JURNAL UPI
Journal of Mechanical Engineering Education
(JURNAL PENDIDIKAN TEKNIK MESIN)
Available online at https://ejournal.upi.edu/index.php/jmee
(e.ISSN: 2715-4734, p.ISSN: 2356-4997)

Project-Based Learning Through Electric Drag Gear Ratio Experiments Relevant to the Machine Elements Course

Pembelajaran Berbasis Proyek melalui Eksperimen Rasio Gigi pada Kendaraan Listrik dalam Konteks Mata Kuliah Elemen Mesin

Gita Sirril Qolbi[1], Marsono[2*]

[1,2]Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Malang
Jl. Semarang 5 Malang 65145 Jawa Timur
marsono.ft@um.ac.id*

ABSTRACT/ABSTRAK

This study examines the implementation of the *Project-Based Learning* (PjBL) model through gear ratio experiments on electric drag vehicles as a context for developing machine elements competency, particularly in the power transmission aspect. The novelty of this research lies in the use of competition-based projects as an authentic PjBL environment in which gear ratio selection directly reflects the learning outcomes of the Machine Elements course, especially transmission ratio analysis and mechanical efficiency. The research design uses an *exploratory case study* with total sampling of seven students who are members of the Research Electric Vehicle Team at Universitas Negeri Malang. Data were collected through performance testing of three gear ratio configurations (44/15, 41/16, and 39/16) on a 201-meter drag track, supplemented by a validated reflection questionnaire (12 items, 4-point Likert scale, Cronbach's $\alpha = 0.84$). Quantitative performance data were analyzed using one-way ANOVA ($F = 47.82$, $p < 0.01$), confirming significant differences among the gear ratio configurations. The 41/16 gear ratio produced the fastest average elapsed time (9.55 seconds, SD = 0.050) with the highest consistency, achieving a terminal velocity of 107.29 km/h at a distance of 201 meters. Demonstrated strong perceived competence in technical analysis, problem-solving, teamwork, and data-driven decision-making. These findings imply that authentic competition-based PjBL projects can serve as an effective contextual learning strategy in mechanical engineering education, particularly in bridging theoretical machine elements concepts with real engineering practice.

Penelitian ini mengkaji implementasi model *Project-Based Learning* (PjBL) melalui eksperimen rasio *gear* pada kendaraan *drag* listrik sebagai konteks pengembangan kompetensi elemen mesin, khususnya pada aspek transmisi daya. *Novelty* penelitian ini terletak pada penggunaan proyek berbasis kompetisi sebagai lingkungan PjBL autentik di mana pemilihan rasio *gear* secara langsung mencerminkan capaian pembelajaran mata kuliah Elemen

ARTICLE INFO

Article History:
Submitted/Received
02 March 2026

First Revised
26 May 2026

Accepted
01 July 2026

Online Date
03 Augustus 2026

Publication Date
01 December 2026

Keywords:
Electric Vehicles; Engineering Competencies; Gear Ratios; Mechanical Engineering Education; Project-Based Learning.

Kata kunci:
Kendaraan Listrik; Kompetensi Teknik; Pembelajaran Berbasis Proyek; Pendidikan Teknik Mesin; Rasio Gear

Copyright © [2026] Universitas Pendidikan Indonesia. This work is licensed under the Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License (CC BY-SA 4.0).

DOI: https://doi.org/10.17509/jmee.v13i2.97765
P-ISSN 2356-4997 | E-ISSN 2715-4734

Mesin, terutama analisis rasio transmisi dan efisiensi mekanis. Desain penelitian menggunakan *exploratory case study* dengan total sampling tujuh mahasiswa tim riset *Rev Team* Universitas Negeri Malang. Data dikumpulkan melalui pengujian performa tiga konfigurasi rasio *gear* (44/15, 41/16, dan 39/16) pada lintasan *drag* 201 meter, dilengkapi angket refleksi tervalidasi (12 item, skala *Likert* 4 poin, Cronbach's $\alpha = 0{,}84$). Data performa kuantitatif dianalisis menggunakan *one-way ANOVA* ($F = 47{,}82$, $p < 0{,}01$), yang menunjukkan adanya perbedaan signifikan antar konfigurasi rasio *gear*. Rasio *gear* 41/16 menghasilkan rata-rata waktu tempuh tercepat (9,55 detik, SD = 0,050) dengan konsistensi tertinggi, mencapai kecepatan terminal 107,29 km/jam pada jarak 201 meter. Seluruh anggota tim riset melaporkan capaian kompetensi yang tinggi pada seluruh dimensi yang diukur dalam analisis teknis, pemecahan masalah, kerja sama tim, dan pengambilan keputusan berbasis data. Temuan ini memperlihatkan bahwa proyek PjBL berbasis kompetisi autentik dapat menjadi strategi pembelajaran kontekstual yang efektif dalam pendidikan teknik mesin, khususnya untuk menjembatani konsep teoritis elemen mesin dengan praktik rekayasa nyata.

