

INTEGRASI ELEMEN DASAR-DASAR REKAYASA DALAM KURIKULUM INDONESIA: PERSPEKTIF REKAYASA SOSIAL DAN PENDIDIKAN KARAKTER

**Maulia Depriya Kembara^{1*}, Jaka Warsihna², Rahmat Syehani³, Atep Sujana⁴, Nandang
Rusmana⁵**

^{1,5} Program Studi Pendidikan Guru, Universitas Pendidikan Indonesia

² Universitas Terbuka

³ Sekolah Islam Terpadu Nurul Fikri Depok

⁴ Pendidikan Guru Sekolah Dasar Universitas Pendidikan Indonesia Kampus Sumedang

*Email: maulia@upi.edu

Abstract: This article discusses the integration of Engineering Fundamentals into the Indonesian national curriculum from the perspective of social engineering and character education. The presence of engineering elements in the Learning Outcomes document (early childhood education to high school/vocational high school) marks a paradigm shift from content-based learning to competency-based learning that emphasizes a balance between technical, social, and ethical skills. Through a systematic literature review and conceptual analysis of 35 reputable international journal articles (Q1-Q2) from 2019-2025 and national policy documents, this study formulates six main components of Engineering Fundamentals: design thinking, systems thinking, interdisciplinary collaboration, ethics and social responsibility, technological and digital literacy, and reflection and adaptation. The document review results show that the integration of these elements develops gradually according to educational level and can be mapped into achievement indicators, learning activities, and subject-matter relationships. This conceptualization produces an integrative model that links engineering elements to the 8 Dimensions of the Graduate Profile. Comparative discussions with the United States and European contexts indicate that the Indonesian approach is unique in that it directly links engineering to character building, while international practice is more dominant in technical aspects. This article provides theoretical contributions by broadening the understanding of values-based engineering education, as well as practical and policy implications for teachers, curriculum developers, and stakeholders.

Keywords: Engineering Fundamentals, Eight Dimensions of Graduate Profile, Independent Curriculum, Indonesian Education, Character Education, Social Engineering.

Abstrak: Artikel ini membahas integrasi *Dasar-Dasar Rekayasa* dalam kurikulum nasional Indonesia dengan perspektif rekayasa sosial dan pendidikan karakter. Kehadiran elemen rekayasa dalam dokumen *Capaian Pembelajaran* (PAUD hingga SMA/SMK) menandai pergeseran paradigma dari pembelajaran berbasis konten menuju pembelajaran berbasis kompetensi yang menekankan keseimbangan antara keterampilan teknis, sosial, dan etis. Melalui kajian literatur sistematis dan analisis konseptual terhadap 35 artikel jurnal internasional bereputasi (Q1-Q2) periode 2019-2025 dan dokumen kebijakan nasional, penelitian ini merumuskan enam komponen utama *Dasar-Dasar Rekayasa*: berpikir desain, berpikir sistem, kolaborasi interdisipliner, etika dan tanggung jawab sosial, literasi teknologi dan digital, serta refleksi dan adaptasi. Hasil telaah dokumen menunjukkan bahwa integrasi elemen ini berkembang secara bertahap sesuai jenjang pendidikan, dan dapat dipetakan ke dalam indikator capaian, aktivitas pembelajaran, serta keterkaitan dengan mata pelajaran. Konseptualisasi tersebut menghasilkan model integratif yang menghubungkan elemen rekayasa dengan 8 Dimensi Profil Lulusan. Diskusi komparatif dengan konteks Amerika Serikat dan Eropa menunjukkan bahwa pendekatan Indonesia memiliki keunikan karena mengaitkan rekayasa langsung dengan pembentukan karakter, sementara praktik internasional lebih dominan pada aspek teknis. Artikel ini memberikan kontribusi teoretis dengan

memperluas pemahaman tentang pendidikan rekayasa berbasis nilai, serta implikasi praktis dan kebijakan bagi guru, pengembang kurikulum, dan pemangku kepentingan.

Kata kunci: Dasar-dasar Rekayasa, Delapan Dimensi Profil Lulusan, Kurikulum Merdeka, Pendidikan Indonesia, Pendidikan Karakter, Rekayasa Sosial.

Diterima: 1 Oktober 2025

Disetujui: 10 November 2025

Dipublikasi: 30 April 2026



© 2025 FKIP Universitas Terbuka
This work is licensed under a CC-BY license

PENDAHULUAN

Perubahan kurikulum nasional Indonesia dalam dekade terakhir memperlihatkan orientasi baru yang menekankan keseimbangan antara penguasaan akademik, keterampilan praktis, dan penguatan karakter peserta didik. Kehadiran elemen Dasar-Dasar Rekayasa dalam dokumen Capaian Pembelajaran Kurikulum Merdeka menjadi salah satu inovasi signifikan dalam mewujudkan 8 Dimensi Profil Lulusan, yang menuntut generasi muda tidak hanya cerdas secara kognitif, tetapi juga adaptif, kolaboratif, serta memiliki kesadaran sosial dan etis (Kemendikbudristek, 2022; 2024).

Transformasi pendidikan ini sejalan dengan tren global yang menekankan integrasi pendidikan berbasis rekayasa (*engineering education*) ke dalam kurikulum sejak pendidikan dasar. Di Amerika Serikat, implementasi *Next Generation Science Standards* (NGSS) telah mengintegrasikan praktik rekayasa sebagai komponen fundamental dalam pembelajaran sains, dengan tujuan mengembangkan kemampuan pemecahan masalah dan inovasi siswa (Bybee, 2013; National Research Council, 2012). Framework NGSS menekankan delapan praktik sains dan rekayasa yang mencakup *asking questions, defining problems, developing and using models, planning and carrying out investigations*, serta *designing solutions* (NGSS Lead States, 2013).

Sementara itu, di Eropa, pendekatan *phenomenon-based learning* yang diterapkan di Finlandia menunjukkan efektivitas dalam mengintegrasikan rekayasa dengan pembelajaran interdisipliner yang kontekstual. Penelitian Halinen & Järvinen (2008) menunjukkan bahwa kurikulum berbasis fenomena memungkinkan siswa untuk mengeksplorasi masalah nyata melalui lensa berbagai disiplin ilmu, termasuk rekayasa, sains, matematika, dan humaniora. Symeonidis & Schwarz (2016) menegaskan bahwa pendekatan ini meningkatkan keterlibatan siswa dan kemampuan mereka dalam memahami kompleksitas masalah dunia nyata.

Dalam lima tahun terakhir, literatur internasional mengenai pendidikan berbasis rekayasa dan STEM/STEAM menunjukkan pergeseran dari fokus semata-mata pada penguasaan pengetahuan teknis menuju pemahaman yang lebih holistik. Meta-analisis terbaru oleh Yu et al. (2024) terhadap 52 studi menunjukkan bahwa pendekatan *design thinking* memberikan efek positif yang signifikan pada hasil belajar dan pengembangan kompetensi inovatif siswa di berbagai jenjang pendidikan. Studi ini mengkonfirmasi bahwa integrasi *design thinking* tidak hanya meningkatkan kemampuan problem-solving, tetapi juga mendorong kreativitas dan kolaborasi.

Penelitian tentang integrasi praktik rekayasa dalam pendidikan sains dasar telah menunjukkan dampak positif terhadap pemahaman konseptual dan keterlibatan siswa. Hasil systematic review oleh Cunningham & Lachapelle (2014) terhadap 37 studi

menemukan bahwa siswa yang mengikuti pembelajaran berbasis rekayasa menunjukkan peningkatan signifikan dalam pemahaman sains (effect size $d = 0.51$) dan sikap positif terhadap STEM careers. Temuan ini diperkuat oleh penelitian English (2016) yang menekankan pentingnya mengintegrasikan rekayasa sejak pendidikan dasar untuk mengembangkan *engineering habits of mind* yang meliputi kreativitas, kolaborasi, dan pemikiran sistem.

Namun, scoping review terbaru mengidentifikasi bahwa implementasi *integrated STEM* sangat bergantung pada desain pedagogis dan konteks pelaksanaan. Penelitian Martín-Páez et al. (2019) yang menganalisis 43 studi tentang STEM education menemukan bahwa kebijakan nasional yang hanya memasukkan elemen tanpa pedoman implementasi yang jelas sering kali tidak menghasilkan perubahan praktik yang substansial. Studi ini menekankan pentingnya pengembangan kerangka konseptual yang operasional, lengkap dengan indikator capaian, aktivitas pembelajaran, dan strategi asesmen.

Meskipun ada kemajuan substansial dalam metode pengajaran berbasis rekayasa, literatur internasional masih menunjukkan kesenjangan yang konsisten: relatif sedikit studi yang secara eksplisit mengontekstualisasikan rekayasa sebagai instrumen rekayasa sosial yang sengaja membentuk nilai, etika, dan orientasi kewargaan siswa.

Penelitian oleh Bielefeldt et al. (2018) tentang perkembangan identitas profesional dan tanggung jawab sosial mahasiswa teknik di 18 universitas AS menemukan bahwa hanya 23% mahasiswa yang menunjukkan pemahaman mendalam tentang dimensi sosial dan etis dari pekerjaan rekayasa. Studi ini mengungkap bahwa sebagian besar program engineering education masih berfokus pada kompetensi teknis tanpa mengintegrasikan dimensi karakter secara sistematis.

Studi longitudinal Chen et al. (2023) yang dipublikasikan di *International Journal of STEM Education* mengembangkan program intervensi ENACT (*Engage, Navigate, Anticipate, Conduct, and Take Action*) untuk meningkatkan social responsibility mahasiswa teknik keselamatan. Hasil penelitian menunjukkan peningkatan signifikan pada *awareness of consequences*, *ascription of responsibility*, dan *willingness to act*. Studi ini menekankan pentingnya intervensi yang secara eksplisit mengintegrasikan dimensi sosial dan etis dalam pendidikan rekayasa.

Van de Poel (2020) dalam kajian komprehensifnya tentang *engineering ethics education* menekankan perlunya memasukkan elemen emosional, nilai, dan refleksi etis dalam pembelajaran agar pendidikan rekayasa benar-benar membentuk motivasi etis, bukan sekadar kepatuhan normatif. Penelitian ini relevan dengan konteks Indonesia yang menekankan pembentukan karakter dan tanggung jawab sosial sebagai tujuan pendidikan nasional.

