

## Evaluasi Kinerja Termal Prototipe *Cooler Box*: Aplikasi Pembelajaran Berbasis Proyek dalam Perkuliahan Termodinamika

Hanifah Zakiya<sup>\*1</sup>, Ryna Aulia Falamy<sup>2</sup>, Ike Festiana<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>Program Studi Pendidikan Fisika, FKIP, Universitas Lampung

<sup>3</sup>Program Studi Magister Pendidikan Fisika Universitas Lampung

\*Email: [hanifahzakiya@fkip.unila.ac.id](mailto:hanifahzakiya@fkip.unila.ac.id)

DOI: <https://doi.org/10.52188/jpfs.v8i2.1797>

Accepted: 12 Desember 2025    Approved: 20 Desember 2025    Published: 29 Desember 2025

### ABSTRAK

Pentingnya solusi untuk menjaga kesegaran ikan pada di daerah yang infrastrukturnya terbatas dapat menjadi sumber belajar baru dalam perkuliahan termodinamika, karena mengaitkan teori dengan aplikasi teori secara nyata. Penelitian terdahulu belum banyak mengintegrasikan konteks ini ke dalam pembelajaran berbasis proyek dengan penilaian otentik secara komprehensif. Penelitian ini bertujuan untuk: (1) mengeksplorasi karakteristik desain *cooler box* buatan mahasiswa, (2) menganalisis kinerja termal rancangan cooler box melalui penilaian otentik, dan (3) mengevaluasi pengalaman belajar melalui pembelajaran berbasis proyek. Metode studi kasus eksploratori dengan pendekatan mixed-methods diterapkan pada 7 kelompok mahasiswa yang merancang, memfabrikasi, dan menguji prototipe *cooler box*. Data dikumpulkan melalui dokumentasi desain, eksperimen terkontrol (pengukuran laju pemanasan dan peleburan es), serta kuesioner refleksi (n=34). Hasil penelitian menunjukkan variasi desain yang signifikan, dari penggunaan insulator tunggal hingga hybrid. Kinerja termal terbaik dicapai oleh desain dengan insulasi hybrid dan segel kompresi (laju pemanasan 0,288°C/menit), sedangkan desain sederhana berkinerja paling rendah (0,892°C/menit). Respons mahasiswa secara keseluruhan sangat positif ( $\mu=4,23/5$ ), dengan capaian tertinggi pada aspek relevansi penilaian autentik ( $\mu=4,41$ ). Disimpulkan bahwa pembelajaran berbasis proyek dengan siklus *desain-build-test-reflect* efektif meningkatkan pemahaman konseptual, keterampilan desain, dan kolaborasi, sekaligus menghasilkan prinsip praktis untuk desain pendingin pasif serta memvalidasi penilaian berbasis kinerja sebagai penilaian otentik yang bermakna.

**Kata kunci:** Pembelajaran berbasis Proyek, Termodinamika, *Cooler Box*, Penilaian Autentik.

### ABSTRACT

The importance of solutions to maintain fish freshness in areas with limited infrastructure can be used as a learning resource in thermodynamics lectures, linking theory with real-world applications. This study aims to: (1) explore the design characteristics of cooler boxes made by students, (2) analyze the thermal performance of cooler box designs through authentic assessment, and (3) evaluate learning experiences through project-based learning. An exploratory case study method with a mixed-methods approach was applied to seven groups of students who designed, fabricated, and tested cooler box prototypes. Data were collected through design documentation, controlled experiments (measurements of heating and ice melting rates), and reflection questionnaires (n=34). The results showed significant design variations, from the use of single insulators to hybrid insulators. The best thermal performance was achieved by designs with hybrid insulation and compression seals (heating rate of 0.288°C/minute), while simple designs performed the worst (0.892°C/minute). The overall student response was very positive ( $\mu=4.23/5$ ), with the highest score on the aspect of relevance of authentic assessment ( $\mu=4.41$ ).

It was concluded that project-based learning with a design-build-test-reflect cycle effectively improved conceptual understanding, design skills, and collaboration, while also producing practical principles for passive cooling design and validating performance-based assessment as a meaningful authentic assessment.

**Keyword:** Project-based learning, Thermodynamics, Cooler Box, Authentic Assessment.

@2025 Pendidikan Fisika FKIP Universitas Nahdlatul Ulama Cirebon

## PENDAHULUAN

Lampung merupakan salah satu provinsi di Pulau Sumatera yang memiliki kekayaan laut yang melimpah. Lampung dikenal akan keanekaragaman kekayaan lautannya dan menjadi komoditas makanan laut yang berharga baik di pasar lokal maupun internasional (Yulianto et al., 2024). Sehingga, sektor perikanan menjadi tulang punggung ekonomi bagi banyak masyarakat pesisir. Namun, potensi ekonomi ini kerap terkendala oleh tingginya angka food loss (kehilangan hasil tangkapan) pasca-panen, terutama di daerah dengan akses listrik dan infrastruktur pendingin yang terbatas. Kandungan osmoregulatori nitrogen protein yang tinggi pada makanan laut, menjadikannya rentan terhadap pertumbuhan bakteri (Mkulo et al., 2025), agar tetap segar, ikan laut perlu peninjagaan suhu yaitu antara 0°C dan 4°C untuk penyimpanan jangka pendek (Peramutya et al., 2020). Ketidakkampuan menjaga hasil tangkapan pada rentang 0°C dan 4°C tidak hanya menyebabkan kerugian ekonomi langsung bagi nelayan dan pengolah ikan, tetapi juga menyebabkan penurunan kualitas gizi pada hasil tangkapan tersebut. Sehingga untuk mencapai suhu ini diperlukan pembekuan oleh mesin pendingin. Namun ketersediaan dan fleksibilitas mesin pendingin sangat terbatas (Tupamahu et al., 2024), karena membutuhkan sumber energi yang memadai. Ketika sumber energi tidak tersedia maka dibutuhkan pendingin pasif, yang kemudian disebut *cooler box*. Pentingnya pengembangan *cooler box* yang efektif yang berbiaya rendah, dapat menjadi solusi kritis untuk memenuhi kebutuhan praktis industri perikanan lokal dengan prinsip-prinsip Termodinamika.

Prinsip dasar mesin pendingin pasif (*cooler box*) yaitu termodinamika dan perpindahan panas (konduksi, konveksi dan radiasi) tanpa memerlukan energi listrik (Prima Dewi, 2023)). Secara teoritis sudah sangat jelas bahwa, suhu sistem (pada cooler box) dijaga tetap turun atau tetap dengan mengandalkan heat sink alami (seperti es yang mencair) dalam sebuah siklus termodinamika tertutup (Yogeshkumar Jain et al., 2024). Namun implementasinya, masih diperlukan desain dan inovasi *cooler box* yang efektif dan berbiaya rendah, agar *cooler box* ini dapat menjadi solusi bagi masyarakat luas.

Desain dan inovasi *cooler box* menjadi kasus nyata yang dapat diselesaikan dalam perkuliahan Termodinamika, karena *cooler box* berkaitan erat dengan hukum dasar termodinamika dan perpindahan panas (Made Sucipta et al., 2023). Melalui kegiatan mendesain *cooler box* mahasiswa dapat mempelajari secara mendalam tentang bagaimana mekanisme transef energi, perancangan sistem yang ideal agar tidak ada energi yang terbuang, serta memahami aplikasi praktis dari termoelektrik sebagai media pendingin (Renita Comalasari Dewi Simanjuntak et al., 2024). Berdasarkan karakteristik dan indikator pembelajarannya serta adanya produk yang dihasilkan di akhir perkuliahan, maka perkuliahan ini mengimplementasikan model pembelajaran berbasis proyek (*Project Base Learning*) (Jumrodah et al., 2021). Pembelajaran berbasis proyek ini memfasilitasi mahasiswa untuk mengimplementasikan teori yang ada di perkuliahan, kemudian digunakan untuk menyelesaikan kasus nyata yang disajikan.

