

Di era digital yang berkembang pesat, pendidikan berbasis STEM (Science, Technology, Engineering, and Mathematics) menjadi kunci utama dalam menyiapkan generasi yang adaptif, kreatif, dan inovatif. Buku atau kajian ini mengeksplorasi pentingnya integrasi teknologi digital dalam pembelajaran STEM untuk membekali peserta didik dengan keterampilan abad ke-21, seperti berpikir kritis, pemecahan masalah, kolaborasi, dan literasi digital. Melalui pendekatan interdisipliner dan berbasis proyek, pendidikan STEM diharapkan mampu mencetak generasi masa depan yang siap menghadapi tantangan global dan menjadi pelaku aktif dalam transformasi teknologi dan sosial. Sinopsis ini menggarisbawahi urgensi pembaruan kurikulum, pelatihan guru, serta kolaborasi antara dunia pendidikan, industri, dan pemerintah demi menciptakan ekosistem pembelajaran yang relevan dan berkelanjutan.

PT. Nawala Gama Education
Jl. Raya Yamin, No. 88, Kec. Telanaipura, Kota Jambi
Jambi, 36361
Telp: +62 811 7488 011
Email: nawalaedu@gmail.com

ISBN 978-634-04-0119-6 (PDF)

PENDIDIKAN
STEM DI ERA DIGITAL
MENYIAPKAN GENERASI MASA DEPAN

Editor :
Dyana Maftuhatu Rosyidah, M.Pd.



PENDIDIKAN
STEM DI ERA DIGITAL
MENYIAPKAN GENERASI MASA DEPAN

Asrul Sani, Ph.D[1], Lidya Cahyani, M.Pd., C.PPS., C.CLS., C.TRS., C.CHS[2], Prof. Dr. Sitti Hartinah, DS., MM[3],
Dr. Marlina, S. Ag., M.Pd[4], Ir. Ali Impron, S.Kom., M.Kom[5], Annistia Rahmadian Ulfah, S.Si., M.Si[6],
Dr. Endah Andayani., M.M[7], Nuril Huda, M.Pd[8], Istianah, S.Pd., M.Si[9],
Dr. H. Taufik Rahman, M.Pd[10], Luhur A. Prasetya, S.Pd[11],
Dr. Hj. Reviandari Widyatiningtyas, Dra., M.Pd[12]

PENDIDIKAN STEM DI ERA DIGITAL: MENYIAPKAN GENERASI MASA DEPAN

Asrul Sani, Ph.D

Lidya Cahyani, M.Pd., C.PPS., C.CLS., C.TRS., C.CHS.

Prof. Dr. Sitti Hartinah, DS., MM.

Dr. Marlina, S. Ag., M.Pd.

Ir. Ali Impron, S.Kom., M.Kom.

Annistia Rahmadian Ulfah, S.Si., M.Si.

Dr. Endah Andayani., M.M.

Nuril Huda, M.Pd.

Istianah, S.Pd., M.Si.

Dr. H. Taufik Rahman, M.Pd.

Luhur A. Prasetya, S.Pd.

Dr. Hj. Reviandari Widyatiningtyas, Dra., M.Pd.

Penerbit PT Nawala Gama Education

Judul	: **Pendidikan Stem Di Era Digital: Menyiapkan Generasi Masa Depan**
Penulis	: Asrul S., Lidya C., Sitti H., Marlina, Ali I., Annistia R. U., Endah A., Nuril H., Istianah, Taufik R., Luhur A. P., Reviandari W.
Editor	: Dyana Maftuhatu Rosyidah, M.Pd.
Design Cover	: Eric Krisna Sandi, S.Kom.
Penerbit	: **PT Nawala Gama Education** Jl. Raja Yamin, No. 88, Kec. Telanaipura, Kota Jambi, Jambi, 36361
Telp	: +62 811 7488 011
Email	: nawalaedu@gmail.com
Website	: www.nawalaedu.com
ISBN	: 978-634-04-0119-6

Anggota Ikatan Penerbit Indonesia (IKAPI)
vii + 188 halaman; 14,8 cm x 21 cm

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

Dilarang keras menerjemahkan, memfotokopi, atau memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apapun tanpa izin tertulis dari penerbit.

Diterbitkan oleh PT Nawala Gama Education,
Jambi, 2025

KATA PENGANTAR

Pendidikan STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics) di era digital memiliki peran krusial dalam membentuk generasi masa depan yang siap menghadapi tantangan global. Di tengah pesatnya kemajuan teknologi, pendidikan STEM menjadi landasan bagi pengembangan keterampilan yang dibutuhkan, seperti berpikir kritis, kreativitas, dan pemecahan masalah. Buku ini hadir untuk memberikan wawasan tentang bagaimana pendidikan STEM dapat diintegrasikan dengan teknologi digital untuk menciptakan pengalaman belajar yang lebih relevan dan menarik.

Melalui buku ini, kami mengeksplorasi berbagai strategi pembelajaran yang memanfaatkan teknologi guna mempersiapkan siswa menghadapi dunia yang semakin terhubung dan berubah cepat. Kami berharap buku ini dapat memberikan inspirasi bagi pendidik, pembuat kebijakan, dan masyarakat dalam mengembangkan kurikulum dan pendekatan yang sesuai dengan tuntutan zaman, serta mencetak generasi yang inovatif dan siap menghadapi masa depan yang penuh dengan peluang baru.

Jambi, 6 Mei 2025

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....i

KATA PENGANTAR.....iii

DAFTAR ISI iv

BAB I PENGERTIAN DAN PENTINGNYA STEM DALAM PENDIDIKAN 1

1. Pengantar..... 1
2. Pengertian STEM dan Sejarah Perkembangannya..... 6
3. Manfaat STEM dalam Pendidikan 10
4. Tujuan dan Hasil Pendidikan STEM 14

BAB II KURIKULUM STEM YANG RELEVAN DAN MENARIK..... 23

1. Prinsip-prinsip Kurikulum STEM yang Efektif 23
2. Rancangan Kurikulum STEM untuk Tingkat Sekolah 27
3. Mengembangkan Kurikulum STEM yang Dapat Menarik Minat Siswa 32

BAB III PEMBELAJARAN BERBASIS PROYEK DALAM STEM 35

1. Pengenalan Pembelajaran Berbasis Proyek (PBL) 35
2. Keuntungan Pembelajaran Berbasis Proyek dalam STEM 39

BAB IV INTEGRASI TEKNOLOGI DALAM PEMBELAJARAN STEM 44

1. Peran Teknologi dalam Meningkatkan Pembelajaran STEM 44
2. Platform dan Alat Teknologi yang Digunakan dalam STEM 47
3. Tantangan dalam Mengintegrasikan Teknologi dalam Pembelajaran 50

BAB V PENDEKATAN HANDS-ON DALAM PENDIDIKAN STEM 54

1. Definisi Pendekatan Hands-on dalam STEM 54
2. Manfaat Pendekatan Hands-on dalam Pengembangan Keterampilan Siswa 57

BAB VI PEMBELAJARAN BERBASIS MASALAH (PBL) DALAM STEM 64

1. Konsep Dasar PBL dalam STEM 66

2. Desain dan Implementasi PBL dalam Pendidikan STEM 71
3. Rangkuman..... 80

BAB VII PERAN GURU DALAM MENGAJARKAN STEM..... 83

1. Keterampilan yang Dibutuhkan oleh Guru untuk Mengajarkan STEM 83
2. Pengembangan Profesional Guru untuk Pendidikan STEM 88

BAB VIII EVALUASI PEMBELAJARAN STEM 93

1. Instrumen Evaluasi Aspek Pengetahuan 93
2. Indikator Keterampilan dalam STEM..... 107
3. Instrumen Evaluasi Aspek Kemampuan Komunikasi dan Kolaborasi 112

BAB IX TANTANGAN DALAM IMPLEMENTASI STEM DI SEKOLAH 120

1. Kendala Sumber Daya dalam Pendidikan STEM 120
2. Masalah Kurikulum dan Materi Pembelajaran 124

BAB X PENDIDIKAN STEM UNTUK KETERAMPILAN MASA DEPAN.....129

1. Keterampilan yang Dibutuhkan di Era Digital dan Revolusi Industri 4.0 129
2. Pendidikan STEM dalam Mengembangkan Keterampilan 21st Century 133

BAB XI KOLABORASI ANTARA SEKOLAH DAN INDUSTRI DALAM PENDIDIKAN STEM 137

1. Manfaat Kolaborasi antara Pendidikan dan Dunia Industri 137
2. Bentuk Kolaborasi yang Bisa Diterapkan di Sekolah 142

BAB XII MENINGKATKAN MINAT SISWA PADA STEM.....146

1. Strategi untuk Meningkatkan Minat Siswa pada STEM 146
2. Peran Orang Tua dan Masyarakat dalam Meningkatkan Minat STEM 149
3. Aktivitas dan Kegiatan yang Dapat Menumbuhkan Minat STEM pada Siswa 152

DAFTAR PUSTAKA 155

BAB I
PENGERTIAN DAN PENTINGNYA STEM DALAM PENDIDIKAN

1. Pengantar

Di tengah arus perubahan global yang kian deras, pendidikan memegang peranan kunci dalam membentuk masa depan peradaban. Kita hidup di era di mana inovasi dan teknologi menjadi pendorong utama kemajuan, dan di sinilah konsep STEM (Science, Technology, Engineering, and Mathematics) muncul sebagai paradigma pendidikan yang relevan dan esensial.

STEM bukan sekadar akronim, melainkan sebuah pendekatan interdisipliner yang mengintegrasikan sains, teknologi, teknik, dan matematika dalam pengalaman belajar yang kohesif. Tujuannya bukan hanya untuk mengajarkan fakta dan rumus, tetapi juga untuk mengembangkan keterampilan berpikir kritis, pemecahan masalah, kreativitas, dan kolaborasi. Pendidikan STEM mendorong siswa untuk melihat dunia melalui lensa analitis, untuk bertanya, bereksperimen, dan menemukan solusi inovatif terhadap tantangan yang kompleks.

Mengapa STEM begitu penting? Pertama, bidang-bidang STEM adalah motor penggerak inovasi dan kemajuan teknologi. Dari penemuan vaksin hingga pengembangan kecerdasan buatan, dari eksplorasi ruang angkasa hingga solusi energi terbarukan, STEM berada di garis depan kemajuan peradaban. Negara-negara yang berinvestasi dalam pendidikan STEM memiliki keunggulan kompetitif dalam ekonomi global, mampu menciptakan lapangan kerja baru, dan meningkatkan kualitas hidup masyarakat (Felder & Brent, 2024).

Kedua, pendidikan STEM mempersiapkan siswa untuk karir masa depan yang menjanjikan. Di era digital ini, permintaan akan tenaga kerja terampil di bidang STEM terus meningkat. Profesi seperti ilmuwan data, insinyur perangkat lunak, ahli keamanan siber, dan peneliti medis menjadi semakin penting. Pendidikan STEM memberikan landasan yang kuat bagi siswa untuk mengejar karir di bidang-bidang ini dan berkontribusi pada kemajuan teknologi dan inovasi.

Ketiga, pendidikan STEM mengembangkan keterampilan abad ke-21 yang esensial untuk sukses di dunia kerja dan kehidupan sehari-hari. Keterampilan seperti berpikir kritis, pemecahan masalah, kreativitas, kolaborasi, dan komunikasi efektif sangat dihargai oleh para pemberi kerja. Pendidikan STEM membekali siswa dengan keterampilan-keterampilan ini melalui pembelajaran berbasis proyek, eksperimen, dan kolaborasi tim.

Keempat, pendidikan STEM dapat meningkatkan minat dan pemahaman siswa terhadap sains dan matematika. Banyak siswa menganggap mata pelajaran ini sulit dan membosankan, tetapi pendekatan STEM yang interaktif dan relevan dapat mengubah persepsi mereka. Melalui aplikasi praktis dan konteks dunia nyata, siswa dapat melihat bagaimana sains dan matematika relevan dengan kehidupan mereka dan bagaimana mereka dapat digunakan untuk memecahkan masalah yang penting.



Gambar 1. Komponen Pendidikan STEM (Stohlmann et al., 2012)

Gambar 1 menunjukkan empat faktor penting dalam pembelajaran STEM yang diidentifikasi oleh Stohlmann et al. (2012), yang terdiri dari: Dukungan (Support), Pengajaran (Teaching), Kemanjuran

(Efficacy), dan Materi (Material). Keempat komponen ini saling terkait dan mempengaruhi keberhasilan pembelajaran STEM.

a. Dukungan (Support)

Dukungan merupakan fondasi yang krusial dalam implementasi pembelajaran STEM. Ini mencakup dukungan dari berbagai pihak, seperti sekolah, pemerintah, orang tua, dan komunitas. Dukungan administratif misalnya kepala sekolah dan pengambil kebijakan harus memberikan dukungan yang kuat untuk pembelajaran STEM, termasuk alokasi sumber daya, pengembangan kurikulum, dan pelatihan guru. Dukungan profesional dimana guru membutuhkan kesempatan untuk mengembangkan keterampilan dan pengetahuan mereka tentang STEM melalui pelatihan, lokakarya, dan kolaborasi dengan rekan-rekan mereka. Dukungan komunitas yaitu mencari mitra dengan industri, universitas, dan organisasi lain dapat memberikan sumber daya dan pengalaman berharga bagi siswa dan guru.

b. Pengajaran (Teaching)

Pengajaran merupakan inti dari pembelajaran STEM. Ini mencakup strategi dan metode yang digunakan guru untuk menyampaikan konsep-konsep STEM kepada siswa. Pengajaran STEM yang efektif harus berbasis proyek dimana siswa belajar melalui proyek-proyek yang menantang dan relevan

dengan dunia nyata. Berpusat pada siswanya apakah siswa aktif terlibat dalam pembelajaran melalui eksplorasi, penemuan, dan pemecahan masalah. Berbasis inkuiri dimana siswa didorong untuk mengajukan pertanyaan, merumuskan hipotesis, dan melakukan eksperimen. Serta menggunakan teknologi digunakan sebagai alat untuk meningkatkan pembelajaran dan eksplorasi.