1. PENDAHULUAN

Pembelajaran pada pendidikan teknik mesin pada prinsipnya tidak cukup apabila hanya menekankan pemahaman teori tanpa memberikan ruang praktik yang menuntut pengambilan keputusan nyata (Rafli & Wibowo, 2022). Mahasiswa pendidikan teknik mesin diharapkan memiliki kemampuan berpikir tinggi termasuk menganalisis masalah, menentukan solusi alternatif, serta melakukan penilaian dan refleksi terhadap keputusan yang diambil (Akhsan & Wibawa, 2024). Namun dalam praktikum perkuliahan, kegiatan pembelajaran kerap kali masih terbatas pada praktikum terstruktur yang langkah kerjanya sudah ditentukan sebelumnya. Kondisi tersebut membuat mahasiswa kurang terbiasa menghadapi permasalahan teknis yang dinamis dan tidak selalu sesuai dengan skenario ideal di lapangan (Agustian *et al*., 2024).

Model pembelajaran berbasis proyek dipandang mampu menghadirkan pengalaman belajar yang lebih kontekstual karena mahasiswa terlibat langsung dalam proses perencanaan, pelaksanaan, dan evaluasi suatu pekerjaan teknis secara menyeluruh (Utama, 2026). Melalui pendekatan ini, mahasiswa belajar melalui proses mencoba, menganalisis hasil, serta melakukan perbaikan secara berulang (Nugraha *et al*., 2023). Keterlibatan aktif tersebut mendorong berkembangnya kemampuan berpikir kritis, komunikasi teknis, dan tanggung jawab terhadap hasil kerja (Funke, 2022). Sejalan dengan itu, *experiential learning* menekankan bahwa pengalaman langsung dan refleksi atas pengalaman tersebut menjadi sumber utama pembentukan kompetensi profesional (Randyputra *et al.*, 2025). Dalam pendidikan teknik mesin, pengalaman menguji dan menganalisis performa suatu sistem mekanis menjadi bagian penting dalam membangun pemahaman yang tidak hanya bersifat konseptual, tetapi juga aplikatif (Tembrevilla *et al*., 2024).

Implementasi pembelajaran berbasis proyek dalam penelitian ini diwujudkan melalui keterlibatan mahasiswa dalam pengembangan kendaraan *drag* listrik untuk mengikuti kompetisi. Proyek tersebut dikerjakan oleh mahasiswa *Rev Team* Universitas Negeri Malang sebagai upaya meningkatkan performa kendaraan pada lintasan 201 meter. Pada tahap awal, penentuan rasio *gear* dilakukan berdasarkan perbandingan teoritis dan estimasi awal tanpa dukungan data eksperimen yang memadai. Dampaknya, waktu tempuh kendaraan menunjukkan ketidakkonsistenan dan akselerasi pada putaran tinggi terasa kurang maksimal. Rasio 44/15 menghasilkan akselerasi awal yang baik, namun pada kecepatan tinggi performa kendaraan belum optimal sehingga distribusi daya tidak tersalurkan secara efektif.

Kondisi tersebut mendorong tim melakukan eksperimen variasi *gear* hingga diperoleh konfigurasi 41/16 dan 39/16. Setiap konfigurasi diuji pada lintasan yang sama melalui analisis performa kendaraan. Proses ini menuntut pemahaman prinsip transmisi, kemampuan analisis objektif, serta kerja sama tim di tengah keterbatasan waktu kompetisi (Oanh & Dang, 2025). Meskipun pembelajaran berbasis proyek telah banyak diteliti, kajian mengenai eksperimen rasio *gear* pada kendaraan *drag* listrik dalam konteks pendidikan teknik mesin masih relatif terbatas (Sukacke *et al*., 2022). Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada penerapan pembelajaran berbasis proyek melalui eksperimen variasi rasio *gear* untuk memperkuat kompetensi teknis mahasiswa pendidikan teknik mesin.

Eksperimen rasio *gear* pada kendaraan *drag* listrik berkaitan langsung dengan CPL mata kuliah Elemen Mesin, khususnya subkompetensi: (1) menganalisis rasio transmisi dan efisiensi mekanis, (2) menghitung serta menginterpretasikan hubungan torsi, kecepatan, dan daya, serta (3) mengambil keputusan teknis berbasis data performa. Kompetensi tersebut menuntut mahasiswa tidak hanya memahami teori, tetapi juga menerapkannya dalam rekayasa nyata (Harithuddin, 2021). Proyek ini menghadirkan situasi autentik yang menunjukkan hubungan rasio mekanis dengan karakteristik akselerasi (Surti *et al*., 2022). Selain memperkuat pemahaman konsep mekanik, pembelajaran juga mengembangkan sikap profesional, ketahanan, dan kemampuan pemecahan masalah (Martínez-Gómez & Nicolalde, 2025).