Penelitian yang berkaitan dengan *project base learning* telah banyak dilakukan, dengan fokus utama pada peningkatan hasil belajar serta pengembangan keterampilan kognitif dan berpikir kritis siswa dan pemecahan masalah secara umum (Abdurrahman et al., 2023; Pratiwi et al., 2023 ; Yusri et al., 2024). Kelebihan dari studi-studi sebelumnya yaitu membuktikan bahwa pembelajaran berbasis proyek dapat melibatkan siswa dan mahasiswa secara aktif. Namun, masih ditemukan kekurangan yang signifikan, karena penelitian lebih menakanankan pada asesmen pemahaman konsep dan keterampilan proses (Allanta & Puspita, 2021; Kartadireja et al., 2024). Sementara masih sangat sedikit yang menguji dan menganalisis produk akhir yang dilakukan mahasiswa, sedangkan hasil proyek merupakan bukti yang paling otentik dari pembelajarannya (Hidayat et al., 2024). Lebih spesifik lagi, dalam pembelajaran berbasis proyek untuk mendesain teknologi sederhana seperti *cooler box*, belum banyak kajian yang mengeksplorasi secara komprehensif dan mendalam. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengisi celah tersebut dengan tidak hanya menerapkan pembelajaran berbasis proyek, tetapi juga mengevaluasinya melalui penilaian otentik, dengan berbagai sumber data yaitu analisis karakteristik

desain, pengujian kinerja termal prototipe, dan evaluasi pengalaman belajar mahasiswa. Dengan demikian, kontribusi penelitian ini diharapkan dapat memperkaya praktik pembelajaran berbasis proyek yang berorientasi pada bukti (evidence-based) dan produk (product-based)."

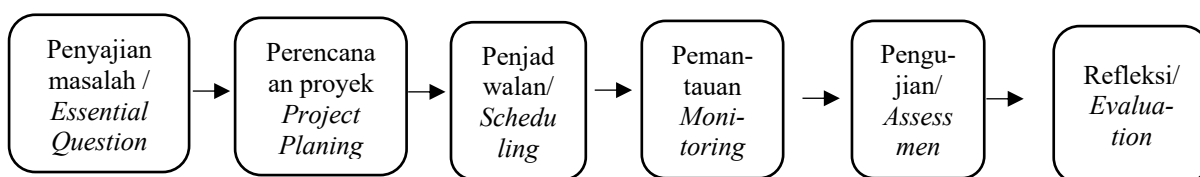
Pada penelitian bertujuan untuk mengeksplorasi secara komprehensif dan mendalam, khususnya dalam hal (1) variasi desain *cooler box*, (2) kinerja produk akhir dari setiap rancangannya sebagai bentuk penilaian otentik dan (3) mencari triangulasi data kualitas desain, hasil uji coba dan refleksi pembelajaran, agar mendapatkan gambaran utuh tentang pembelajaran berbasis proyek yang sudah dilakukan. Penelitian ini diawali dengan merancang proses pembelajaran berbasis proyek dengan proyek akhir adalah *cooler box*. Selanjutnya, proyek yang dihasilkan oleh masing-masing kelompok di uji dan dibandingkan kinerjanya. Hasil uji selanjutnya menjadi dasar untuk setiap kelompok akan mengevaluasi *cooler box* yang sudah di rancang dengan menyebutkan beberapa faktor yang mempengaruhi kinerja *cooler box*nya. Secara implisit, ini sejalan dengan tujuan utama metode pembelajaran berbasis proyek dalam mendorong pengembangan keterampilan penulisan ilmiah dan pengenalan struktur penulisan tugas akhir, serta kemampuan pemecahan masalah dan pengambilan keputusan (Jumrodah et al., 2021).

Penelitian ini dapat menjadi referensi bagi pengajar/ peneliti selanjutnya tentang pentingnya perancangan dan evaluasi hasil proyek yang sudah dirancang oleh mahasiswa, Harapannya penelitian ini dapat memberikan gambaran pada pendidik tentang proses dan pentingnya penilaian dalam pembelajaran berbasis proyek, khususnya dalam mengintegrasikan *authentic assessment* untuk menilai proyek akhir yang dirancang (Indriati et al., 2024). Selanjutnya penelitian ini memberikan pengalaman kepada mahasiswa tentang pentingnya proses dalam membuat prototipe, seperti pengalaman dalam mendesain-membuat dan melakukan uji kelayakan. Selain itu, penelitian ini juga diharapkan dapat menjadi landasan bagi pengembangan kurikulum untuk lebih menekankan pada pengalaman praktis dan pemecahan masalah nyata, serta mendorong inovasi dalam desain pedagogis pembelajaran *Project Based Learning* dalam setiap matakuliah ((Sonia et al., 2021; Sutrisno & Syukur, 2023). Pada penelitian ini, difokuskan pada 1) bagaimana karakteristik desain yang dibuat; 2) bagaimana kemampuan *cooler box* yang di rancang; 3) bagaimana pengalaman belajar mahasiswa dalam penyelesaian proyek *cooler box*.

Tulisan ini disusun dalam enam bagian utama. Setelah pendahuluan ini, akan diuraikan tinjauan pustaka terkait penerapan Pembelajaran Berbasis Proyek dan prinsip-prinsip termodinamika pendinginan pasif. Selanjutnya memaparkan metodologi penelitian (desain tugas proyek, spesifikasi prototipe, prosedur pengujian *cooler box*). Kemudian menyajikan hasil dan analisis data kinerja masing-masing kelompok yang disertai serta analisis hasil evaluasi yang dilakukan. Pada bagian akhir, akan dipaparkan hasil temuan dan keterbatasan studi, dan rekomendasi untuk penelitian lanjutan.

## METODE

Penelitian ini melibatkan 34 mahasiswa yang mengambil Mata Kuliah Termodinamika Program Studi Pendidikan Fisika, Universitas Lampung, pada semester Genap 2023/2024. Mahasiswa dikelompokkan menjadi 7 (tujuh) kelompok. Penentuan anggota kelompok menggunakan metode *purposive sampling*, Desain penelitian ini menggunakan studi kasus eksploratori dengan pendekatan *mixed-methods* (R. Ponelis, 2015). Penelitian ini diterapkan pada konteks pembelajaran berbasis proyek dengan fokus proyek adalah *cooler box* dengan kemampuannya termalnya. Penelitian ini dilakukan di Matakuliah Termodinamika di Program Studi Pendidikan Fisika, Universitas Lampung. Mahasiswa mengerjakan proyek bersama rekan kelompoknya, dimana satu kelompok beranggotakan 3 dan atau 4 orang. Selanjutnya mahasiswa bersama kelompoknya melakukan perancangan, pembuatan dan pengujian kelayakan *cooler box*. Tahapan dalam penelitian ini diintegrasikan dengan pembelajaran berbasis proyek sebagai berikut :



Penelitian ini memiliki 3 jenis data utama, meliputi data spesifikasi jenis bahan yang digunakan untuk *cooler box*, data waktu (kinerja *cooler box*) dalam mempertahankan/ menurunkan temperatur dan

data rancangan sistem yang didesign pada *cooler box*. Berikut Tabel 1 memetakan teknik pengumpulan dan analisis data.