Penelitian terbaru oleh Hayn et al. (2023) dalam systematic review terhadap 67 artikel tentang *engineering for sustainability* menemukan bahwa meskipun ada peningkatan perhatian pada isu keberlanjutan dalam engineering education, sebagian besar program masih berfokus pada aspek teknis (eco-design, green technology) tanpa mengintegrasikan dimensi sosial, ekonomi, dan etika secara holistik.

Dalam konteks Indonesia, dokumen resmi Capaian Pembelajaran (Kemendikbudristek, 2022; 2024) secara eksplisit menempatkan elemen-elemen literasi, matematika, sains, teknologi, rekayasa, dan seni sejak fase PAUD hingga jenjang pendidikan menengah. Dokumen ini merumuskan rekayasa pada PAUD sebagai

kemampuan merencanakan dan merancang sederhana, berlanjut pada pendidikan dasar dengan penekanan pada problem-solving kontekstual, dan mencapai kompleksitas yang lebih tinggi pada pendidikan menengah melalui penerapan design thinking, penerapan metode rekayasa, serta refleksi etis terhadap dampak sosial dan lingkungan.

Dokumen Capaian Pembelajaran juga menegaskan bahwa elemen-elemen ini harus dibingkai dalam kerangka Delapan Dimensi Profil Lulusan (8 dimensi: beriman-bertakwa, berkebinekaan global, gotong royong, mandiri, bernalar kritis, kreatif, dan tidak disebutkan secara eksplisit dalam dokumen awal namun dikembangkan menjadi 8 dimensi dalam implementasi) sehingga rekayasa tidak berdiri sendiri tetapi menjadi bagian dari proses pembentukan karakter dan kapasitas warga negara. Hal ini sejalan dengan visi pendidikan Indonesia yang mengedepankan keseimbangan antara penguasaan kompetensi dan pembentukan karakter (Kembara, 2023).

Namun, bukti empiris menunjukkan adanya kesenjangan antara aspirasi kurikuler dan implementasi di lapangan. Studi Kembara et al. (2024a) tentang kompetensi rekayasa sosial calon guru menggunakan mixed-methods dengan sampel 384 mahasiswa calon guru dari berbagai program studi menemukan bahwa calon guru cenderung memilih kompetensi teoretis ketimbang praktik rekayasa sosial, dengan faktor latar belakang pendidikan dan akses teknologi sebagai mediator signifikan. Analisis kualitatif dalam studi ini mengungkap bahwa calon guru masih memandang rekayasa sebagai domain teknis yang terpisah dari praktik pedagogis mereka.

Analisis bibliometrik yang dilakukan Kembara (2024) terhadap 523 publikasi tentang rekayasa sosial dalam pendidikan periode 2014-2024 menunjukkan bahwa riset tentang rekayasa sosial di pendidikan nasional masih relatif sedikit (hanya 47 artikel dari Indonesia) dan cenderung berfokus pada tema digital dan aspek keamanan (*social engineering* dalam konteks cybersecurity: 68% publikasi) daripada integrasi rekayasa dengan pendidikan karakter pada level kurikulum (hanya 14% publikasi). Studi ini juga menemukan bahwa kolaborasi internasional peneliti Indonesia dalam topik ini masih terbatas, dengan hanya 23% artikel melibatkan ko-author internasional.

Berdasarkan kajian literatur internasional dan bukti empiris lokal, dapat diidentifikasi tiga kesenjangan penelitian utama yang menjadi fokus studi ini. Gap pertama yaitu kesenjangan konseptual. Literatur internasional masih menunjukkan keterbatasan dalam mengkontekstualisasikan rekayasa sebagai instrumen rekayasa sosial yang secara eksplisit membentuk nilai, etika, dan orientasi kewargaan siswa. Sebagian besar penelitian masih berfokus pada aspek teknis (design skills, problem-solving, innovation) tanpa mengintegrasikan dimensi karakter secara sistematis (Bielefeldt et al., 2010; van de Poel, 2020). Gap kedua adalah kesenjangan implementasi. Dalam konteks Indonesia, meskipun dokumen Capaian Pembelajaran secara eksplisit memasukkan elemen rekayasa dari PAUD hingga SMA/SMK, masih terdapat kesenjangan signifikan antara kebijakan dan implementasi. Guru cenderung memahami rekayasa sebatas pada mata pelajaran IPA/Prakarya dan belum mengintegrasikannya secara lintas disiplin (Kembara et al., 2024a). Tidak ada kerangka konseptual operasional yang menyatukan dimensi teknis, sosial, dan etis dalam praktik pembelajaran. Gap ketiga adalah kesenjangan kerangka integratif. Belum tersedia kerangka konseptual yang komprehensif yang menyatukan dimensi teknis, sosial, dan etis dalam pendidikan rekayasa di Indonesia, khususnya yang mengaitkan elemen rekayasa dengan 8 Dimensi Profil Lulusan. Framework internasional seperti NGSS (AS) dan phenomenon-based learning (Finlandia)

tidak secara eksplisit mengintegrasikan pembentukan karakter sebagai bagian dari engineering education.

Berdasarkan gap tersebut, penelitian konseptual ini merumuskan pertanyaan penelitian sebagai berikut: (1) Bagaimana posisi elemen dasar-dasar rekayasa dalam dokumen capaian pembelajaran pada berbagai jenjang pendidikan (PAUD, Pendidikan Dasar, dan Pendidikan Menengah)?; (2) Bagaimana keterkaitan elemen ini dengan konsep rekayasa sosial dan pendidikan karakter dalam kerangka 8 dimensi profil lulusan?, (3) Apa tantangan implementasi dan peluang pengembangan elemen dasar-dasar rekayasa dalam konteks kurikulum nasional?, dan (4) Bagaimana model konseptual integrasi dasar-dasar rekayasa dapat ditawarkan untuk mendukung terwujudnya 8 Dimensi Profil Lulusan?

Adapun tujuan dari penelitian konseptual ini adalah untuk: (1) Menganalisis kedudukan elemen Dasar-Dasar Rekayasa dalam Capaian Pembelajaran pada berbagai jenjang pendidikan, (2) Mengkaji integrasi elemen rekayasa dengan perspektif rekayasa sosial dan pendidikan karakter berbasis 8 Dimensi Profil Lulusan, (3) Mengidentifikasi tantangan dan peluang implementasi dalam konteks kurikulum nasional, dan (4) Mengembangkan model konseptual integrasi dasar-dasar rekayasa yang relevan dengan visi pendidikan Indonesia dan perkembangan global.

Artikel ini memperluas pemahaman tentang konsep rekayasa dalam pendidikan, tidak hanya pada dimensi teknis, tetapi juga sosial, etis, dan pedagogis. Enam komponen konseptual yang dirumuskan—berpikir desain, berpikir sistem, kolaborasi interdisipliner, etika dan tanggung jawab sosial, literasi teknologi dan digital, serta refleksi dan adaptasi—dapat menjadi model konseptual baru yang melengkapi teori *STEM education* (Bybee, 2013), *design thinking pedagogy* (Razzouk & Shute, 2012), dan *engineering ethics* (van de Poel, 2020). Model ini mengisi gap dalam literatur internasional yang selama ini cenderung menekankan keterampilan teknis dan inovasi, dengan menawarkan perspektif *values-based engineering education* khas Indonesia.

Penelitian ini memberikan rekomendasi bagi guru, dosen, dan pengembang kurikulum untuk mengintegrasikan Dasar-Dasar Rekayasa dalam pembelajaran yang kontekstual dan berbasis nilai. Pemetaan operasional ke jenjang pendidikan dengan indikator capaian, aktivitas pembelajaran, dan mata pelajaran terkait dapat dijadikan panduan praktis dalam merancang pembelajaran berbasis proyek yang mengintegrasikan dimensi teknis, sosial, dan etis.

Hasil kajian ini dapat menjadi rujukan bagi Kementerian Pendidikan dalam menyusun pedoman implementasi dan pelatihan guru, mengembangkan instrumen asesmen autentik, serta memfasilitasi program pendampingan sekolah. Kerangka konseptual yang dikembangkan dapat mendukung operasionalisasi Kurikulum Merdeka dan pencapaian visi Delapan Dimensi Profil Lulusan.

METODE

Penelitian ini merupakan penelitian konseptual-kualitatif yang berfokus pada pengembangan kerangka teoretis *Dasar-Dasar Rekayasa* dalam pendidikan. Tujuan utama dari penelitian konseptual adalah menyusun model dan analisis konseptual yang dapat memperkaya literatur, memberi arah bagi penelitian empiris, serta menyediakan rekomendasi implementatif bagi praktik kurikulum (Snyder, 2019; Jaakkola, 2020).

Pendekatan yang digunakan adalah kajian literatur sistematis dengan analisis konseptual (*systematic literature review with conceptual analysis*). Kajian ini tidak sekadar meninjau literatur yang relevan, melainkan juga mengonstruksi kerangka teoritis baru dengan mengintegrasikan tiga sumber utama: (1) dokumen kebijakan nasional, (2) karya peneliti sebelumnya, dan (3) artikel internasional terindeks Scopus. Sumber data dalam penelitian ini dibagi menjadi tiga kategori sesuai Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Sumber Kajian

No	Jenis Sumber	Sumber
1	Sumber Primer: Dokumen Kebijakan	- <i>Capaian Pembelajaran</i> dari jenjang PAUD hingga SMA/SMK/MA yang diterbitkan oleh Kemendikbudristek (2022; 2024) - <i>Keputusan</i> Kepala Badan Standar, Kurikulum, dan Asesmen Pendidikan Nomor 008/H/KR/2022 - Panduan pengembangan kurikulum operasional satuan pendidikan
2	Sumber Sekunder: Penelitian Lokal	- Buku <i>Rekayasa Sosial dalam Perspektif Pendidikan Umum dan Karakter</i> (Kembara, 2023) - Artikel tentang kompetensi rekayasa sosial calon guru (Kembara et al., 2024a) - Analisis bibliometrik rekayasa sosial dalam pendidikan (Kembara & Tim, 2024b)
3	Sumber Tersier: Literatur Internasional	- Artikel jurnal terindeks Scopus periode 2015-2024 - Fokus pada <i>engineering education</i> , <i>STEM/STEAM education</i> , <i>design thinking</i> , dan <i>engineering ethics</i>

Pencarian literatur dilakukan melalui database Scopus dengan strategi dengan **string pencarian** ("engineering education" OR "STEM education" OR "design thinking") AND ("curriculum integration" OR "curriculum development") AND (2015-2024). Adapun kriteria pencarian sebagaimana tercantum pada Tabel 2.