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan desain *exploratory case study* dengan pendekatan kuantitatif dan kualitatif untuk mengkaji implementasi *Project-Based Learning* (PjBL) melalui eksperimen rasio *gear* kendaraan *drag* listrik. Teknik total sampling digunakan terhadap tujuh anggota tim karena seluruh anggota terlibat langsung dalam proses

eksperimen, mulai dari pengujian hingga pengambilan keputusan teknis (Sanchez-De Miguel *et al*., 2023). Pendekatan ini sejalan dengan karakteristik *case study* yang memungkinkan investigasi mendalam dalam konteks nyata (Juanta *et al*., 2025). Penelitian dilaksanakan pada *Rev Team* Universitas Negeri Malang dalam persiapan kompetisi, dengan fokus pada pengujian rasio *gear* dan dampaknya terhadap kompetensi teknis mahasiswa melalui angket reflektif tervalidasi dan dokumentasi tim.

Implementasi PjBL dalam penelitian ini mengikuti enam sintaks Thomas (2000) yang diadaptasi pada konteks riset teknis kompetitif, meliputi perumusan masalah, perencanaan variasi rasio *gear* (44/15, 41/16, 39/16), pengujian, pemantauan dosen pembimbing, analisis menggunakan *ANOVA* satu arah, serta refleksi pembelajaran. Evaluasi mencakup performa kendaraan (data objektif) dan capaian pembelajaran mahasiswa (data subjektif).

Pengujian performa *drag* listrik dilakukan pada lintasan 201 meter di Kota Malang pada pukul 00.30 untuk menjaga konsistensi kondisi. Variasi rasio *gear* 44/15, 41/16, dan 39/16 diuji pada hari berbeda dengan komponen lain, tekanan ban, sistem kelistrikan, berat kendaraan (124 kg), serta pengemudi yang tetap sama. Analisis menggunakan tiga *run* awal dengan daya baterai di atas 90%. Data direkam menggunakan *RaceBox* berbasis GNSS untuk mengukur posisi, kecepatan, dan *G-force* secara *real-time* sehingga hasil pengujian lebih akurat dan konsisten.

Data kualitatif diperoleh melalui angket refleksi pascaproyek berdasarkan capaian pembelajaran mata kuliah Elemen Mesin yang mencakup pemahaman rasio transmisi dan mekanika *gear*, analisis teknis, pemecahan masalah, serta kerja sama tim. Instrumen terdiri atas 12 item skala *Likert* 4 poin dengan validitas (CVR = 0,83) dan reliabilitas baik (α = 0,84). Data dianalisis secara deskriptif melalui dokumentasi tim, sedangkan data kuantitatif dianalisis menggunakan *one-way ANOVA* dan uji *post-hoc Tukey HSD* untuk mengidentifikasi perbedaan performa antar rasio *gear*.

3. HASIL PENELITIAN

Eksperimen variasi rasio *gear* dilaksanakan secara sistematis pada lintasan lurus sepanjang 201 meter. Seluruh pengujian dilakukan pada lintasan, kondisi permukaan jalan, waktu pengujian (pukul 00.30 WIB), kendaraan, serta pengemudi yang sama guna menjaga konsistensi variabel bebas. Data performa direkam menggunakan perangkat *RaceBox* berbasis *Global Navigation Satellite System* (GNSS) tanpa modifikasi atau penyuntingan data. Setiap konfigurasi rasio *gear* diuji lebih dari tiga kali, tiga *run* terbaik dengan kondisi

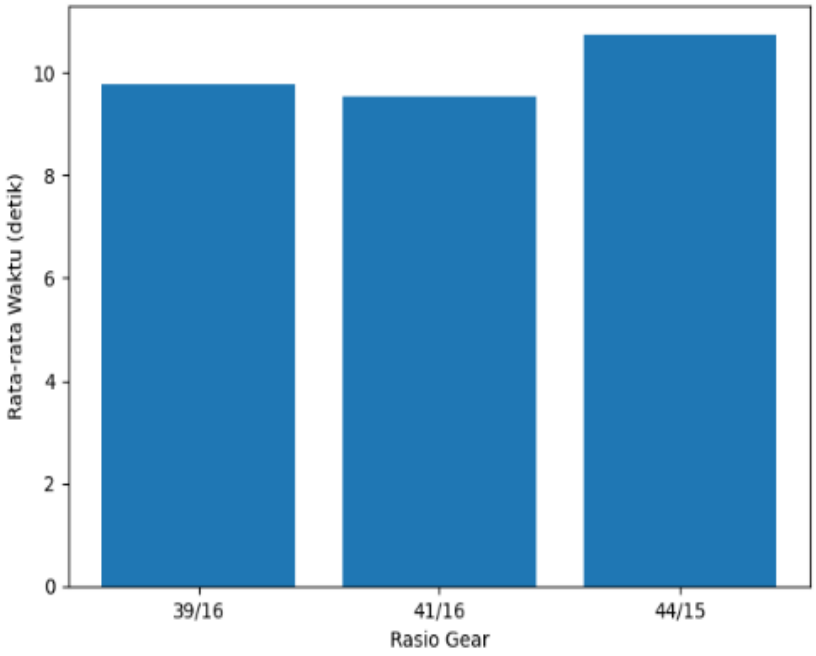
daya baterai di atas 90% dipilih sebagai dasar analisis. Rekapitulasi data waktu tempuh disajikan pada tabel 1.