Tabel 1. Matrik Teknik pengumpulan data

Data	Teknik Pengumpulan	Instrumen & Prosedur Kunci
Spesifikasi material & Rancangan	Dokumentasi Artefak	Formulir Spesifikasi + Dokumentasi Foto
Proses Fabrikasi	Observasi Terstruktur	Lembar Ceklis Observasi
Kinerja Termal	Eksperimen Terkontrol	7 Data Logger + selama 8 jam
Refleksi Pembelajaran	Survei	Kuesioner Likert & Pertanyaan Terbuka

Pada penellitia ini, data-data dianalisis secara terpisah kemudian diintegrasikan. Data kualitatif (spesifikasi desain, laporan, observasi) dianalisis dengan analisis konten deskriptif dan analisis tematik komparatif untuk mengidentifikasi pola inovasi dan tantangan. Data kuantitatif (laju pemanasan, skor kuesioner) dianalisis dengan statistik deskriptif (mean, persentase) dan peringkat kinerja. Integrasi data dilakukan melalui triangulasi konvergen. Temuan dari kedua jenis data dihubungkan untuk saling mengonfirmasi dan memperkaya interpretasi.

## HASIL

Penelitian ini telah mengumpulkan data dari 7 kelompok yang telah menyelesaikan proyek *cooler box*. Berdasarkan data yang dikumpulkan dengan beberapa teknik pengumpulan data, diperoleh temuan yang dikelompokkan dalam tiga aspek utama, sebagai berikut :

### 1. Karakteristik Design dan spesifikasi Cooler Box

Berdasarkan hasil dokumentasi dan analisis laporan dari setiap kelompok ditemukan analisis konten kuantitatif deskriptif yang dijjaparkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Analisis material, ketebalan dan Penutup celah setiap kelompok

Kelompok	Material	Kategori Isolator	Ketebalan (cm)	Penutup Celah	Efektivitas Isolasi Termal	Inovasi Design
1	Aluminium foil Lakban Kotak Styrofoam Balok kayu	Isolator Komposit (Styrofoam + Kayu)	~3-4	Lakban (permukaan)	Rendah	Struktur rangka kayu dengan infill styrofoam
2	steroform, aluminium foil, lakban, aibon, kotak kayu	Isolator Foam (Sterofoam)	~2-3	Lakban & Aibon (sambungan)	Sedang	Integrasi struktur dengan lem penetrasi (aibon)
3	Playfoam Lakban Hitam Alumunium Foil	Isolator Foam (Playfoam)	~2	Lakban Hitam (sambungan)	Rendah-sedang	Segel tekanan konstan pada material fleksibel (playfoam)
4	Sterofoam, aluminium foil, Sabut kelapa, PVC, Isolasi	Isolator Hybrid (Sterofoam + Sabut Kelapa)	~5-6	Isolasi pipa PVC & foil	Tinggi	Insulasi hybrid (sintetik+alami) & segel kompresi
5	Styrofoam Aluminium foil Kardus, Lakban Lem aibon	Isolator Komposit (Styrofoam + Kardus)	~3	Lakban (sambungan)	Sedang	Dinding berlapis (kardus-styrofoam-foil)
6	Styrofoam, lakban coklat, aluminium foil,	Isolator Hybrid	~4	Lakban & lem tembak	Sedang-Tinggi	Penerapan <i>metal foam</i>

Kelompok	Material	Kategori Isolator	Ketebalan (cm)	Penutup Celah	Efektivitas Isolasi Termal	Inovasi Design
	aluminium foam, lem tembak,	(Styrofoam + Al. Foam)				(aluminium berpori) sebagai insulator
7	Box plastik HDPE Styrofoam Aluminium foil	Isolator Prefab (Styrofoam dalam HDPE)	~3	Segel plastik HDPE (built-in)	Tinggi	Adaptasi wadah prefabrikasi kedap (retrofit insulation)

Pengkategorian tingkat kerapatan pada Tabel 3 diatas, dikelompokkan dalam tiga kategori. Kategori tinggi jika celah ditutup dengan mekanisme penutupan built-in yang rapat dan menggunakan material kedap tekanan seperti busa, karet dan pipa. Kategori sedang jika menggunakan perekat yang mengisi celah (lem cair, aibon) atau kombinasi perekat. Kategori rendah jika hanya mengandalkan perekat permukaan (lakban) tanpa upaya mengisi celah.

## 2. Hasil Perbandingan Uji Coba Cooler Box

Hasil pengujian dan analisis data ditemukan variasi kinerja termal yang signifikan pada ketujuh cooler box. Ditampilkan pada tabel 2 berikut:

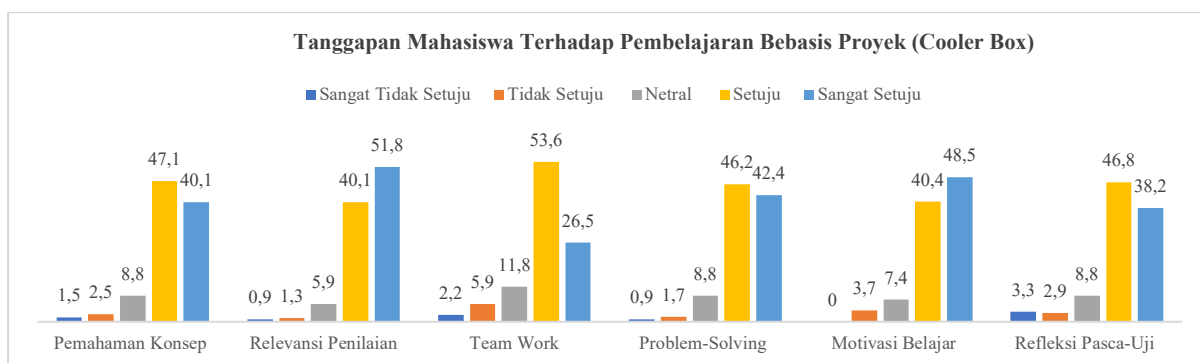
Tabel 2. Hasil pengujian kinerja cooler box masing-masing kelompok

Kelompok	Selisih massa Es (kg)	Laju Pemanasan ( $^{\circ}\text{C}/\text{menit}$ )	Laju Peleburan Es (kg/jam)	Peringkat
1	0.214	0.892	0.0535	7
2	0.094	0.392	0.0235	2
3	0.166	0.692	0.0415	5
4	0.069	0.288	0.0173	1
5	0.197	0.821	0.0493	6
6	0.090	0.375	0.0225	3
7	0.106	0.442	0.0265	4

Kelompok 4 memiliki kinerja terbaik dibanding kelompok yang lain, terlihat dari konsistensi rendahnya perolehan laju pemanasan dan laju peleburannya. Sebaliknya, kelompok 1 memperoleh capaian nilai laju pemanasan dan laju peleburan paling tinggi.

## 3. Refleksi Pembelajaran dan Persepsi Mahasiswa

Berdasarkan tanggapan dari 34 mahasiswa terhadap perkuliahan berbasis proyek ini, ditemukan hasil analisis statistik deskriptif yang dijabarkan dalam enam indikator seperti pada grafik 1 berikut.