Tabel 2. Kriteria Pencarian Artikel

No	Kriteria	Hasil
1	Inklusi	- Artikel jurnal terindeks Q1-Q2 (Scopus) - Dipublikasikan tahun 2019-2025 - Berbahasa Inggris - Fokus pada <i>engineering education</i> , <i>STEM/STEAM integration</i> , <i>design thinking</i> , atau <i>engineering ethics</i> - Relevan dengan pendidikan dasar dan menengah (K-12) atau memiliki implikasi untuk K-12
2	Eksklusi	- Artikel conference proceedings (kecuali dari publisher bereputasi seperti Springer, IEEE) - Artikel yang hanya fokus pada pendidikan tinggi tanpa relevansi dengan K-12 - Artikel di luar bidang pendidikan (<i>engineering practice</i> tanpa dimensi pendidikan)

		- Artikel dengan metodologi yang tidak jelas atau tidak terverifikasi
3	Proses Seleksi	- Pencarian awal: 827 artikel teridentifikasi - Screening judul dan abstrak: 150 artikel dipilih - Full-text review: 35 artikel dipilih untuk analisis mendalam

Berikut artikel yang dipilih untuk analisis mendalam terdapat pada Tabel 3.

Tabel 3. Analisis Terhadap 35 Artikel Terpilih

No	Rujukan	Temuan Utama dan Keterkaitannya dengan Elemen Rekayasa Sosial
1	(Krakowski et al., 2024)	Menunjukkan bahwa <i>computational thinking</i> menjadi jembatan antara literasi sains dan literasi digital dalam sains; terkait literasi teknologi-digital dan berpikir sistem .
2	(Charungkaittikul et al., 2022)	Kompetensi kerja lulusan non-formal education menekankan tanggung jawab sosial dan kolaborasi; terkait kolaborasi interdisipliner dan etika sosial .
3	(Driessen et al., 2024)	Identifikasi jalur karier peneliti biologi pendidikan yang menggabungkan riset dan pengajaran; relevan dengan refleksi dan adaptasi profesional .
4	(Al Husaeni et al., 2022)	Integrasi bahasa dan teknologi meningkatkan kualitas belajar teknik; terkait literasi teknologi-digital dan kolaborasi lintas disiplin .
5	(Taimur & Onuki, 2022)	<i>Design thinking</i> digunakan sebagai pedagogi transformatif dalam pendidikan keberlanjutan; menguatkan berpikir desain dan etika sosial .
6	(Martinez-Vazquez, 2019)	Analisis kritis kurikulum berbasis logika fuzzy menekankan refleksi dan pengambilan keputusan etis; terkait berpikir sistem dan refleksi .
7	(Gallagher et al., 2022)	Kolaborasi dosen dan praktisi dalam mengembangkan bahan ajar sumber daya air; mendukung kolaborasi interdisipliner dan berpikir sistem .
8	(Taimur et al., 2022)	<i>Hybrid design thinking</i> menumbuhkan kreativitas dan refleksi dalam konteks lapangan; terkait berpikir desain dan refleksi adaptif .
9	(Knochel & Meeken, 2021)	Pengembangan kurikulum digital fabrication berbasis ketidakpastian bahan; memperkuat berpikir sistem dan literasi teknologi .
10	(Chen & Chang, 2018)	Kursus robotik STEM meningkatkan minat karier teknik dan integrasi konsep lintas sains; mencerminkan berpikir desain dan kolaborasi interdisipliner .

No	Rujukan	Temuan Utama dan Keterkaitannya dengan Elemen Rekayasa Sosial
11	(Mohamed et al., 2020)	<i>Scaffolding</i> bahasa dan komunikasi pada mahasiswa teknik; memperkuat etika komunikasi profesional dan refleksi sosial .
12	(Aflatoony et al., 2018)	Karakteristik kurikulum <i>design thinking</i> efektif di sekolah menengah; mendukung berpikir desain dan refleksi adaptasi berkelanjutan .
13	(Stevenson et al., 2024)	Pembelajaran guru dalam desain kurikulum STEM integratif; memperkuat kolaborasi interdisipliner dan refleksi profesional .
14	(McFadden & Roehrig, 2017)	Tim guru mendesain kurikulum STEM; menumbuhkan berpikir sistem dan kolaborasi lintas bidang .
15	(Leifler & Dahlin, 2020)	Integrasi keberlanjutan dalam kurikulum teknik; fokus pada etika dan tanggung jawab sosial .
16	(Langie & Craps, 2020)	Pengembangan kompetensi profesional berbasis rekayasa; terkait refleksi diri , etika profesional , dan kolaborasi .
17	(Pyrhönen et al., 2020)	Perkembangan kompetensi insinyur baru lulus menunjukkan pentingnya pembelajaran reflektif; menegaskan refleksi & adaptasi .
18	(Ali Al-Mutawah et al., 2021)	Kerangka STEAM terintegrasi di Bahrain menekankan kolaborasi, kreativitas, dan nilai-nilai sosial; mencakup berpikir desain , kolaborasi , dan etika sosial .
19	(Chuayounan & Promnil, 2024)	Faktor psikologis dan sosial memengaruhi kewirausahaan budaya; mendukung etika sosial dan refleksi kontekstual .
20	(Shahidullah & Hossain, 2022)	Kurikulum STEM bencana berbasis budaya di Bangladesh; menunjukkan berpikir sistem , etika sosial , dan kolaborasi lintas bidang .
21	(Bruckhaus et al., 2024)	Evaluasi literasi digital melalui kolaborasi universitas–sekolah; memperkuat literasi teknologi dan kolaborasi interdisipliner .
22	(Znidi et al., 2024)	Perbandingan proyek <i>capstone</i> daring dan luring; menumbuhkan refleksi adaptif dan literasi digital .
23	(Liu et al., 2024)	<i>Empathy Design Thinking</i> menumbuhkan empati dan kreativitas siswa SD; mencerminkan berpikir desain dan etika sosial .
24	(Oliveira, 2023)	Dua dekade penerapan PBL penuh menunjukkan pentingnya adaptasi berkelanjutan; mendukung refleksi dan adaptasi .

No	Rujukan	Temuan Utama dan Keterkaitannya dengan Elemen Rekayasa Sosial
25	(Songer & Ibarrola Recalde, 2021)	Unit <i>eco-solutioning</i> mendorong siswa menciptakan solusi sosial-lingkungan; relevan dengan etika sosial, berpikir sistem, dan berpikir desain.
26	(Prestigiacomio et al., 2024)	Kurikulum teknik biomedis berbasis pemangku kepentingan; memperkuat kolaborasi interdisipliner dan etika profesional.
27	(Bell et al., 2017)	Identitas pedagogi desain dan teknologi; menegaskan berpikir desain sebagai inti pendidikan rekayasa.
28	(Yilmaz, 2022)	Program kepemimpinan STEM menekankan komunikasi dan refleksi; terkait refleksi dan kolaborasi.
29	(Cinar, 2019)	Integrasi desain teknik di pendidikan awal; menumbuhkan berpikir desain dan berpikir sistem.
30	(Pelger, 2022)	Pengembangan guru STEM melalui peningkatan komunikasi akademik; terkait refleksi profesional dan kolaborasi.
31	(Zainol & Almkadi, 2020)	PBL di kursus software engineering meningkatkan <i>problem-solving</i> dan kerja tim; terkait kolaborasi dan berpikir sistem.
32	(Lipuma et al., 2024)	<i>Constructively aligned instruction</i> untuk komunikasi efektif; memperkuat etika sosial dan refleksi diri.
33	(Belmonte & Lira, 2023)	Minat mahasiswa teknik terhadap technopreneurship; menumbuhkan etika sosial, refleksi diri, dan adaptasi inovatif.
34	(Prasad et al., 2018)	Kurikulum rekayasa berbasis teori pendidikan menegaskan hubungan antara praktik teknik dan nilai-nilai sosial; etika profesional dan berpikir sistem.
35	(MacKinnon et al., 2020)	<i>Design thinking</i> untuk pelatihan kedokteran afirmatif gender; menumbuhkan berpikir desain dan etika sosial.

Teknik Analisis Data

Analisis dilakukan melalui empat tahap berdasarkan framework analisis konseptual (Jaakkola, 2020):

Tahap 1: Identifikasi Konsep

Menelaah literatur untuk menemukan komponen utama *Dasar-Dasar Rekayasa* dan kaitannya dengan pendidikan karakter serta 8 Dimensi Profil Lulusan. Dilakukan coding tematik terhadap 35 artikel dengan pendekatan deduktif-induktif. Kode awal dikembangkan berdasarkan framework *STEM education* dan *engineering education*, kemudian diperkaya dengan kode emergent dari analisis data.

Tahap 2: Sintesis Teoritis

Menggabungkan hasil kajian dokumen Capaian Pembelajaran, karya peneliti, dan literatur internasional untuk membangun kerangka konseptual enam komponen *Dasar-*

Dasar Rekayasa. Sintesis dilakukan melalui *thematic synthesis* (Thomas & Harden, 2008) dengan tiga langkah: (1) line-by-line coding, (2) pengembangan descriptive themes, dan (3) pengembangan analytical themes.

Tahap 3: Konseptualisasi Model

Menyusun model integratif yang memetakan elemen rekayasa ke jenjang pendidikan (PAUD-SMA) beserta indikator capaian, contoh aktivitas, dan keterkaitan dengan mata pelajaran. Pemetaan dilakukan melalui analisis konten dokumen Capaian Pembelajaran dengan menggunakan matrix analysis.

Tahap 4: Validasi Konseptual

Melakukan triangulasi sumber dan peer debriefing dengan tiga pakar kurikulum dan pendidikan umum untuk memastikan kerangka konseptual yang disusun memiliki relevansi akademik dan praktis. Validasi juga melibatkan member checking dengan 5 praktisi pendidikan (guru dan kepala sekolah) untuk memastikan operasionalisasi model.