Tabel 1. Rekapitulasi waktu tempuh setiap rasio *gear* pada lintasan 201 meter

Rasio *Gear*	*Run* 1 (Detik)	*Run* 2 (Detik)	*Run* 3 (Detik)	Rata-rata (Detik)	Standar Deviasi
39/16	9,69	9,76	9,85	9,77	0,080
41/16	9,50	9,54	9,60	9,55	0,050
44/15	10,58	10,71	10,96	10,75	0,193

Berdasarkan tabel 1, rasio *gear* 41/16 menghasilkan waktu tempuh tercepat (9,55 detik; SD = 0,050), diikuti 39/16 (9,77 detik; SD = 0,080) dan 44/15 (10,75 detik; SD = 0,193). Nilai simpangan yang lebih kecil pada rasio 41/16 menunjukkan performa paling konsisten, sedangkan 44/15 cenderung kurang stabil. Dari perspektif Elemen Mesin, rasio 41/16 menghasilkan keseimbangan optimal antara torsi awal dan kecepatan sudut, sedangkan rasio 44/15 menghasilkan torsi lebih besar tetapi menurunkan kecepatan terminal sesuai hubungan $\tau = F \times r$ dan $n_2/n_1 = z_1/z_2$.

Pada konfigurasi terbaik (41/16), kendaraan mencapai kecepatan terminal 107,29 km/jam pada lintasan 201 meter dan 89,27 km/jam pada jarak 100 meter. Hasil ini menunjukkan akselerasi progresif yang sesuai dengan teori transmisi daya pada sistem roda gigi rantai. Grafik perbandingan waktu tempuh disajikan pada gambar 1.



Gambar 1. Grafik perbandingan rata-rata waktu tempuh setiap rasio *gear*

Untuk menguji signifikansi statistik perbedaan waktu tempuh antar ketiga konfigurasi rasio *gear*, dilakukan analisis *one-way ANOVA*. Hasil analisis disajikan pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil analisis *one-way ANOVA* waktu tempuh antar konfigurasi rasio *gear*

Sumber Variasi	Jumlah Kuadrat (SS)	df	Rata-rata Kuadrat (MS)	F	p-value
Antar Kelompok (Rasio *Gear*)	4,872	2	2,436	47,82	< 0,001
Dalam Kelompok (Error)	0,306	6	0,051		
Total	5,178	8			

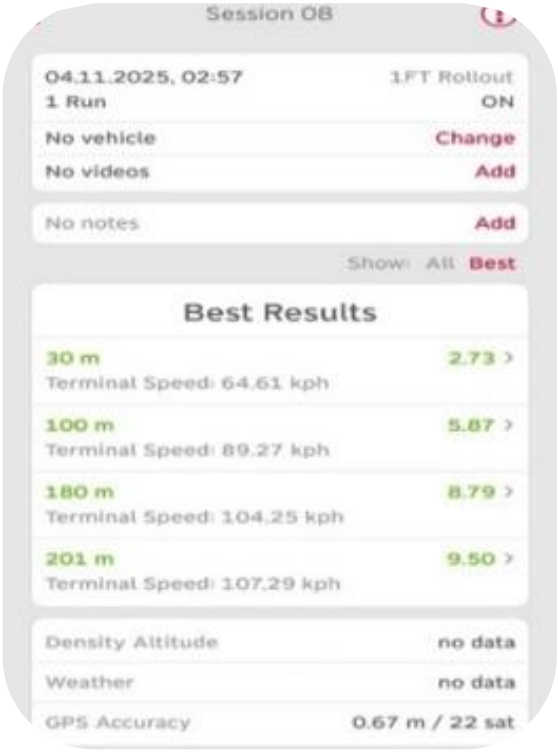
Hasil *ANOVA* pada tabel 2 menunjukkan nilai F = 47,82 dengan p < 0,001, yang berarti terdapat perbedaan yang sangat signifikan secara statistik pada waktu tempuh antar ketiga konfigurasi rasio *gear*. Temuan ini menguatkan bahwa perbedaan performa yang terlihat pada tabel 1 bukan merupakan fluktuasi acak, melainkan perbedaan sistematis yang disebabkan oleh perbedaan konfigurasi rasio transmisi. Hasil uji *post-hoc Tukey* HSD disajikan pada tabel 3.

Tabel 3. Hasil uji *post-hoc Tukey* HSD antar pasangan konfigurasi rasio *gear*

Pasangan Konfigurasi	Selisih Rata-rata (detik)	Std.	p-*value* (*Tukey*)	Keterangan
44/15 vs 41/16	1,200	0,184	< 0,001	Berbeda signifikan
44/15 vs 39/16	0,980	0,184	< 0,001	Berbeda signifikan
41/16 vs 39/16	0,220	0,184	0,048	Beda marginal (p<0,05)

Tabel 3 menunjukkan bahwa pasangan 44/15 vs 41/16 dan 44/15 vs 39/16 menghasilkan perbedaan yang sangat signifikan (p < 0,001), sedangkan pasangan 41/16 vs 39/16 menunjukkan perbedaan yang secara statistik masih signifikan namun bersifat marginal (p = 0,048). Temuan ini mengimplikasikan bahwa meskipun rasio 41/16 lebih optimal dari 39/16, perbedaannya lebih kecil dibandingkan keduanya terhadap konfigurasi awal 44/15.

