



PENINGKATAN STEM-SKILLS MELALUI PROJECT-BASED LEARNING (PJBL) PADA MATERI RODA GIGI

IMPROVING STEM SKILLS THROUGH PROJECT-BASED LEARNING (PJBL) ON GEAR LESSON

Mochamad Amri Santosa^{1*}, Farhan Yadi², Anugrah Agung Ramadhan³, Efri Meldianto⁴,
Muhammad Ali Ridho⁵, Andika Hardiansyah⁶

^{1,2,3,4,5,6}Universitas Sriwijaya

*amrisantosa@fkip.unsri.ac.id, farhan@unsri.ac.id, anugrahagungr@fkip.unsri.ac.id,
efrimeldianto@fkip.unsri.ac.id

Info Artikel

Sejarah Artikel:

Diterima: Mar 2025

Disetujui: Apr 2025

Dipublikasikan:

Mei 2025

Kata kunci:

CAD,
Gear,
PjBL,
STEM,
Vokasional

Keywords:

CAD,
Gear,
PjBL,
STEM, Vocational

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model STEM-PjBL dan perangkat pembelajarannya berupa modul dan jobsheet untuk integrasi matakuliah Elemen Mesin Dinamis dan CAD/CAM Dasar yang valid, praktis dan efektif meningkatkan STEM-skills. Metode penelitian yang digunakan adalah penelitian pengembangan. Tahapan penelitian adalah pra-pengembangan, pengembangan, dan evaluasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model STEM-PjBL dapat meningkatkan STEM-Skill, yang terdiri dari kemampuan sains, teknologi, engineering, dan matematika. Model STEM-PjBL untuk materi roda gigi terbukti valid, praktis dan efektif untuk digunakan. Model STEM-PjBL dapat meningkatkan STEM-skills dengan menintegrasikan materi ajar beberapa matakuliah yang berkaitan dengan perancangan roda gigi dan aksesorisnya. Peningkatan STEM-Skills dapat diperoleh melalui model pembelajaran PjBL dengan berbasis STEM. PjBL sebaiknya dilakukan dengan mengintegrasikan lebih dari satu matakuliah, sehingga mahasiswa dapat memiliki kompetensi yang komprehensif. Untuk penelitian selanjutnya dapat dilakukan integrasi yang lebih luas untuk beberapa matakuliah. Sehingga penguasaan mahasiswa terhadap suatu materi lebih komprehensif dan relevan dengan dunia industri.

Abstract

This study aims to develop a STEM-PjBL model and its learning tools, including modules and jobsheets, for the integration of Dynamic Machine Elements and Basic CAD/CAM courses that are valid, practical, and effective in enhancing STEM-skills. The research used a development research methodology, encompassing the stages of pre-development, development, and evaluation. The results indicate that the STEM-PjBL model effectively enhances STEM-skills, which consist of competencies in science, technology, engineering, and mathematics. The STEM-PjBL model for gear-related materials has been proven valid, practical, and effective for implementation. This model integrates teaching materials from several courses related to gear design and its accessories, thereby improving STEM skills. Enhancing STEM skills can be achieved through the STEM-based PjBL model. PjBL should ideally integrate content from multiple courses, enabling students to develop comprehensive competencies. Future research can focus on broader integration across several courses to ensure that students achieve a more comprehensive mastery of materials, aligned with industrial demands.

PENDAHULUAN

Seiring perkembangan teknologi digital pada abad 21, dinamika perubahan pada dunia kerja semakin kompleks (van Laar et al., 2019) Akan selalu terdapat kesenjangan antara kompetensi yang dipelajari di perguruan tinggi dan kebutuhan kompetensi pada dunia kerja (Fajarwati et al., 2020) Salah satu upaya dalam mengatasi kesenjangan kompetensi yang dibutuhkan dunia kerja adalah melalui penguasaan berbagai atribut dan keterampilan pendukung yang dikenal dengan berbagai istilah, antara lain: 21st Century skills, 4C-Skills (Collaboration, Communication, Creative Thinking, Critical Thinking), STEM-Skills, Transferable Skills, Core Skills, dan Employability Skills (Lin et al., 2021) terlihat bahwa arah kurikulum pada abad 21 seharusnya tidak hanya difokuskan pada kompetensi inti saja, akan tetapi harus didukung berbagai keterampilan dan atribut agar dapat mengikuti dinamika perubahan pada dunia usaha dan dunia industri (DUDI). Perguruan tinggi dalam mempersiapkan lulusannya untuk memasuki DUDI membutuhkan inovasi dalam model pembelajaran agar dapat mengatasi kesenjangan kompetensi.

Salah satu model pembelajaran yang banyak diusulkan para ahli adalah project-based learning (PjBL) (Hussin et al., 2019). Melalui PjBL mahasiswa mendapatkan pengalaman nyata dalam mengerjakan sebuah proyek (Mahajan et al., 2021). PjBL juga merupakan “jembatan” antara teori dan praktik. Sehingga mahasiswa memahami secara nyata konteks teori yang dipelajari melalui kegiatan praktik secara langsung (Rais et al., 2021).