Guru perlu memiliki pemahaman yang mendalam tentang konten STEM dan pedagogi untuk menerapkan pengajaran STEM yang efektif.

c. Kemanjuran (Efficacy)

Kemanjuran mengacu pada keyakinan guru terhadap kemampuan mereka untuk mengajar STEM secara efektif. Guru dengan kemanjuran yang tinggi memiliki keyakinan diri yang kuat, termotivasi untuk mencoba strategi pengajaran baru, gigih dalam menghadapi tantangan dan memiliki harapan yang tinggi terhadap siswa.

d. Materi (Material)

Materi mencakup sumber daya yang digunakan dalam pembelajaran STEM, seperti kurikulum, buku teks, peralatan laboratorium, dan perangkat lunak. Materi yang berkualitas tinggi yaitu relevan dengan kurikulum dan standar, menarik dan menantang bagi siswa dan mampu mengintegrasikan teknologi secara efektif.

Keempat komponen ini saling terkait dan mempengaruhi satu sama lain. Dukungan yang kuat menciptakan lingkungan yang kondusif bagi guru untuk menerapkan pengajaran STEM yang efektif. Pengajaran yang efektif meningkatkan kemanjuran guru dan motivasi siswa. Materi yang berkualitas tinggi mendukung pengajaran dan pembelajaran STEM.

2. Pengertian STEM dan Sejarah Perkembangannya

Di era yang ditandai dengan inovasi teknologi yang pesat dan tantangan global yang kompleks, pendidikan STEM telah menjadi fokus utama dalam upaya mempersiapkan generasi muda untuk masa depan. Konsep STEM bukan hanya sekadar akronim, tetapi juga sebuah pendekatan pendidikan yang holistik dan terintegrasi yang bertujuan untuk mengembangkan keterampilan berpikir kritis, pemecahan masalah, kreativitas, dan kolaborasi (Khurma et al., 2022).

a. Definisi STEM

STEM adalah singkatan dari Science (Sains), Technology (Teknologi), Engineering (Teknik), dan Mathematics (Matematika). Namun, STEM lebih dari sekadar gabungan dari empat disiplin ilmu ini. STEM adalah pendekatan interdisipliner yang menekankan integrasi dan aplikasi praktis dari

pengetahuan dan keterampilan dalam konteks dunia nyata.

- Sains. Bidang ini mencakup studi tentang alam semesta, dari partikel subatomik hingga galaksi yang luas. Sains melibatkan pengamatan, eksperimen, dan analisis data untuk memahami fenomena alam.
- Teknologi. Teknologi berkaitan dengan pengembangan dan penerapan alat, sistem, dan proses untuk memecahkan masalah dan memenuhi kebutuhan manusia. Teknologi mencakup berbagai bidang, seperti teknologi informasi, bioteknologi, dan nanoteknologi.
- Teknik. Teknik adalah penerapan prinsip-prinsip ilmiah dan matematika untuk merancang, membangun, dan memelihara struktur, mesin, dan sistem. Teknik mencakup berbagai bidang, seperti teknik sipil, teknik mesin, dan teknik listrik.
- Matematika. Matematika adalah studi tentang pola, kuantitas, dan hubungan. Matematika menyediakan bahasa dan alat untuk memahami dan memodelkan dunia di sekitar kita.

Pendidikan STEM tidak hanya tentang mengajarkan konsep-konsep terpisah dari masing-masing disiplin ilmu ini, tetapi juga tentang mengintegrasikan mereka dalam proyek-proyek dan aktivitas yang bermakna. Pendekatan ini memungkinkan siswa untuk melihat bagaimana sains, teknologi, teknik, dan matematika saling

terkait dan bagaimana mereka dapat digunakan untuk memecahkan masalah kompleks.

b. Sejarah Munculnya Konsep STEM dalam Pendidikan

Konsep STEM tidak muncul dalam semalam. Ini adalah hasil dari evolusi panjang dalam pemikiran tentang pendidikan dan kebutuhan masyarakat. Pada awal abad ke-20, fokus pendidikan sains dan matematika lebih pada persiapan untuk karir di bidang-bidang ini. Namun, seiring dengan kemajuan teknologi dan perubahan ekonomi, kebutuhan akan tenaga kerja yang memiliki keterampilan interdisipliner menjadi semakin jelas. Pada tahun 1950-an, setelah peluncuran Sputnik oleh Uni Soviet, Amerika Serikat menyadari pentingnya pendidikan sains dan teknologi untuk keunggulan kompetitif. Pemerintah AS mulai berinvestasi dalam pendidikan sains dan matematika untuk mempersiapkan generasi muda untuk bersaing dalam perlombaan ruang angkasa (Billiar et al., 2014).

Pada tahun 1980-an dan 1990-an, fokus pendidikan bergeser ke arah pengembangan keterampilan berpikir kritis dan pemecahan masalah. Pendekatan STEM mulai mendapatkan perhatian sebagai cara untuk mengintegrasikan berbagai disiplin ilmu dan mengembangkan keterampilan ini. Pada awal abad ke-21, istilah STEM menjadi lebih umum digunakan dan pendekatan STEM diadopsi oleh banyak negara di seluruh dunia. Hal ini didorong oleh kesadaran akan pentingnya

inovasi teknologi dan kebutuhan akan tenaga kerja yang terampil di bidang-bidang STEM.

c. Perkembangan STEM dari Masa ke Masa dan Relevansinya dengan Era Digital

Perkembangan STEM terus berlanjut seiring dengan perubahan teknologi dan kebutuhan masyarakat. Di era digital ini, relevansi STEM menjadi semakin penting. Integrasi teknologi dalam pendidikan STEM menjadi semakin luas. Siswa menggunakan komputer, perangkat lunak, dan alat digital lainnya untuk belajar, bereksperimen, dan berkolaborasi. Pendekatan STEM semakin menekankan pembelajaran berbasis proyek dan pembelajaran berbasis masalah. Siswa bekerja dalam tim untuk memecahkan masalah dunia nyata, mengembangkan keterampilan berpikir kritis, dan kreativitas.

Fokus STEM juga bergeser ke arah pengembangan keterampilan abad ke-21, seperti kolaborasi, komunikasi, dan literasi digital. Keterampilan ini sangat penting untuk sukses di tempat kerja dan dalam kehidupan sehari-hari. Terdapat penekanan yang meningkat pada inklusivitas dan keragaman dalam pendidikan STEM. Upaya dilakukan untuk mendorong partisipasi perempuan dan kelompok minoritas lainnya dalam bidang-bidang STEM. Di era digital ini, pendidikan STEM sangat penting untuk mempersiapkan generasi muda untuk menghadapi tantangan dan peluang di masa depan. Dengan

keterampilan dan pengetahuan yang diperoleh melalui pendidikan STEM, siswa dapat menjadi inovator, pemecah masalah, dan pemimpin di berbagai bidang.

3. Manfaat STEM dalam Pendidikan

Pendidikan STEM, yang mengintegrasikan sains, teknologi, teknik, dan matematika, telah menjadi landasan penting dalam mempersiapkan generasi muda untuk menghadapi tantangan dan peluang di abad ke-21. Manfaat dari pendekatan STEM dalam pendidikan sangat luas dan mendalam, mencakup pengembangan keterampilan kritis, persiapan untuk karir berbasis teknologi, peningkatan kreativitas, dan relevansi dengan tuntutan pendidikan modern.

Salah satu manfaat utama dari pendidikan STEM adalah pengembangan keterampilan berpikir kritis dan pemecahan masalah. Dalam pembelajaran STEM, siswa tidak hanya menghafal fakta dan rumus, tetapi juga belajar untuk menganalisis informasi, mengidentifikasi masalah, mengembangkan solusi, dan mengevaluasi hasilnya. Melalui proyek-proyek dan aktivitas yang menantang, siswa belajar untuk berpikir secara logis, sistematis, dan kreatif. Mereka belajar untuk mengajukan pertanyaan, merumuskan hipotesis, melakukan eksperimen, dan menarik kesimpulan berdasarkan bukti. Keterampilan-keterampilan ini tidak hanya penting untuk karir di bidang STEM, tetapi juga untuk sukses dalam kehidupan sehari-

hari. Pendidikan STEM juga mempersiapkan siswa untuk dunia kerja yang semakin berbasis teknologi. Di era digital ini, permintaan akan tenaga kerja terampil di bidang STEM terus meningkat. Profesi seperti ilmuwan data, insinyur perangkat lunak, ahli keamanan siber, dan peneliti medis menjadi semakin penting. Pendidikan STEM memberikan landasan yang kuat bagi siswa untuk mengejar karir di bidang-bidang ini dan berkontribusi pada kemajuan teknologi dan inovasi. Melalui pembelajaran STEM, siswa belajar untuk menggunakan alat dan teknologi terbaru, mengembangkan keterampilan teknis, dan memahami prinsip-prinsip ilmiah dan matematika yang mendasari teknologi tersebut.

Pendidikan STEM juga meningkatkan kreativitas dan inovasi di kalangan peserta didik. Dalam pembelajaran STEM, siswa didorong untuk berpikir di luar kotak, untuk mencoba ide-ide baru, dan untuk mengembangkan solusi inovatif terhadap masalah yang kompleks. Melalui proyek-proyek dan aktivitas yang menantang, siswa belajar untuk berkolaborasi, berkomunikasi, dan bekerja dalam tim. Mereka belajar untuk menghargai perspektif yang berbeda, untuk membangun ide-ide satu sama lain, dan untuk menciptakan sesuatu yang baru dan bermanfaat. Keterampilan-keterampilan ini sangat penting untuk sukses dalam dunia kerja yang dinamis dan kompetitif.

Dalam konteks pendidikan abad ke-21, STEM menjadi semakin relevan dan penting. Pendidikan

abad ke-21 menekankan pengembangan keterampilan abad ke-21, seperti berpikir kritis, pemecahan masalah, kreativitas, kolaborasi, dan komunikasi. Keterampilan-keterampilan ini sangat penting untuk sukses di tempat kerja dan dalam kehidupan sehari-hari. Pendidikan STEM memberikan kerangka kerja yang ideal untuk mengembangkan keterampilan-keterampilan ini melalui pembelajaran berbasis proyek, eksperimen, dan kolaborasi tim. Pendidikan STEM juga berperan penting dalam mendorong literasi digital di kalangan peserta didik. Di era digital ini, kemampuan untuk menggunakan teknologi secara efektif dan bertanggung jawab menjadi semakin penting. Pendidikan STEM membantu siswa untuk mengembangkan keterampilan literasi digital melalui penggunaan komputer, perangkat lunak, dan alat digital lainnya dalam pembelajaran. Siswa belajar untuk mencari, mengevaluasi, dan menggunakan informasi digital secara efektif. Mereka juga belajar untuk berkomunikasi dan berkolaborasi secara online, serta untuk memahami implikasi etika dan sosial dari teknologi (Banks & Barlex, 2020).

Selain itu, pendidikan STEM juga dapat membantu meningkatkan minat siswa terhadap sains dan matematika. Banyak siswa menganggap sains dan matematika sebagai mata pelajaran yang sulit dan membosankan. Namun, melalui pendekatan STEM yang interaktif dan berbasis proyek, siswa dapat melihat relevansi dan aplikasi praktis dari sains dan matematika dalam kehidupan

mereka. Mereka dapat melihat bagaimana sains dan matematika digunakan untuk memecahkan masalah dunia nyata, untuk mengembangkan teknologi baru, dan untuk memahami fenomena alam. Hal ini dapat meningkatkan motivasi dan keterlibatan siswa dalam pembelajaran, serta membantu mereka untuk mengembangkan minat dan bakat di bidang STEM. Pendidikan STEM juga penting untuk pengembangan keterampilan kewirausahaan di kalangan peserta didik. Melalui proyek-proyek dan aktivitas yang menantang, siswa belajar untuk mengidentifikasi peluang, mengembangkan ide-ide bisnis, dan mengelola sumber daya. Mereka belajar untuk mengambil risiko, untuk mengatasi kegagalan, dan untuk belajar dari pengalaman. Keterampilan-keterampilan ini sangat penting untuk sukses dalam dunia kerja yang dinamis dan kompetitif, serta untuk menciptakan lapangan kerja baru dan mendorong inovasi.