Gambar 2 menunjukkan proses pengambilan data menggunakan *RaceBox* berbasis GNSS untuk merekam waktu tempuh, kecepatan, dan *G-force* secara *real-time*. Gambar 3 menampilkan lintasan pengujian 201 meter, gambar 4 memperlihatkan proses penggantian konfigurasi roda gigi, sedangkan gambar 5 menunjukkan diskusi evaluasi tim untuk menentukan langkah teknis berikutnya.



Gambar 2. Proses pengambilan data menggunakan perangkat *RaceBox*

Gambar 2 menunjukkan proses pengambilan data menggunakan perangkat *RaceBox* berbasis GNSS.



Gambar 3. Lintasan pengujian 201 meter

Gambar 3 menunjukkan lintasan pengujian sepanjang 201 meter yang digunakan selama eksperimen.



Gambar 4. Proses penggantian rasio *gear* oleh tim

Gambar 4 memperlihatkan proses penggantian konfigurasi *gear* yang dilakukan berdasarkan hasil evaluasi performa kendaraan.



Gambar 5. Diskusi evaluasi antar anggota setelah *run*

Setelah setiap *run*, seluruh anggota tim melakukan diskusi evaluasi untuk menganalisis data performa yang diperoleh dan menentukan langkah teknis sebagaimana ditunjukkan pada gambar 5. Keseluruhan dokumentasi tersebut menunjukkan bahwa proses eksperimen berlangsung dalam siklus iteratif: pengujian, analisis data, diskusi tim, keputusan konfigurasi baru, pengujian ulang. Siklus ini merepresentasikan sintaks PjBL tahap 3 (penyusunan jadwal), tahap 4 (pemantauan kemajuan), dan tahap 5 (pengujian hasil) yang berjalan secara berulang dan saling menguatkan.

Selain data performa kendaraan, penelitian ini mengukur capaian pembelajaran mahasiswa (tim riset) melalui angket refleksi tervalidasi (12 item, skala *Likert* 4 poin, *Cronbach's* $\alpha = 0{,}84$) yang mencakup pemahaman konsep, analisis teknis, pemecahan masalah, serta kerja sama tim dan pengambilan keputusan. Hasil lengkap disajikan pada tabel 4.

Tabel 4. Hasil angket refleksi capaian kompetensi elemen mesin mahasiswa (n = 7)

No	Aspek Kompetensi Elemen Mesin	Dimensi	Skor Rata-rata (1–4)	Kategori
1	Pemahaman konsep rasio transmisi dan perhitungan nilai *gear* ratio	Konseptual	3,86	Sangat Baik
2	Kemampuan menghitung hubungan torsi, kecepatan, dan daya pada sistem transmisi	Konseptual	3,71	Sangat Baik
3	Kemampuan menganalisis data performa kendaraan berdasarkan variasi rasio *gear*	Analisis Teknis	3,86	Sangat Baik
4	Kemampuan membandingkan karakteristik akselerasi antar konfigurasi roda gigi	Analisis Teknis	3,71	Sangat Baik
5	Kemampuan membaca dan menginterpretasikan data waktu tempuh dari perangkat GNSS	Analisis Teknis	3,57	Sangat Baik
6	Keterampilan mengidentifikasi masalah teknis pada sistem transmisi kendaraan	Pemecahan Masalah	3,71	Sangat Baik
7	Keterampilan merumuskan solusi alternatif berdasarkan bukti empiris	Pemecahan Masalah	3,57	Sangat Baik
8	Keterampilan mengevaluasi hasil eksperimen dan memperbaiki konfigurasi *gear*	Pemecahan Masalah	3,86	Sangat Baik
9	Kemampuan berkomunikasi teknis dan berdiskusi dalam tim saat evaluasi hasil *run*	Kolaboratif	3,86	Sangat Baik
10	Kemampuan mengambil keputusan teknis secara kolaboratif berdasarkan data	Kolaboratif	3,71	Sangat Baik
11	Kepercayaan diri dalam melakukan eksperimen teknis di lingkungan nyata	Afektif	3,71	Sangat Baik
12	Kemampuan mengintegrasikan teori Elemen Mesin dengan praktik lapangan	Afektif	3,86	Sangat Baik
	Rata-rata keseluruhan		3,75	Sangat Baik

Tabel 4 menunjukkan bahwa seluruh indikator memperoleh skor rata-rata pada kategori baik hingga sangat baik, dengan rata-rata skor keseluruhan 3,75 (kategori Sangat Baik). Skor tertinggi (3,86) diperoleh pada item pemahaman rasio transmisi, analisis data performa, evaluasi eksperimen, komunikasi teknis, dan integrasi teori sampai praktik, semua merupakan indikator langsung kompetensi mata kuliah Elemen Mesin. Tidak ada item yang mendapatkan skor di bawah 3,50, menunjukkan konsistensi tinggi dalam capaian pembelajaran di seluruh dimensi yang diukur.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan dua temuan utama yang saling menguatkan: (1) variasi rasio *gear* menghasilkan perbedaan performa kendaraan yang

signifikan secara statistik ($F = 47{,}82$, $p < 0{,}001$), dan (2) implementasi PjBL melalui proyek ini menghasilkan capaian pembelajaran yang tinggi pada seluruh dimensi kompetensi Elemen Mesin yang diukur (rata-rata 3,75 dari skala 4,00). Perlu diakui bahwa tingginya skor refleksi dapat dipengaruhi oleh keterlibatan langsung responden dalam proyek yang sama (insider bias), sehingga interpretasi hasil angket perlu dilakukan dengan kehati-hatian