Pengembangan model PjBL pada pembelajaran telah banyak dilakukan terutama pada bidang pendidikan keteknikan (Dominguez et al., 2022). Adapun tujuan utama dalam pengembangan tersebut tidak hanya meningkatkan kompetensi inti saja, tetapi juga meningkatkan keterampilan dan atribut pendukung untuk meningkatkan potensi individu dalam mengantisipasi kesenjangan antar kompetensi yang diperoleh dari pembelajaran dengan kompetensi yang dibutuhkan DUDI (Steele, 2023).

National Centre for Vocational Education Research (NCVER) mengungkapkan bahwa pendidikan teknologi dan kejuruan merupakan salah satu bidang yang sangat membutuhkan STEM-Skills (Siekmann & Korbel, 2016). Program studi Pendidikan Teknik Mesin sebagai pendidikan guru kejuruan harus berperan dalam menumbuhkan STEM-Skills pada lulusannya. Oleh karena itu perlu dirancang pembelajaran yang dapat menghubungkan antara teori dan praktik serta memberikan konteks pada penyelesaian masalah nyata di industri (real-world problem solving).

Penelitian ini menerapkan PjBL dengan mengintegrasikan materi pada matakuliah Elemen Mesin Dinamis dan CAD/CAM Dasar, serta mengaplikasikan keterampilan yang diperoleh dari matakuliah lainnya, seperti Gambar Teknik, Matematika Pemesinan, Mekanika Teknik, Elemen Mesin Statis, dan Metrologi Dasar. Adapun tema utama pada PjBL adalah disain Sistem Roda Gigi. Melalui PjBL, mahasiswa akan memperoleh pengalaman melakukan proses disain sesuai dengan prosedur engineering design process yang banyak diterapkan pada dunia industri (Berselli et al., 2020; Norton & Higgins, 2020). Sehingga mahasiswa dapat menghubungkan konsep teoritis yang abstrak menjadi kegiatan praktik nyata.

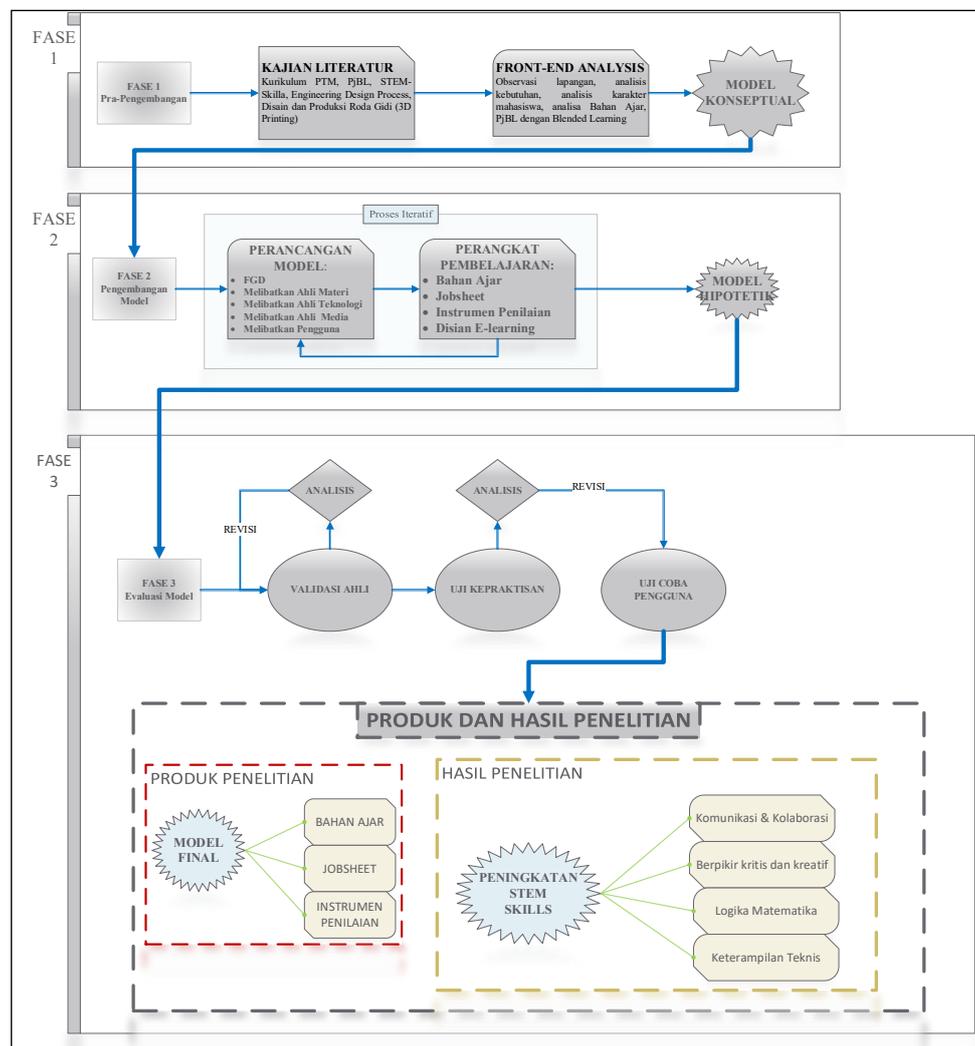
Model pembelajaran PjBL terintegrasi ini sejalan dengan konsep pembelajaran STEM yang diungkapkan oleh (Siekmann & Korbel, 2016), yaitu : “STEM learning is a multi- or interdisciplinary approach to learning, in which academic concepts are coupled with real-world lessons to make connections between school, community, work and business”. Konsep pembelajaran STEM yang dilakukan pada model PjBL akan menjadi penghubung antara pembelajaran yang diperoleh mahasiswa secara teoritis dengan praktik. Hasil yang diharapkan dari pengalaman belajar tersebut, mahasiswa akan menguasai STEM skills yaitu