Dalam konteks global, pendidikan STEM juga penting untuk keunggulan kompetitif suatu negara. Negara-negara yang berinvestasi dalam pendidikan STEM memiliki keunggulan dalam inovasi teknologi, produkt ivitas ekonomi, dan kualitas hidup. Pendidikan STEM membantu negara-negara untuk mengembangkan tenaga kerja terampil yang dibutuhkan untuk bersaing di pasar global, serta untuk menciptakan teknologi baru yang dapat meningkatkan daya saing ekonomi. Pendidikan STEM memberikan banyak manfaat bagi peserta didik, masyarakat, dan negara. Dengan mengembangkan keterampilan berpikir kritis,

pemecahan masalah, kreativitas, dan inovasi, pendidikan STEM membantu siswa untuk mencapai potensi penuh mereka dan berkontribusi pada kemajuan teknologi dan inovasi. Pendidikan STEM juga mempersiapkan siswa untuk dunia kerja yang semakin berbasis teknologi, serta untuk menghadapi tantangan dan peluang di abad ke-21 (Billiar et al., 2014).

4. Tujuan dan Hasil Pendidikan STEM

Pendidikan STEM, yang mengintegrasikan sains, teknologi, teknik, dan matematika, telah menjadi fokus utama dalam upaya mempersiapkan generasi muda untuk masa depan. Penggunaan pendekatan STEM dalam bidang pendidikan memiliki tujuan untuk mempersiapkan peserta didik agar dapat bersaing dan siap untuk bekerja sesuai bidang yang ditekuninya. Lebih dari sekadar mengajarkan mata pelajaran terpisah, STEM bertujuan untuk mengembangkan pemahaman holistik tentang bagaimana disiplin ilmu ini saling terkait dan relevan dengan dunia nyata.

Penelitian yang dilakukan oleh lembaga penelitian Bryan and Guzey (2020) menunjukkan bahwa tujuan utama dari STEM Education adalah sebuah usaha untuk menunjukkan pengetahuan yang bersifat holistik antara subjek STEM. Hal ini berarti bahwa siswa tidak hanya belajar tentang konsep-konsep sains, teknologi, teknik, dan matematika secara terpisah, tetapi juga belajar untuk mengintegrasikan pengetahuan dan

keterampilan dari berbagai disiplin ilmu ini untuk memecahkan masalah kompleks.

Dalam konteks pendidikan dasar dan menengah, pendidikan STEM bertujuan mengembangkan peserta didik yang STEM literate (Jackson et al., 2021). Istilah "STEM literate" mengacu pada kemampuan siswa untuk memahami dan menerapkan konsep-konsep STEM dalam kehidupan sehari-hari. Ini mencakup kemampuan untuk mengidentifikasi pertanyaan dan masalah, menjelaskan fenomena alam, merancang solusi, dan menarik kesimpulan berdasarkan bukti.

Secara lebih rinci, tujuan pendidikan STEM dalam konteks pendidikan dasar dan menengah adalah sebagai berikut:

Pertama, pendidikan STEM bertujuan untuk mengembangkan peserta didik yang memiliki pengetahuan, sikap, dan keterampilan untuk mengidentifikasi pertanyaan dan masalah dalam situasi kehidupannya, menjelaskan fenomena alam, mendesain, serta menarik kesimpulan berdasar bukti mengenai isu-isu terkait STEM. Ini berarti bahwa siswa tidak hanya belajar tentang konsep-konsep STEM di dalam kelas, tetapi juga belajar untuk menerapkannya dalam konteks kehidupan nyata. Misalnya, siswa dapat belajar tentang efisiensi energi dengan merancang dan membangun model rumah hemat energi, atau belajar tentang kualitas lingkungan dengan melakukan penelitian tentang polusi air di komunitas mereka.

Kedua, pendidikan STEM bertujuan untuk mengembangkan peserta didik yang memahami karakteristik khusus disiplin STEM sebagai bentuk-bentuk pengetahuan, penyelidikan, dan desain yang digagas manusia. Ini berarti bahwa siswa belajar tentang bagaimana ilmuwan, teknolog, insinyur, dan matematikawan bekerja. Mereka belajar tentang metode ilmiah, proses desain teknik, dan prinsip-prinsip matematika. Mereka juga belajar tentang sejarah dan perkembangan disiplin-disiplin STEM, serta tentang kontribusi tokoh-tokoh penting dalam bidang-bidang ini.

Ketiga, pendidikan STEM bertujuan untuk mengembangkan peserta didik yang memiliki kesadaran bagaimana disiplin-disiplin STEM membentuk lingkungan material, intelektual dan kultural. Ini berarti bahwa siswa belajar tentang dampak teknologi terhadap masyarakat, tentang bagaimana sains dan teknik digunakan untuk memecahkan masalah sosial, dan tentang bagaimana matematika digunakan untuk memodelkan dan memahami dunia di sekitar kita. Mereka juga belajar tentang implikasi etika dari teknologi dan inovasi ilmiah.

Keempat, pendidikan STEM bertujuan untuk mengembangkan peserta didik yang memiliki keinginan untuk terlibat dalam kajian isu-isu terkait STEM (misalnya efisiensi energi, kualitas lingkungan, keterbatasan sumberdaya alam) sebagai warga negara yang konstruktif, peduli, serta reflektif dengan menggunakan gagasan-gagasan

sains, teknologi, rekayasa, dan matematika. Ini berarti bahwa siswa belajar untuk menjadi warga negara yang bertanggung jawab dan terlibat yang dapat menggunakan pengetahuan dan keterampilan STEM mereka untuk membuat keputusan yang tepat tentang isu-isu penting (Falloon et al., 2020).

Tabel 1. Tujuan dan Hasil Pendidikan STEM

	Tujuan Pendidikan STEM	**Hasil Pendidikan STEM**
Bagi Siswa	• Literasi STEM • Kompetensi abad 21 • Kesiapan Tenaga Kerja STEM • Minat dan keterlibatan • Membuat Koneksi	• Belajar berprestasi • Kompetensi abad 21 • Ketekunan dan kegigihan belajar dalam meningkatkan prestasi • Pekerjaan yang berhubungan dengan STEM • Meningkatkan minat STEM

		• Pengembangan identitas STEM • Kemampuan untuk membuat koneksi di antara disiplin STEM
Bagi Pendidik	• Meningkatkan konten STEM • Meningkatkan Pedagogocal Content Knowledge (PCK)	• Perubahan dalam praktek • Peningkatan konten STEM dan PCK)

Tabel 1 diatas menyajikan gambaran komprehensif mengenai tujuan dan hasil yang diharapkan dari pendidikan STEM, baik bagi siswa maupun pendidik. Tujuan dan hasil ini mencerminkan upaya untuk mempersiapkan generasi muda menghadapi tantangan abad ke-

21 yang semakin kompleks dan berbasis teknologi.

a. Tujuan Pendidikan STEM bagi Siswa

Tujuan utama pendidikan STEM bagi siswa adalah untuk mengembangkan literasi STEM, yaitu kemampuan untuk memahami dan menerapkan konsep-konsep sains, teknologi, teknik, dan matematika dalam kehidupan sehari-hari. Selain itu, pendidikan STEM bertujuan untuk membekali siswa dengan kompetensi abad ke-21, seperti berpikir kritis, pemecahan masalah, kreativitas, dan kolaborasi. Keterampilan-keterampilan ini sangat penting untuk sukses di dunia kerja yang dinamis dan kompetitif. Pendidikan STEM juga bertujuan untuk mempersiapkan siswa untuk tenaga kerja STEM, yaitu karir di bidang-bidang sains, teknologi, teknik, dan matematika. Dengan meningkatnya permintaan akan tenaga kerja terampil di bidang-bidang ini, pendidikan STEM memainkan peran penting dalam memenuhi kebutuhan pasar kerja. Selain itu, pendidikan STEM bertujuan untuk meningkatkan minat dan keterlibatan siswa dalam pembelajaran. Melalui pendekatan yang interaktif dan berbasis proyek, siswa dapat melihat relevansi dan aplikasi praktis dari sains, teknologi, teknik, dan matematika dalam

kehidupan mereka. Hal ini dapat meningkatkan motivasi dan keterlibatan siswa dalam pembelajaran, serta membantu mereka untuk mengembangkan minat dan bakat di bidang STEM.

Terakhir, pendidikan STEM bertujuan untuk membantu siswa membuat koneksi antara disiplin ilmu yang berbeda. Dengan mengintegrasikan sains, teknologi, teknik, dan matematika dalam proyek-proyek dan aktivitas yang bermakna, siswa dapat melihat bagaimana disiplin ilmu ini saling terkait dan bagaimana mereka dapat digunakan untuk memecahkan masalah kompleks.

b. Hasil Pendidikan STEM bagi Siswa

Hasil yang diharapkan dari pendidikan STEM bagi siswa adalah belajar berprestasi, yaitu peningkatan prestasi akademik siswa di bidang-bidang sains, teknologi, teknik, dan matematika. Selain itu, pendidikan STEM diharapkan dapat mengembangkan kompetensi abad ke-21, yaitu keterampilan-keterampilan yang dibutuhkan untuk sukses di dunia kerja dan kehidupan sehari-hari. Pendidikan STEM juga diharapkan dapat meningkatkan ketekunan dan kegigihan belajar siswa. Melalui proyek-proyek dan aktivitas yang menantang,

siswa belajar untuk mengatasi kesulitan, untuk tidak mudah menyerah, dan untuk belajar dari kesalahan. Keterampilan-keterampilan ini sangat penting untuk sukses dalam karir dan kehidupan. Pendidikan STEM diharapkan dapat mempersiapkan siswa untuk pekerjaan yang berhubungan dengan STEM, yaitu karir di bidang-bidang sains, teknologi, teknik, dan matematika. Dengan meningkatnya permintaan akan tenaga kerja terampil di bidang-bidang ini, pendidikan STEM memainkan peran penting dalam memenuhi kebutuhan pasar kerja. Pendidikan STEM juga diharapkan dapat meningkatkan minat siswa terhadap STEM, yaitu minat siswa untuk belajar dan mengejar karir di bidang-bidang sains, teknologi, teknik, dan matematika. Dengan meningkatkan minat siswa terhadap STEM, pendidikan STEM dapat membantu menciptakan generasi muda yang lebih terampil dan inovatif.

Terakhir, pendidikan STEM diharapkan dapat meningkatkan kemampuan siswa untuk membuat koneksi di antara disiplin STEM, yaitu kemampuan siswa untuk mengintegrasikan pengetahuan dan keterampilan dari berbagai disiplin ilmu untuk memecahkan masalah kompleks.

c. Tujuan Pendidikan STEM bagi Pendidik

Tujuan utama pendidikan STEM bagi pendidik adalah untuk meningkatkan konten STEM, yaitu pengetahuan dan pemahaman pendidik tentang sains, teknologi, teknik, dan matematika. Selain itu, pendidikan STEM bertujuan untuk meningkatkan Pedagogical Content Knowledge (PCK), yaitu kemampuan pendidik untuk mengajarkan konsep-konsep STEM secara efektif.

d. Hasil Pendidikan STEM bagi Pendidik

Hasil yang diharapkan dari pendidikan STEM bagi pendidik adalah perubahan praktek dalam peningkatan konten STEM dan PCK, yaitu peningkatan kualitas pengajaran STEM di kelas. Dengan meningkatkan konten STEM dan PCK, pendidik dapat memberikan pengalaman belajar yang lebih bermakna dan efektif bagi siswa.

BAB II
KURIKULUM STEM YANG RELEVAN DAN MENARIK

1. Prinsip-prinsip Kurikulum STEM yang Efektif

Kurikulum STEM yang efektif dirancang untuk mengembangkan pengetahuan, keterampilan, dan sikap siswa yang relevan dengan tantangan abad ke-21. Sebagai respon terhadap perubahan dunia yang semakin mengandalkan teknologi dan inovasi, kurikulum ini berfokus pada pengembangan kemampuan siswa untuk berpikir kritis, kreatif, dan bekerja sama dalam memecahkan masalah dunia nyata. Dengan memperkenalkan integrasi lintas disiplin, pendekatan berbasis proyek, dan penekanan pada kompetensi inti, kurikulum STEM bertujuan untuk membekali siswa dengan keterampilan yang diperlukan dalam menghadapi tantangan global. Dengan demikian, pendidikan STEM berperan penting dalam menciptakan generasi yang siap berkontribusi dalam berbagai bidang, baik di dunia kerja maupun masyarakat.

Prinsip utama kurikulum STEM yang efektif adalah integrasi lintas disiplin, yang menggabungkan sains, teknologi, teknik, dan matematika secara terpadu untuk menciptakan pemahaman yang holistik (Falloon et al., 2020; Fan

et al., 2020; Joseph & Uzondu, 2024b; Yata et al., 2020). Dalam kurikulum yang efektif, siswa tidak mempelajari setiap disiplin ilmu secara terpisah, tetapi melihat keterkaitannya satu sama lain dalam konteks masalah nyata. Pendekatan ini memungkinkan siswa untuk mengembangkan kemampuan untuk menerapkan pengetahuan mereka dalam situasi yang kompleks, serta mempersiapkan mereka untuk menghadapi tantangan yang lebih besar di dunia yang saling terhubung. Hal ini mendorong siswa untuk berpikir lintas disiplin dan tidak hanya terfokus pada satu bidang saja, yang sangat penting dalam dunia yang semakin kompleks ini.