4. PEMBAHASAN

Keunggulan performa rasio 41/16 dibandingkan konfigurasi lainnya dapat dijelaskan melalui prinsip dasar Elemen Mesin pada topik transmisi roda gigi. Dalam sistem transmisi rantai-roda gigi seperti yang digunakan pada kendaraan *drag* listrik ini, rasio transmisi (i) didefinisikan sebagai perbandingan jumlah gigi roda gigi belakang (z_2) terhadap roda gigi depan (z_1), sehingga berlaku hubungan $i = z_2/z_1 = n_1/n_2$, di mana n_1 dan n_2 masing-masing adalah kecepatan putar roda gigi penggerak dan yang digerakkan. Rasio 44/15 ($i = 2{,}933$) memberikan torsi akselerasi awal lebih tinggi, namun membatasi kecepatan sudut roda belakang pada putaran tinggi sesuai dengan hubungan $\tau_2 = \tau_1 \times i \times \eta$, di mana η adalah efisiensi mekanis sistem. Sebaliknya, rasio 39/16 ($i = 2{,}4375$) memberikan kecepatan terminal lebih tinggi tetapi akselerasi awal yang lebih lemah. Rasio 41/16 ($i = 2{,}5625$) terbukti secara empiris memberikan keseimbangan optimal antara torsi akselerasi awal dan kecepatan terminal pada lintasan 201 meter sebuah kesimpulan yang tidak dapat diperoleh dari perhitungan teoritis semata, melainkan membutuhkan eksperimen nyata sebagaimana yang dilaksanakan dalam penelitian ini.

Temuan ini memiliki relevansi pedagogis yang kuat terhadap mata kuliah Elemen Mesin. Mahasiswa tidak hanya menghafalkan rumus rasio transmisi dari buku teks, tetapi mengalami langsung konsekuensi empiris dari setiap pilihan rasio terhadap karakter performa kendaraan (Mas'ud *et al*., 2025). Hal ini sesuai dengan CPL mata kuliah Elemen Mesin yang mengharuskan mahasiswa mampu menganalisis sistem transmisi dan mengambil keputusan teknis berbasis data performa.

Dari perspektif pedagogis, temuan ini menunjukkan bahwa PjBL pada konteks rekayasa kompetitif mengaktifkan proses kognitif tingkat tinggi, mulai dari memahami konsep hingga menganalisis, mengevaluasi, dan merumuskan strategi teknis baru (Anggriani *et al*., 2024). Pencapaian ini sulit diperoleh pada praktikum konvensional karena keputusan teknis dan tekanan performa nyata lebih terbatas. Pola siklus iteratif yang terjadi selama eksperimen mencoba, menganalisis kegagalan, mengevaluasi, merancang ulang, mencoba kembali selaras dengan model pembelajaran eksperiensial Kolb (1984) yang menekankan

siklus *concrete experience, reflective observation, abstract conceptualization, active experimentation*. Diskusi evaluasi pasca-*run* (gambar 5) merupakan fase *reflective observation* yang mendorong mahasiswa mengkonstruksi pemahaman baru dari pengalaman langsung, bukan sekadar menerima penjelasan dosen (Bima & Mara, 2025). Dibandingkan praktikum konvensional, proyek ini memiliki tantangan lebih tinggi karena mahasiswa dituntut menemukan solusi secara mandiri dan kolaboratif dalam situasi tanpa jawaban pasti. Tekanan kompetisi turut memperkuat kedisiplinan, manajemen waktu, dan ketahanan terhadap kegagalan (Yessen & Ismakova, 2023).

Temuan penelitian ini menunjukkan bahwa proyek kompetisi kendaraan listrik dapat menjadi konteks PjBL autentik untuk mengintegrasikan kompetensi Elemen Mesin dengan keterampilan abad ke-21 (Pizzo *et al*., 2025). Penggunaan *RaceBox* berbasis GNSS memungkinkan pengambilan data performa yang akurat, sedangkan evaluasi yang menggabungkan data teknis dan refleksi pembelajaran dapat diterapkan pada mata kuliah Elemen Mesin. Namun, karena menggunakan desain *exploratory case study* dengan tujuh anggota tim, generalisasi temuan bersifat analitis sehingga diperlukan replikasi pada konteks lain (Lubis & Kinanti, 2025).