seperangkat kemampuan dan atribut yang dapat meningkatkan potensi individu untuk mengikuti dinamika perkembangan teknologi (Hacioğlu, 2021).

Adapun tujuan penelitian ini adalah mengembangkan model PjBL dan perangkat pembelajarannya berupa modul dan jobsheet untuk integrasi matakuliah Elemen Mesin Dinamis dan CAD/CAM Dasar yang valid, praktis dan efektif meningkatkan STEM-skills.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan jenis penelitian pengembangan, menggunakan modifikasi model penelitian rancangan pembelajaran (*Learning Design Research*) yang diperkenalkan oleh Gravemeijer & Cobb dalam (van den Akker et al., 2013). Adapun prosedur penelitian dapat dilihat pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Prosedur Penelitian

Tahap kajian literatur dan *front-end-analysis* menghasilkan model konseptual yang selanjutnya didiskusikan dengan tim ahli melalui *focus group discussion* (FGD). Berdasarkan hasil proses tersebut diperoleh rancangan awal model dan perangkatnya. Selanjutnya model dan perangkatnya di validasi oleh tim ahli, adapun aspek yang di validasi adalah model, materi, dan media. Instrumen validasi terhadap model dan media terdapat pada Tabel 1 dan Tabel 2 berikut.

Tabel 1. Instrumen Validasi Model

NO.	ASPEK	INDIKATOR	REFERENSI
1.	Kesesuaian Isi dan Struktur Model	<ul style="list-style-type: none"> Kesesuaian Tujuan dan Kompetensi Dasar Kesesuaian tahapan model PjBL Informasi relevan dan mudah dipahami 	(Baran et al., 2021)
2.	Pengembangan Keterampilan 4C	<ul style="list-style-type: none"> Mendukung keterampilan berpikir kritis dan pemecahan masalah. Siswa terlibat aktif dalam kolaborasi dan kerja tim. Meningkatkan keterampilan komunikasi 	(Dyachkova et al., 2020)
3.	Relevansi dengan Dunia Nyata	<ul style="list-style-type: none"> Memberikan pengalaman belajar yang relevan dengan kehidupan nyata Model mencerminkan masalah nyata Mahasiswa dapat memahami keterkaitan antara teori yang dipelajari dan aplikasinya 	(Edokpolor & Abusomwan, 2019)
4.	Motivasi dan Keterlibatan mahasiswa	<ul style="list-style-type: none"> Meningkatkan motivasi belajar Mahasiswa merasa tertantang dan termotivasi Mahasiswa terlibat aktif pada setiap tahapan pembelajaran 	(Boelt et al., 2023)

Tabel 2. Instrumen Validasi Media

No.	ASPEK	INDIKATOR	REFERENSI
1.	Kelayakan Isi	<ul style="list-style-type: none"> Kesesuaian dengan tujuan pembelajaran Materi roda gigi sudah sesuai dengan konsep dasar dan perkembangan teknologi terbaru 	(van den Akker et al., 2013)
2.	Keakuratan Materi	<ul style="list-style-type: none"> Informasi teknis mengenai jenis roda gigi, mekanisme kerja, dan aplikasi sudah benar. Penjelasan tentang prinsip kerja roda gigi sudah disampaikan dengan jelas dan benar. 	(Dick et al., 2015)
3.	Keterkaitan dengan Project-Based Learning	<ul style="list-style-type: none"> proyek yang diberikan sesuai dengan tahapan PjBL Materi mendukung kolaborasi, pemecahan masalah, dan pembelajaran berbasis proyek secara efektif 	(Boelt et al., 2023)
4.	Kesesuaian Penyajian Materi	<ul style="list-style-type: none"> Urutan materi sudah disusun secara sistematis dari konsep dasar hingga penerapan Penggunaan ilustrasi atau contoh dalam menjelaskan konsep roda gigi dapat dipahami dengan baik 	(Dick et al., 2015)
5.	Tingkat Kesulitan Materi	<ul style="list-style-type: none"> Materi memiliki tingkat kesulitan yang sesuai dengan kompetensi siswa. Penggunaan bahasa dan istilah teknis dapat dipahami dengan baik 	(Krathwohl, 2002)
6.	Relevansi Materi dengan Dunia Kerja	<ul style="list-style-type: none"> Materi yang disajikan relevan dengan keterampilan yang dibutuhkan di dunia kerja, terutama yang terkait dengan teknik roda gigi. E-modul mengandung contoh aplikasi roda gigi yang ada di industri. 	(Boelt et al., 2023)
7.	Kreativitas dan Inovasi dalam Pembelajaran	<ul style="list-style-type: none"> Materi dan proyek yang diberikan mendorong siswa untuk menghasilkan ide atau solusi baru terkait aplikasi roda gigi Siswa dilibatkan dalam proses pembuatan proyek yang inovatif dan aplikatif 	(Trilling & Fadel, 2009)