**Grafik 1.** Tanggapan mahasiswa terhadap Pembelajaran berbasis proyek

Selanjutnya hasil analisis data tanggapan dijabarkan pada tabel 3 sebagai berikut:

Tabel 3. Tanggapan siswa terhadap perkuliahan berbasis proyek cooler box

Indikator	Capaian	Mean ( $\mu$ )	Standar Deviasi ( $\sigma$ )	Kategori
-----------	---------	----------------	------------------------------	----------

Pemahaman Konsep	84.36%	4.22	0.82	Sangat Positif
Relevansi Penilaian	88.12%	4.41	0.74	Sangat Positif
Kerja sama	79.26%	3.97	0.93	Positif
Pemecahan Masalah	85.50%	4.28	0.79	Sangat Positif
Motivasi	86.74%	4.34	0.75	Sangat Positif
Refleksi proyek	82.74%	4.14	0.97	Positif
<b>Rata-rata</b>	<b>84,5 %</b>	<b>4.23</b>	<b>0.83</b>	<b>Sangat Positif</b>

Berdasarkan hasil analisis statistik deskriptif refleksi dari 34 mahasiswa secara keseluruhan ternyata 84,5% mahasiswa memberi respon positif terhadap pembejaran berbasis proyek. Capaian rata-rata Indikator ‘relevansi penilaian’ meraih skor tertinggi, dan indikator ‘kerja sama’ menunjukkan capaian paling rendah diantara yang indikatr lainnya, namun masih masuk kategori positif. Analisis statistik deskriptif secara keseluruhan membuktikan bahwa pembelajaran berbasis proyek dengan output berupa *cooler box* dan pengujian kinerja efektif dalam mencapai tujuan pembelajaran yang dapat meningkatkan pemahaman konseptual serta melatih kemampuan kerjasama antar mahasiswa.

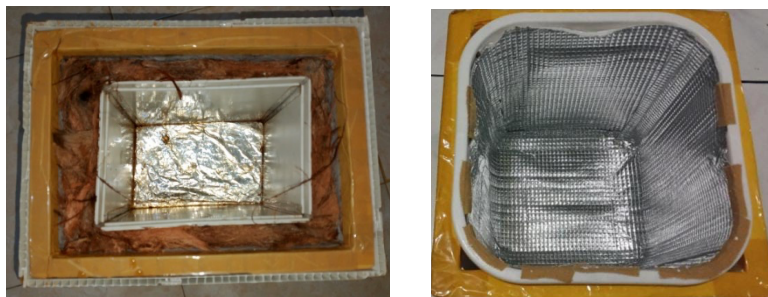
## PEMBAHASAN

### 1. Karakteristik Design Cooler Box

Secara umum, analisis mendalam terhadap proses design proyek cooler box pada tahap perencanaan proyek dan pemantauan, mencerminkan tingkat pemahaman dan kreativitas yang bervariasi antar kelompok. Pada hasil proyek ini, peneliti mengkategorikan dalam bentuk desain berbasis prinsip atau desain berbasis ketersediaan material. Pertama, Desain berdasarkan prinsip menunjukkan adanya inovasi yang merupakan hasil dari analisis kebutuhan dari masalah pada tahap perencanaan. Kedua desain berdasarkan ketersediaan material, menunjukkan bahwa tim cenderung menggunakan bahan yang tersedia untuk membuat produk yang berfungsi tanpa inovasi mendalam (Mawaddah & Mahmudi, 2021)

Berdasarkan hasil deskripsi karakteristik design dan spesifikasi proyek *cooler box* sebagian besar ditemukan karakteristik desain memilih insulator foam tunggal yaitu styrofoam. Berdasarkan hasil deskripsi karakteristik design dan spesifikasi proyek *cooler box* sebagian besar ditemukan karakteristik desain memilih insulator foam tunggal yaitu styrofoam. Strofoam merupakan material berkonduktivitas rendah yang sesuai untuk insulasi, dengan konduktivitas termal yang berkisar antara 0,02 hingga 0,06 W/mK untuk busa kaku, yang mengindikasikan kemampuan untuk membatasi transfer panas secara efektif (Sunaryo et al., 2023). Terdapat 4 kelompok (1,2,3,dan 5) yang menggunakan insulator tunggal yaitu Strofoam.

Beberapa kelompok yang lain seperti kelompok 4,6 dan 7 mencoba mengkombinasikan beberapa insulator sebagai inovasi. Sebagai contoh kelompok 4, mengkombinasikan Strofoam dengan sabut kelapa dan kelompok 7 mengadaptasi wadah prefabrikasi HDPE). Adanya inovasi dalam perancangan cooler box menunjukkan adanya upaya untuk menyelesaikan masalah secara kreatif (Suharyati & Putu Arga, 2023). Ini berdampak terhadap kinerja dari *cooler box* yang dirancang, ditandai dengan rendahnya capaian laju pemanasan dan laju peleburan. Bentuk design ditunjukkan seperti berikut :



Gambar 1. Inovasi desain cooler box dengan multi insulator

Selain kualitas pilihan material, penutup celah juga menjadi indikator penilaian kualitas *cooler box* karena keberadaan ada/ tidak adanya celah pada desain menggambarkan bentuk rancangan sistem, agar tidak ada energi yang terbuang dengan rancangan sistem terisolasi (Manuhutu & Melda Agnes,



2025). Berdasarkan hasil analisis rancangan penutup celah pada proyek *cooler box*, kelompok 4 dan 7 telah berusaha mengatasi celah dan membuat sistem agar dapat terisolasi dengan menggunakan isolasi pipa dan HDPE. Sedangkan kelompok 1 dan 3 masih menggunakan lakban/ perekat permukaan untuk menutupi celah. Keadaan ini menggambarkan bahwa adanya perbedaan pemahaman tentang perpindahan panas secara konveksi dimana perpindahan kalor dapat terjadi melalui aliran fluida (cair/gas) karena partikelnya ikut berpindah membawa (As Syukri et al., 2023). Variasi dalam mengatasi celah dan menciptakan kerapatan yang lebih tinggi akan berkorelasi dengan laju pemanasan yang lebih rendah, sehingga minimnya kebocoran udara panas secara konvektif masuk ke dalam *cooler box*.

Secara keseluruhan karakteristik desain *cooler box* yang dirancang dan diaplikasikan oleh mahasiswa bervariasi. Variasi desain ini dimulai dari prinsip dasar hingga desain yang didasarkan oleh karakteristik material yang dipilih berdasarkan pemahaman konsep perpindahan panas dan termodinamika. Sebagai tambahan, antisipasi untuk penutup celah juga menjadi aspek kritis yang perlu dipertimbangkan, namun kesadaran mahasiswa terhadap ini masih bervariasi. Bervariasinya rancangan material dan penutup celah ini menunjukkan kualitas fase perencanaan dalam sintak pembelajaran proyek, karena keberhasilan fase perencanaan ditandai dengan mahasiswa mampu memprediksi berbagai kompleksitas masalah dan mengajukan berbagai inovasi untuk mengatasinya (Jeliana Veronika Sirait et al., 2023).

## 2. Analisis Kemampuan Cooler Box

Kemampuan cooler box dalam menurunkan/ menjaga suhu sistem agar tetap rendah dapat didapatkan dari data hasil ujicoba/ eksperimen pada tahap pengujian. Pelaksanaan dilakukan bersamaan dengan menggunakan es batu dengan massa awal yang sama. Kinerja masing-masing *cooler box* dipantau dengan mencatat massa es dalam selang waktu 30 menit selama 6 jam.