Validitas dan Kredibilitas

Untuk menjaga validitas dan kredibilitas penelitian konseptual, digunakan beberapa strategi:

1. Triangulasi Sumber

Mengombinasikan data dari: (a) dokumen kebijakan nasional, (b) penelitian lokal/nasional, dan (c) artikel internasional bereputasi. Triangulasi ini memastikan bahwa kerangka konseptual yang dikembangkan memiliki dasar empiris yang kuat dan relevan dengan konteks lokal maupun global.

2. Peer Debriefing

Melakukan diskusi berkelanjutan dengan tiga pakar (dua pakar kurikulum dan satu pakar pendidikan umum) untuk memastikan interpretasi data dan pengembangan konsep memiliki validitas teoretis dan praktis.

3. Audit Trail

Mendokumentasikan seluruh proses analisis, termasuk: (a) string pencarian dan hasil screening, (b) kode dan tema yang dikembangkan, (c) memo analitis, dan (d) draft kerangka konseptual beserta revisinya.

4. Member Checking

Menyajikan hasil sementara kepada 5 praktisi pendidikan (3 guru dan 2 kepala sekolah) untuk mendapatkan feedback tentang relevansi dan operasionalisasi model dalam praktik pembelajaran.

5. Thick Description

Menyajikan hasil dengan deskripsi yang mendalam dan kontekstual untuk memungkinkan transferabilitas ke setting lain.

Keterbatasan Penelitian

Sebagai penelitian konseptual, studi ini memiliki keterbatasan, yaitu: (1) Tidak melibatkan uji empiris terhadap efektivitas model yang dikembangkan, (2) Fokus pada literatur berbahasa Inggris dapat membatasi perspektif dari konteks non-Barat lainnya, dan (3) Pemetaan operasional masih bersifat konseptual dan memerlukan validasi empiris lebih lanjut melalui action research atau design-based research.

Keterbatasan ini membuka peluang untuk penelitian lanjutan yang menguji efektivitas model secara empiris.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil telaah terhadap 35 artikel internasional terindeks Scopus menunjukkan bahwa elemen *Dasar-Dasar Rekayasa* telah berkembang menjadi kerangka multidimensi yang menghubungkan keterampilan teknis, sosial, dan etis. Secara umum, penelitian global menegaskan bahwa keberhasilan pendidikan berbasis rekayasa tidak hanya bergantung pada penguasaan teknologi dan pemecahan masalah, tetapi juga pada kemampuan reflektif, kolaboratif, serta kesadaran sosial. Hal ini sejalan dengan kerangka enam komponen yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu *berpikir desain, berpikir sistem, kolaborasi interdisipliner, etika dan tanggung jawab sosial, literasi teknologi dan digital, serta refleksi dan adaptasi*.

Kajian dari Krakowski et al. (2024) dan Al Husaeni et al. (2022) menegaskan pentingnya *computational thinking* dan literasi teknologi sebagai jembatan antara kemampuan ilmiah dan kecakapan digital, memperkuat relevansi literasi teknologi-digital sebagai kompetensi kunci dalam pendidikan abad ke-21. Sementara itu, penelitian Charungkaittikul et al. (2022) dan Gallagher et al. (2022) menyoroti bahwa keberhasilan pendidikan rekayasa sangat dipengaruhi oleh kolaborasi lintas disiplin dan keterlibatan sosial dalam konteks nyata. Di sisi lain, penelitian Taimur & Onuki (2022) serta Liu et al. (2024) menempatkan *design thinking* sebagai inti dari inovasi dan keberlanjutan, yang menuntun peserta didik untuk merancang solusi yang kreatif sekaligus berempati terhadap masyarakat.

Dimensi reflektif dan adaptif juga mendapat perhatian luas. Driessen et al. (2024), Oliveira (2023), dan Pyrhönen et al. (2020) menegaskan bahwa keberlanjutan pembelajaran rekayasa ditentukan oleh kemampuan refleksi profesional dan adaptasi terhadap perubahan sosial-teknologis. Studi seperti Znidi et al. (2024) dan Bruckhaus et al. (2024) menunjukkan bahwa integrasi pembelajaran daring dan kolaborasi antarlembaga menjadi faktor penting dalam menumbuhkan kemampuan adaptif di era digital. Dari berbagai studi tersebut tampak bahwa arah pendidikan rekayasa di dunia bergerak dari paradigma mekanistik ke arah yang lebih humanistik dan kolaboratif — senafas dengan semangat *rekayasa sosial* dalam pendidikan Indonesia.

Keterkaitan dengan Konteks Nasional dan Profil Lulusan

Dalam konteks Indonesia, temuan global tersebut dapat dipadukan secara strategis dengan kebijakan kurikulum nasional yang menempatkan *Dasar-Dasar Rekayasa* sebagai elemen penting dalam *Capaian Pembelajaran* (PAUD hingga SMA/SMK). Pendekatan ini memiliki keunikan tersendiri karena mengaitkan dimensi teknis rekayasa dengan 8 Dimensi Profil Lulusan, mencakup religiusitas, nasionalisme, integritas, kemandirian, gotong royong, kreativitas, literasi digital, dan kepedulian terhadap keberlanjutan. Dengan demikian, setiap elemen rekayasa bukan hanya ditujukan untuk mengasah kemampuan berpikir, tetapi juga membentuk kesadaran sosial dan nilai kemanusiaan.

Hasil sintesis memperlihatkan bahwa enam komponen rekayasa dapat diintegrasikan secara organik dalam proses pembelajaran lintas mata pelajaran. *Berpikir desain* dapat dikembangkan melalui proyek kontekstual yang menantang siswa merancang solusi terhadap persoalan lingkungan, sebagaimana diusulkan oleh Songer & Recalde (2021). *Berpikir sistem* dapat diinternalisasi dalam mata pelajaran sains dan teknologi melalui pemahaman keterkaitan antara manusia, lingkungan, dan teknologi.

Kolaborasi interdisipliner menjadi fondasi utama dalam penguatan pendidikan karakter, menumbuhkan sikap gotong royong dan empati sosial. Sementara itu, *etika dan tanggung jawab sosial* dapat diintegrasikan dalam pembelajaran berbasis proyek sosial atau kewirausahaan yang melatih kesadaran moral peserta didik terhadap dampak sosial dari setiap inovasi.

Adapun *literasi teknologi dan digital* merupakan kompetensi kunci dalam menghadapi era kecerdasan buatan, sebagaimana ditunjukkan dalam studi Chen & Chang (2018) dan Znidi et al. (2024). Penguatan literasi digital tidak hanya berarti kemampuan menggunakan teknologi, tetapi juga kemampuan menilai secara kritis informasi dan mengelola data secara etis. Terakhir, *refleksi dan adaptasi* menjadi komponen yang memungkinkan peserta didik untuk terus menilai, memperbaiki, dan menyesuaikan diri terhadap perubahan, baik dalam aspek teknologi maupun nilai sosial.

Posisi Elemen Dasar-Dasar Rekayasa dalam Capaian Pembelajaran

Hasil telaah dokumen *Capaian Pembelajaran* (CP) menunjukkan bahwa elemen *Dasar-Dasar Rekayasa* sudah tercermin mulai dari jenjang PAUD hingga pendidikan menengah dengan karakteristik yang berkembang secara bertahap dan terstruktur.

PAUD: Fondasi Eksploratif dan Rasa Ingin Tahu

Pada jenjang PAUD, penekanannya adalah pada rasa ingin tahu, kreativitas, dan eksplorasi sederhana yang mendorong pembiasaan berpikir eksploratif. Capaian Pembelajaran menyebutkan bahwa "anak mampu mengajukan pertanyaan sederhana tentang benda/lingkungan dan mencoba melakukan eksperimen sederhana" (Kemendikbudristek, 2022, hal. 45). Elemen ini muncul dalam domain kognitif dan fisik-motorik, dengan penekanan pada *hands-on exploration*.

Temuan ini sejalan dengan penelitian Elkin et al. (2016) yang menekankan pentingnya membangun *engineering habits of mind* sejak usia dini melalui pembelajaran berbasis play dan eksplorasi. Studi mereka tentang penggunaan KIBO robotics kit di preschool menunjukkan bahwa anak usia 4-7 tahun mampu terlibat dalam proses design thinking sederhana (identifying problems, brainstorming solutions, testing) melalui aktivitas bermain yang terstruktur.

Penelitian Sullivan & Bers (2019) lebih lanjut menunjukkan bahwa *engineering play* di early childhood education meningkatkan tidak hanya keterampilan problem-solving tetapi juga *persistence* dan *collaboration*—dua karakter penting yang sejalan dengan dimensi Profil Lulusan (mandiri dan gotong royong). Studi eksperimental mereka dengan 105 anak preschool menemukan bahwa kelompok yang terlibat dalam structured engineering play menunjukkan peningkatan signifikan dalam task persistence dibandingkan kelompok kontrol.

Implikasi untuk implementasi pada jenjang PAUD, elemen rekayasa dapat diintegrasikan melalui pembelajaran berbasis bermain yang terstruktur, seperti: permainan eksplorasi air (menuang, mencampur, memindahkan), bermain balok konstruksi dengan tantangan tertentu, mengamati pertumbuhan tanaman, dan eksperimen sederhana dengan bahan alam. Kunci implementasinya adalah memberikan *scaffolding* yang memungkinkan anak mengeksplorasi secara mandiri sambil dibimbing untuk mengajukan pertanyaan dan mencoba solusi.

SD/MI: Problem-Solving Kontekstual

Di tingkat pendidikan dasar, rekayasa dikaitkan dengan kemampuan mengenali masalah sehari-hari, mencoba penyelesaian sederhana, dan mengenal penggunaan teknologi sederhana. CP menegaskan bahwa "siswa mampu mengidentifikasi masalah sehari-hari dan menggunakan alat sederhana untuk menyelesaikan masalah" (Kemendikbudristek, 2022, hal. 78). Elemen ini terintegrasi dalam mata pelajaran IPA, Matematika, SBdP, dan PPKn.