Instrumen validasi terhadap media dan uji kepraktisan menggunakan angket USE (Hariyanto & Triyono, 2020). Instrumen ini terdiri dari 3 aspek, yaitu Kegunaan (*usability*), Kepuasan (*satisfaction*), dan Kemudahan Penggunaan (*ease of use*). Analisa terhadap hasil validasi dan kepraktisan menggunakan Aiken's Value (Aiken, 1985; Ananda & Usmeldi, 2023) dengan rumus dan kategori sebagai berikut.

$$V = \frac{\sum(r-l)}{n(C-1)} \quad (1)$$

Keterangan:

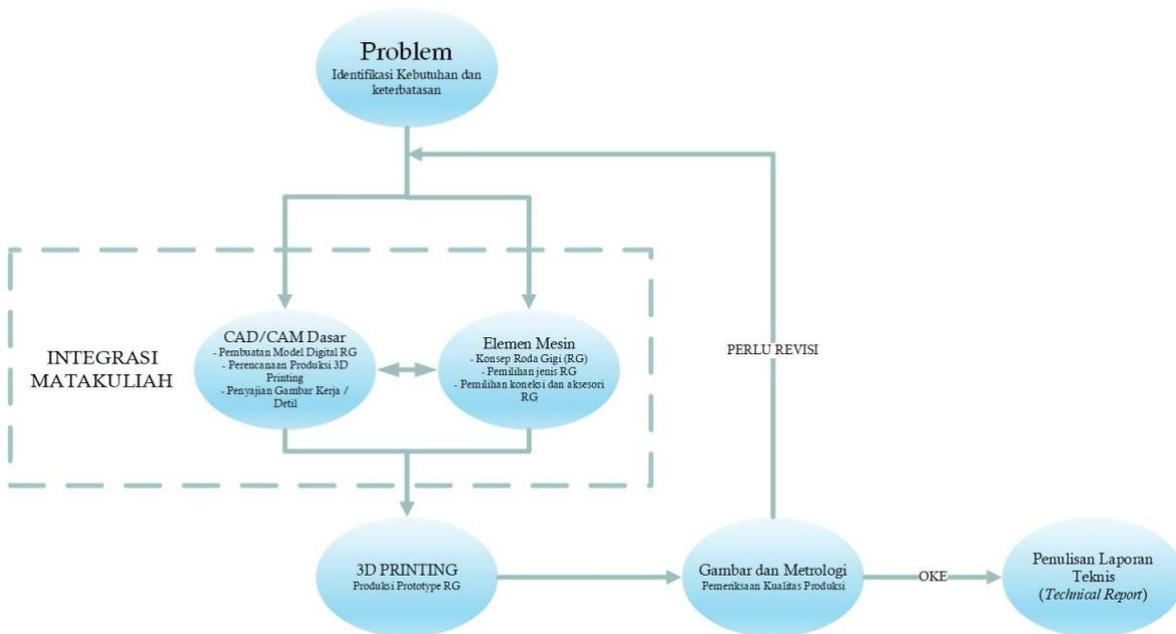
- V = Aiken's Value
n = Jumlah Validator
r = Skor angket
C = Skor maksimal

Tabel 3. Kriteria Skor Validasi

Aiken's Value (V)	Kategori
$V \geq 0,8$	Sangat Valid
$0,6 \leq V < 0,8$	Valid, perlu revisi minor
$0,4 \leq V < 0,6$	Kurang Valid, perlu revisi besar
$V < 0,4$	Tidak Valid

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil FGD diperoleh perbaikan terhadap model konseptual, sehingga dirumuskan sintaks kegiatan pembelajaran berbasis STEM-PjBL untuk materi roda gigi sebagai berikut.



Gambar 2. Sintaks Kegiatan Pembelajaran

Validasi terhadap model STEM-PjBL dilakukan oleh 4 orang ahli dengan nilai Aiken sebesar 0,84, sehingga dapat disimpulkan bahwa model valid. Rincian hasil validasi adalah sebagai berikut.

Tabel 4. Hasil Uji Validasi Model

No	Aspek	Validator				Rerata	Aiken's Value
		1	2	3	4		
1	Kesesuaian Isi dan Struktur Model	5	4	3	5	4.25	0.81
2	Pengembangan Keterampilan 4C	4	5	4	4	4.25	0.81
3	Relevansi dengan Dunia Nyata	4	5	5	4	4.50	0.88
4	Motivasi dan Keterlibatan Siswa	5	4	5	4	4.50	0.88
Rerata						4.38	0.84

Validasi terhadap materi dilakukan oleh 3 orang ahli dengan nilai Aiken sebesar 0,81, secara keseluruhan dapat disimpulkan bahwa model valid. Akan tetapi pada aspek kelayakan isi, tingkat kesulitan materi, dan relevansi dengan dunia kerja harus dilakukan revisi minor.