Pembelajaran berbasis masalah dan proyek (PBL) adalah salah satu pendekatan utama dalam kurikulum STEM yang efektif. Pendekatan ini mendorong siswa untuk berpikir kritis dan memecahkan masalah nyata yang relevan dengan kehidupan sehari-hari (Joseph & Uzondu, 2024a; Reaves et al., 2022; Smith et al., 2022). Melalui PBL, siswa diberikan tantangan yang membutuhkan penelitian, analisis, dan eksperimen untuk menemukan solusi, yang pada akhirnya mengasah keterampilan mereka dalam pemecahan masalah dan inovasi. Pendekatan ini juga meningkatkan kreativitas siswa, karena mereka diberi kebebasan untuk berpikir dan berkreasi dalam merancang solusi terhadap permasalahan yang dihadapi. Dengan demikian, siswa tidak hanya mempelajari teori, tetapi juga terlibat dalam proses praktis yang

membuat pembelajaran lebih menyenangkan dan relevan.

Fokus utama kurikulum STEM yang efektif juga terletak pada pengembangan kompetensi inti, seperti berpikir kritis, kolaborasi, komunikasi, dan literasi STEM (W. Hu & Guo, 2021). Kompetensi-kompetensi ini adalah keterampilan dasar yang diperlukan siswa untuk berhasil di dunia kerja masa depan. Dengan membekali siswa dengan kemampuan untuk berpikir analitis dan bekerja dalam tim, kurikulum STEM tidak hanya meningkatkan pengetahuan akademik mereka, tetapi juga menyiapkan mereka untuk beradaptasi dan sukses dalam berbagai situasi, baik di lingkungan profesional maupun sosial. Peningkatan kompetensi ini juga membantu siswa untuk lebih percaya diri dalam menghadapi tantangan yang mungkin mereka temui dalam kehidupan dan karir mereka kelak.

Kurikulum STEM yang kontekstual dan relevan sangat penting untuk meningkatkan motivasi dan makna belajar siswa (Ata-Aktürk & Demircan, 2020; Reaves et al., 2022). Pembelajaran yang dikaitkan dengan isu lokal dan global memberikan kesempatan bagi siswa untuk mengaplikasikan pengetahuan yang mereka pelajari dalam konteks dunia nyata. Misalnya, siswa dapat mengerjakan proyek yang terkait dengan masalah lingkungan lokal atau global, yang memungkinkan mereka untuk melihat dampak langsung dari pembelajaran mereka. Pendekatan ini juga

mendorong siswa untuk lebih terlibat dalam pembelajaran, karena mereka merasa bahwa apa yang mereka pelajari memiliki relevansi dan manfaat praktis. Dengan demikian, pembelajaran yang kontekstual meningkatkan motivasi dan keterlibatan siswa dalam proses pendidikan.

Aktivitas hands-on dan eksperimen merupakan strategi desain yang sangat efektif dalam kurikulum STEM, (Khurma et al., 2022). Dengan melibatkan siswa dalam kegiatan praktis, seperti eksperimen ilmiah, desain teknis, dan pembuatan prototipe, pemahaman konsep-konsep STEM menjadi lebih kuat dan nyata. Aktivitas praktis ini memungkinkan siswa untuk melihat langsung bagaimana teori diterapkan dalam praktek, serta memperkuat kemampuan mereka dalam menggunakan alat dan teknologi yang relevan. Selain itu, kegiatan hands-on juga mengajarkan siswa keterampilan praktis yang sangat dibutuhkan di dunia kerja, seperti keterampilan teknis, kreativitas, dan kemampuan untuk bekerja dengan berbagai alat dan bahan.

Kolaborasi dan keterlibatan berbagai stakeholder juga menjadi kunci sukses dalam desain dan implementasi kurikulum STEM yang efektif (Ata-Aktürk & Demircan, 2020; Mäkelä et al., 2022; Reaves et al., 2022). Melibatkan guru, siswa, orang tua, dan komunitas dalam perancangan dan pelaksanaan kurikulum memungkinkan terciptanya lingkungan belajar yang inklusif dan partisipatif. Kolaborasi ini tidak hanya memperkaya pengalaman

belajar siswa, tetapi juga memperkuat hubungan antara sekolah dan masyarakat. Dengan melibatkan berbagai pihak, kurikulum STEM dapat disesuaikan dengan kebutuhan lokal dan lebih relevan dengan konteks masyarakat, yang pada gilirannya akan meningkatkan motivasi siswa untuk terlibat dalam pembelajaran.

Fleksibilitas kurikulum STEM juga merupakan aspek penting dalam memastikan keberhasilannya (Falloon et al., 2020; Joseph & Uzondu, 2024; Mäkelä et al., 2022). Kurikulum yang fleksibel dapat disesuaikan dengan berbagai gaya belajar dan tingkat kemampuan siswa. Hal ini memungkinkan pengajaran yang lebih personal dan efektif, karena setiap siswa dapat belajar dengan cara yang paling sesuai dengan kebutuhan mereka. Fleksibilitas ini juga memberi kebebasan bagi guru untuk menyesuaikan metode dan pendekatan mereka sesuai dengan karakteristik siswa yang mereka ajar, sehingga pembelajaran menjadi lebih inklusif dan dapat mengakomodasi keragaman dalam kelas. Dengan demikian, kurikulum yang fleksibel memungkinkan pendidikan STEM yang lebih efektif dan adaptif, yang sangat penting di dunia yang terus berubah ini.

2. Rancangan Kurikulum STEM untuk Tingkat Sekolah

STEM (Science, Technology, Engineering, and Mathematics) telah menjadi fokus utama dalam

reformasi pendidikan global, bertujuan untuk mempersiapkan siswa menghadapi tantangan masa depan yang semakin kompleks. Kurikulum STEM dirancang untuk mengintegrasikan berbagai disiplin ilmu secara holistik, memungkinkan siswa untuk tidak hanya memahami teori, tetapi juga mengaplikasikannya dalam situasi dunia nyata. Melalui pembelajaran berbasis proyek dan desain, siswa didorong untuk mengembangkan keterampilan abad ke-21 yang sangat diperlukan, seperti berpikir kritis, pemecahan masalah, kolaborasi, dan kreativitas. Hal ini menjadikan STEM tidak hanya relevan dengan perkembangan teknologi yang pesat, tetapi juga penting dalam membentuk generasi yang siap menghadapi tantangan global.

Kerangka kurikulum STEM mencakup berbagai komponen yang bekerja secara sinergis untuk mendukung tujuan pendidikan tersebut. Salah satu aspek utama dalam kerangka implementasi adalah integrasi antara tema, pengetahuan konten, aktivitas pembelajaran, dan strategi pengajaran (Fan et al., 2020). Aktivitas yang melibatkan eksperimen dan desain, seperti "inquiry and experiment" serta "design and making," dirancang untuk mengembangkan kompetensi inti siswa melalui proses desain rekayasa. Pembelajaran berbasis eksperimen memungkinkan siswa untuk memahami konsep-konsep sains dan teknologi melalui pengalaman langsung, memperkuat penguasaan materi sekaligus mendorong siswa untuk berpikir kreatif dan menemukan solusi inovatif terhadap permasalahan yang mereka hadapi.

STEM literacy, atau literasi STEM, merupakan tujuan utama dari kurikulum ini. Literasi STEM mengacu pada kombinasi pengetahuan dalam disiplin ilmu sains, keterampilan teknis, serta disposisi yang mendukung kemampuan siswa dalam menghadapi tuntutan masa depan (Falloon et al., 2020). Dengan membangun literasi STEM, kurikulum ini tidak hanya mempersiapkan siswa untuk dunia kerja, tetapi juga mengembangkan pola pikir yang analitis dan kreatif. Kerangka kerja yang ada memetakan karakteristik utama pendidikan STEM, termasuk desain kurikulum dan strategi pedagogis yang dapat diterapkan di sekolah, yang bertujuan agar siswa dapat memanfaatkan pengetahuan dan keterampilan STEM dalam konteks kehidupan nyata.

Implementasi kurikulum STEM di sekolah memerlukan perencanaan yang matang dan dukungan dari berbagai pihak. Pengembangan rencana pembelajaran STEM melibatkan analisis sumber ajar yang ada, seperti buku teks, serta pemanfaatan sumber digital yang dapat meningkatkan minat dan keterampilan siswa dalam sains (Thi & Thanh, 2021; Yesnazar et al., 2024). Pendekatan interdisipliner menjadi salah satu kunci penting dalam kurikulum STEM, di mana pengetahuan sains dan rekayasa diintegrasikan dalam proses desain, sementara matematika digunakan untuk analisis data. Pendekatan ini terbukti efektif dalam meningkatkan integrasi pengetahuan, serta memotivasi siswa untuk mengembangkan sikap positif terhadap disiplin ilmu yang mereka pelajari (Cheng et al., 2024). Dengan

pendekatan ini, siswa tidak hanya belajar satu disiplin, tetapi juga mengembangkan keterampilan untuk menggabungkan pengetahuan dari berbagai bidang untuk memecahkan masalah yang lebih kompleks.

Pengembangan profesional guru merupakan elemen kunci untuk mendukung keberhasilan implementasi kurikulum STEM. Guru memerlukan pengalaman belajar yang beragam, seperti pelatihan dalam analisis sumber ajar STEM dan keterlibatan langsung dalam pendidikan STEM, untuk mengembangkan pengetahuan dan keterampilan desain kurikulum yang terintegrasi (Stevenson et al., 2024). Hal ini memungkinkan guru untuk mengadaptasi kurikulum dengan cara yang paling efektif sesuai dengan kebutuhan dan konteks kelas mereka. Meskipun demikian, perbedaan orientasi pengajaran di kalangan guru juga dapat memengaruhi cara mereka mengintegrasikan dan menerapkan kurikulum STEM di kelas. Beberapa guru mungkin lebih fokus pada pengembangan keterampilan berpikir ilmiah, sementara yang lain lebih mengutamakan pengembangan siswa secara holistik (Tan & Wei, 2024).

Dampak dari kurikulum STEM yang diterapkan secara efektif sangat signifikan dalam pengembangan keterampilan siswa. Kurikulum ini secara langsung meningkatkan kemampuan berpikir kritis, pemecahan masalah, kolaborasi, dan komunikasi lintas disiplin (Thomason & Hsu, 2024). Dengan terlibat dalam pembelajaran berbasis proyek

dan eksperimen, siswa tidak hanya memperoleh pengetahuan, tetapi juga mengembangkan keterampilan penting yang diperlukan di dunia profesional. Proyek-proyek ini mendorong siswa untuk bekerja dalam tim, berkolaborasi, dan mengkomunikasikan ide serta solusi yang mereka kembangkan, yang meningkatkan kemampuan mereka untuk berpikir secara analitis dan kreatif.

Peningkatan sikap dan minat terhadap STEM juga merupakan salah satu manfaat yang signifikan dari implementasi kurikulum ini. Siswa yang terlibat dalam pembelajaran STEM sering kali menunjukkan peningkatan sikap positif terhadap sains, teknologi, teknik, dan matematika, serta merasa lebih percaya diri dalam merancang solusi untuk masalah nyata (Cheng et al., 2024; Thomason & Hsu, 2024). Pembelajaran yang kontekstual dan relevan ini mendorong siswa untuk melihat STEM sebagai sesuatu yang tidak hanya penting dalam dunia akademis, tetapi juga sebagai alat untuk berkontribusi dalam memecahkan masalah besar yang dihadapi masyarakat. Dengan cara ini, kurikulum STEM membekali siswa dengan keterampilan dan sikap yang tidak hanya mendukung pengembangan karir mereka, tetapi juga mempersiapkan mereka untuk berperan aktif dalam menciptakan solusi untuk tantangan global.

3. Mengembangkan Kurikulum STEM yang Dapat Menarik Minat Siswa

Mengembangkan kurikulum STEM yang menarik minat siswa sangat penting untuk memastikan kesiapan mereka dalam menghadapi tantangan di bidang sains, teknologi, teknik, dan matematika. Kurikulum yang efektif mengedepankan integrasi lintas disiplin, seperti sains, teknologi, teknik, dan matematika yang digabungkan secara terpadu melalui proyek atau masalah nyata. Pendekatan ini tidak hanya meningkatkan minat siswa, tetapi juga merangsang kreativitas mereka dan mengasah kemampuan pemecahan masalah yang sangat dibutuhkan di dunia yang terus berkembang (C. Chen & Chen, 2021; Dökme & Hancıoğlu, 2025). Penggunaan aktivitas praktis, seperti eksperimen, desain, pembuatan, dan robotika, mendorong keterlibatan aktif siswa dan membuat pembelajaran lebih bermakna. Aktivitas-aktivitas ini membantu siswa untuk tidak hanya memahami konsep-konsep dasar, tetapi juga menerapkannya dalam konteks dunia nyata, meningkatkan pemahaman mereka terhadap materi yang diajarkan.

