ilmiah siswa untuk subbab hukum I termodinamika

Tabel 3. Kriteria argumentasi ilmiah siswa subbab hukum I termodinamika

Level	Kriteria Argumentasi Ilmiah	Pre (%)	Post (%)
1	Claim tidak sesuai konteks yang ditanyakan	17.19	0.00
	Claim tidak akurat dan tidak menuliskan bukti (data, warrant, dan backing)	28.13	1.56
	Claim yang tidak akurat, atau bukti dan kesimpulan tidak akurat	17.19	4.69
	Total persentase level 1	62.50	6.25
2	Claim valid namun tidak ada bukti (data, warrant, dan backing) dan kesimpulan	7.81	0.00
	Menuliskan bukti namun tidak saling berkaitan antara bukti (data, warrant, dan backing) satu dan lainnya, atau antara bukti dengan claim	4.69	1.56
	Hubungan antara claim, data, dan warrant masih lemah	3.13	6.25
	Total persentase level 2	15.63	7.81
3	Claim valid tapi jawaban parsial, dan Ide-idenya cukup akurat untuk mendukung claim	-	3.13
	Hubungan antara claim dan bukti yang cukup bagus	-	10.94
	Hubungan antar komponen saling berkaitan namun beberapa penjelasan kurang ilmiah	1.56	6.25
	Total persentase level 3	1.56	20.31
4	Claim tersebut valid, datanya kuat, serta bukti lain cukup baik	-	21.88
	Hubungan antara claim dan bukti yang baik	-	18.75
	Hubungan antar komponen yang kuat	-	6.25
	Total persentase level 4	0.00	46.88
5	Claim yang sangat valid, data untuk memperjelas claim, termasuk bukti	-	5.36

yang kuat		
Hubungan antara claim dan bukti kuat	-	13.39
Hubungan antar komponen argumen yang meyakinkan	-	0.00
Total persentase level 5	0.00	18.75
Tidak menjawab	20.31	-

Pada tabel 3 hasil pretest siswa menunjukkan bahwa dominan siswa yang berada pada level 1 menuliskan claim yang tidak akurat dan tidak menuliskan bukti-bukti (data, warrant, dan backing). Pada kriteria ini siswa belum mempunyai kemampuan untuk mengetahui jawaban atau memecahkan masalah, sehingga kemampuannya dalam argumentasi sangat lemah. Claim yang dibuat siswa tidak akurat karena mereka sekedar mengulang pernyataan atau menulis claim tidak sesuai konteks pertanyaan. Banyak siswa yang menulis bahwa mesin dapat berfungsi karena mempunyai usaha, padahal yang dimaksud adalah kalor. Kesalahan dalam pemahaman makna antara kalor dan usaha pada termodinamika selalu diartikan hal yang sama oleh siswa karena mereka melihat keduanya mempunyai satuan yang sama (Loverude et al., 2010; Meltzer, 2004). Siswa pada level 2 atau argumentasi lemah dominan menulis claim valid namun tidak ada bukti, dengan menjawab bahwa mesin tidak dapat berfungsi sesuai konsep tentang mesin Carnot. Claim yang valid harus mampu dibuktikan dan dijelaskan dengan hasil temuan siswa dalam pemecahan masalah tersebut (Sampson & Clark, 2008; Stark et al., 2015).

Hasil jawaban posttest pada tabel 3 menunjukkan bahwa perubahan terbesar terjadi pada level 1 dan level 4. Hasil posttest siswa pada level 1 mengalami penurunan dibandingkan pretest. Jumlah siswa pada level 1 mengalami penurunan sebesar 56,25%, artinya sebagian besar siswa mengalami kenaikan level argumentasi ilmiah. Siswa level 1 dominan menulis jawaban claim tidak akurat dan tidak menuliskan bukti (data, warrant, dan backing). Berdasarkan perolehan hasil wawancara siswa tidak memahami konteks dan konsep pertanyaan pada subbab hukum I termodinamika, namun siswa dapat menjelaskan keterkaitan mesin stirling dengan konsep mesin carnot. Pemahaman yang baik ini didukung oleh proses pembelajaran EDP dalam mendesain prototype (King & English, 2016; Marulcu & Barnett, 2013). Pembelajaran yang mengintegrasikan aspek engineering ini dapat mendukung keberhasilan dalam membentuk siswa di generasi abad 21, salah satunya mampu bersaing di dunia kerja, meningkatkan kemampuan pemecahan masalah, penguasaan konsep, berpikir interdisipliner dan memiliki pemikiran yang terbuka (Capraro & Jones, 2013; Psycharis, 2016).