Perbaikan terhadap ketiga aspek tersebut dilakukan dengan menambahkan penggunaan katalog industri pada pemilihan roda gigi. Adapun rincian hasil validasi adalah sebagai berikut.

Tabel 5. Hasil Uji Validasi Materi

No	Aspek	Validator			Rerata	Aiken's Value
		1	2	3		
1	Kelayakan Isi	5	4	3	4.00	0.75
2	Keakuratan Materi	4	5	4	4.33	0.83
3	Keterkaitan dengan PjBL	4	5	5	4.67	0.92
4	Kesesuaian Penyajian Materi	5	4	5	4.67	0.92
5	Tingkat Kesulitan Materi	4	5	3	4.00	0.75
6	Relevansi Materi dengan Dunia Kerja	4	3	4	3.67	0.67
7	Kreativitas dan Inovasi	4	5	4	4.33	0.83
Rerata					4.24	0.81

Validasi terhadap media dilakukan oleh 3 orang ahli dengan nilai Aiken sebesar 0,78, secara keseluruhan dapat disimpulkan bahwa media valid. Akan tetapi pada aspek kegunaan, harus dilakukan revisi minor. Perbaikan terhadap kegunaan dilakukan dengan menambahkan versi cetak dari media, hal ini diperlukan karena saat membuat disain menggunakan CAD mahasiswa juga menggunakan komputer atau laptop, sehingga sulit untuk membuka media berupa jobsheet dan modul dalam bentuk digital. Adapun rincian hasil validasi adalah sebagai berikut.

Tabel 6. Hasil Uji Validasi Media

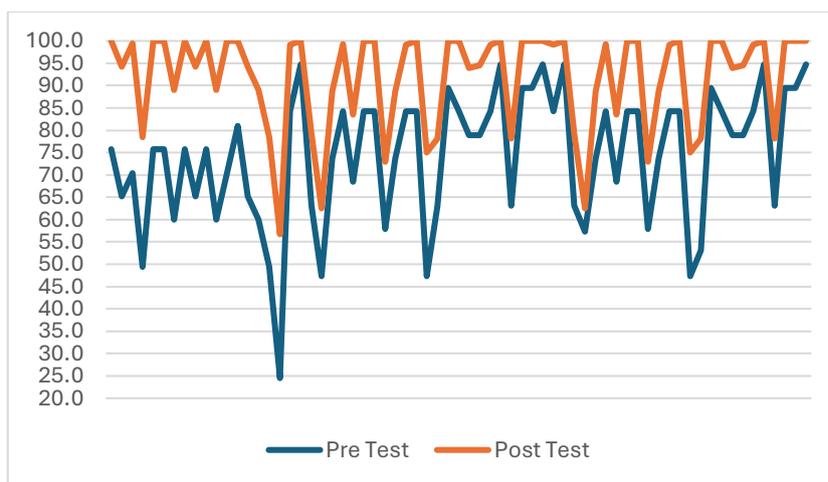
No	Aspek	Validator			Rerata	Aiken's Value
		1	2	3		
1	Kegunaan (<i>Usefulness</i>)	3	4	4	3.67	0.67
2	Kepuasan (<i>Satisfaction</i>)	4	5	4	4.33	0.83
3	Kemudahan Penggunaan (<i>Ease of Use</i>)	4	5	4	4.33	0.83
Rerata					4.11	0.78

Uji kepraktisan dilakukan dengan responden 6 orang mahasiswa calon pengguna model untuk melihat tingkat kepraktisan model saat digunakan. Hasil uji kepraktisan secara keseluruhan diperoleh nilai 81,1%, hal ini menunjukkan bahwa model praktis digunakan, akan tetapi terdapat kekurangan pada aspek kegunaan dan kepuasan, sehingga masih diperlukan revisi minor. Responden masih kesulitan pada beberapa tahapan STEM-PjBL, hal ini disebabkan perlu membuka dan mempelajari beberapa dokumen yang berbeda untuk menentukan disain roda gigi. Oleh karena itu dokumen diintegrasikan dalam modul. Adapun hasil uji kepraktisan adalah sebagai berikut.

Tabel 7. Hasil Uji Validasi Media

No	Aspek	Responden						Rerata	Persentase
		1	2	3	4	5	6		
1	Kegunaan (<i>Usefulness</i>)	4	4	3	5	4	3	3.83	76.67%
2	Kepuasan (<i>Satisfaction</i>)	4	3	5	4	4	3	3.83	76.67%
3	Kemudahan Penggunaan (<i>Ease of Use</i>)	4	5	4	4	5	5	4.50	90.00%
Rerata								4.06	81.11%

Tahap ujicoba pengguna dilakukan untuk melihat efektivitas model STEM-PjBL dalam meningkatkan STEM-Skills. Pengukuran terhadap STEM-Skills dilakukan dua tahap,