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, eksperimen variasi rasio *gear* pada kendaraan *drag* listrik menunjukkan adanya perbedaan performa yang signifikan antar konfigurasi. Rasio 41/16 menghasilkan performa terbaik dengan rata-rata waktu tempuh tercepat sebesar 9,55 detik (SD = 0,050), dibandingkan rasio 39/16 sebesar 9,77 detik (SD = 0,080) dan 44/15 sebesar 10,75 detik (SD = 0,193). Hasil analisis *one-way ANOVA* menunjukkan perbedaan yang signifikan ($F = 47{,}82$; $p < 0{,}001$), sehingga rasio 41/16 dinilai paling optimal karena memberikan keseimbangan antara torsi awal dan kecepatan terminal.

Dari perspektif pendidikan teknik mesin, implementasi *Project-Based Learning* (PjBL) melalui eksperimen ini terbukti mampu memperkuat capaian pembelajaran mata kuliah Elemen Mesin. Hasil angket refleksi menunjukkan rata-rata capaian kompetensi sebesar 3,75 dengan kategori sangat baik pada aspek pemahaman rasio transmisi, analisis data performa, pemecahan masalah, serta pengambilan keputusan berbasis data. Temuan ini menunjukkan bahwa proyek berbasis eksperimen nyata dapat menghubungkan konsep Elemen Mesin dengan praktik rekayasa secara langsung serta meningkatkan kompetensi teknis dan profesional mahasiswa pendidikan teknik mesin.

6. UCAPAN TERIMA KASIH DAN PERNYATAAN PENDANAAN

Penulis mengucapkan terima kasih kepada dosen pembimbing atas bimbingan dan arahan selama penelitian. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada tim riset kendaraan drag listrik, rekan-rekan, serta keluarga atas dukungan, data, doa, dan motivasi yang diberikan selama proses penelitian. Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada pihak kampus atas dukungan pendanaan yang diberikan dalam pelaksanaan penelitian ini. Pendanaan tersebut digunakan untuk mendukung pelaksanaan penelitian, sedangkan penyusunan dan publikasi artikel ini tidak memperoleh pendanaan khusus dari lembaga pemerintah, perusahaan, maupun sumber pendanaan eksternal lainnya.

7. PERNYATAAN PENGGUNAAN KECERDASAN BUATAN (AI)

Penulis menggunakan alat kecerdasan buatan dalam proses penyusunan artikel, sebagai bantuan dalam pemeriksaan tata bahasa, penyusunan dan penyempurnaan kalimat, serta penataan struktur penulisan. Penggunaan kecerdasan buatan tidak digunakan untuk menghasilkan, mengubah, atau memanipulasi data penelitian, hasil pengujian, analisis statistik, maupun kesimpulan penelitian. Seluruh data, analisis, interpretasi, dan isi akhir artikel diperiksa serta menjadi tanggung jawab penuh penulis.

8. KONTRIBUSI PENULIS

Penulis bertanggung jawab atas keseluruhan proses penelitian dan penyusunan artikel. Kontribusi penulis 1 meliputi perumusan fokus penelitian, penyusunan metodologi, pelaksanaan dan dokumentasi pengambilan data, pengolahan serta analisis data, penyusunan artikel, revisi naskah berdasarkan masukan reviewer, dan persetujuan terhadap versi akhir artikel. Penulis 2 membimbing dan mengoreksi pembuatan artikel.

9. KONFLIK KEPENTINGAN

Penulis menyatakan bahwa tidak terdapat konflik kepentingan yang berkaitan dengan pelaksanaan penelitian, pengolahan data, penyusunan artikel, maupun proses publikasi artikel ini.

REFERENSI

Akhsan, I. N., & Wibawa, B. (2024). Student manual: Testing a hydrocarbon refrigerant leak detector with Arduino Nano and MQ-2 sensor. *Journal of Mechanical Engineering Education, 11*(1), 40–50. https://doi.org/10.17509/jmee.v11i1.71855

Agustian, D., Amartha, A., & Wardoyo, S. (2024). Tantangan pendidikan vokasional dalam meningkatkan penyerapan lulusan SMK di dunia industri. *Jurnal Studi Guru dan Pembelajaran, 7*(3), 1373–1382. https://doi.org/10.30605/jsgp.7.3.2024.5016

Anggriani, M. D., Intansari, I., & Indriani, L. (2024). Project-based learning: Cultivating collaborative skills in science education. *Primary: Jurnal Pendidikan Guru Sekolah Dasar, 13*(5), 184–190. https://doi.org/10.33578/jpfkip-v13i5.p184-190

Bima, R., & Mara, I. M. (2025). The effect of gear ratio variations and vehicle weight on energy efficiency in electric prototype vehicles of the Engineering Faculty of Mataram University. *ROTASI, 27*(1), 23–28. https://doi.org/10.14710/rotasi.27.1.23-28

Funke, J. O. (2022). Literature review of project-based learning. *Journal of Educational Research and Policies, 4*(7), 110–114. https://doi.org/10.53469/jerp.2022.04(07).23

Harithuddin, A. S. M. (2021). A first experience of using failure report as a reflective tool in engineering education. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET), 16*(18), 23–37. https://doi.org/10.3991/ijet.v16i18.24271

Juanta, P., Tanadi, E., Angelin, P., & Parta, T. (2025). Pengaruh model pembelajaran berbasis proyek (PjBL) terhadap kemampuan pemecahan masalah mahasiswa ilmu komputer dalam pengembangan aplikasi. *INSOLOGI: Jurnal Sains dan Teknologi, 4*(3), 597–609. https://doi.org/10.55123/insologi.v4i3.4835

Kolb, D. A. (1984). *Experiential learning: Experience as the source of learning and development*. Prentice-Hall.