Pendekatan pembelajaran yang menggunakan metode inkuiri dan desain berbasis masalah sangat efektif untuk mendorong siswa

berpikir kritis dan kreatif. Siswa didorong untuk mengaplikasikan pengetahuan yang telah mereka pelajari dalam memecahkan masalah nyata yang relevan dengan kehidupan mereka. Pembelajaran berbasis inkuiri ini juga membangun kemampuan siswa untuk bekerja secara mandiri, mengembangkan keterampilan riset, dan memecahkan masalah secara inovatif (Peterson & Hipple, 2020). Strategi pengajaran yang mendukung kebutuhan otonomi, kompetensi, dan keterhubungan sosial siswa juga terbukti meningkatkan minat mereka terhadap STEM. Ketika siswa merasa diberdayakan dan mampu menghubungkan pembelajaran dengan kehidupan mereka, mereka cenderung lebih tertarik untuk terus mengeksplorasi dan mendalami topik-topik STEM.

Lingkungan belajar yang menarik juga memainkan peran penting dalam mengembangkan minat siswa terhadap STEM. Menciptakan ruang pembelajaran yang mendukung eksplorasi dan kolaborasi, seperti pusat edukasi atau laboratorium, dapat meningkatkan keterampilan riset siswa dan memperdalam rasa ingin tahu mereka. Lingkungan yang memungkinkan siswa untuk bekerja secara tim, berbagi ide, dan melakukan eksperimen praktis akan memperkuat pengalaman belajar mereka (Dökme & Hancıoğlu, 2025; Ibraeva & Kyrykbayeva, 2023).

Dampak positif dari pendekatan kurikulum yang terintegrasi dan berbasis pengalaman nyata adalah peningkatan minat siswa terhadap STEM, sikap positif terhadap bidang ini, serta kesiapan mereka untuk memasuki karier di bidang yang berhubungan dengan teknologi dan sains (Cheng et al., 2024; Dökme & Hancıoğlu, 2025; Peterson, 2020; Ibraeva & Kyrykbayeva, 2023; Chiu, 2023; Joseph & Uzondu, 2024). Siswa juga menunjukkan peningkatan keterampilan abad 21, seperti berpikir kritis, kolaborasi, komunikasi, dan kreativitas, yang penting untuk keberhasilan mereka di masa depan (Chen & Chen, 2021; Joseph & Uzondu, 2024).

BAB III
PEMBELAJARAN BERBASIS PROYEK DALAM STEM

1. Pengenalan Pembelajaran Berbasis Proyek (PBL)

Pembelajaran Berbasis Proyek (Project-Based Learning/PBL) adalah pendekatan pembelajaran yang mengutamakan keterlibatan siswa dalam proyek-proyek nyata yang relevan dengan kehidupan mereka. Pendekatan ini menempatkan siswa sebagai pusat proses belajar, di mana mereka tidak hanya menerima informasi secara pasif, tetapi juga aktif dalam merancang, melaksanakan, dan mengevaluasi proyek yang dihadapi. PBL bertujuan untuk mengembangkan keterampilan abad ke-21 yang sangat diperlukan dalam dunia profesional, seperti keterampilan kolaborasi, pemecahan masalah, dan berpikir kritis. Melalui pendekatan ini, siswa dapat lebih memahami bagaimana pengetahuan yang mereka pelajari di kelas dapat diterapkan dalam dunia nyata, yang memperkaya pengalaman belajar mereka.

Salah satu karakteristik utama dari PBL adalah mendorong keterlibatan dan kolaborasi antar siswa. Dalam PBL, siswa bekerja dalam kelompok untuk menyelesaikan proyek bersama, berbagi ide,

berdiskusi, dan saling membantu. Pendekatan ini secara langsung meningkatkan keterlibatan siswa dalam pembelajaran karena mereka merasa lebih bertanggung jawab atas keberhasilan proyek yang mereka kerjakan bersama teman-temannya. Kolaborasi ini juga memungkinkan siswa untuk mengembangkan keterampilan interpersonal yang penting, seperti komunikasi efektif, empati, dan kemampuan untuk bekerja dalam tim, yang sangat dibutuhkan di dunia kerja (Almulla, 2020; Marnewick, 2023).

PBL juga berperan dalam mengembangkan kompetensi-kompetensi yang sangat dibutuhkan di dunia kerja, seperti pemecahan masalah, berpikir kritis, dan keterampilan komunikasi interpersonal. Dengan bekerja pada proyek nyata, siswa menghadapi tantangan yang membutuhkan pendekatan analitis dan kreatif untuk menyelesaikan masalah yang kompleks. Keterampilan ini sangat relevan dengan tuntutan dunia profesional yang sering kali membutuhkan individu yang dapat berpikir secara kritis dan memecahkan masalah secara efisien dalam situasi yang penuh ketidakpastian. Oleh karena itu, PBL memberikan pengalaman yang lebih mendalam dan aplikatif dibandingkan dengan metode pembelajaran tradisional yang cenderung berfokus pada pengajaran teoretis semata (Crespí et al., 2022; Saad & Zainudin, 2022).

Pembelajaran dalam PBL bersifat autentik dan iteratif, yang memungkinkan siswa untuk belajar

dari pengalaman langsung. Siswa mengerjakan proyek yang berkaitan dengan dunia nyata dan memanfaatkan pengetahuan yang mereka pelajari untuk memecahkan masalah konkret. Proses pembelajaran ini bersifat iteratif, di mana siswa dapat melakukan perbaikan berulang pada pekerjaan mereka, menerima umpan balik, dan meningkatkan hasil kerja mereka sepanjang proyek berlangsung. Dengan cara ini, siswa tidak hanya menguasai keterampilan teknis, tetapi juga mengembangkan kemampuan refleksi diri yang penting dalam memperbaiki kinerja mereka (Meng et al., 2023). Pembelajaran yang bersifat iteratif ini juga membantu siswa memahami bahwa kesalahan adalah bagian dari proses belajar dan menjadi kesempatan untuk berkembang (Almulla, 2020; Marnewick, 2023).

PBL dapat secara signifikan meningkatkan motivasi belajar siswa, karena mereka merasa lebih terlibat dalam pembelajaran yang lebih relevan dan bermakna. Ketika siswa bekerja pada proyek yang berkaitan dengan kehidupan nyata, mereka melihat langsung hasil kerja mereka dan bagaimana hal itu berkontribusi pada pemecahan masalah yang lebih besar. Pendekatan ini juga meningkatkan kreativitas siswa, karena mereka diberikan ruang untuk berpikir di luar batasan-batasan tradisional dan mencoba berbagai solusi yang inovatif. Salah satu cara untuk lebih meningkatkan motivasi dan kreativitas dalam PBL adalah dengan mengkombinasikan pendekatan seperti design thinking atau gamifikasi (Jiang & Pang, 2023), yang memberikan elemen-elemen tantangan

dan permainan dalam proyek yang mereka kerjakan (Chen et al., 2020; Huang et al., 2023).

Implementasi PBL dapat dilakukan pada berbagai tingkat pendidikan dan kurikulum. Di tingkat sekolah dasar dan menengah, PBL sering diterapkan dalam bentuk tugas proyek dalam satu mata pelajaran tertentu. Di tingkat yang lebih tinggi, PBL bisa lebih luas lagi dengan mengintegrasikan berbagai disiplin ilmu dalam satu proyek besar yang menghubungkan sains, teknologi, teknik, dan matematika. Dengan pendekatan ini, siswa tidak hanya mempelajari satu disiplin, tetapi juga belajar bagaimana mengintegrasikan pengetahuan dari berbagai bidang untuk memecahkan masalah yang lebih kompleks. Pendekatan interdisipliner ini memungkinkan siswa untuk melihat relevansi pengetahuan yang mereka pelajari dalam konteks yang lebih luas, meningkatkan pemahaman mereka terhadap hubungan antar berbagai disiplin ilmu (Chen et al., 2020).

Dampak positif dari implementasi PBL terlihat dalam peningkatan minat dan sikap positif siswa terhadap bidang STEM. Siswa yang terlibat dalam PBL merasa lebih percaya diri dalam kemampuan mereka untuk memecahkan masalah nyata dan merancang solusi untuk tantangan yang dihadapi. PBL tidak hanya membuat pembelajaran lebih relevan, tetapi juga mempersiapkan siswa untuk berkarir di bidang yang membutuhkan keterampilan praktis dan kreativitas. Dengan meningkatnya sikap positif terhadap STEM, siswa

lebih termotivasi untuk mengejar karir di bidang yang membutuhkan keterampilan di sains, teknologi, teknik, dan matematika, yang sangat dibutuhkan di pasar kerja global (Cheng et al., 2024; Dökme & Hancıoğlu, 2025; Peterson, 2020; Ibraeva & Kyrykbayeva, 2023; Chiu, 2023; Joseph & Uzondu, 2024).

Melalui PBL, siswa juga menunjukkan perkembangan keterampilan abad ke-21, seperti berpikir kritis, kolaborasi, komunikasi, dan kreativitas. Keterampilan ini sangat penting untuk menghadapi tuntutan dunia kerja masa depan yang sangat dinamis dan mengutamakan kemampuan untuk beradaptasi dengan cepat terhadap perubahan. PBL memberikan kesempatan bagi siswa untuk mengasah keterampilan ini dalam konteks dunia nyata, yang pada gilirannya meningkatkan kesiapan mereka untuk memasuki dunia kerja dan berkontribusi dalam masyarakat. Dengan demikian, PBL bukan hanya mengajarkan pengetahuan, tetapi juga keterampilan yang dapat langsung diterapkan dalam kehidupan sehari-hari dan di dunia profesional (Chen & Chen, 2021; Joseph & Uzondu, 2024).

2. Keuntungan Pembelajaran Berbasis Proyek dalam STEM

Pembelajaran Berbasis Proyek (Project-Based Learning/PjBL) dalam konteks STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics) memberikan berbagai keuntungan signifikan bagi

siswa. PjBL berfokus pada pembelajaran aktif, di mana siswa terlibat langsung dalam proyek nyata yang menuntut mereka untuk mengaplikasikan pengetahuan dari berbagai disiplin ilmu dalam memecahkan masalah. Metode ini terbukti efektif dalam meningkatkan keterampilan abad ke-21 yang sangat dibutuhkan dalam dunia kerja, seperti pemecahan masalah, berpikir kreatif, kolaborasi, dan komunikasi efektif. Melalui pendekatan ini, siswa belajar untuk bekerja sama dalam tim, mengembangkan ide-ide inovatif, serta menyampaikan hasil kerja mereka dengan cara yang terstruktur dan komunikatif (A. Lestari et al., 2024; Simamora, 2024), yang semuanya merupakan keterampilan penting untuk sukses di masa depan (Alali, 2024).

PjBL dalam STEM juga secara konsisten melatinh keterampilan berpikir kritis dan penalaran ilmiah siswa. Siswa terlibat dalam pengalaman belajar yang menuntut mereka untuk merumuskan masalah, mengembangkan hipotesis, dan mencari solusi secara sistematis, yang memperkuat kemampuan penalaran tingkat tinggi mereka. Keterlibatan dalam proyek-proyek nyata meningkatkan kemampuan siswa untuk berpikir analitis dan kreatif, serta memecahkan masalah yang kompleks. Namun, meskipun PjBL terbukti efektif dalam melatih keterampilan ini, beberapa aspek

seperti penalaran probabilistik masih memerlukan peningkatan lebih lanjut. Oleh karena itu, pendampingan dan strategi pembelajaran yang lebih fokus pada aspek tersebut diperlukan untuk memaksimalkan potensi PjBL dalam mengembangkan kemampuan berpikir kritis siswa (Koes-H & Putri, 2021).

Meta-analisis menunjukkan bahwa PjBL dapat meningkatkan hasil belajar dan prestasi akademik siswa secara signifikan, terutama di bidang teknik dan teknologi (Tanır & Türkmen, 2024; L. Zhang & Yan, 2023). Pendekatan ini memungkinkan siswa untuk belajar dengan cara yang lebih menyeluruh dan aplikatif, yang tidak hanya meningkatkan pemahaman mereka terhadap materi, tetapi juga kemampuan mereka untuk mengimplementasikan pengetahuan tersebut dalam situasi dunia nyata. PjBL juga berperan dalam meningkatkan minat siswa terhadap karier di bidang STEM. Karena siswa dapat melihat langsung aplikasi praktis dari pengetahuan yang mereka pelajari, mereka menjadi lebih tertarik untuk mengejar karier di sektor-sektor yang berbasis teknologi dan sains. Hal ini tidak hanya membuka lebih banyak pilihan profesi bagi mereka, tetapi juga membantu mengatasi kekurangan tenaga profesional yang terampil di bidang STEM (Tanır & Türkmen, 2024).

Kolaborasi dan komunikasi adalah aspek lain yang sangat diperkuat melalui PjBL. Siswa bekerja dalam tim untuk menyelesaikan proyek-proyek yang menuntut mereka untuk berbagi ide, mendiskusikan solusi, dan berkolaborasi dengan teman sekelas. Keterampilan kerja tim ini sangat penting untuk dunia kerja masa depan, di mana hampir setiap industri mengandalkan kerjasama antar berbagai disiplin dan individu dengan latar belakang yang berbeda. Selain itu, PjBL juga memberikan kesempatan bagi siswa untuk berinteraksi dengan teknologi digital dan bekerja dalam konteks global, yang membantu mereka mengembangkan kemampuan komunikasi lintas budaya dan penggunaan teknologi secara efektif. Dengan demikian, PjBL tidak hanya mempersiapkan siswa untuk bekerja dalam tim, tetapi juga untuk beradaptasi dalam lingkungan kerja yang semakin mengglobal dan terhubung secara digital (Maspul, 2024; Owens & Hite, 2020; Seo et al., 2024).