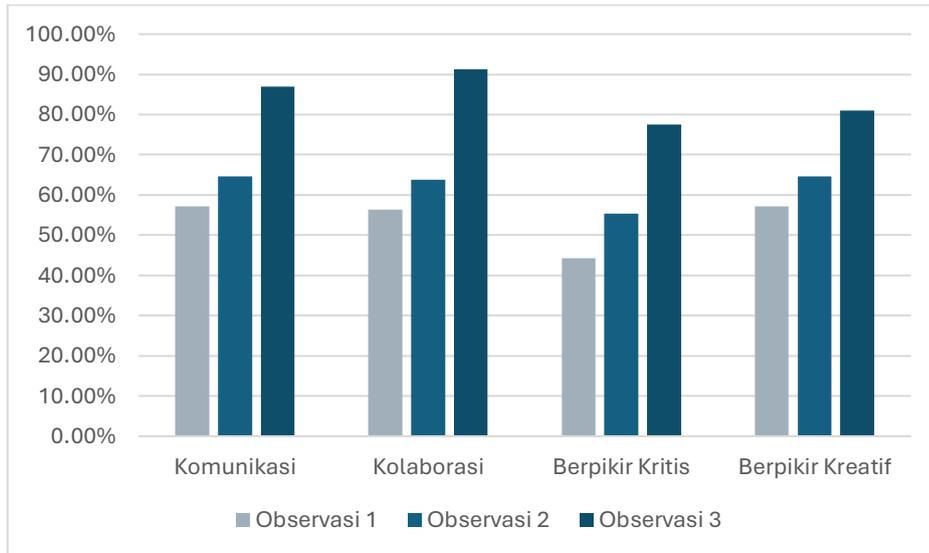
Gambar 4. Perbandingan Pre-Test dan Post-Test

Pengukuran terhadap keterampilan 4C dilakukan dengan metode observasi. Saat mengerjakan proyek perancangan roda gigi mahasiswa dibagi menjadi beberapa kelompok dan tiap kelompok melakukan diskusi dan kerja sama untuk menyelesaikan proyek. Observasi terhadap keterampilan 4C dilakukan sebanyak 3 kali untuk membandingkan peningkatan keterampilan 4C. Pengukuran 4C menggunakan instrumen dengan beberapa referensi (Baran et al., 2021; Boss & Larmer, 2018; Saimon et al., 2022; Sukatiman et al., 2020). Adapun kisi-kisi instrumen adalah sebagai berikut.

Tabel 5. Instrumen Pengukuran 4C

Aspek Penilaian	Indikator
1. Berfikir Kritis	<ul style="list-style-type: none"> • Kemampuan menganalisis masalah dan membuat keputusan yang efektif dalam memilih roda gigi dan desain komponen. • Memahami dan menghitung rasio kecepatan sesuai dengan kebutuhan proyek
2. Kolaborasi	<ul style="list-style-type: none"> • Kerja sama dalam tim dan partisipasi aktif dalam setiap tahap proyek. • Pembagian tugas dan tanggung jawab yang merata.
3. Komunikasi	<ul style="list-style-type: none"> • Kemampuan menyampaikan ide dan hasil proyek dengan jelas dalam laporan teknis dan presentasi. • Kemampuan mendengarkan masukan dari anggota tim lain dan melakukan perbaikan sesuai saran.
4. Berfikir Kreatif	<ul style="list-style-type: none"> • Inovasi dalam pemilihan desain dan solusi untuk kebutuhan proyek. • Inisiatif dalam menggunakan alat dan teknologi seperti Autodesk Inventor dan 3D printer untuk menyelesaikan proyek.

Berdasarkan hasil pengukuran terhadap keterampilan 4C, secara keseluruhan diperoleh skor yang cukup tinggi. Keterampilan komunikasi 86,98%, kolaborasi 91,20%, berpikir kritis 77,5%, dan berpikir kreatif 80,99%. Hasil tersebut menunjukkan rata-rata kemampuan 4C responden saat melaksanakan kegiatan STEM-PjBL sudah sangat baik, akan tetapi masih terdapat kelemahan pada aspek berpikir kritis terutama pada observasi pertama, yaitu 44,6%. Berdasarkan hasil wawancara diperoleh bahwa mereka masih kesulitan berpikir kritis karena belum terlalu menguasai materi. Saat observasi kedua dan ketiga mahasiswa mulai paham apa yang akan dikerjakan, sehingga diperoleh peningkatan pada aspek berpikir kritis. Selanjutnya untuk aspek berpikir kreatif peningkatan terjadi seiring berjalannya kegiatan.