Selanjutnya frekuensi siswa pada level 4 mengalami kenaikan sebesar 46,88% pada posttest dengan dominan kriteria yaitu hubungan antara claim dan bukti yang baik. Siswa pada level ini sudah mampu menulis claim yang valid lalu dibuktikan dengan perhitungan, namun pada rebuttal masih kurang ilmiah. Siswa cenderung menggunakan penalaran relasional dan hubungan tunggal antara komponen sehingga hanya berfokus untuk membenarkan claim saja (Moon et al., 2016). Adapun siswa lain yang sudah mempunyai argumentasi ilmiah yang sangat kuat, sehingga dapat

menjelaskan rebuttal dengan makna konsep suatu persamaan. Pemahaman siswa untuk menghubungkan konsep dan persamaan dipelajari saat menyelesaikan permasalahan dengan praktikum. Kegiatan praktikum pada EDP-authentic PBL dan asesmen formatif membantu mengakomodasi siswa dalam membuat desain argumentasi ilmiah (Barrows & Lynda, 2007; Nababan et al., 2019), karena kegiatan praktikum dapat menjadi data tambahan untuk mendukung claim. Pada proses pembelajaran Siswa antusias membuat ringkasan berupa flowchart argumentasi ilmiah, dengan menuliskan komponen-komponen argumentasi. Dengan menuliskan ringkasan siswa dapat mendemonstrasikan pengetahuan pokok atau inti yang penting dari sumber atau hasil belajar (Zhang et al., 2011).

Persentase posttest siswa yang tidak menjawab pada subbab ini berkurang dan menjadi 0% atau tidak ada siswa yang tidak menjawab. Artinya terjadi dampak yang lebih baik pada siswa-siswa yang tidak menjawab setelah melewati proses pembelajaran. Walaupun masih ada yang salah dalam menulis claim. Saat siswa yang tidak menjawab pada pretest diwawancarai, siswa menyatakan bahwa dengan adanya penugasan pada lembar kerja, tes asesmen formatif di akhir pembelajaran, serta perbaikan atau feedback dari guru dapat membantu mereka memahami lebih baik tentang argumentasi ilmiah pada termodinamika. Asesmen formatif ini digunakan untuk mempertimbangkan proses belajar selanjutnya agar memenuhi kebutuhan siswa dan memperoleh penilaian siswa yang lebih baik (Black & Wiliam, 1998; Box, 2019).

Analisis hasil data kualitatif pada subbab ini menunjukkan bahwa terdapat siswa yang masih menulis argumentasi dengan analisa berpikir sendiri tanpa didasari oleh fakta atau konsep ilmiah. Contohnya ada siswa yang menjelaskan bahwa mesin dapat berfungsi jika efisiensi mesin tersebut dkecilkan dengan cara mengurangi kalor pada reservoir tinggi. Seharusnya siswa dapat meninjau persamaan efisiensi untuk menjelaskan argumentasinya, namun siswa menuliskan alasan berdasarkan pada pemikirannya saja bahwa jika panas dikurangi maka kalor berkurang dan efisiensi semakin kecil. 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). Adapun siswa yang menulis dengan argumentasi yang sangat baik yaitu siswa 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. Kemampuan siswa mencapai level 5 tidak terlepas dari pengaruh kegiatan pembelajaran pada tahap reiterating and reassessing the problem dan pendekatan EDP yaitu test and redesign as necessary. Tahap ini membutuhkan kemampuan untuk menganalisis kembali dan berpikir secara logis untuk membandingkan hasil temuan siswa dengan hipotesis yang telah disusun (King & English, 2016; Marulcu & Barnett, 2013). Artinya siswa perlu melihat kembali bukti-bukti yang telah dibuat sudah sesuai atau tidak dengan claim hipotesis. Dengan diskusi di dalam kelompoknya memberikan pengaruh yang baik, dimana siswa lebih enjoy saat berpendapat. Bukti-bukti yang sesuai, kuat dan mendukung claim menunjukkan argumentasi yang kuat (Bugarcic et al., 2014; Dawson & Venville, 2009; Rachmatya & Supardiyono, 2020; Toulmin, 2003).

E. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian ini, penerapan EDP-authentic PBL dan asesmen formatif menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antara nilai pretest dan posttest. Hasil perhitungan N-gain berada pada kategori sedang. Tantangan yang ditemukan adalah siswa masih sulit untuk mendesain komponen-komponen argumentasi, terutama dalam memperkuat claim dengan penyanggahan atau rebuttal. Pembelajaran EDP-authentic PBL dan asesmen formatif ini dapat digunakan untuk materi fisika lainnya yang lebih kontekstual, khususnya berkaitan dengan pengembangan teknologi, namun perlu diperhatikan materi tersebut agar sesuai dengan metode pembelajaran. Peneliti selanjutnya perlu memperhatikan rencana pelaksanaan pembelajaran karena membutuhkan banyak waktu, serta menambahkan aspek “Seni” dan “Agama”, menjadi pendekatan STREAM dalam upaya membangun kemampuan argumentasi ilmiah yang lebih baik.

Daftar Pustaka

- Alfiana, R., Parno, & Yogihati, C. I. (2021). Development of ILAU based on PBL-STEM model with formative assessment as an opportunity to improve problem solving skills in heat and temperature topics. *Journal of Physics: Conference Series*, 1747(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1747/1/012005>
- Andersson, C., & Palm, T. (2017a). Characteristics of improved formative assessment practice. *Education Inquiry*, 8(2), 104–122. <https://doi.org/10.1080/20004508.2016.1275185>
- Andersson, C., & Palm, T. (2017b). The impact of formative assessment on student achievement: A study of the effects of changes to classroom practice after a comprehensive professional development programme. *Learning and Instruction*, 49, 92–102. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2016.12.006>
- Aulia, D. M., Parno, & Kusairi, S. (2021). Pengaruh E-moduleeBerbasis TPACK-STEMterhadap Literasi Sains Alat Optik dengan Model PBL-STEM Disertai Asesmen Formatif. *Jurnal Riset Pendidikan Fisika*, 6(1), 7–12. <http://journal2.um.ac.id/index.php/jrpf/article/view/16404/8028>
- Bao, T. Q., Khoa, C. T., Ngoc, N. T., Thu Ha, N. T., Hoan, V. Q., Quang, P. H., & Ha, C. V. (2019). Teaching and Learning about Magnetic field and Electromagnetic Induction Phenomena integrated Science, Technology, Engineering and Mathematics (STEM) Education in Vietnamese high schools. *Journal of Physics: Conference Series*, 1340(1), 0–12. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1340/1/012031>
- Barrows, H. S., & Lynda, W. K. N. (2007). *Principles and Practice of authentic Problem-based Learning*. Pearson Education South Asia.
- 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>
- Black, P., & Wiliam, D. (1998). Assessment and classroom learning. In *International Journal*