**Gambar 2.** Proses pengujian cooler box

Berdasarkan hasil analisis data, ditemukan hubungan yang jelas dan sejalan antara inovasi desain dan hasil uji *cooler box*. Kelompok 4 meraih hasil uji coba terbaik dengan laju pemanasan terendah yaitu  $0,288\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{menit}$ , dengan mengimplementasikan inovasi desain dan material dengan kombinasi sterofoam dan sabut kelapa, merancang ketebalan paling tebal. Sehingga menghasilkan efektivitas isolasi termal yang tinggi, terbukti dari paling rendahnya laju pelaburan es  $0.0173\text{ kg}/\text{jam}$ .

Sebaliknya, cooler box pada kelompok 1 pada saat pengujian menunjukkan kinerja paling rendah karena hanya menggunakan balok kayu sebagai dinding dan lakban sebagai penutup celah sehingga menyebabkan tidak certiptanya sistem terisolasi. Pola serupa terlihat pada Kelompok 7 walaupun hanya menggunakan insulator standar yaitu styrofoam 3 cm, berhasil mencapai kinerja baik lebih baik karena adanya inovasi desain berupa adaptasi wadah HDPE dengan penutup celah *built-in*. Ini membuktikan bahwa dalam desain *cooler box* sederhana, penutup celah (*sealing integrity*) menjadi faktor penentu yang lebih kritis daripada ketebalan material, ini merupakan prinsip praktis yang berhasil ditemukan dalam tahap pengujian ini.

Kinerja buruk terdapat pada Kelompok 1 (laju pemanasan  $0,892\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{menit}$ ) dapat dijelaskan melalui pelanggaran terhadap prinsip dasar perpindahan panas. Pertama, penggunaan balok kayu sebagai struktur utama merupakan pilihan material yang tidak tepat karena kayu memiliki konduktivitas termal ( $\sim 0,15\text{ W}/\text{m.K}$ ) yang jauh lebih tinggi dibandingkan insulator seperti styrofoam ( $\sim 0,03\text{ W}/\text{m.K}$ ). Hal ini menjadikan dinding cooler box sebagai jalur konduksi yang efektif untuk panas dari lingkungan masuk ke dalam sistem. Kedua, ketergantungan pada lakban sebagai satu-satunya segel hanya menutup celah secara superfisial tanpa mengisi rongga udara. Celah mikro ini memfasilitasi aliran konvektif udara hangat yang signifikan, mengingat perpindahan panas konveksi jauh lebih besar dibandingkan konduksi pada fluida. Kombinasi dari konduksi tinggi melalui dinding kayu dan kebocoran konvektif ini menciptakan sistem yang secara termodinamika tidak terkontrol, di mana laju perpindahan panas

masuk (Q masuk) jauh melampaui kapasitas penyerapan panas laten oleh es, sehingga suhu internal meningkat cepat.

Kemampuan *cooler box* sangat berkorelasi dengan pilihan desain dan material yang dipilih. Terbukti bahawa hasil uji coba terbaik dihasilkan dari kombinasi optimal jenis material insulator dan sistem penutupan celah, ini merupakan prinsip dasar yang perlu dipertimbangkan ketika akan membuat *cooler box*. Sehingga melalui penelitian ini berhasil mengidentifikasi hierarki faktor penentu kinerja *cooler box* sederhana: (1) Penutup celah untuk meminimalkan konveksi, (2) Ketebalan & Jenis material untuk meminimalkan konduksi, dan (3) Konfigurasi Ruang. Urutan ini, ditemukan melalui eksperimen ujicoba yang sistematis, sehingga dapat memberikan bukti (*evidence-based guideline*) untuk desain produk pendingin pasif berbiaya rendah.

Eksperimen ini secara empiris memvalidasi hukum-hukum dasar termodinamika dan perpindahan panas. Performa unggul dari desain seperti milik Kelompok 4 pada dasarnya adalah upaya memaksimalkan resistansi termal total ( $R_{total}$ ) sistem terhadap tiga mode perpindahan panas: (1) Konduksi dikendalikan dengan memilih material berkonduktivitas rendah dan ketebalan yang memadai (sterofom dan sabut kelapa tebal), (2) Konveksi ditekan dengan menerapkan segel kompresi yang menghilangkan celah aliran udara, dan (3) Radiasi diminimalkan dengan lapisan pemantul (aluminium foil). Pengujian ini juga mendemonstrasikan Hukum Pertama Termodinamika dalam sistem terbuka: perubahan energi dalam sistem (ditunjukkan oleh peleburan es dan kenaikan suhu udara) sama dengan energi bersih yang ditransfer (panas dari lingkungan dikurangi panas yang terblokir oleh insulator). Dengan demikian, perbedaan kinerja antar prototipe merupakan cerminan langsung dari efektivitas desain dalam memperlambat laju perpindahan energi panas dari reservoir bersuhu tinggi (lingkungan) ke reservoir bersuhu rendah (es di dalam kotak).

### 3. Pengujian Kinerja sebagai Penilaian Autentik

Proses pengujian sebagai bagian utama dari proses penilaian autentik (Abdurrohim & Khuriyah, 2022) terhadap hasil *desain cooler box* masing-masing kelompok. Selanjutnya mahasiswa diarahkan untuk menentukan laju pemanasan dan laju peleburan es. Proses penilaian ini mendapat respon tertinggi dengan ( $\mu=4.41$ ) membuktikan bahwa adanya penilaian yang adil, sesuai dan lebih bermakna. Sehingga, penilaian autentik yang sudah dilakukan sudah sesuai dengan karakteristik penilaian dalam pembelajaran berbasis proyek (Rifai et al., 2023). Hasil pengujian memberikan umpan balik kepada mahasiswa tentang kualitas desain *cooler box* yang telah dirancang. Hasil uji menjadi dasar atau fakta yang memvalidasi rancangan desain mahasiswa dan memperkuat pemahaman konseptualnya.

Penilaian autentik yang dilakukan untuk mengevaluasi *cooler box* ini menjadi salah satu asesmen yang dapat membantu mengatasi kelemahan penilaian yang hanya menilai hasil belajar saja, karena dengan penilaian autentik kita dapat mengakses proses belajar dan hasil belajar secara nyata (Nurmalisa et al., 2021). Harapannya dengan adanya penilaian autentik mahasiswa dapat lebih termotivasi untuk mengembangkan kompetensi diri karena adanya motivasi intrinsik dan keterlibatan yang lebih dalam saat proses perancangan.

Keotentikan penilaian pada *cooler box* terletak pada keterkaitan yang transparan antara proses dan hasil uji coba. Setiap keputusan dan pilihan dalam perancangan desain dalam pembelajaran proyek memiliki konsekuensi yang kuat dan terukur, yang menunjukkan adanya hubungan sebab-akibat yang jelas antar proses dan hasil (Zega, 2022). Sebagai contoh, keputusan kelompok 4 untuk menggunakan isolasi pipa untuk penutup celah secara langsung tercermin tentang pemahaman tentang laju pemanasan yang rendah. Sebaliknya, keputusan kelompok 1 untuk mengandalkan lakban permukaan berakibat pada buruknya hasil uji. Ini menggambarkan korelasi yang membuat penilaian menjadi adil dan dapat dipertanggung jawabkan sesuai dengan proses dan hasil pembelajaran yang dilakukan.