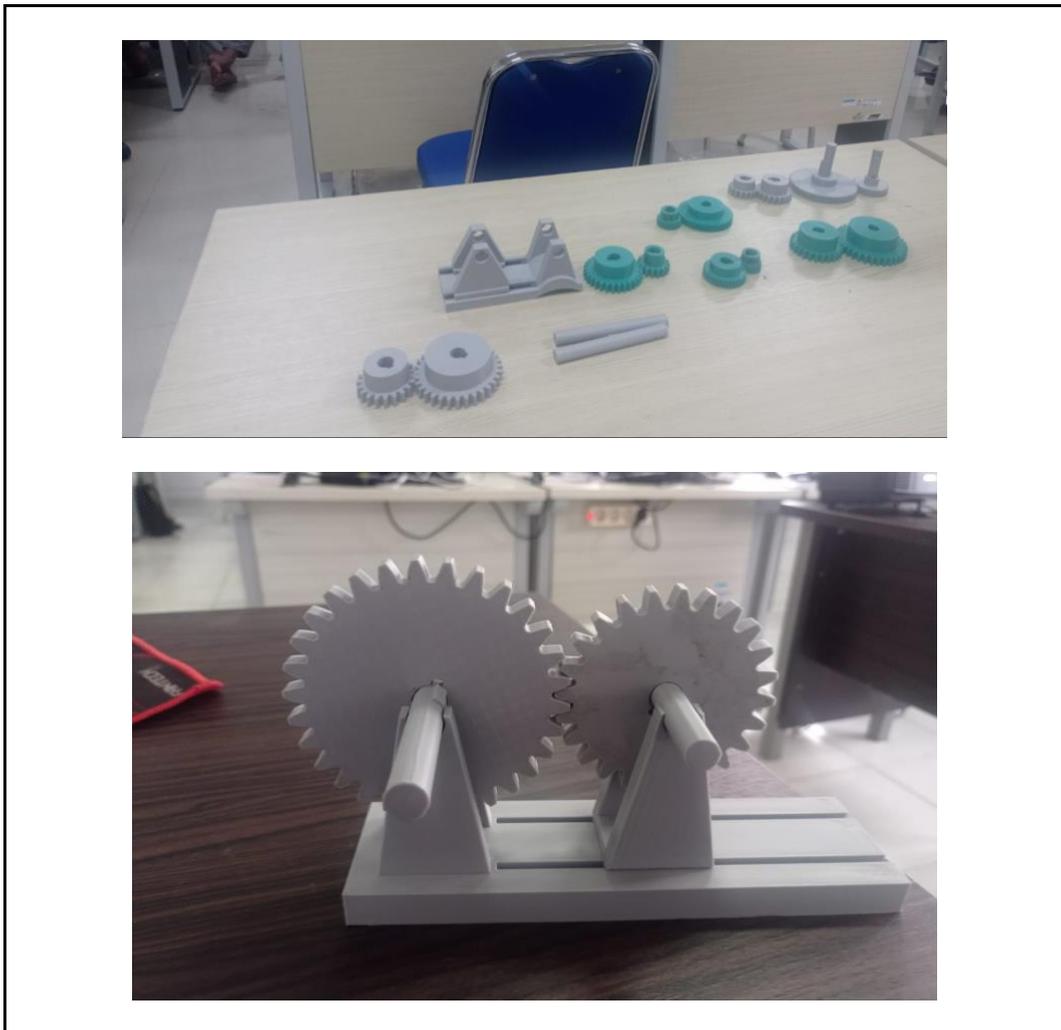
Gambar 5. Hasil Pengukuran 4C-Skills

Pelaksanaan kegiatan STEM-PjBL dilaksanakan di laboratorium Multimedia yang dilengkapi dengan komputer dan 3D printer. Setelah mencetak disain roda gigi, mahasiswa baru memiliki ide-ide kreatif untuk memperbaiki disain mereka. Berikut foto kegiatan STEM-PjBL.



Gambar 6. Dokumentasi Pelaksanaan Pembelajaran

Kegiatan pembelajaran berbasis STEM-PjBL memberikan pengalaman pada mahasiswa dalam merancang suatu produk. Produk yang dirancang pada pembelajaran ini berupa roda gigi, poros, pasak, dan dudukan roda gigi dengan menerapkan pengetahuan dan keterampilan yang telah mereka pelajari. Melalui pencetakan 3D printing dihasilkan prototipe produk, sehingga mahasiswa dapat melihat secara nyata hasil rancangan yang telah mereka buat. Pada awal proyek keterampilan berpikir kritis dan kreatif mahasiswa masih pada tingkat rendah, akan tetapi setelah melihat simulasi digital dan prototipe yang dicetak menggunakan 3D printer (contoh produk terdapat pada gambar 7), keterampilan tersebut meningkat. Melalui hasil prototipe ini terlihat peningkatan kemampuan berpikir kritis dan berpikir kreatif mahasiswa, karena setelah melihat secara visual, mahasiswa memiliki ide-ide baru untuk disain roda gigi, maupun dudukan roda gigi. Melalui pembelajaran dengan memproduksi benda prototipe dapat memudahkan mahasiswa memahami konsep abstrak.



Gambar 7. Contoh Produk PjBL

SIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan diperoleh kesimpulan bahwa model STEM-PjBL untuk materi roda gigi terbukti valid, praktis dan efektif untuk digunakan. Model STEM-PjBL dapat meningkatkan STEM-skills dengan menintegrasikan materi ajar beberapa matakuliah yang berkaitan dengan perancangan roda gigi dan aksesorisnya.