Lubis, R. E., & Kinanti, A. A. (2025). Penerapan pembelajaran berbasis proyek dalam Kurikulum Merdeka: Tantangan dan solusi di era Pendidikan 4.0. *Toga: Jurnal Keguruan dan Ilmu Pendidikan, 2*(1), 24–31. https://doi.org/10.56211/toga.v2i1.1052

Martínez-Gómez, J., & Nicolalde, J. F. (2025). Development of soft and hard skills with a better employability vision for engineering students. *Frontiers in Education, 10*, Article 1578287. https://doi.org/10.3389/feduc.2025.1578287

Mas'ud, M. U., Syam, A., Dewantara, H., & Jufri, M. (2026). Metode Pembelajaran Experiential Learning dan Pengaruhnya terhadap Kompetensi Kewirausahaan Siswa Kelas XII SMK Negeri 2 Majene. *RIGGS: Journal of Artificial Intelligence and Digital Business*, *4*(4), 1856-1863. https://doi.org/10.31004/riggs.v4i4.3720

Nugraha, I. R. R., Supriadi, U., & Firmansyah, M. I. (2023). Efektivitas strategi pembelajaran project based learning dalam meningkatkan kreativitas siswa. *Jurnal Penelitian Dan Pendidikan IPS*, *17*(1), 39-47. https://doi.org/10.21067/jppi.v17i1.8608

Oanh, D. T. K., & Dang, T. D. H. (2025). Effect of STEAM project-based learning on engineering students' 21st century skills. *European Journal of Educational Research*, *14*(3), 705-721. https://doi.org/10.12973/eu-jer.14.3.705

Pizzo, M., Terrana, S., & Abu-Ras, W. (2025). Online project-based learning in small groups: innovative approaches to leadership development for social work students. *Social Work with Groups*, *48*(3), 167-183. https://doi.org/10.1080/01609513.2025.2454023

Rafli, M. A., & Wibowo, T. W. (2022). Pelaksanaan praktik industri mahasiswa Prodi PTM di masa pandemi: Keterlaksanaan dan persepsi pengelola PI secara daring. *Jurnal*

Pendidikan Teknik Mesin, *11*(2), 49–53. https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/jurnal-pendidikan-teknik-mesin/article/view/518

Randyputra, B. O., Suryanto, A. E., & Pancawati, R. (2025). Developing a best practice-based occupational safety and health module for vocational students. *Journal of Mechanical Engineering Education (Jurnal Pendidikan Teknik Mesin), 12*(2), 1–14. https://doi.org/10.17509/jmee.v12i2.87792

Sanchez-De Miguel, M., Orkaizagirre-Gomara, A., Izagirre-Otaegi, A., Badiola, I., Ortiz De Elguea-Díaz, F. J., Gomez-Gastiasoro, A., Ferriz-Valero, A., & Goudas, M. (2023). Association among university students' motivation, resilience, perceived competence, and classroom climate from the perspective of self-determination theory. *Education Sciences, 13*(2), Article 147. https://doi.org/10.3390/educsci13020147

Sukacke, V., Guerra, A. O. P. D. C., Ellinger, D., Carlos, V., Petronienė, S., Gaižiūnienė, L., Blanch, S., Marbà-Tallada, A., & Brose, A. (2022). Towards active evidence-based learning in engineering education: A systematic literature review of PBL, PjBL, and CBL. *Sustainability, 14*(21), Article 13955. https://doi.org/10.3390/su142113955

Surti, G. A., Sudira, P., Mutohhari, F., Suyitno, S., & Nurtanto, M. (2022). Project-based learning with STEM approach in automotive engineering: A study of increasing students' 21st century skills. *Jurnal Pendidikan dan Pengajaran, 55*(2), 299–312. https://doi.org/10.23887/jpp.v55i2.44725

Tembrevilla, G., Phillion, A., & Zeadin, M. (2024). Experiential learning in engineering education: A systematic literature review. *Journal of Engineering Education, 113*(1), 195–218. https://doi.org/10.1002/jee.20575

Thomas, J. W. (2000). *A review of research on project-based learning*. The Autodesk Foundation.

Utama, N. Y., & Partono, P. (2026). Comparison of learning effectiveness between PjBL and PBL models in BMS for grade eleven students. *Journal of Mechanical Engineering Education, 13*(1), 1–18.

Yessen, A. S., & Ismakova, B. S. (2023). Activity-competence approach for designing the content of practice-oriented learning. *Bulletin of the L.N. Gumilyov Eurasian National University. Pedagogy. Psychology. Sociology Series, 143*(2), 68–74. https://doi.org/10.32523/2616-6895-2023-142-1-68-74