### 4. Pengalaman dari Pembelajaran berbasis Proyek dengan Autentik Asesmen

Pengalaman dalam proses pembelajaran tergambar dari hasil refleksi perkuliahan. Secara umum berdasarkan respon yang diberikan mahasiswa maka dapat dijabarkan beberapa pengalaman belajar yang diperoleh mahasiswa, diantaranya terciptanya pembelajaran mendalam yang mendukung pengembangan keterampilan abad 21.

Pembelajaran mendalam diciptakan melalui adanya integrasi antara teori, rancangan dan hasil ujicoba. Terlihat dari tingginya perolehan respon terhadap pemahaman konsep ( $\mu=4.22$ ) dan pemecahan masalah ( $\mu=4.28$ ) ini artinya membutuhkan bahwa proyek cooler box membuat mahasiswa tidak hanya memahami dan menghafal rumus termodinamika, tetapi juga mampu menciptakan suatu cooler box dengan mempertimbangkan kriteria material yang digunakan bersamaan dengan sistem untuk penutup celahnya sehingga dapat mempengaruhi kurva pendinginan. Selanjutnya pada tahap refleksi mahasiswa diarahkan untuk



melihat hasil pengujian cooler box selanjutnya diminta untuk menganalisis keberhasilan hasil uji coba tersebut dengan menghitung dan menentukan efisiensi relatif. Efisiensi relatif pada hasil analisis didasarkan pada pengkategorian laju emanasi (Bellos, 2023). Pada Tabel 4 berikut hasil uji efisiensi untuk masing-masing kelompok berdasarkan kemampuan cooler box.

Tabel 4. Hasil uji efektifitas cooler box

Kelompok	Efisiensi Relatif
1	Rendah
2	Tinggi
3	Sedang
4	Sangat Tinggi
5	Rendah
6	Tinggi
7	Sedang

Selanjutnya, pembelajaran berbasis proyek ini juga melatih keterampilan abad 21, hal ini tercermin dari tingginya respon ( $\mu=3.97$ ) terhadap butir angket 'kerja sama'. Capaian ini mencerminkan bukti bahwa selama pengerjaan proyek "cooler box" mahasiswa dituntut untuk berkolaboratif yang meliputi kemampuan beradaptasi dengan anggota kelompok, pembagian tugas dan penyusunan strategi untuk menyelesaikan proyek bersama. Sehingga dapat disimpulkan, bahwa pembelajaran berbasis proyek dapat melatih kemampuan *soft skill* mahasiswa.

### 5. Integrasi temuan Desain, Kinerja, dan Refleksi Pembelajaran

Pendekatan studi kasus eksploratori dengan analisis triangulasi mencoba untuk memadukan data karakteristik desain (kualitatif), kinerja termal (kuantitatif), dan refleksi pembelajaran (kuantitatif-kualitatif). Analisis triangulasi ini dilakukan untuk menghasilkan hubungan antar data. Sehingga dapat memberikan pembahasan yang lebih komprehensif tentang efektivitas pembelajaran berbasis proyek pada matakuliah termodinamika.

Pertama, terlihat pola kesesuaian yang konsisten antar data. Konvergensi data yang konsisten, seperti yang ditunjukkan oleh Kelompok 4 (inovasi desain → kinerja superior → refleksi mendalam), memberikan bukti empiris yang kuat untuk teori belajar konstruktivisme. Temuan ini menunjukkan bahwa pengetahuan tidak ditransfer, melainkan dikonstruksi secara aktif oleh mahasiswa melalui keterlibatan dalam siklus belajar yang otentik: desain (mengonseptualisasi), fabrikasi (mewujudkan), pengujian (mengonfirmasi/menyangkal), dan refleksi (menginternalisasi). Proses ini selaras dengan prinsip scaffolding dan cognitive apprenticeship, di mana dosen berperan sebagai fasilitator yang membimbing mahasiswa dari konsep abstrak (prinsip termodinamika) menuju produk konkret (cooler box yang berfungsi). Data kinerja yang objektif (misal, laju pemanasan 0,288 vs 0,892 °C/menit) berfungsi sebagai umpan balik eksternal yang tidak terbantahkan, yang memicu disequilibrium kognitif dan mendorong reorganisasi skema mental mahasiswa tentang efisiensi termal. Dengan demikian, PjBL dalam penelitian ini bukan sekadar metode, tetapi merupakan manifestasi operasional dari konstruktivisme sosial di mana pengetahuan dibangun secara kolaboratif melalui penyelesaian masalah nyata. Hubungan sebab-akibat ini secara empiris mendukung teori belajar konstruktivisme, yang menyatakan bahwa pembelajaran mendalam terbangun melalui keterlibatan aktif dalam siklus desain, pembuatan, pengujian, dan refleksi. Maka dapat disimpulkan pembelajaran berbasis proyek ini mendukung teori belajar konstruktivisme.

Kedua, berdasarkan analisis ketiga sumber data, secara umum adanya keberhasilan pembelajaran berbasis proyek. Ditemukan keberagaman inovasi desain cooler box oleh masing-masing kelompok. Selanjutnya pada tahap pengujian desain cooler box memberikan umpan balik objektif, selanjutnya hasil pengujian diproses dalam tahap refleksi untuk membangun dan mengoreksi pemahaman yang mendalam. Sehingga luaran dan performa dari pembelajaran berbasis proyek ini terukur, secara keseluruhan dapat meningkatkan kemampuan kognitif, psikomotor, dan afektif mahasiswa. Efektifitas pembelajaran proyek dalam penelitian ini telah berhasil dibuktikan melalui adanya bukti yang saling berkolaborasi yang menyatakan bahwa produk cooler box rancangan mahasiswa, dokumentasi proses dan adanya perspektif yang positif selama perkuliahan.

Ketiga, berdasarkan analisis terpadu juga diperoleh temuan yang bertolak belakang antar datanya, ini memberikan gambaran bahwa adanya keberagaman capaian pembelajaran. Ini termati pada kelompok 6 yang menggunakan material inovatif (aluminium foam) namun hanya mencapai kinerja sedang. Setelah ditelusuri ternyata data observasi dan refleksi menggambarkan bahwa adanya kesulitan fabrikasi dan penutup celah. Ini menjadi bahan evaluasi terhadap kurikulum selanjutnya. Berdasarkan analisis mendalam terhadap temuan triangulasi, penelitian ini memiliki implikasi strategis yang dapat mengarahkan transformasi kurikulum dan pedagogi dalam pendidikan teknik dan sains terapan di masa depan. Pertama, hasil penelitian memberikan dukungan empiris yang kuat untuk merestrukturisasi kurikulum dari pendekatan terfragmentasi—di mana teori dan praktikum sering terpisah—menuju kurikulum terintegrasi yang dibangun di sekitar siklus design-build-test-learn. Dalam model ini, mata kuliah seperti termodinamika dapat dirancang dengan capstone project nyata, seperti proyek cooler box, di mana penilaian tidak lagi hanya bertumpu pada ujian teoretis, tetapi pada kemampuan mahasiswa menghasilkan solusi fisik yang teruji secara kinerja. Pergeseran fundamental ini harus didukung oleh pilar penilaian otentik (authentic assessment) yang kokoh. Tingginya persepsi positif mahasiswa terhadap relevansi penilaian ( $\mu=4,41$ ) menjadi bukti bahwa instrumen evaluasi perlu merefleksikan kompetensi dunia nyata. Oleh karena itu, penilaian berbasis kinerja, portofolio desain, dan refleksi kritis harus diarusutamakan sebagai komponen inti dalam sistem evaluasi.