Peningkatan STEM-Skills dapat diperoleh melalui model pembelajaran PjBL dengan berbasis STEM. PjBL sebaiknya dilakukan dengan mengintegrasikan lebih dari satu matakuliah, sehingga mahasiswa dapat memiliki kompetensi yang komprehensif. Untuk penelitian selanjutnya dapat dilakukan integrasi yang lebih luas untuk beberapa matakuliah. Sehingga penguasaan mahasiswa terhadap suatu materi lebih komprehensif dan relevan dengan dunia industri.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian/publikasi artikel ini dibiayai oleh anggaran DIPA Badan Layanan Umum Universitas Sriwijaya tahun anggaran 2024 No. SP DIPA 023.17.2.677515/24, tanggal 24 November 2023. Sesuai dengan SK Rektor Nomor 0013/UN9/LP2M.PT/2024 tanggal 20 Mei 2024.

DAFTAR PUSTAKA

- Aiken, L. R. (1985). Three Coefficients for Analyzing the Reliability and Validity of Ratings. *Educational and Psychological Measurement*, 45(1), 131–142. <https://doi.org/10.1177/0013164485451012>
- Akker, J. van den, Bannan, B., Kelly, A. E., Nieveen, N., & Plomp, T. (2013). Educational Design Research. In *Netherlands Institute for Curriculum Development: SLO*. Netherlands Institute for Curriculum Development: SLO.
- Ananda, P. N., & Usmeldi, U. (2023). Validity and Practicality of E-Module Model Inquiry Based Online Learning to Improve Student Competence. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 9(4), 2010–2017. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v9i4.3563>
- Baran, M., Baran, M., Karakoyun, F., & Maskan, A. (2021). The Influence of Project-Based STEM (PjBL-STEM) Applications on the Development of 21st-Century Skills. *Journal of Turkish Science Education*, 18(4), 798–815. <https://doi.org/10.36681/tused.2021.104>
- Boelt, A. M., Holgaard, J. E., & Kolmos, A. (2023). A Thematic Analysis of Engineering Students' Experiences of Teamwork in Problem-Based Learning. *International Journal of Engineering Education*, 39(3), 627–642.
- Dick, W., Carey, L., & Carey, J. (2015). The Systematic Design of Instruction. In *Sustainability (Switzerland)* (6th ed., Vol. 11, Issue 1). Pearson.
- Dyachkova, M. A., Novgorodtseva, A. N., & Tomyuk, O. N. (2020). Humanitarization of technical university education: Effective strategies and practices. *Perspektivy Nauki i Obrazovania*, 47(5), 75–87. <https://doi.org/10.32744/pse.2020.5.5>
- Edokpolor, J. E., & Abusomwan, V. I. (2019). Students' Potential Abilities as Correlates of Self-Employment Start-Up Intentions: Evidence from Private Sector-Led Technical and Vocational Education Institutions in Nigeria. *International Journal of Learning, Teaching and Educational Research*, 18(9), 146–169. <https://doi.org/10.26803/ijlter.18.9.8>
- Hariyanto, D., & Triyono, M. B. (2020). Usability evaluation of personalized adaptive e-learning system using USE questionnaire. *Knowledge Management & E-Learning: An International Journal*, 12(1), 85–105. <https://doi.org/10.34105/j.kmel.2020.12.005>
- Krathwohl, D. R. (2002). *A Revision of Bloom's Taxonomy: An Overview*. 41(4).
- Louis, A. T. S., Thompson, P., Sulak, T. N., Harvill, M. L., & Moore, M. E. (2021). Infusing 21st century skill development into the undergraduate curriculum: The formation of the iBEARS network. *Journal of Microbiology and Biology Education*, 22(2). <https://doi.org/10.1128/JMBE.00180-21>

- Mott, R. L., Vavrek, E. M., & Wang, J. (2018). *Machine Elements in Mechanical Design* (6th ed.). Pearson Education.
- Osmer, E., Wilbrand, E., Brinkmann, T. A., Muller, S., & Diewald, A. R. (2020). Closing the theory-practice gap: Psychologically-based laboratory course in electrical engineering. In C. A., A. G.R., & R. T. (Eds.), *IEEE Global Engineering Education Conference, EDUCON* (Vols. 2020-April, pp. 925–930). IEEE Computer Society. <https://doi.org/10.1109/EDUCON45650.2020.9125398>
- Saputra, T. W., & Wagiran. (2019). Developing project-based learning model using jobsheet in vocational high school. *Journal of Physics: Conference Series*, 1273(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1273/1/012041>
- Satria, R., Adiprima, P., Wulan, K. S., & Harjatanaya, T. Y. (2022). Projek Penguatan Profil Pelajar Pancasila. *Badan Standar, Kurikulum, Dan Asesmen Pendidikan*, 137.
- Sharon E. Smaldino, Lowther, D. L., Mims, C., & Russel, J. D. (2015). *Instructional Technology & Media for Learning* (11th ed.). Pearson Education.
- Sugiyono, P. D. (2017). *Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*.
- Tang, T., Vezzani, V., & Eriksson, V. (2020). Developing critical thinking, collective creativity skills and problem solving through playful design jams. *Thinking Skills and Creativity*, 37(August), 100696. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2020.100696>
- Trilling, B., & Fadel, C. (2009). 21st Century Skills: Learning for Life in Our Times. In *Choice Reviews Online* (Vol. 47, Issue 10). Josey Bass. <https://doi.org/10.5860/choice.47-5788>