Metode PjBL juga terbukti meningkatkan motivasi dan keterlibatan siswa dalam pembelajaran. Dengan memberikan proyek-proyek yang relevan dan bermakna, siswa merasa lebih terhubung dengan materi yang mereka pelajari, yang meningkatkan rasa ingin tahu dan antusiasme mereka untuk belajar. Ketika siswa melihat langsung bagaimana ilmu yang mereka pelajari dapat

digunakan untuk memecahkan masalah nyata, mereka lebih termotivasi untuk terlibat lebih dalam dalam proses pembelajaran. Pembelajaran berbasis proyek memberikan pengalaman yang lebih hidup dan aplikatif, membuat siswa merasa bahwa pembelajaran mereka memiliki dampak yang nyata, yang pada gilirannya meningkatkan keterlibatan dan prestasi akademik mereka (Lestari et al., 2024; Simamora, 2024).

BAB IV
INTEGRASI TEKNOLOGI DALAM PEMBELAJARAN STEM

1. Peran Teknologi dalam Meningkatkan Pembelajaran STEM

Teknologi memainkan peran yang sangat penting dalam meningkatkan kualitas pembelajaran STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics). Dengan menyediakan pengalaman belajar yang lebih interaktif, kontekstual, dan relevan, teknologi memungkinkan siswa untuk terlibat lebih dalam dalam proses pembelajaran. Penggunaan teknologi, seperti augmented reality (AR), robotika, pemrograman, dan multimedia, terbukti tidak hanya membuat pembelajaran lebih menarik, tetapi juga meningkatkan motivasi siswa untuk belajar. Melalui interaksi dengan berbagai alat digital, siswa dapat lebih mudah memahami konsep-konsep yang kompleks dan melihat penerapannya dalam dunia nyata. Teknologi juga memungkinkan penyampaian materi yang lebih dinamis dan bervariasi, memperkaya pengalaman belajar di semua jenjang pendidikan, dari sekolah dasar hingga pendidikan tinggi (Chatzidaki et al., 2024; Dauletkeldi, 2024; X. Hu et al., 2024; Mystakidis et al., 2021; Truskavetska, 2024).

Salah satu manfaat utama penggunaan teknologi dalam pembelajaran STEM adalah kemampuannya dalam mendukung penguasaan konsep dan keterampilan. Melalui teknologi, siswa dapat mengakses simulasi, eksperimen virtual, dan pemecahan masalah berbasis proyek yang memfasilitasi pemahaman yang lebih mendalam terhadap konsep-konsep STEM. Dengan melakukan eksperimen atau simulasi secara virtual, siswa dapat melihat hasil dari berbagai variabel yang mereka manipulasi, tanpa terbatas oleh peralatan atau sumber daya fisik yang mungkin terbatas. Ini memungkinkan mereka untuk mengeksplorasi konsep-konsep sains dan teknologi dalam lingkungan yang aman dan terkendali. Pendekatan ini juga memudahkan siswa untuk mengulang eksperimen atau mencoba solusi berbeda, sehingga meningkatkan keterampilan problem solving dan berpikir kritis mereka (Chng et al., 2023; Dauletkeldi, 2024; Truskavetska, 2024; Yang & Baldwin, 2020).

Teknologi juga memiliki peran besar dalam mendorong kolaborasi dan kreativitas siswa. Dengan menggunakan platform digital, siswa dapat bekerja bersama dalam proyek berbasis masalah yang memungkinkan mereka untuk mengembangkan solusi inovatif secara bersama-sama. Proyek-proyek ini sering kali melibatkan penerapan pengetahuan lintas disiplin, di mana siswa dapat belajar bagaimana berbagai bidang ilmu terhubung dan saling mendukung dalam memecahkan masalah dunia nyata. Selain itu, teknologi menyediakan berbagai alat untuk meningkatkan kreativitas,

seperti perangkat lunak desain grafis, aplikasi pemrograman, atau alat pembuat video dan animasi. Dengan alat-alat ini, siswa dapat mengembangkan ide-ide baru, berkolaborasi dengan teman sekelas, dan menciptakan proyek digital yang tidak hanya memecahkan masalah, tetapi juga memperkenalkan inovasi dalam berbagai bidang (Yang & Baldwin, 2020; Truskavetska, 2024; Dauletkeldi, 2024).

Implementasi teknologi dalam pembelajaran STEM membutuhkan strategi yang tepat untuk menciptakan lingkungan belajar yang otentik dan interaktif (Mystakidis et al., 2021). Teknologi memungkinkan penciptaan laboratorium virtual, pemodelan 3D, dan simulasi eksperimen, yang memberikan pengalaman belajar yang lebih mendalam dan realistis. Dengan menggunakan teknologi ini, siswa dapat melakukan eksperimen yang sebelumnya sulit dilakukan di ruang kelas fisik, seperti simulasi tentang reaksi kimia atau model-model fisika yang kompleks, tanpa resiko bahaya atau biaya tinggi (Yang & Baldwin, 2020; Truskavetska, 2024). Selain itu, umpan balik otomatis yang diberikan oleh teknologi, seperti sistem berbasis AI dan natural language processing, memungkinkan siswa untuk menerima respons yang lebih cepat dan personal, yang mendukung pengembangan keterampilan argumentasi dan penalaran mereka. Teknologi ini membantu siswa untuk mengidentifikasi kekuatan dan kelemahan dalam pekerjaan mereka, serta memberikan kesempatan untuk belajar secara lebih mandiri dan terarah. Dengan demikian, teknologi tidak hanya

membuat pembelajaran lebih menarik dan menyenangkan, tetapi juga lebih efektif dalam membantu siswa memahami materi secara mendalam.

2. Platform dan Alat Teknologi yang Digunakan dalam STEM

Pendidikan STEM (Science, Technology, Engineering, and Mathematics) semakin mengandalkan berbagai platform dan alat teknologi untuk meningkatkan pembelajaran, kolaborasi, dan motivasi siswa. Dengan kemajuan teknologi yang pesat, berbagai inovasi digital mulai dari aplikasi pendidikan hingga platform kolaboratif dan realitas virtual telah diintegrasikan ke dalam proses belajar-mengajar. Integrasi teknologi ini bertujuan untuk menghadapi tantangan pendidikan modern, di mana pembelajaran harus lebih interaktif, kontekstual, dan relevan dengan kebutuhan siswa di era digital. Dengan memanfaatkan teknologi, pembelajaran STEM dapat disesuaikan dengan gaya belajar siswa yang berbeda, memungkinkan mereka untuk belajar dengan cara yang lebih menyenangkan dan efektif, serta mempersiapkan mereka untuk menghadapi tantangan dunia yang semakin berbasis teknologi.

Berbagai jenis platform dan alat teknologi telah digunakan dalam pembelajaran STEM untuk meningkatkan efektivitas pengajaran dan pemahaman siswa. Alat EdTech dan platform digital, seperti aplikasi pembelajaran, platform daring, dan

perangkat lunak analitik, telah menjadi bagian integral dari pendidikan modern. Sekolah dan universitas kini menggunakan berbagai alat ini untuk mendukung pemahaman siswa terhadap konsep-konsep STEM yang kompleks (Chirikov et al., 2020; Hrynevych et al., 2021; Torra et al., 2024; Zaščerinska et al., 2023). Selain itu, teknologi berbasis Virtual Reality (VR) dan Augmented Reality (AR) juga semakin banyak digunakan untuk membantu siswa memvisualisasikan konsep-konsep abstrak, serta untuk menyediakan pengalaman belajar yang lebih mendalam melalui interaksi dalam lingkungan 3D. Teknologi ini memperkaya pengalaman laboratorium STEM, memungkinkan siswa untuk melakukan eksperimen dan simulasi secara virtual tanpa terbatas oleh peralatan fisik yang tersedia (Laseinde & Dada, 2023).

Selain itu, alat anotasi sosial dan platform kolaboratif semakin banyak diterapkan dalam pembelajaran STEM untuk meningkatkan interaksi dan diskusi antar siswa. Alat ini mendukung kegiatan berbasis inkuiri, brainstorming, dan umpan balik daring, yang meningkatkan rasa ingin tahu dan minat siswa terhadap sains (Elmi, 2024). Platform Internet of Things (IoT) juga digunakan untuk mendukung pembelajaran kolaboratif, terutama di sekolah dasar, dengan aplikasi seperti ScI-oTLS yang membuat pelajaran sains menjadi lebih menarik dan interaktif bagi siswa (Maratha et al., 2021). Terakhir, aplikasi STEM yang dirancang untuk anak-anak, meskipun sebagian besar masih berfokus pada sains dan matematika, memberikan kesempatan bagi siswa

untuk belajar secara interaktif melalui perangkat mobile. Aplikasi-aplikasi ini tidak hanya memberikan pengalaman belajar yang menyenangkan, tetapi juga memungkinkan siswa untuk memonitor kemajuan mereka dalam belajar, meskipun beberapa fitur seperti interaksi sosial masih memerlukan pengembangan lebih lanjut (Konca et al., 2023).

Meskipun banyak manfaat yang ditawarkan oleh teknologi dalam pendidikan STEM, terdapat beberapa tantangan dalam implementasinya. Platform daring dan metode blended learning telah terbukti dapat meningkatkan hasil belajar siswa dengan biaya yang lebih rendah dan jangkauan yang lebih luas dibandingkan dengan pembelajaran tatap muka (Torra et al., 2024; Chirikov et al., 2020). Namun, tantangan utama dalam implementasi teknologi di pendidikan STEM meliputi pelatihan guru yang belum merata, keterbatasan sumber daya, kesesuaian perangkat pribadi siswa dengan platform yang digunakan, serta desain instruksional yang tidak selalu kompatibel dengan berbagai perangkat yang dimiliki siswa (Elliott, 2022). Oleh karena itu, penting untuk memastikan bahwa guru mendapatkan pelatihan yang memadai dan bahwa teknologi yang digunakan dapat diakses oleh seluruh siswa secara merata untuk memastikan keberhasilan implementasi.

Keberhasilan integrasi teknologi dalam pendidikan STEM sangat dipengaruhi oleh ekosistem pendidikan yang mendukung, termasuk kolaborasi antar disiplin ilmu dan pengembangan keterampilan

proses yang diperlukan dalam setiap langkah pembelajaran. Ekosistem yang mendukung ini melibatkan pengembangan kompetensi yang berkelanjutan bagi pengajar dan siswa, serta penggunaan berbagai sumber daya digital yang memungkinkan siswa mengembangkan keterampilan di luar batasan kurikulum tradisional. Oleh karena itu, ekosistem pendidikan yang efektif tidak hanya mencakup perangkat dan platform teknologi, tetapi juga pengembangan budaya kolaboratif antar guru, siswa, dan institusi pendidikan untuk menciptakan pengalaman belajar yang lebih integratif dan inovatif (Hrynevych et al., 2021; Truskavetska, 2024). Integrasi interdisipliner juga memainkan peran penting dalam mendorong pengembangan kreativitas dan inovasi siswa. Dengan menggabungkan berbagai disiplin ilmu dan teknologi, siswa dapat belajar untuk memecahkan masalah secara mandiri dan mengembangkan keterampilan yang sangat dibutuhkan di dunia kerja masa depan (Truskavetska, 2024).

3. Tantangan dalam Mengintegrasikan Teknologi dalam Pembelajaran

Integrasi teknologi dalam pendidikan memberikan berbagai manfaat yang signifikan, seperti peningkatan kualitas pembelajaran, keterlibatan siswa yang lebih tinggi, serta peningkatan aksesibilitas ke berbagai sumber daya pendidikan. Meskipun demikian, terdapat berbagai tantangan yang perlu diatasi untuk memastikan

bahwa teknologi dapat digunakan secara efektif dalam pembelajaran. Tantangan utama yang dihadapi adalah keterbatasan infrastruktur, keterampilan digital yang tidak merata, resistensi terhadap perubahan, dan kesenjangan akses antara wilayah yang memiliki sumber daya melimpah dengan yang terbatas. Tanpa penanganan yang tepat terhadap tantangan-tantangan ini, implementasi teknologi dalam pendidikan tidak akan mencapai potensi penuhnya.

Salah satu tantangan terbesar yang dihadapi dalam implementasi teknologi adalah keterbatasan fasilitas infrastruktur, seperti perangkat keras, perangkat lunak, dan akses internet yang memadai. Hal ini sangat terasa di daerah pedesaan atau sekolah-sekolah dengan sumber daya yang terbatas. Keterbatasan akses ini membuat siswa di wilayah tertentu tidak dapat mengakses materi pembelajaran digital, yang menyebabkan ketidaksetaraan dalam pendidikan. Kesenjangan digital antara sekolah-sekolah di perkotaan dan pedesaan semakin memperburuk ketidaksetaraan tersebut, sehingga siswa di daerah pedesaan sering kali tertinggal dalam hal kemampuan untuk mengakses dan memanfaatkan teknologi dalam proses pembelajaran mereka (Akram et al., 2022; Mustafa et al., 2024; Ranbir & Education, 2024; Yuna et al., 2025).