- of Phytoremediation (Vol. 21, Issue 1). <https://doi.org/10.1080/0969595980050102>
- Box, C. (2019). Formative Assessment in United States Classrooms. In *Formative Assessment in United States Classrooms*. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-03092-6>
- Breiner, J. M., Harkness, S. S., Johnson, C. C., & Koehler, C. M. (2012). What Is STEM? A Discussion About Conceptions of STEM in Education and Partnerships. *School Science and Mathematics*, 112(1), 3–11. <https://doi.org/10.1111/j.1949-8594.2011.00109.x>
- Brookes, D. T., & Etkina, E. (2015). The Importance of Language in Students' Reasoning About Heat in Thermodynamic Processes. *International Journal of Science Education*, 37(5–6), 759–779. <https://doi.org/10.1080/09500693.2015.1025246>
- Bugaric, 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.
- Butler, A. C., Marsh, E. J., Slavinsky, J. P., & Baraniuk, R. G. (2014). Integrating Cognitive Science and Technology Improves Learning in a STEM Classroom. 331–340. <https://doi.org/10.1007/s10648-014-9256-4>
- Capraro, M. M., & Jones, M. (2013). Interdisciplinary STEM project-based learning. *STEM Project-Based Learning an Integrated Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM) Approach*, 51–58. https://doi.org/10.1007/978-94-6209-143-6_6
- Chen, Y. C., Benus, M. J., & Hernandez, J. (2019). Managing uncertainty in scientific argumentation. April, 1235–1276. <https://doi.org/10.1002/sce.21527>
- Chng, L. S., & Lund, J. (2018). Assessment for Learning in Physical Education: The What, Why and How. *Journal of Physical Education, Recreation and Dance*, 89(8), 29–34. <https://doi.org/10.1080/07303084.2018.1503119>
- Choden, T. (2020). Blending Problem Based Learning with Scientific Argumentation to Enhance Students' Understanding of Basic Genetics. 13(1), 445–462.
- 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>
- 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>
- Cox, A. J., Belloni, M., Dancy, M., & Christian, W. (2003). Teaching thermodynamics with Physlets ® in introductory physics. September. <https://doi.org/10.1088/0031-9120/38/5/309>
- Creswell, J. W. (2012). *Research Design Pendekatan Kualitatif, Kuantitatif, dan Mixed*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar, 7(1), 7–12. <https://doi.org/10.15294/usej.v7i1.21359>
- Dantsker, O. D., & Mancuso, R. (2019). Flight data acquisition platform development,

- integration, and operation on small-to medium-sized unmanned aircraft. AIAA Scitech 2019 Forum, January. <https://doi.org/10.2514/6.2019-1262>
- 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>
- Duda, H. J., Susilo, H., & Newcombe, P. (2019). Enhancing different ethnicity science process skills: Problem-based learning through practicum and authentic assessment. *International Journal of Instruction*, 12(1), 1207–1222. <https://doi.org/10.29333/iji.2019.12177a>
- 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>
- Duschl, R. A. (2007). *Quality Argumentation and Epistemic Criteria*.
- English, L. D., King, D., & Smeed, J. (2017). Advancing integrated STEM learning through engineering design: Sixth-grade students' design and construction of earthquake resistant buildings. *Journal of Educational Research*, 110(3), 255–271. <https://doi.org/10.1080/00220671.2016.1264053>
- 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)
- Faize, F. A., Husain, W., & Nisar, F. (2018). A Critical Review of Scientific Argumentation in Science Education 1. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 14(1), 475–483. <https://doi.org/10.12973/ejmste/80353>
- Fan, S. C., & Yu, K. C. (2017). How an integrative STEM curriculum can benefit students in engineering design practices. *International Journal of Technology and Design Education*, 27(1), 107–129. <https://doi.org/10.1007/s10798-015-9328-x>
- Farach, N., Kartimi, & Mulyani, A. (2021). Application of performance assessment in STEM-based biological learning to improve student's science process skills. *Journal of Physics: Conference Series*, 1806(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1806/1/012220>
- Goedhart, M. J., & Kaper, W. (2002). Chapter 15 FROM CHEMICAL ENERGETICS TO CHEMICAL THERMODYNAMICS.
- Gulen, S., & Yaman, S. (2019). The Effect of Integration of STEM Disciplines into Toulmin's Argumentation Model on Students' Academic Achievement, Reflective Thinking, and Psychomotor Skills*. *Journal of Turkish Science Education*, 16(2), 216–230. <https://doi.org/10.12973/tused.10276a>
- 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>
- Hallström, J., & Schönborn, K. J. (2019). Models and modelling for authentic STEM education: reinforcing the argument. *International Journal of STEM Education*, 6(1). <https://doi.org/10.1186/s40594-019-0178-z>
- Hanif, S., Wijaya, A. F. C., & Winarno, N. (2019). Enhancing Students' Creativity through STEM Project-Based Learning. *Journal of Science Learning*, 2(2), 50. <https://doi.org/10.17509/jsl.v2i2.13271>
- Harlen, W., & Gardner, J. (2010). Assessment to support learning. *Developing teacher assessment*.
- Heng, L. L., Surif, J., & Seng, C. H. (2014). Individual versus group argumentation: Student's performance in a Malaysian context. *International Education Studies*, 7(7), 109–124. <https://doi.org/10.5539/ies.v7n7p109>
- 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>
- Herrington, J. (2006). Authentic e-learning in higher education: Design principles for authentic learning environments and tasks. *World Conference on E-Learning in Corporate, Government, Healthcare, and Higher Education*, October, 13–17.
- Hwang, G.-J., Lai, C.-L., & Wang, S.-Y. (2015). Seamless flipped learning: a mobile technology-enhanced flipped classroom with effective learning strategies. *Journal of Computers in Education*. <https://doi.org/10.1007/s40692-015-0043-0>
- Jiménez-Aleixandre, M. P. (2007). Designing Argumentation Learning Environments. 91–115. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6670-2_5
- Johnson, J., Jr, A. Z. M., & Dunphy, J. (2020). Incorporating socioscientific issues into a STEM education course: exploring teacher use of argumentation in SSI and plans for classroom implementation.
- 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>
- Jumadi, J., Perdana, R., Riwayani, & Rosana, D. (2021). The impact of problem-based learning with argument mapping and online laboratory on scientific argumentation skill. *International Journal of Evaluation and Research in Education*, 10(1), 16–23. <https://doi.org/10.11591/ijere.v10i1.20593>
- 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>
- King, D., & English, L. D. (2016). Engineering design in the primary school: applying stem concepts to build an optical instrument. *International Journal of Science Education*, 38(18), 2762–2794. <https://doi.org/10.1080/09500693.2016.1262567>