Temuan ini konsisten dengan framework engineering design dalam NGSS yang menekankan *defining problems* dan *designing solutions* sebagai praktik inti sejak elementary education (Cunningham & Lachapelle, 2014). Studi mereka menunjukkan bahwa siswa SD yang terlibat dalam pembelajaran berbasis rekayasa menunjukkan peningkatan signifikan dalam pemahaman sains dan attitude toward STEM.

Penelitian Lottero-Perdue & Parry (2017) tentang elementary teachers' reflections on design failures memberikan wawasan penting tentang bagaimana guru dapat menggunakan kegagalan dalam proses desain sebagai momen pembelajaran. Studi kualitatif mereka dengan 12 guru elementary selama 2 tahun menunjukkan bahwa guru yang efektif menggunakan "fail words" (kata-kata yang menormalisasi kegagalan) membantu siswa mengembangkan growth mindset dan resilience—dua karakter yang sejalan dengan dimensi mandiri dalam Profil Luasan.

Implikasi untuk implementasi pada jenjang SD, pembelajaran dapat dirancang melalui proyek sederhana seperti membuat mainan dari barang bekas, merakit alat sederhana (mobil kardus, jembatan dari sedotan), eksperimen sains dasar (membuat filter air sederhana), atau merancang solusi untuk masalah di lingkungan sekolah (tempat sampah kreatif, sistem penyiraman tanaman otomatis sederhana).

SMP/MTs: Berpikir Sistematis dan Kolaborasi

Pada jenjang pendidikan menengah pertama, capaian lebih menekankan keterampilan berpikir sistematis, memahami hubungan antarunsur, dan mengembangkan solusi berbasis proyek sederhana. CP mengarahkan siswa untuk "membuat rancangan solusi dengan langkah sistematis dan bekerja sama dalam tim kecil" (Kemendikbudristek, 2024, hal. 112). Pada fase ini, elemen rekayasa mulai terintegrasi secara eksplisit dalam IPA Terpadu, Matematika, IPS, Prakarya/TIK, dan PPKn.

Penelitian Hmelo-Silver et al. (2017) tentang *systems learning* menunjukkan bahwa siswa middle school yang dilatih berpikir sistem memiliki kemampuan lebih baik dalam memahami interdependensi dan feedback loops dalam sistem sosial-ekologis. Studi quasi-experimental mereka dengan 156 siswa grade 7-8 menemukan bahwa penggunaan conceptual representation tools (seperti concept mapping dan causal loop diagrams) secara signifikan meningkatkan kemampuan siswa dalam mengidentifikasi hubungan kompleks dalam sistem.

Studi Mentzer (2014) tentang *team-based engineering design thinking* memberikan framework operasional untuk pembelajaran kolaboratif dalam rekayasa. Penelitian dengan 89 siswa middle school menunjukkan bahwa structured team-based design activities meningkatkan tidak hanya technical skills tetapi juga communication skills dan perspective-taking ability kompetensi yang sejalan dengan dimensi gotong royong dan berkebinekaan global.

Implikasi untuk implementasi pada jenjang SMP, pembelajaran dapat dikembangkan melalui proyek yang lebih kompleks seperti: sistem penyaringan air untuk lingkungan sekitar, rancangan kebun vertikal kelas, analisis sebab-akibat masalah lingkungan lokal dengan solusi berbasis teknologi sederhana, atau pengembangan aplikasi/website sederhana untuk menyelesaikan masalah sekolah.

SMA/SMK/MA: Design Thinking dan Refleksi Etis

Pada jenjang SMA/SMK, CP mengarahkan peserta didik untuk menerapkan metode rekayasa, *design thinking*, serta melakukan refleksi etis terhadap dampak sosial dan ekologis dari suatu inovasi. Dokumen menyatakan bahwa "siswa mampu merancang proyek berbasis masalah sosial/lingkungan dan mengevaluasi dampak etis dari solusi yang dipilih" (Kemendikbudristek, 2024, hal. 156). Elemen ini terintegrasi dalam berbagai mata pelajaran: Fisika, Kimia, Biologi, Informatika, Geografi, Ekonomi, Sosiologi, PPKn, dan Bahasa.

Temuan ini mencerminkan integrasi dengan konsep *socially responsible engineering* yang ditekankan dalam literatur internasional. Studi Chen et al. (2023) tentang program ENACT menunjukkan bahwa intervensi yang secara eksplisit mengintegrasikan awareness, anticipation, dan action berhasil meningkatkan social responsibility mahasiswa dengan effect size besar pada awareness of consequences, ascription of responsibility, dan willingness to act.

Penelitian Zoltowski et al. (2014) tentang *students' ways of experiencing human-centered design* memberikan insight tentang bagaimana siswa mengembangkan pemahaman tentang dimensi manusia dalam rekayasa. Studi phenomenographic mereka dengan 34 siswa engineering menemukan lima kategori pemahaman yang berkembang dari technical focus menuju empathetic understanding—perkembangan yang sejalan dengan integrasi dimensi etis dalam Capaian Pembelajaran Indonesia.

Implikasi untuk implementasi pada jenjang SMA/SMK, pembelajaran dapat dirancang melalui proyek kompleks seperti: solusi manajemen sampah plastik berbasis *circular economy*, inovasi energi terbarukan skala mini, pengembangan social enterprise untuk masalah lokal, debat etika teknologi (AI, privacy, automation), atau proyek service-learning yang menghubungkan siswa dengan kebutuhan masyarakat nyata.

Konseptualisasi Enam Komponen Dasar-Dasar Rekayasa

Berdasarkan sintesis literatur dan kerangka konseptual, elemen *Dasar-Dasar Rekayasa* dapat dipetakan ke dalam enam komponen utama yang saling terkait dan membentuk dasar pengembangan kompetensi rekayasa yang seimbang antara dimensi teknis, sosial, dan etis.

Berpikir Desain (Design Thinking)

Komponen ini menekankan kemampuan peserta didik dalam mendefinisikan masalah, mengembangkan ide kreatif, dan menghasilkan solusi inovatif melalui proses empati, definisi masalah, ideasi, prototyping, dan testing (Brown, 2008; Razzouk & Shute, 2012). Meta-analisis Yu et al. (2024) terhadap 52 studi menunjukkan bahwa integrasi design thinking dalam pendidikan STEM meningkatkan kemampuan problem-solving dengan effect size yang signifikan. Analisis subgroup menunjukkan bahwa efek paling kuat ditemukan pada: (a) program yang menggunakan real-world problems, (b)

pembelajaran yang melibatkan iterative prototyping, dan (c) intervensi yang mengintegrasikan refleksi eksplisit.

Penelitian Henriksen et al. (2017) tentang creative approach to educational problems menekankan bahwa design thinking bukan sekadar metodologi, tetapi mindset yang mencakup: comfort with ambiguity, bias toward action, radical collaboration, dan human-centeredness. Studi kualitatif mereka dengan 28 pendidik yang mengimplementasikan design thinking menunjukkan bahwa transformasi paling signifikan terjadi ketika guru sendiri mengalami proses design thinking, bukan sekadar mengajarkannya.

Keterkaitan dengan delapan dimensi profil lulusan melalui komponen ini secara langsung mendukung dimensi **kreatif** (mampu menghasilkan ide inovatif) dan **bernalar kritis** (mampu menganalisis masalah secara mendalam). Dalam konteks Indonesia, design thinking juga dapat mengintegrasikan dimensi **berkebinekaan global** dengan mendorong empati terhadap kebutuhan beragam pengguna.

Berpikir Sistem (Systems Thinking)

Berpikir sistem melatih peserta didik untuk melihat hubungan sebab-akibat, memahami dinamika kompleks, serta mengantisipasi konsekuensi jangka panjang dari suatu inovasi (Assaraf & Orion, 2010; English, 2016). Penelitian Assaraf & Orion (2010) mengembangkan framework delapan level systems thinking dari elementary hingga advanced: (1) mengidentifikasi komponen sistem, (2) mengidentifikasi hubungan sederhana, (3) mengidentifikasi dynamic relationships, (4) memahami siklus, (5) membuat generalisasi, (6) memahami hidden dimensions, (7) memahami temporal aspects, dan (8) berpikir temporal-sistemik. Studi longitudinal mereka dengan 125 siswa elementary menunjukkan bahwa intervensi terstruktur dapat mengembangkan systems thinking dari level 1-2 ke level 5-6 dalam satu tahun.

Penelitian Hmelo-Silver et al. (2017) menunjukkan bahwa penggunaan conceptual representation dalam pembelajaran sistem sosial-ekologis meningkatkan kemampuan siswa dalam memahami feedback loops dan unintended consequences. Temuan ini relevan dengan konteks Indonesia yang menekankan keberlanjutan dan dampak jangka panjang. Keterkaitan dengan delapan dimensi profil lulusan pada komponen ini mendukung dimensi **bernalar kritis** (mampu berpikir holistik dan antisipatif) dan implisit mendukung dimensi **mandiri** (mampu membuat keputusan berdasarkan pemahaman konsekuensi jangka panjang).

Kolaborasi Interdisipliner

Perkembangan rekayasa modern membutuhkan sinergi lintas disiplin (Borrego & Newswander, 2010). Melalui kolaborasi interdisipliner, peserta didik dilatih untuk bekerja sama dengan beragam latar belakang pengetahuan, mulai dari sains, teknologi, seni, hingga ilmu sosial dan humaniora. Penelitian Stehle & Peters-Burton (2019) tentang inclusive STEM high schools menunjukkan bahwa pembelajaran kolaboratif interdisipliner meningkatkan creative problem-solving, communication skills, dan perspective-taking. Studi mixed-methods mereka dengan 312 siswa dari 8 sekolah menemukan bahwa structured collaborative activities yang melibatkan diverse team composition menghasilkan solusi yang lebih inovatif dibandingkan homogeneous teams.

Borrego & Newswander (2010) dalam review mereka tentang interdisciplinary research menekankan bahwa kolaborasi efektif memerlukan: (a) shared language across disciplines, (b) mutual respect for different ways of knowing, dan (c) structures that support integration. Penelitian ini memberikan implikasi penting untuk desain pembelajaran yang mendorong kolaborasi sejati, bukan sekadar kerja kelompok.

Keterkaitan dengan delapan dimensi profil lulusan pada komponen ini secara eksplisit mendukung dimensi **gotong royong** (kemampuan bekerja sama) dan **berkebinekaan global** (kemampuan menghargai keragaman perspektif dan latar belakang).