Kurikulum masa depan perlu secara eksplisit menyertakan scaffolding untuk proses fabrikasi dan troubleshooting guna menjembatani kesenjangan antara desain konseptual dan realisasi praktis. Kasus Kelompok 6, yang menggunakan material inovatif (aluminium foam) namun mencapai kinerja sedang, mengungkap hidden curriculum tentang betapa kritisnya keterampilan fabrikasi. Implikasinya, diperlukan integrasi modul atau workshop khusus yang mengajarkan prinsip design for manufacturability, teknik pengerjaan material, dan pemecahan masalah teknis. Ketiga, variasi kinerja yang lebar antar kelompok—dari yang terbaik hingga terburuk—menunjukkan bahwa analisis kegagalan sama bernilainya dengan pembelajaran dari kesuksesan. Kurikulum harus secara sengaja menciptakan ruang aman untuk menganalisis penyebab kegagalan desain, sehingga mengembangkan resilience dan kemampuan diagnostic thinking mahasiswa. Dengan mengintegrasikan ketiga elemen ini—struktur kurikulum berbasis siklus, sistem penilaian otentik, dan dukungan teknis-psikologis—penelitian ini melampaui sekadar laporan proyek kelas. Studi ini memberikan peta jalan berbasis bukti (*evidence-based roadmap*) untuk mentransformasi perkuliahan termodinamika menjadi lebih relevan, aplikatif, dan selaras dengan cara manusia membangun pengetahuan, sekaligus mempersiapkan lulusan dengan keterampilan abad ke-21 melalui pengalaman belajar yang mendalam dan terukur.

## KESIMPULAN

Hasil dari pembelajaran berbasis proyek menghasilkan *cooler box* dengan karakteristik desain yang dihasilkan mahasiswa bervariasi. Dimulai dari desain sederhana yang hanya menggunakan ketersediaan material hingga desain inovatif yang didasarkan oleh prinsip termodinamika. Inovasi utama terlihat pada penggunaan material komposit/hybrid seperti sterofoam-sabut kelapa dan strategi penutup celah yang rapat dengan segel kompresi atau built-in. Ini menandakan setiap kelompok memiliki tingkat pemahaman dan kreativitas yang bervariasi. Selanjutnya, aspek penutupan celah (sealing) terbukti sebagai prinsip dasar dalam desain, penutup celah ini kurang mendapat perhatian maksimal pada beberapa kelompok sehingga menyebabkan minimnya kualitas *cooler box* yang dihasilkan.

Kemampuan cooler box yang di desain dan diciptkan oleh mahasiswa menunjukkan adanya keberagaman kinerja termal yang dihasilkan. Ini secara langsung berkorelasi dengan kualitas desainnya dan pemahaman awal mahasiswa. Cooler box dengan inovasi desain terpadu terdapat ada pada kelompok 4, karena memiliki laju pemanasan yang paling lambat. Sementara desain dengan material dan segel sederhana terdapat pada kelompok 1 dengan laju pemanasan paling cepat. Penelitian ini berhasil mengidentifikasi hierarki faktor penentu kinerja cooler box, yaitu (1) Integritas Penutupan Celah, (2) Ketebalan & Jenis Insulator, dan (3) Konfigurasi Ruang.

Pengalaman belajar mahasiswa dalam perkuliahan termodinamika dengan pembelajaran berbasis proyek ini secara keseluruhan sangat positif. Karena pembelajaran Berbasis Proyek berbregan dengan penilaian autentik melalui pengujian cooler box yang dihasilkan. Pembelajaran ini berhasil menciptakan pengalaman belajar yang mendalam, ditunjukkan oleh tingginya persepsi mahasiswa terhadap relevansi penilaian, ada peningkatan pemahaman konsep dan keterampilan pemecahan

masalah. Selain itu, pembelajaran ini juga telah melatih keterampilan kolaborasi (*soft skill*) dalam konteks nyata, sebagai salah satu kemampuan yang sangat diperlukan di abad 21.

## REFERENSI

- Abdurrahman, A., Maulina, H., Nurulsari, N., Sukamto, I., Umam, A. N., & Mulyana, K. M. (2023). Impacts of integrating engineering design process into STEM makerspace on renewable energy unit to foster students' system thinking skills. *Heliyon*, 9(4), e15100. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e15100>
- ABDURROHIM, M. I., & KHURIYAH, K. (2022). PENILAIAN AUTENTIK BLENDED LEARNING DENGAN DISCOVERY. *ACADEMIA: Jurnal Inovasi Riset Akademik*, 2(3), 258–265. <https://doi.org/10.51878/academia.v2i3.1555>
- Allanta, T. R., & Puspita, L. (2021). Analisis keterampilan berpikir kritis dan self efficacy peserta didik: Dampak PjBL-STEM pada materi ekosistem. *Jurnal Inovasi Pendidikan IPA*, 7(2). <https://doi.org/10.21831/jipi.v7i2.42441>
- As Syukri, K. A., Perdana, D., Sulthon, Moch. I. M., & Sumarlan, S. H. (2023). Analisis Pindah Panas Konduksi dan Konveksi pada Heat Exchanger Evaporator Efek Ganda pada Pengolahan Nira Tebu. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian Dan Biosistem*, 11(2), 159–171. <https://doi.org/10.29303/jrpb.v11i2.221>
- Bellos, E. (2023). Development of a Semi-Empirical Model for Estimating the Efficiency of Thermodynamic Power Cycles. *Sci*, 5(3), 33. <https://doi.org/10.3390/sci5030033>
- Hidayat, H., Anwar, M., Harmanto, D., Dewi, F. K., Orji, C. T., & Isa, M. R. M. (2024). Two Decades of Project-Based Learning in Engineering Education: A 21-Year Meta-Analysis. *TEM Journal*, 3514–3525. <https://doi.org/10.18421/TEM134-84>
- Indriati, L., Mai, N., & Tan, H. Y.-J. (2024). Enhancing Authentic Assessment in Large-Class Design Education Through Authentic Project-Based Learning. *International Journal of Learning, Teaching and Educational Research*, 23(9), 432–452. <https://doi.org/10.26803/ijlter.23.9.22>
- Jeliana Veronika Sirait, Erlida Amnie, & Hebat Shidow Falah. (2023). Analisis Kreativitas Mahasiswa dengan Menggunakan Model Project Based Learning. *JURNAL PENDIDIKAN MIPA*, 13(4), 970–977. <https://doi.org/10.37630/jpm.v13i4.1245>
- Jumrodah, J., Liliarsari, S., Adisendjaja, Y. H., & Sanjaya, Y. (2021). Peningkatan Keterampilan Berpikir Kritis pada Konsep Biota Laut menuju Pembangunan Berkelanjutan melalui Pembelajaran Berbasis Proyek. *Biosfer : Jurnal Biologi Dan Pendidikan Biologi*, 6(2), 68–78. <https://doi.org/10.23969/biosfer.v6i2.4337>
- Kartadireja, W. N., Dadang Anshori, & Dadang Sunendar. (2024). Pemahaman Bahasa melalui Pengalaman Proyek: Studi Kualitatif pada Implementasi PjBL dalam Mata Kuliah Wajib Umum. *Jurnal Onoma: Pendidikan, Bahasa, Dan Sastra*, 10(1), 426–438. <https://doi.org/10.30605/onoma.v10i1.3293>
- Made Sucipta, Akito Takasaki, I Gede Yoga Darma Santika, Dicky Mahaputra Dewayana, & I Made Astika. (2023). Characterization of the Thermoelectric Coolers and Fatty Acid as a Phase Change Material of the Portable Box Cooler. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 106(1), 16–22. <https://doi.org/10.37934/arfmts.106.1.1622>
- Manuhutu, A., & Melda Agnes. (2025). Perancangan Prototipe Teknologi Cold Box Portable Berbasis Panel Surya Guna Meningkatkan Mutu Hasil Tangkapan Nelayan. *RIGGS: Journal of Artificial Intelligence and Digital Business*, 4(2), 2595–2600. <https://doi.org/10.31004/riggs.v4i2.915>
- Mawaddah, S., & Mahmudi, A. (2021). ANALISIS KEMAMPUAN KOMUNIKASI MATEMATIKA SISWA MELALUI PENGGUNAAN PROJECT-BASED LEARNING TERINTEGRASI STEM. *AKSIOMA: Jurnal Program Studi Pendidikan Matematika*, 10(1), 167. <https://doi.org/10.24127/ajpm.v10i1.3179>
- Mkulo, E. M., Iddrisu, L., Yohana, M. A., Zheng, A., Zhong, J., Jin, M., Danso, F., Wang, L., Zhang, H., Tang, B., Zhou, H., Amoah, K., Huang, J., Wang, B., & Wang, Z. (2025). Exploring salinity adaptation in teleost fish, focusing on omics perspectives on osmoregulation and gut microbiota. *Frontiers in Marine Science*, 12. <https://doi.org/10.3389/fmars.2025.1559871>
- Nurmalisa, Y., Adha, M. M., & Rohman, R. (2021). Providing support for the development of authentic assessment instruments for civic education teachers in Central Lampung Regency. *Community Empowerment*, 6(8), 1477–1488. <https://doi.org/10.31603/ce.5085>