- Köngül, Ö., & Yıldırım, M. (2021). Effects of STEM applications on the scientific process skills and performance of secondary school students. *Journal of Human Sciences*, 18(2), 159–184. <https://doi.org/10.14687/jhs.v18i2.6066>
- Kruatong, T., Sung-Ong, S., Singh, P., & Jones, A. (2006). Thai high school students' understanding of heat and thermodynamics. *Kasetsart Journal - Social Sciences*, 27(2), 321–330.
- Lee, H., Chung, H. Q., Zhang, Y., Abedi, J., Warschauer, M., Lee, H., Chung, H. Q., Zhang, Y., Abedi, J., Warschauer, M., & Lee, H. (2020). Applied Measurement in Education The Effectiveness and Features of Formative Assessment in US K-12 Education: A Systematic Review The Effectiveness and Features of Formative Assessment in US K-12 Education : A Systematic Review. *Applied Measurement in Education*, 00(00), 1–17. <https://doi.org/10.1080/08957347.2020.1732383>
- Lee, Y., Capraro, R. M., & Bicer, A. (2019). Affective Mathematics Engagement: a Comparison of STEM PBL Versus Non-STEM PBL Instruction. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, 19(3), 270–289. <https://doi.org/10.1007/s42330-019-00050-0>
- 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, K. Y., Hsiao, H. S., Chang, Y. S., Chien, Y. H., & Wu, Y. T. (2018). The effectiveness of using 3D printing technology in STEM project-based learning activities. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 14(12). <https://doi.org/10.29333/ejmste/97189>
- 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>
- Lombardi, B. M. M., & Oblinger, D. G. (2007). Authentic Learning for the 21st Century : An Overview. *Learning*, 1, 1–7. <http://alicechristie.org/classes/530/EduCause.pdf>
- Loverude, M. E., Heron, P. R. L., & Kautz, C. H. (2010). Identifying and addressing student difficulties with hydrostatic pressure. *American Journal of Physics*, 78(1), 75–85. <https://doi.org/10.1119/1.3192767>
- Marulcu, I., & Barnett, M. (2013). Fifth Graders' Learning About Simple Machines Through Engineering Design-Based Instruction Using LEGOTM Materials. *Research in Science Education*, 43(5), 1825–1850. <https://doi.org/10.1007/s11165-012-9335-9>
- 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>
- Moon, A., Stanford, C., Cole, R., & Towns, M. (2016). The nature of students' chemical reasoning employed in scientific argumentation in physical chemistry. *Chemistry*