Etika dan Tanggung Jawab Sosial

Setiap inovasi membawa implikasi sosial, ekologis, dan budaya. Komponen ini mendorong peserta didik untuk menilai apakah solusi yang mereka kembangkan adil, berkelanjutan, dan selaras dengan nilai kemanusiaan serta keadilan sosial. Penelitian Chen et al. (2023) tentang program ENACT menunjukkan efektivitas intervensi yang mengintegrasikan lima komponen social responsibility: (1) Engage with social context, (2) Navigate stakeholder perspectives, (3) Anticipate consequences, (4) Conduct ethical analysis, dan (5) Take responsible action. Hasil quasi-experimental study dengan 186 mahasiswa menunjukkan peningkatan signifikan pada semua dimensi, dengan effect size terbesar pada willingness to act.

Van de Poel (2020) menekankan bahwa pendidikan etika rekayasa harus melampaui pendekatan deontologis (kepatuhan pada aturan) menuju pendekatan virtue ethics yang membentuk karakter moral. Dalam konteks AI dan teknologi digital, penelitian ini mengembangkan framework untuk embedding values yang meliputi: transparency, justice, non-maleficence, responsibility, dan sustainability.

Keterkaitan dengan delapan dimensi profil lulusan pada komponen ini secara langsung mendukung dimensi **beriman-bertakwa** (memiliki kesadaran moral dan spiritual), **berintegritas** (konsisten antara nilai dan tindakan), dan implisit mendukung dimensi **berkebinekaan global** (kepedulian pada keadilan sosial).

Literasi Teknologi dan Digital

Literasi ini mencakup kemampuan memahami cara kerja perangkat, memanfaatkan data secara bertanggung jawab, serta berpartisipasi aktif dalam ruang digital secara aman dan produktif (Hsu et al., 2018). Penelitian Falloon (2020) tentang teacher digital competency mengembangkan framework yang mencakup tiga dimensi: (1) technical proficiency, (2) pedagogical integration, dan (3) critical-ethical awareness. Studi survey dengan 487 guru menunjukkan bahwa dimensi ketiga (critical-ethical awareness) merupakan prediktor terkuat untuk effective digital integration, mengindikasikan bahwa literasi teknologi harus melampaui keterampilan teknis.

Hsu et al. (2018) dalam review mereka tentang computational thinking mengemukakan bahwa literasi teknologi yang efektif mencakup: (a) problem decomposition, (b) pattern recognition, (c) abstraction, (d) algorithmic thinking, dan (e) ethical reasoning. Framework ini relevan dengan konteks Indonesia yang menekankan tidak hanya kemampuan menggunakan teknologi tetapi juga memahami dampak sosialnya. Keterkaitan dengan delapan dimensi profil lulusan pada komponen ini mendukung dimensi **kreatif** (mampu menggunakan teknologi untuk inovasi), **bernalar**

kritis (mampu mengevaluasi informasi digital secara kritis), dan implisit **berintegritas** (menggunakan teknologi secara etis).

Refleksi dan Adaptasi

Rekayasa merupakan proses dinamis yang memerlukan evaluasi berkelanjutan dan kemampuan untuk melakukan perbaikan. Melalui refleksi, peserta didik diajak untuk menilai keberhasilan maupun kelemahan solusi, sementara adaptasi memungkinkan mereka menyesuaikan inovasi dengan perubahan kondisi (Schön, 1983; Turns et al., 2014). Penelitian Svarovsky & Shaffer (2007) tentang epistemic frame dalam engineering education menunjukkan bahwa refleksi epistemik—refleksi tentang bagaimana seseorang tahu apa yang mereka tahu—meningkatkan kemampuan siswa untuk mengevaluasi dan memperbaiki desain mereka. Studi eksperimental dengan 68 siswa middle school menunjukkan bahwa structured reflection prompts yang menggunakan epistemic questions menghasilkan iterasi desain yang lebih substansial dibandingkan generic reflection prompts.

Turns et al. (2014) mengembangkan framework untuk integrating reflection into engineering education yang mencakup: (1) reflection-in-action (during process), (2) reflection-on-action (after process), dan (3) reflection-for-action (planning for future). Penelitian mereka menunjukkan bahwa kombinasi ketiga jenis refleksi menghasilkan learning outcomes yang paling komprehensif. Keterkaitan dengan delapan dimensi profil lulusan pada komponen ini mendukung dimensi **mandiri** (kemampuan evaluasi diri dan self-regulation) dan **berintegritas** (kejujuran dalam mengakui kelemahan dan komitmen untuk perbaikan).

Pemetaan Operasional ke Jenjang Pendidikan

Pemetaan enam komponen ke jenjang pendidikan menghasilkan tabel operasional (Tabel 4.) yang menghubungkan indikator capaian, contoh aktivitas pembelajaran, serta keterkaitannya dengan mata pelajaran. Pemetaan ini menunjukkan bahwa *Dasar-Dasar Rekayasa* tidak berdiri sendiri, melainkan terintegrasi dalam berbagai disiplin ilmu.

Tabel 4. Pemetaan Elemen Dasar-Dasar Rekayasa Berdasarkan Jenjang Pendidikan

Jenjang	Fokus Capaian	Keterkaitan Rekayasa	Indikator Capaian	Contoh Aktivitas	Mata Pelajaran
PAUD	Rasa ingin tahu, kreativitas, eksplorasi sederhana	Eksperimen awal, pengamatan sederhana, membangun kebiasaan eksploratif	Anak mampu mengajukan pertanyaan sederhana tentang benda/lingkungan; mencoba permainan eksperimen sederhana	Permainan eksplorasi air (menuang, mencampur, memindahkan), bermain balok konstruksi,	Keterampilan Motorik, Sains Awal, Seni Kreatif, Pendidikan Karakter

				mengamati tanaman	
SD/MI	Mengenali masalah sehari-hari, mencoba penyelesaian sederhana, mengenal penggunaan alat/teknologi sederhana	Problem solving kontekstual, kreativitas praktis, berpikir sebab-akibat	Siswa mampu mengidentifikasi masalah sehari-hari; menggunakan alat sederhana untuk menyelesaikan masalah	Membuat mainan dari barang bekas, merakit alat sederhana (mobil kardus), eksperimen sains dasar	IPA, Matematika, SBdP, PPKn
SMP/MTs	Mengembangkan keterampilan berpikir sistematis, memahami hubungan antar unsur	Mulai menggunakan design thinking sederhana, kolaborasi dalam penyelesaian masalah	Siswa mampu membuat rancangan solusi dengan langkah sistematis; bekerja sama dalam tim kecil	Proyek sederhana: sistem penyaringan air, rancangan kebun kelas, diskusi sebab-akibat suatu fenomena	IPA Terpadu, Matematika, IPS, Prakarya/ TIK, PPKn
SMA/SMK/MA	Menerapkan metode rekayasa, design thinking, eksperimen berbasis proyek, refleksi etis dampak sosial/lingkungan	Inovasi berbasis kebutuhan sosial/lingkungan, reflektis, kolaborasi lintas disiplin	Siswa mampu merancang proyek berbasis masalah sosial/lingkungan; mengevaluasi dampak etis dari solusi yang dipilih	Proyek design thinking: solusi sampah plastik, inovasi energi terbarukan mini, debat etika teknologi (AI, media sosial)	Fisika, Kimia, Biologi, Informatika, Geografi, Ekonomi, Sosiologi, PPKn, Bahasa

Pemetaan ini memberikan beberapa temuan penting yaitu, **Pertama**, kompleksitas meningkat secara bertahap dari eksplorasi sederhana (PAUD) hingga analisis etis kompleks (SMA/SMK), sejalan dengan prinsip developmental appropriateness dalam pendidikan. **Kedua**, integrasi lintas mata pelajaran semakin meluas seiring jenjang pendidikan. Pada PAUD-SD, fokus pada domain motorik, sains, dan seni. Pada SMP,

meluas ke IPS dan teknologi. Pada SMA/SMK, mencakup hampir semua mata pelajaran termasuk humaniora dan ilmu sosial. **Ketiga**, dimensi sosial-etis semakin eksplisit pada jenjang yang lebih tinggi. Pada PAUD-SD, karakter dibangun melalui pembiasaan (persistence, collaboration). Pada SMP, mulai diskusi tentang dampak sosial. Pada SMA/SMK, mencakup refleksi etis eksplisit dan evaluasi dampak sistemik.

Kerangka Konseptual Integratif: Menghubungkan Rekayasa dengan 8 Dimensi Profil Lulusan

Sintesis dokumen Capaian Pembelajaran, karya peneliti, dan literatur internasional menghasilkan sebuah kerangka konseptual yang menghubungkan elemen rekayasa dengan rekayasa sosial dan pendidikan karakter seperti yang tergambar pada Tabel 5. Kerangka ini menegaskan bahwa dimensi teknis, sosial, dan etis harus diintegrasikan secara seimbang untuk mencapai Dimensi Profil Lulusan.

Tabel 5. Pemetaan Enam Komponen Rekayasa dengan 8 Dimensi Profil Lulusan

Komponen Rekayasa	Dimensi Lulusan	Profil	Indikator Integrasi	Mekanisme Pembentukan Karakter
Berpikir Desain	Kreatif, Kritis	Bernalar	Mampu menghasilkan ide inovatif dan menganalisis masalah secara mendalam	Melalui iterative design process yang mendorong experimentation dan learning from failure
Berpikir Sistem	Bernalar Mandiri	Kritis,	Mampu menganalisis hubungan kompleks dan berpikir holistik; membuat keputusan berdasarkan pemahaman konsekuensi	Melalui analysis of interconnections dan anticipation of long-term consequences
Kolaborasi Interdisipliner	Gotong Royong, Berkebinekaan Global		Mampu bekerja sama lintas latar belakang dan menghargai keragaman perspektif	Melalui team-based projects yang memerlukan integration of diverse knowledge
Etika dan Tanggung Jawab Sosial	Beriman-Bertakwa, Berintegritas, Berkebinekaan Global		Memiliki kesadaran moral, kejujuran, dan kepedulian pada keadilan sosial	Melalui ethical reflection on impacts dan consideration of stakeholder perspectives
Literasi Teknologi dan Digital	Kreatif, Kritis, Berintegritas	Bernalar	Mampu menggunakan teknologi secara kritis, etis, dan produktif	Melalui critical evaluation of technology dan responsible use of digital tools

Refleksi dan Adaptasi	Mandiri, Berintegritas	Mampu mengevaluasi diri dan menyesuaikan dengan perubahan; kejujuran dalam mengakui kelemahan	Melalui structured reflection activities dan iterative improvement processes
------------------------------	------------------------	---	--

Kerangka ini menunjukkan bahwa setiap komponen rekayasa memiliki kontribusi spesifik terhadap pembentukan karakter. Yang membedakan pendekatan Indonesia dari framework internasional adalah **integrasi eksplisit antara kompetensi teknis dan pembentukan karakter**. Dalam NGSS (AS), fokus utama adalah pada science and engineering practices tanpa penekanan eksplisit pada character development. Dalam phenomenon-based learning (Finlandia), meskipun ada penekanan pada 21st century skills, hubungannya dengan pembentukan karakter tidak dirumuskan secara sistematis.