Di sisi lain, keterampilan dan kompetensi digital yang terbatas di kalangan guru dan siswa menjadi penghalang utama dalam pemanfaatan teknologi secara optimal. Banyak guru yang belum memiliki pengetahuan yang cukup untuk mengintegrasikan teknologi dalam praktik pengajaran mereka. Kurangnya pelatihan yang memadai menyebabkan mereka kesulitan untuk menggunakan alat teknologi secara efektif. Begitu pula dengan siswa, yang sering kali belum memiliki keterampilan digital yang diperlukan untuk memanfaatkan teknologi dalam pembelajaran mereka secara maksimal. Oleh karena itu, penting untuk menyediakan pelatihan yang berkelanjutan bagi guru, serta memberikan siswa kesempatan untuk mengembangkan keterampilan digital yang mereka butuhkan agar dapat memanfaatkan teknologi dalam pembelajaran dengan lebih efisien (Akram et al., 2022; Cadley, 2024; Rintaningrum, 2023; N. M. Sari & Abrar, 2024).

Tantangan sosial dan organisasi juga memainkan peran penting dalam keberhasilan integrasi teknologi dalam pendidikan. Resistensi terhadap perubahan dari guru, siswa, atau bahkan institusi seringkali memperlambat adopsi teknologi yang lebih luas. Guru yang terbiasa dengan metode pengajaran tradisional mungkin merasa tidak

nyaman dengan perubahan yang memerlukan penggunaan teknologi baru. Selain itu, kurangnya kolaborasi antara guru dalam memanfaatkan teknologi secara bersama-sama juga membuat sulit bagi siswa untuk memanfaatkan alat digital secara efektif. Beban kerja guru yang meningkat dan keterbatasan waktu juga menjadi hambatan tambahan yang perlu diatasi (Viberg et al., 2020). Oleh karena itu, untuk mengoptimalkan penggunaan teknologi dalam pendidikan, perlu ada dukungan institusi dan pengaturan waktu yang lebih efisien bagi guru (Ranbir & Education, 2024; Yuna et al., 2025).

BAB V
PENDEKATAN HANDS-ON DALAM PENDIDIKAN STEM

1. Definisi Pendekatan Hands-on dalam STEM

Pendekatan hands-on dalam pembelajaran STEM menekankan pentingnya pengalaman langsung bagi siswa untuk memahami konsep-konsep dalam sains, teknologi, teknik, dan matematika. Dalam pendekatan ini, siswa tidak hanya terlibat dalam pembelajaran teori, tetapi juga secara aktif berpartisipasi dalam eksperimen, proyek, atau kegiatan praktis lainnya. Tujuan dari metode ini adalah untuk menghubungkan pengetahuan yang dipelajari di kelas dengan aplikasi dunia nyata, sehingga siswa dapat mengembangkan keterampilan praktis, pemecahan masalah, dan kreativitas. Pendekatan hands-on mendorong siswa untuk tidak hanya menerima informasi, tetapi juga untuk aktif mengolahnya melalui pengalaman langsung, yang membuat proses pembelajaran menjadi lebih menyenangkan dan bermakna (J. Chen & Liu, 2024; Gautam et al., 2020; Gugole et al., 2023; Hapuarachchi et al., 2024; Su & Chen, 2023; Wawan et al., 2022).

Karakteristik utama dari pendekatan hands-on adalah pembelajaran berbasis pengalaman. Siswa terlibat dalam kegiatan praktis seperti eksperimen

laboratorium, proyek konstruksi, atau penggunaan alat dan teknologi nyata. Kegiatan ini memungkinkan siswa untuk mengaplikasikan teori yang telah dipelajari secara langsung dalam situasi praktis. Dalam pendekatan ini, keterlibatan aktif siswa menjadi hal yang sangat penting. Mereka tidak hanya menerima informasi secara pasif, melainkan juga berpartisipasi dalam merancang, membangun, menguji, dan merefleksikan hasil dari kegiatan yang mereka lakukan. Proses ini meningkatkan pemahaman mereka terhadap materi yang diajarkan, karena mereka dapat melihat hubungan langsung antara konsep-konsep yang dipelajari dan aplikasi nyata di lapangan (Chen & Liu, 2024; Wawan et al., 2022; Hapuarachchi et al., 2024; Gugole et al., 2023).

Manfaat dari pendekatan hands-on sangat signifikan dalam meningkatkan pemahaman konsep-konsep STEM dan keterampilan berpikir kritis siswa. Dengan terlibat dalam aktivitas yang berbasis pengalaman langsung, siswa dapat memahami dengan lebih baik bagaimana konsep-konsep tersebut diterapkan dalam kehidupan nyata. Aktivitas hands-on mendorong siswa untuk berpikir kritis dan menganalisis masalah dengan cara yang lebih mendalam, serta memecahkan masalah yang kompleks. Selain itu, pendekatan ini juga dapat meningkatkan motivasi dan minat siswa terhadap pembelajaran STEM, karena mereka merasakan manfaat langsung dari apa yang mereka pelajari. Keterlibatan aktif dalam proyek dan eksperimen membuat siswa lebih antusias untuk mengeksplorasi lebih lanjut dan berpartisipasi dalam kegiatan

pembelajaran, yang pada akhirnya meningkatkan keterlibatan mereka secara keseluruhan dalam proses pembelajaran (Kanapathy & Azhari, 2024).

Contoh implementasi pendekatan hands-on dalam pendidikan STEM mencakup berbagai proyek dan eksperimen yang dapat dilakukan di kelas. Siswa dapat membangun proyek konstruksi, seperti mobil remote control, atau melakukan eksperimen fisika dengan kit edukasi yang sudah disediakan. Kegiatan robotika juga merupakan contoh implementasi yang sangat baik dari pendekatan hands-on, di mana siswa dapat merancang dan membuat robot mereka sendiri, sambil mempelajari konsep-konsep teknik dan teknologi. Selain itu, penggunaan laboratorium dan simulasi komputer juga memberikan pengalaman praktis yang memperkaya pembelajaran siswa. Praktikum kimia, simulasi komputer, dan eksperimen langsung di laboratorium memberikan siswa kesempatan untuk melakukan eksperimen yang mungkin sulit dilakukan dengan metode pengajaran tradisional. Semua contoh implementasi ini berkontribusi pada pengembangan keterampilan praktis dan kreativitas siswa, yang sangat berguna untuk karier mereka di masa depan (Chen & Liu, 2024; Wawan et al., 2022; Hapuarachchi et al., 2024; Gugole et al., 2023).

2. Manfaat Pendekatan Hands-on dalam Pengembangan Keterampilan Siswa

Pendekatan hands-on dalam pembelajaran STEM menawarkan berbagai manfaat yang signifikan bagi pengembangan keterampilan siswa. Metode ini memberikan kesempatan kepada siswa untuk terlibat langsung dalam kegiatan praktis, seperti eksperimen, proyek konstruksi, dan penggunaan teknologi nyata. Pendekatan ini membantu siswa tidak hanya memahami teori, tetapi juga mengaplikasikannya dalam konteks dunia nyata. Dengan demikian, pendekatan hands-on mengoptimalkan proses pembelajaran yang berbasis pada pengalaman nyata, sehingga siswa dapat mengembangkan keterampilan yang lebih relevan dengan tuntutan kehidupan profesional. Selain itu, metode ini juga terbukti meningkatkan motivasi siswa dan memperbaiki keterlibatan mereka dalam pembelajaran, yang pada gilirannya dapat meningkatkan hasil belajar secara keseluruhan.

Salah satu manfaat utama dari pendekatan hands-on adalah peningkatan pemahaman konsep yang lebih mendalam. Siswa yang terlibat dalam aktivitas praktis menunjukkan peningkatan signifikan dalam kemampuan mereka untuk memahami dan mengaplikasikan konsep-konsep

dalam sains, teknologi, matematika, dan seni. Aktivitas hands-on membantu siswa untuk menghubungkan pengetahuan teori dengan pengalaman langsung, yang memperdalam pemahaman mereka terhadap materi yang diajarkan (Chen & Liu, 2024). Misalnya, dalam eksperimen laboratorium atau proyek konstruksi, siswa tidak hanya mempelajari teori yang ada, tetapi juga mempraktekkan dan menguji konsep-konsep tersebut, yang memungkinkan mereka untuk melihat dan merasakan bagaimana teori tersebut berfungsi dalam dunia nyata (Dike et al., 2024; Huang et al., 2024; Saputra & Kurniawati, 2024; Tessema et al., 2024).

Lebih jauh lagi, pendekatan hands-on juga berfokus pada pengembangan keterampilan pemecahan masalah dan berpikir tingkat tinggi. Siswa dihadapkan pada tantangan nyata yang membutuhkan pemikiran kritis dan analitis. Mereka harus merancang, menguji, dan mengevaluasi solusi untuk masalah yang diberikan, yang mendorong mereka untuk berpikir secara sistematis dan kreatif. Pendekatan ini juga efektif dalam meningkatkan keterampilan praktis siswa, yang sangat dibutuhkan di dunia profesional, serta membangun kepercayaan diri, terutama pada siswa yang sebelumnya berprestasi rendah (Admane & Mondhe, 2021; Wammes et al., 2025). Dengan keterlibatan aktif

dalam proyek berbasis pengalaman, siswa merasa lebih percaya diri dalam kemampuan mereka untuk mengatasi tantangan yang kompleks, yang pada gilirannya meningkatkan motivasi mereka untuk belajar lebih lanjut.

Aktivitas hands-on juga mendorong siswa untuk mengembangkan keterampilan soft skills, seperti komunikasi dan kolaborasi. Dalam banyak proyek hands-on, siswa bekerja dalam tim untuk merancang dan menyelesaikan tugas bersama. Ini memberikan mereka kesempatan untuk belajar bagaimana berkomunikasi dengan efektif, berbagi ide, dan bekerja sama untuk mencapai tujuan bersama. Kolaborasi dalam proyek juga mengajarkan pentingnya kerja tim, yang merupakan keterampilan yang sangat dibutuhkan dalam dunia kerja modern. Di samping itu, siswa juga dilatih untuk berpikir kritis dan kreatif dalam menghadapi tantangan, yang membantu mereka untuk mengembangkan keterampilan yang lebih luas dan aplikatif dalam kehidupan sehari-hari (Blagorazumnaia & Trifonova, 2024).

Pendekatan hands-on terbukti meningkatkan motivasi siswa untuk belajar, terutama ketika metode ini dikombinasikan dengan teknik pembelajaran aktif lainnya, seperti flipped learning. Flipped learning, yang memungkinkan

siswa untuk mempelajari materi terlebih dahulu sebelum kelas dan menggunakan waktu di kelas untuk diskusi dan penerapan praktis, sangat efektif ketika digabungkan dengan aktivitas hands-on. Pendekatan ini memberi siswa rasa kepemilikan terhadap pembelajaran mereka, sehingga meningkatkan motivasi dan keterlibatan mereka. Siswa yang sebelumnya kurang termotivasi sering kali merasa lebih terlibat dan bersemangat untuk belajar ketika mereka diberi kesempatan untuk bekerja pada proyek nyata yang berkaitan langsung dengan kehidupan mereka (Chen & Liu, 2024; Huang et al., 2024).

Selain itu, pendekatan hands-on juga meningkatkan retensi pengetahuan siswa. Karena siswa terlibat langsung dalam proses pembelajaran, mereka lebih cenderung untuk mengingat apa yang telah mereka pelajari. Penelitian menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis pengalaman dapat membantu siswa mengingat informasi lebih lama dan dengan cara yang lebih bermakna, karena mereka tidak hanya mendengar atau membaca materi, tetapi juga mengalaminya sendiri. Dengan demikian, siswa yang terlibat dalam pembelajaran hands-on menunjukkan peningkatan dalam retensi pengetahuan dan kepuasan belajar mereka (Dike et al., 2024). Hal ini penting untuk memastikan bahwa siswa tidak hanya memahami materi saat ini, tetapi

juga dapat menerapkannya dalam situasi nyata di masa depan (Alvarenga, 2023; Urban, 2023).

Keterlibatan siswa dalam pembelajaran hands-on juga berdampak langsung pada kesiapan karier mereka. Siswa yang mengikuti pendekatan ini lebih siap menghadapi tantangan profesional karena mereka telah dilatih untuk mengaplikasikan pengetahuan dan keterampilan mereka dalam situasi dunia nyata. Selain itu, pembelajaran hands-on memberi siswa pengalaman praktis yang dapat meningkatkan kepercayaan diri mereka di tempat kerja. Kepercayaan diri yang lebih tinggi ini, pada gilirannya, dapat membuka peluang promosi dan meningkatkan kesiapan mereka untuk mengatasi masalah yang mereka hadapi di dunia profesional (Tessema et al., 2024; Alvarenga, 2023; Huang et al., 2024).