- Education Research and Practice, 17(2), 353–364.
<https://doi.org/10.1039/c5rp00207a>
- Motyl, B., Baronio, G., Uberti, S., Speranza, D., & Filippi, S. (2017). How will Change the Future Engineers' Skills in the Industry 4.0 Framework? A Questionnaire Survey. *Procedia Manufacturing*, 11(June), 1501–1509.
<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.282>
- Mourtos, N. J. (2015). Preparing Engineers for the 21st Century. *International Journal of Quality Assurance in Engineering and Technology Education*, 4(4), 1–26.
<https://doi.org/10.4018/ijqaete.2015100101>
- 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>
- Nottis, K. E. K., Prince, M. J., & Vigeant, M. A. (2010). *US-China Education Review (Vol. 7, Issue 2)*.
- Nurtanto, M., Pardjono, P., Widarto, W., & Ramdani, S. D. (2020). The effect of STEM-EDP in professional learning on automotive engineering competence in vocational high school. *Journal for the Education of Gifted Young Scientists*, 8(2), 633–649.
<https://doi.org/10.17478/JEGYS.645047>
- Passmore, C. M., & Svoboda, J. (2012). Exploring Opportunities for Argumentation in Modelling Classrooms Exploring Opportunities for Argumentation in Modelling Classrooms. November 2014, 37–41.
<https://doi.org/10.1080/09500693.2011.577842>
- Pateliya, Y. P., Journal, I., & Vol, E. (2013). Research Method of Qualitative Research : ' Case Study .' 2(1), 116–120.
- 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), 16–23.
<https://interactives.ck12.org/simulations/physics.html>
- PISA. (2019). PISA 2018 Results (Volume I): Vol. I. <https://doi.org/10.1787/5f07c754-en>
- 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>
- Psycharis, S. (2016). The Impact of Computational Experiment and Formative Assessment in Inquiry-Based Teaching and Learning Approach in STEM Education. *Journal of Science Education and Technology*, 25(2), 316–326. <https://doi.org/10.1007/s10956-015-9595-z>