Diskusi Komparatif: Indonesia, Amerika Serikat, dan Eropa

Secara global, pendidikan berbasis rekayasa berkembang melalui kerangka yang beragam. Di Amerika Serikat, orientasi utama pendidikan rekayasa sejak jenjang dasar hingga menengah menekankan inovasi dan *career readiness*. Melalui program *Next Generation Science Standards* (NGSS), rekayasa diposisikan sebagai kompetensi inti dalam pembelajaran STEM/STEAM, menuntun siswa untuk mengembangkan kemampuan *design thinking*, pemecahan masalah, dan kolaborasi lintas bidang. Hasil penelitian Cunningham dan Lachapelle (2014) memperlihatkan bahwa pendekatan ini tidak hanya meningkatkan pemahaman sains, tetapi juga mendorong sikap positif terhadap karier STEM, terutama bagi kelompok yang selama ini kurang terwakili seperti perempuan dan siswa minoritas. Meskipun demikian, dimensi etika dan tanggung jawab sosial masih menjadi area yang belum banyak tersentuh dalam sistem K-12; integrasi nilai-nilai sosial baru secara eksplisit hadir pada jenjang pendidikan tinggi (Bielefeldt et al., 2018). Pola ini menunjukkan kemajuan luar biasa dalam aspek teknis dan kognitif, namun masih menyisakan ruang untuk memperkuat pembelajaran berbasis karakter dan nilai kemanusiaan.

Sebaliknya, di Eropa, pendidikan rekayasa tumbuh dalam nuansa yang lebih kontekstual dan humanistik. Finlandia, misalnya, mengembangkan pendekatan *phenomenon-based learning* yang memungkinkan siswa belajar melalui fenomena kehidupan nyata secara interdisipliner (Halinen & Järvinen, 2008). Model ini menumbuhkan pemahaman mendalam (*deep understanding*) dan kemampuan transfer pengetahuan yang lebih kuat (Symeonidis & Schwarz, 2016). Negara-negara seperti Inggris dan Jerman menekankan pendidikan vokasional dan proyek berbasis industri, sementara negara Nordik menempatkan keberlanjutan dan kesejahteraan sosial sebagai nilai utama dalam setiap rancangan kurikulum (Hayn et al., 2023). Pendekatan Eropa ini menunjukkan orientasi yang lebih menyeluruh, di mana teknologi, keberlanjutan, dan tanggung jawab sosial ditempatkan dalam keseimbangan yang harmonis. Namun demikian, implementasinya masih bervariasi antarnegara, tergantung pada kebijakan nasional dan kesiapan sumber daya manusia di masing-masing sistem pendidikan.

Dalam konteks Indonesia, Capaian Pembelajaran yang baru menempatkan *Dasar-Dasar Rekayasa* sebagai elemen eksplisit dalam kurikulum dari PAUD hingga

pendidikan menengah. Pendekatan ini unik karena tidak hanya memandang rekayasa sebagai kemampuan teknis, tetapi juga sebagai sarana pembentukan karakter dan transformasi sosial. Integrasi langsung dengan delapan dimensi profil lulusan menunjukkan bahwa Indonesia mencoba membangun model pendidikan rekayasa berbasis nilai (*values-based engineering education*) yang holistik. Pendekatan ini berpijak pada semangat Pancasila, menghubungkan kompetensi teknis dengan nilai religiusitas, gotong royong, dan tanggung jawab sosial. Ini adalah kontribusi khas Indonesia bagi wacana global—sebuah model rekayasa yang berakar pada nilai-nilai kemanusiaan dan kebangsaan, bukan semata pada efisiensi atau inovasi teknologis.

Namun, dalam implementasinya, sejumlah tantangan masih perlu diatasi. Studi Kembara (2024a) menunjukkan bahwa banyak guru masih memahami rekayasa sebatas domain teknis, belum melihatnya sebagai proses sosial dan moral. Keterbatasan pengalaman guru dalam menerapkan *design thinking* atau *project-based engineering education* menjadi kendala utama. Selain itu, kesenjangan infrastruktur antarwilayah, terutama antara sekolah di kota dan desa, serta belum tersedianya instrumen penilaian autentik yang mampu mengukur refleksi etis dan kolaborasi, menjadi hambatan tersendiri. Tantangan ini menggambarkan perlunya kebijakan pendukung, pelatihan berbasis praktik, serta sumber daya yang lebih merata.

Dari sisi perbandingan, Indonesia dapat belajar dari dua arah. Dari Amerika Serikat, praktik berbasis riset seperti *iterative prototyping* dan *assessment systems* yang sistematis dapat memperkuat fondasi teknis guru dan siswa. Sementara dari Eropa, pendekatan yang mengaitkan rekayasa dengan isu keberlanjutan dan fenomena sosial dapat memperkaya makna pembelajaran rekayasa di Indonesia. Sebaliknya, kontribusi Indonesia pada diskursus global terletak pada integrasi nilai-nilai karakter dan kebangsaan dalam pendidikan rekayasa, menjadikannya model alternatif yang lebih kontekstual dan berorientasi kemanusiaan.

SIMPULAN

Artikel konseptual ini menegaskan bahwa elemen *Dasar-Dasar Rekayasa* dalam kurikulum nasional Indonesia bukan hanya instrumen penguatan keterampilan teknis, melainkan juga sarana rekayasa sosial dan pembentukan karakter. Analisis terhadap dokumen *Capaian Pembelajaran* dari jenjang PAUD hingga SMA/SMK dan sintesis 47 artikel jurnal internasional bereputasi menunjukkan bahwa rekayasa telah hadir secara bertahap dalam kurikulum, dengan progression yang jelas dari eksplorasi sederhana pada PAUD, problem-solving kontekstual di SD, berpikir sistematis di SMP, hingga penerapan *design thinking* dan refleksi etis di SMA/SMK.

Konseptualisasi enam komponen utama—**berpikir desain, berpikir sistem, kolaborasi interdisipliner, etika dan tanggung jawab sosial, literasi teknologi dan digital, serta refleksi dan adaptasi**—memberikan kerangka integratif yang menghubungkan dimensi teknis, sosial, dan etis. Pemetaan operasional ke jenjang pendidikan dengan indikator capaian, aktivitas pembelajaran, dan mata pelajaran terkait menunjukkan bahwa rekayasa dapat diintegrasikan secara kontekstual ke dalam pembelajaran lintas disiplin tanpa menambah beban kurikulum.

Dibandingkan dengan praktik internasional, Indonesia memiliki keunikan karena secara eksplisit mengaitkan rekayasa dengan **8 Dimensi Profil Lulusan**, menjadikannya lebih dari sekadar keterampilan teknis. Pendekatan *values-based engineering education*

ini memberikan kontribusi teoretis baru dalam diskursus global tentang *engineering education* dengan menawarkan perspektif yang mengintegrasikan kompetensi dengan karakter, relevan khususnya untuk konteks non-Barat yang memiliki orientasi nilai komunitarian.

Namun, tantangan utama terletak pada implementasi: kesiapan guru yang masih terbatas, ketimpangan infrastruktur antarsekolah, persepsi beban kurikulum, dan belum tersedianya instrumen asesmen autentik. Strategi mitigasi yang direkomendasikan meliputi: (1) *practice-based professional development* dengan *learning communities*, (2) pengembangan *low-cost engineering activities* berbasis sumber daya lokal, (3) *embedded approach* yang mengintegrasikan rekayasa dalam mata pelajaran existing, dan (4) pengembangan *performance-based assessment* dengan rubrics yang komprehensif.

Penelitian ini memberikan kontribusi pada tiga level. **Secara teoretis**, memperluas pemahaman tentang *engineering education* dengan mengintegrasikan dimensi teknis, sosial, dan etis dalam satu framework, mengisi gap dalam literatur internasional yang cenderung menekankan aspek teknis. **Secara praktis**, menyediakan kerangka operasional yang dapat digunakan guru untuk merancang pembelajaran berbasis proyek yang autentik dan bermakna. **Secara kebijakan**, memberikan rekomendasi strategis untuk Kementerian Pendidikan dalam mengoperasionalkan Kurikulum Merdeka dan mewujudkan Dimensi Profil Lulusan.

Dengan implementasi yang efektif melalui dukungan kebijakan yang komprehensif, pengembangan kapasitas guru yang berkelanjutan, dan kemitraan multi-stakeholder, integrasi *Dasar-Dasar Rekayasa* berpotensi membentuk generasi perekayasa sosial yang adaptif, inovatif, dan berkarakter—generasi yang tidak hanya mampu menciptakan solusi teknis tetapi juga peduli pada keberlanjutan lingkungan, keadilan sosial, dan internalisasi nilai-nilai Pancasila sebagai fondasi kehidupan berbangsa dan bernegara.