- Peramutya, A. D., Santoso, R., & Prasetya Dinata, M. (2020). Pengaruh Terganggunya Sirkulasi Freon terhadap Mesin Pendingin di KMP Lakaan. *Journal Marine Inside*, 2(2), 46–55. <https://doi.org/10.56943/ejmi.v2i2.22>
- Pratiwi, N., Ahman, E., & Disman. (2023). Efektivitas Model Project Based Learning (PjBL) dalam Pembelajaran Ekonomi SMA pada Kurikulum Merdeka. *Jurnal Neraca: Jurnal Pendidikan Dan Ilmu Ekonomi Akuntansi*, 7(2), 143–154. <https://doi.org/10.31851/neraca.v7i2.14313>
- Prima Dewi, R. (2023). SISTEM PENDINGIN PANEL SURYA OTOMATIS UNTUK MENINGKATKAN DAYA KELUARAN PANEL SURYA. *Simetris: Jurnal Teknik Mesin, Elektro Dan Ilmu Komputer*, 14(1), 1–10. <https://doi.org/10.24176/simet.v14i1.8901>
- R. Ponelis, S. (2015). Using Interpretive Qualitative Case Studies for Exploratory Research in Doctoral Studies: A Case of Information Systems Research in Small and Medium Enterprises. *International Journal of Doctoral Studies*, 10, 535–550. <https://doi.org/10.28945/2339>
- Renita Comalasari Dewi Simanjuntak, Diana Alia, Henna Nurdiansari, & Elly Kusumawati. (2024). Rancang Bangun Cooler Box Portable Menggunakan Peltier. *Jurnal Teknik Mesin, Industri, Elektro Dan Informatika*, 3(4), 24–48. <https://doi.org/10.55606/jtmei.v3i4.4327>
- Rifai, M., Utomo, D. H., Astina, I. K., & Suharto, Y. (2023). Pengaruh model pembelajaran Problem Based Learning (PBL) terhadap hasil belajar siswa berbasis penilaian autentik. *Jurnal Integrasi Dan Harmoni Inovatif Ilmu-Ilmu Sosial*, 3(7), 753–759. <https://doi.org/10.17977/um063v3i7p753-759>
- Sonia, S., Kurniawan, Y., & Mulyani, R. (2021). PENERAPAN MODEL PEMBELAJARAN PROJECT BASED LEARNING (PJBL) TERHADAP PEMAHAMAN KONSEP SISWA PADA MATERI SUHU DAN KALOR. *Journal of Educational Review and Research*, 4(1), 14. <https://doi.org/10.26737/jerr.v4i1.2437>
- Suharyati, T., & Putu Arga, H. S. (2023). Penerapan Model Project Based Learning Untuk Meningkatkan Kemampuan Berpikir Kritis Siswa Pada Pembelajaran PPKn di Kelas IV Sekolah Dasar. *Jurnal Profesi Pendidikan*, 2(1), 45–53. <https://doi.org/10.22460/jpp.v2i1.13037>
- Sunaryo, S., Nasution, A. K., Israyandi, I., Nurrahmawati, P., Wulandari, G., Rafhan, M., Ilhami, I. Z., & Yudho, A. L. (2023). Inovasi Material Komposit Poliuretan menggunakan (ZnO:Nanoselulosa dari Serat Tandan Kosong Buah Kelapa Sawit) Sebagai Penguat Absorpsi Suara dan Insulasi Termal. *Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 12(2). <https://doi.org/10.24127/trb.v12i2.2742>
- Sutrisno, A. B., & Syukur, S. W. (2023). Desain Pedagogis Pembelajaran Project Based Learning (PBL) dalam Pendidikan Seni STEAM. *Jurnal Pelita: Jurnal Pembelajaran IPA Terpadu*, 3(2), 130–143. <https://doi.org/10.54065/pelita.3.2.2023.386>
- Tupamahu, C., Tentua, B. G., Hulihulis, T., & Nurhaeny, A. (2024). Variasi Lilitan Pipa Kapiler Terhadap Kerja Unit Pembuat Es Menggunakan Outdoor AC 1 PK. *Teknobiz : Jurnal Ilmiah Program Studi Magister Teknik Mesin*, 14(3), 202–206. <https://doi.org/10.35814/teknobiz.v14i3.7847>
- Yogeshkumar Jain, Vijay Kurkute, Sagar Mane Deshmukh, Khizar Ahmed Pathan, Ajaj Rashid Attar, & Sher Afghan Khan. (2024). The Influence of Plate Fin Heat Sink Orientation under Natural Convection on Thermal Performance: An Experimental and Numerical Study. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 114(2), 118–129. <https://doi.org/10.37934/arfmnts.114.2.118129>
- Yulianto, H., Ihsan, Y. N., Sumiarsa, D., Ansari, A., & Hendarmawan. (2024). Assessing the sustainability of the blue swimming crab (*Portunus pelagicus*) on the Eastern Coast of Lampung: a holistic approach to conservation and resource stewardship. *Frontiers in Marine Science*, 11. <https://doi.org/10.3389/fmars.2024.1304838>
- Yusri, R., Yusof, A. M., & Sharina, A. (2024). A systematic literature review of project-based learning: research trends, methods, elements, and frameworks. *International Journal of Evaluation and Research in Education (IJERE)*, 13(5), 3345. <https://doi.org/10.11591/ijere.v13i5.27875>
- Zega, A. (2022). Implementasi Pembelajaran Inovatif Model Project Based Learning pada Mata Kuliah Konstruksi Bangunan. *EDUKATIF : JURNAL ILMU PENDIDIKAN*, 4(3), 4398–4407. <https://doi.org/10.31004/edukatif.v4i3.2861>