- Purwati, R. (2019). Problem-Based Learning Modules with Socio-Scientific Issues Topics to Closing the Gap in Argumentation Skills. 18(4), 35–45.
- Rachmatya, R., & Supardiyono, N. (2020). HE CORRELATION OF SCIENTIFIC ARGUMENTATION AND CRITICAL THINKING ON GLOBAL WARMING MATERIALS IN SMAN 19 SURABAYA. IPF: Inovasi Pendidikan Fisika, 09(02).
- Ryu, M., Mentzer, N., & Knobloch, N. (2019). Preservice teachers' experiences of STEM integration: challenges and implications for integrated STEM teacher preparation. *International Journal of Technology and Design Education*, 29(3), 493–512. <https://doi.org/10.1007/s10798-018-9440-9>
- Sam, H. K., & George Tan, G. S. (2011). The Effectiveness of Collaborative Learning In The Teaching of Form Four Mathematical Reasoning. *Jurnal Teknologi*, 55, 55–73. <https://doi.org/10.11113/jt.v55.81>
- Sampson, V., & Clark, D. (2008). The Impact of Collaboration on the Outcomes of Scientific. <https://doi.org/10.1002/sce.20306>
- Sampson, V., & Clark, D. B. (2011). A Comparison of the Collaborative Scientific Argumentation Practices of Two High and Two Low Performing Groups. 63–97. <https://doi.org/10.1007/s11165-009-9146-9>
- Samsudin, M. A., Jamali, S. M., & Zain, A. N. (2020). The Effect of STEM Project Based Learning on Self-Efficacy among High-School Physics Students. 17(1), 94–108. <https://doi.org/10.36681/tused.2020.15>
- Sari, F. P., Ratnaningtyas, L., Wilujeng, I., Jumadi, & Kuswanto, H. (2019). Development of Android Comics media on Thermodynamic Experiment to Map the Science Process Skill for Senior High School. *Journal of Physics: Conference Series*, 1233(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1233/1/012052>
- Schnittka, C. (2012). Engineering Education in the Science Classroom: A Case Study of One Teacher's Disparate Approach with Ability-Tracked Classrooms. *Journal of Pre-College Engineering Education Research*, 2(1), 35–48. <https://doi.org/10.5703/1288284314654>
- Serway, R. A., & Jewett, J. W. (2013). *Physics for Scientists and Engineers 9th (ninth) Edition*. Cengage Learning.
- 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>
- Soekisno, B. A., Kusumah, Y. S., & Using, D. (2015). Using Problem-Based Learning to Improve College Students' Mathematical Argumentation Skills To cite this article : Using Problem- Based Learning to Improve College Students' Mathematical Argumentation Skills.
- Sreenivasulu, B., Subramaniam, R., & Technological, N. (2013). University Students' Understanding of University Students' Understanding of Chemical Thermodynamics. September 2013, 37–41. <https://doi.org/10.1080/09500693.2012.683460>

- Stanton, M., & McCaffrey, M. (2010). Designing authentic PBL problems in multidisciplinary groups. In *New Approaches to Problem-based Learning: Revitalising Your Practice in Higher Education* (p. 36).
- Stark, R., Puhl, T., & Krause, U. (2015). Evaluation & Research in Education Improving scientific argumentation skills by a problem-based learning environment : effects of an elaboration tool and relevance of student characteristics. 37–41. <https://doi.org/10.1080/09500790903082362>
- Tawfik, A., Trueman, R. J., Lorz, M. M., & Tawfik, A. A. (2013). Interdisciplinary Journal of Problem-based Learning Engaging non-scientists in STEM through problem-based learning and service learning Engaging non-scientists in STEM through problem-based learning and service learning The Interdisciplinary Journal of Pr. Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning, 8(2), 3–13. <http://dx.doi.org/10.7771/1541-5015.1417>
- 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>
- Ugursal, V. I., & Cruickshank, C. A. (n.d.). *European Journal of Engineering Student opinions and perceptions of undergraduate thermodynamics courses in engineering*. July 2015. <https://doi.org/10.1080/03043797.2014.987646>
- 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>
- Wattanawasiwich, 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.
- Windschitl, M., Thompson, J., Braaten, M., & Stroupe, D. (2012). Proposing a Core Set of Instructional Practices and Tools for Teachers of Science. <https://doi.org/10.1002/sce.21027>
- Woods, R. (2012). AUTHENTIC PROBLEM-BASED LEARNING (aPBL). 2.
- Yu, K. C., Wu, P. H., & Fan, S. C. (2020). Structural Relationships among High School Students' Scientific Knowledge, Critical Thinking, Engineering Design Process, and Design Product. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 18(6), 1001–1022. <https://doi.org/10.1007/s10763-019-10007-2>
- Yuenyong, C., & Narjaikaew, P. (2009). Scientific literacy and thailand science education. *International Journal of Environmental and Science Education*, 4(3), 335–349.
- Yuliati, L., Fauziah, R., & Hidayat, A. (2018). Student's critical thinking skills in authentic problem based learning. *Journal of Physics: Conference Series*, 1013(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1013/1/012025>
- Zhang, H., Fiszman, M., Shin, D., Miller, C. M., Roseblat, G., & Rindfleisch, T. C. (2011).

Degree centrality for semantic abstraction summarization of therapeutic studies.
Journal of Biomedical Informatics, 44(5), 830–838.
<https://doi.org/10.1016/j.jbi.2011.05.001>