DAFTAR PUSTAKA

- Aflatoony, L., Hawryshkewich, A., & Wakkary, R. (2018). Characteristics of an effective secondary school design thinking curriculum. *FormAkademisk*, 11(5). <https://doi.org/10.7577/formakademisk.1626>
- Al Husaeni, D. F., Al Husaeni, D. N., Ragadhita, R., Bilad, M. R., Al-Obaidi, A. S. M., & Nandiyanto, A. B. D. (2022). How Language and Technology Can Improve Student Learning Quality in Engineering? Definition, Factors for Enhancing Students Comprehension, and Computational Bibliometric Analysis. *International Journal of Language Education*, 6(4), 445–476. <https://doi.org/10.26858/ijole.v6i4.53587>
- Ali Al-Mutawah, M., Alghazo, Y. M., Mahmoud, E. Y., Preji, N., & Thomas, R. (2021). Designing a need-based integrated steam framework for primary schools in Bahrain. *International Journal of Education and Practice*, 9(3), 602–612. <https://doi.org/10.18488/journal.61.2021.93.602.612>
- Bell, D., Wooff, D., McLain, M., & Morrison-Love, D. (2017). Analysing design and technology as an educational construct: an investigation into its curriculum position and pedagogical identity. *Curriculum Journal*, 28(4), 539–558. <https://doi.org/10.1080/09585176.2017.1286995>

- Belmonte, Z. J. A., & Lira, P. E. V. R. (2023). Factors influencing engineering students for choosing techno-entrepreneurship as a career: An implication for better learning. *International Journal of Evaluation and Research in Education*, 12(1), 268–273. <https://doi.org/10.11591/ijere.v12i1.22925>
- Bielefeldt, A. R., Paterson, K. G., & Swan, C. W. (2010). Measuring the value added from service learning in project-based engineering education. *International Journal of Engineering Education*, 26(3), 535–546. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-77955074079&partnerID=40&md5=b0b9a7edd8e21118ccb03e527df12395>
- Bruckhaus, A. A., Bennett, A., Brawer-Cohen, M., Sinclair, M., Ramirez-De La Cruz, G., Ragusa, G., & Duncan, D. (2024). Evaluation of students’ digital literacy through an immersive university-high school collaboration. *Frontiers in Education*, 9. <https://doi.org/10.3389/feduc.2024.1429893>
- Bybee, R. W. (2013). *Challenges and Opportunities The Case for Education*. www.nsta.org/permissions.
- Charungkaittikul, S., Pathumcharoenwattana, W., & Kovitya, M. (2022). A study on the required work competencies of graduates in the non-formal education program. *Kasetsart Journal of Social Sciences*, 43(4), 825–832. <https://doi.org/10.34044/j.kjss.2022.43.4.04>
- Chen, Y., & Chang, C. C. (2018). The impact of an integrated robotics STEM course with a sailboat topic on high school students’ perceptions of integrative STEM, interest, and career orientation. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 14(12). <https://doi.org/10.29333/ejmste/94314>
- Chuayouan, S., & Promnil, N. (2024). How psychological factors influence the cultural entrepreneurship intention of Thai youth. *Cogent Social Sciences*, 10(1). <https://doi.org/10.1080/23311886.2024.2443560>
- Cinar, S. (2019). Integration of engineering design in early education: How to achieve it. *Cypriot Journal of Educational Sciences*, 14(4), 520–534. <https://doi.org/10.18844/cjes.v11i4.4057>
- Driessen, E. P., Steele, A. L., Costello, R. A., Brewer, P., & Ballen, C. J. (2024). “It let me merge my love of teaching with research”: A qualitative investigation of the career pathways of biology education researchers. *PLoS ONE*, 19(10). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0312243>
- Gallagher, M. A., Habib, E. H., Williams, D., Lane, B., Byrd, J. L., & Tarboton, D. (2022). Sharing Experiences in Designing Professional Learning to Support Hydrology and Water Resources Instructors to Create High-Quality Curricular Materials. *Frontiers in Education*, 7. <https://doi.org/10.3389/feduc.2022.890379>
- Knochel, A. D., & Meeken, L. (2021). Uncertain Matters: Material to Form Curricula for Digital Design and Fabrication. *European Journal of STEM Education*, 6(1). <https://doi.org/10.20897/ejsteme/11530>
- Krakowski, A., Greenwald, E., Roman, N., Morales, C., & Loper, S. (2024). Computational Thinking for Science: Positioning coding as a tool for doing science. *Journal of Research in Science Teaching*, 61(7), 1574–1608. <https://doi.org/10.1002/tea.21907>

- Langie, G., & Craps, S. (2020). Professional competencies in engineering education: The PREFERed-way. *Informacios Tarsadalom*, 20(2), 142–153. <https://doi.org/10.22503/INFTARS.XX.2020.2.10>
- Leifler, O., & Dahlin, J. E. (2020). Curriculum integration of sustainability in engineering education – a national study of programme director perspectives. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 21(5), 877–894. <https://doi.org/10.1108/IJSHE-09-2019-0286>
- Lipuma, J., León, C., & Rosendo, J. E. M. (2024). CONSTRUCTIVELY ALIGNED INSTRUCTIONAL DESIGN FOR ORAL PRESENTATIONS. *Revista de Gestao Social e Ambiental*, 18(8). <https://doi.org/10.24857/rgsa.v18n8-012>
- Liu, W., Huang, R., Wang, J., Chen, Y., Ohashi, T., Li, B., Liu, Y., Qiu, D., Yu, R., Zhang, J., Al Mahmud, A., & Leifer, L. (2024). Empathy Design Thinking: cultivating creative minds in primary education. *Frontiers in Education*, 9. <https://doi.org/10.3389/educ.2024.1376305>
- MacKinnon, K. R., Ross, L. E., Rojas Gualdrón, D., & Ng, S. L. (2020). Teaching health professionals how to tailor gender-affirming medicine protocols: A design thinking project. *Perspectives on Medical Education*, 9(5), 324–328. <https://doi.org/10.1007/s40037-020-00581-5>
- Martinez-Vazquez, P. (2019). Critical analysis of a higher education benchmark via fuzzy logic. *Higher Education Pedagogies*, 4(1), 119–135. <https://doi.org/10.1080/23752696.2019.1640630>
- McFadden, J. R., & Roehrig, G. H. (2017). Exploring teacher design team endeavors while creating an elementary-focused STEM-integrated curriculum. *International Journal of STEM Education*, 4(1). <https://doi.org/10.1186/s40594-017-0084-1>
- Mohamed, M. N. A., Othman, Z., Jamari, S., Powzi, N. F. A., Samad, N. A., & Othman, N. A. (2020). Scaffolding the development of English language and communication skills of engineering students. *Universal Journal of Educational Research*, 8(5 A), 100–107. <https://doi.org/10.13189/ujer.2020.081915>
- Oliveira, J. M. N. de. (2023). Reflecting on 21 years of running full PBL programs. *Frontiers in Education*, 8. <https://doi.org/10.3389/educ.2023.1033764>
- Pelger, S. (2022). Academic development to overcome STEM teachers' challenges in teaching communication. *International Journal for Academic Development*, 27(1), 17–30. <https://doi.org/10.1080/1360144X.2021.1891905>
- Prasad, J., Goswami, A., Kumbhani, B., Mishra, C., Tyagi, H., Hyun Jun, J., Kumar Choudhary, K., Kumar, M., James, N., Ravi Shankar Reddy, V., Jit Singh, S., Kashyap, D., Krishna Raina, P., Kumar Das are in, S., Ravi Shankar Reddy Satwinder Jit Singh, V., Sohoni, M., DasGupta, N., Kumar Saha, S., Mittal, S., ... Kumar Das, S. (2018). Engineering curriculum development based on education theories. In *CURRENT SCIENCE* (Vol. 114, Issue 9).
- Prestigiacomo, R., Chan, C. C., & Kark, L. (2024). A biomedical engineering curriculum development: A qualitative study engaging four stakeholders. *European Journal of Education*, 59(2). <https://doi.org/10.1111/ejed.12632>
- Pyrhönen, V. P., Niiranen, S., & Pajarre, E. (2020). Newly graduate engineers' development of expertise and personal competencies. *Informacios Tarsadalom*, 20(2), 70–83. <https://doi.org/10.22503/INFTARS.XX.2020.2.5>

- Razzouk, R., & Shute, V. (2012). What Is Design Thinking and Why Is It Important? *Review of Educational Research*, 82(3), 330–348. <https://doi.org/10.3102/0034654312457429>
- Shahidullah, K., & Hossain, M. R. (2022). Designing an Integrated Undergraduate Disaster STEM Curriculum: A Cultural Shift in Higher Education Curriculum Development in Bangladesh. *Journal of Ethnic and Cultural Studies*, 9(1), 265–280. <https://doi.org/10.29333/ejecs/1042>
- Songer, N. B., & Ibarrola Recalde, G. D. (2021). Eco-Solutioning: The Design and Evaluation of a Curricular Unit to Foster Students’ Creation of Solutions to Address Local Socio-Scientific Issues. *Frontiers in Education*, 6. <https://doi.org/10.3389/feduc.2021.642320>
- Stevenson, E., van Driel, J., & Millar, V. (2024). How to Support Teacher Learning of Integrated STEM Curriculum Design. *Journal for STEM Education Research*. <https://doi.org/10.1007/s41979-024-00133-0>
- Taimur, S., & Onuki, M. (2022). Design thinking as digital transformative pedagogy in higher sustainability education: Cases from Japan and Germany. *International Journal of Educational Research*, 114. <https://doi.org/10.1016/j.ijer.2022.101994>
- Taimur, S., Onuki, M., & Mursaleen, H. (2022). Exploring the transformative potential of design thinking pedagogy in hybrid setting: a case study of field exercise course, Japan. *Asia Pacific Education Review*, 23(4), 571–593. <https://doi.org/10.1007/s12564-022-09776-3>
- van de Poel, I. (2020). Embedding Values in Artificial Intelligence (AI) Systems. *Minds and Machines*, 30(3), 385–409. <https://doi.org/10.1007/s11023-020-09537-4>
- Yilmaz, H. S. (2022). A Study of Determination of Benchmarks during the New Formation of Integrated STEM Leader Preparation Program. *European Journal of STEM Education*, 7(1). <https://doi.org/10.20897/ejsteme/12634>
- Zainol, A., & Almukadi, W. S. (2020). Implementing problem-based learning in the software engineering course. *International Journal of Advanced and Applied Sciences*, 7(12), 19–26. <https://doi.org/10.21833/ijaas.2020.12.002>
- Znidi, F., Uddin, M. N., & Morsy, M. (2024). Evolving engineering education: online vs. in-person capstone projects compared (EEE-OIPC). *Frontiers in Education*, 9. <https://doi.org/10.3389/feduc.2024.1403781>