Dengan menggabungkan teori dengan praktik, pendekatan hands-on juga membantu siswa mengembangkan keterampilan yang relevan dengan dunia kerja, seperti keterampilan teknis, analitis, dan kreatif. Siswa yang terlibat dalam proyek-proyek seperti robotika atau eksperimen kimia, misalnya, belajar untuk merancang, menguji, dan memperbaiki solusi untuk tantangan yang mereka hadapi. Keterlibatan dalam proyek ini memberikan siswa keterampilan teknis yang sangat berharga,

yang dapat digunakan langsung di dunia kerja atau di studi lanjutan. Dengan keterampilan tersebut, siswa tidak hanya memperoleh pemahaman yang lebih mendalam tentang materi yang mereka pelajari, tetapi juga meningkatkan kemampuan mereka untuk beradaptasi dengan tuntutan pekerjaan yang semakin berbasis teknologi (Tessema et al., 2024; Alvarenga, 2023; Huang et al., 2024).

Metode hands-on juga membantu siswa untuk lebih terlibat dalam pembelajaran mereka. Pembelajaran yang berbasis pengalaman nyata membuat siswa merasa lebih terhubung dengan materi yang mereka pelajari. Aktivitas praktis seperti eksperimen atau proyek desain memungkinkan siswa untuk merasakan hasil dari upaya mereka, yang pada gilirannya memperkuat rasa pencapaian dan motivasi mereka untuk terus belajar. Hal ini berkontribusi pada peningkatan motivasi belajar, yang sangat penting dalam menciptakan lingkungan pembelajaran yang aktif dan dinamis. Siswa yang merasa lebih terlibat dalam pembelajaran mereka cenderung menunjukkan sikap yang lebih positif terhadap pendidikan secara keseluruhan (Chen & Liu, 2024; Huang et al., 2024).

Sebagai kesimpulan, pendekatan hands-on dalam pembelajaran STEM memberikan banyak

manfaat yang mendalam bagi siswa. Metode ini tidak hanya membantu siswa dalam memahami konsep-konsep yang kompleks, tetapi juga mengembangkan keterampilan penting yang diperlukan di dunia profesional. Dengan meningkatkan keterampilan berpikir kritis, kreativitas, kolaborasi, dan komunikasi, pendekatan hands-on mempersiapkan siswa untuk menghadapi tantangan masa depan dengan lebih percaya diri dan terampil. Oleh karena itu, penting untuk terus mendukung dan mengintegrasikan pendekatan ini dalam sistem pendidikan guna memastikan bahwa siswa dapat memperoleh manfaat maksimal dari proses pembelajaran mereka.

BAB VI
PEMBELAJARAN BERBASIS MASALAH (PBL) DALAM STEM

Dunia pendidikan penuh dengan perubahan strategis termasuk dalam metode-metode pembelajaran terus berkembang seiring waktu. Institusi Di Indonesia, metode pembelajaran berubah sesuai perubahan kurikulum dengan dasar kebutuhan dalam menghadapi tantangan global. Awalnya, semua sekolah pada umumnya menerapkan metode tradisional (*teacher-centred learning*) dimana pendidik menjadi satu-satunya sumber ilmu, sedankan peserta didik hanya mendengarkan dan menerima materi secara pasif. Lalu, hal tersebut mengalami peningkatan ketika hasil belajar mulai diukur secara objektif sehingga pemahaman materi peserta didik dapat terukur. Metode ini dikenal dengan pendekatan behavioral yang terus dilaksanakan hingga tahun 1980an (Suryadi & Kurniati, 2021).

Tahun-tahun berikutnya, pembelajaran bergeser ke pendekatan kontekstual yang menghubungkan materi dengan kehidupan nyata sehingga memudahkan peserta didik memahami dan menerapkan teori yang diberikan di kelas.

Selanjutnya, dari tahun 2000an hingga saat ini, basis pembelajarannya adalah kontruktivisme, yang mana mulai diperkenalkan Kurikulum Berbasis Kompetensi (KBK) di tahun 2004, Kurikulum Tingkat Satuan Pendidikan (KTSP) di tahun 2006, dan Kurikulum 2013 (K13). Model pembelajarannya pun beragam, meliputi *Problem-Based Learning* (PBL), *Project-Based Learning* (PjBL), *Discovery and Inquiry-Based Learning*, *Collaborative and Cooperative Learning* (Widyawati et al., 2024).

Model-model pembelajaran tersebut terus digunakan dan juga dikombinasikan hingga saat ini serta mengikuti perkembangan STEM (*Science, Technology, Engineering, and Mathematics*). Dalam Bab ini akan dibahas secara mendalam mengenai pembelajaran berbasis masalah (*Problem-Based Learning*/PBL) dalam Pendidikan STEM, dimana model pembelajaran ini diharapkan dapat lebih efektif dalam upaya peningkatan pemikiran kritis peserta didik sehingga dapat dengan cermat mengideptifikasi permasalahan di lingkungan dan mengambil keputusan penyelesaian masalah dengan lebih cepat, serta menginisiasi inovas-inovasi unggulan untuk kebutuhan dunia masa kini dan masa yang akan datang.

1. Konsep Dasar PBL dalam STEM

Pembelajaran yang dilakukan pada tiap-tiap institusi Pendidikan mempunyai tujuan untuk pencapaian kompetensi oleh peserta didik yang menurut Bloom, ada pada tiga aspek, yaitu kognitif, pskomotorik, dan afektif. Pendekatan *Problem-Based Learning* (PBL) dapat menyelesaikan masalah nyata untuk memahami konsep ilmiah. Model pembelajaran ini mendorong peserta didik untuk mengembangkan keterampilan berpikir kritis, bekerja sama, dan memecahkan masalah dalam situasi kehidupan nyata. PBL juga dapat meningkatkan aktivitas dan kompetensi peserta didik serta memberikan hasil belajar yang signifikan. Keberadaan PBL dalam konteks STEM (*Science, Technology, Engineering, and Mathematics*) memacu peserta didik untuk mengintegrasikan keempat bidang ilmu tersebut dalam proses pembelajaran sehingga berkembang keterampilan berpikir kritis, kreativitas, dan kemampuan pemecahan masalah.

Tujuan dari PBL dalam STEM, meliputi yang pertama mengembangkan keterampilan analisis dan penyelesaian masalah yang kompleks dengan menerapkan pengetahuan dari berbagai disiplin ilmu. Kedua, ketika proses analisis maupun penyelesaian masalah, peserta didik dipacu untuk dapat bekerja sama dalan suatu kelompok atau tim,

dan melakukan kolaborasi. Kenyataan yang selama ini sering terjadi di lapangan adalah seringnya orang egois dan hanya mengambil keputusan jika di dalamnya terdapat orang-orang yang sepaham dengan dia. Akibatnya, keputusan yang diambil menjadi sempit dan berjangka pendek, dan ketika diimplementasikan cenderung mengalami resistensi dari kelompok lain yang tidak terlibat dan merasa jauh dari kepentingan mereka. Model pembelajaran PBL mencegah pemikiran dan gagasan seperti ini, model ini bertujuan agar semua orang yang berhubungan dan mempunyai kepentingan, dilibatkan di dalam pengambilan keputusan. Selain itu, tujuan lain dari PBL adalah untuk meningkatkan kemandirian belajar dari peserta didik. Kemandirian belajar merujuk pada kemampuan peserta didik untuk mengatur, memotivasi, dan mengevaluasi proses belajarnya secara mandiri. Model PBL akan mendorong peserta didik untuk secara proaktif mengenali dan memahami masalah yang diberikan. Mereka bertanggung jawab untuk mengumpulkan data dan informasi yang relevan dari berbagai sumber. Kemudian menganalisis informasi yang diperoleh dan mengintegrasikannya untuk menemukan solusi serta mengevaluasi proses dan hasil pembelajaran untuk perbaikan di masa mendatang (Subandi & Supardi, 2024).

Pendidikan STEM yang efektif memerlukan pendekatan yang berpusat pada peserta didik (*student-centered learning*), dimana peserta didik aktif terlibat dalam proses pembelajaran. PBL memenuhi kebutuhan ini dengan menempatkan peserta didik sebagai pusat pembelajaran, mereka bertanggung jawab untuk mengidentifikasi masalah, merancang solusi, dan mengevaluasi hasil. Hal ini meningkatkan motivasi dan keterlibatan peserta didik karena memegang kendali atas pembelajaran dan dapat melihat relevansi dari apa yang dipelajari. Melalui PBL, peserta didik tidak hanya belajar konten akademis tetapi juga keterampilan penting seperti berpikir kritis, kreativitas, komunikasi, dan kolaborasi. Masalah yang diberikan dan dihadapi di ruang pembelajan biasanya mencerminkan tantangan dunia nyata, sehingga pembelajaran menjadi lebih bermakna dan aplikatif (D. Lestari et al., 2021; Maulidia et al., 2020).

PBL dalam pendidikan STEM didukung oleh berbagai teori pembelajaran yang menekankan pada kemampuan eksplorasi, pemecahan masalah, pengalaman nyata, dan penggunaan teknologi dalam pembelajaran. Salah satu teori utama yang mendukung PBL dalam STEM adalah Teori Konstruktivisme yang dikembangkan oleh Jean Piaget dan Lev Vygotsky. Teori ini menyatakan bahwa pengetahuan dibangun oleh peserta didik

berdasarkan pengalaman dan interaksi dengan lingkungan. Piaget berpendapat bahwa pembelajaran bersifat individual dan berkembang sesuai tahapan kognitif, sementara Vygotsky menekankan peran sosial dalam belajar melalui konsep *Zone of Proximal Development* (ZPD), dimana peserta didik dapat belajar lebih efektif dengan bimbingan yang sesuai. Dalam PBL-STEM, teori ini terlihat dalam cara peserta didik aktif membangun pemahaman melalui pemecahan masalah serta kolaborasi dalam kelompok belajar.

Selain itu, Teori Belajar *Experiential Learning* yang dikembangkan oleh David Kolb juga menjadi dasar dalam PBL-STEM. Teori ini menekankan bahwa belajar merupakan proses siklus yang terdiri dari empat tahap, yaitu pengalaman konkret, refleksi, konseptualisasi, dan eksperimen aktif. Peserta didik mengalami pembelajaran langsung melalui eksperimen STEM, kemudian merefleksikan pengalaman tersebut untuk memahami konsep ilmiah, menghubungkannya dengan teori yang ada, dan akhirnya menerapkannya dalam situasi baru atau proyek lain.

Teori lain yang relevan adalah Teori Kognitif dari Jerome Bruner yang menekankan *Discovery Learning* dan *Scaffolding*. Peserta didik didorong untuk menemukan konsep sendiri melalui

eksplorasi dan pemecahan masalah, sementara pendidik berperan sebagai fasilitator yang memberikan bimbingan bertahap sesuai kebutuhan peserta didik. PBL memungkinkan peserta didik menemukan solusi sendiri dalam STEM melalui *discovery learning*, sementara pendidik memberikan dukungan sesuai dengan tingkat pemahaman mereka. STEM juga menggunakan berbagai bentuk representasi pengetahuan, seperti simulasi, diagram, dan model fisik, yang selaras dengan konsep representasi pengetahuan.

Teori Konektivisme muncul seiring perkembangan teknologi. Teori ini dikembangkan oleh George Siemens dan Stephen Downes menjadi semakin relevan dalam PBL-STEM karena menekankan bahwa pengetahuan diperoleh melalui jaringan informasi digital sehingga peserta didik belajar dengan menghubungkan berbagai sumber informasi seperti internet, media digital, dan komunitas ilmiah. Dalam PBL-STEM, peserta didik dapat mengakses informasi dari berbagai sumber digital dan berkolaborasi secara daring dalam pencarian solusi berbasis data yang menjadikan pembelajaran lebih fleksibel dan luas.

Kelima, terdapat Teori Belajar Situasional dari Jean Lave dan Etienne Wenger juga memiliki hubungan erat dengan PBL-STEM. Teori ini

menyatakan bahwa belajar terjadi dalam konteks sosial dan budaya tertentu, di mana peserta didik belajar lebih efektif ketika mereka terlibat dalam komunitas praktik (*community of practice*). Dalam PBL, peserta didik bekerja dalam kelompok untuk menyelesaikan masalah dunia nyata, menciptakan pengalaman autentik seperti dalam dunia kerja. Pendekatan *learning by doing* yang menjadi inti teori ini selaras dengan pendidikan STEM yang berbasis pemecahan masalah dimana peserta didik memperoleh pengalaman langsung yang meningkatkan pemahaman dan keterampilan mereka.

Dengan demikian, berbagai teori pembelajaran ini saling mendukung dalam penerapan PBL dalam STEM, menjadikan pembelajaran tidak hanya berbasis teori, tetapi juga berbasis praktik yang membekali peserta didik dengan keterampilan yang dapat digunakan untuk bertahan hidup dalam permasalahan-permasalahann yang lebih kompleks di masa depan.

2. Desain dan Implementasi PBL dalam Pendidikan STEM

Desain dan implementasi PBL dalam pendidikan STEM dirancang untuk menciptakan pengalaman belajar yang interaktif dan relevan bagi peserta didik. Tahapan sistematis dalam

penerapannya dimulai dari orientasi terhadap masalah, pada tahapan ini pendidik menyajikan permasalahan nyata yang relevan dengan konsep STEM yang sedang dipelajari. Permasalahan ini harus autentik, kontekstual, dan cukup kompleks agar mendorong peserta didik untuk berpikir kritis dan mencari solusi berbasis STEM. Setelah memahami permasalahan, tahap kedua adalah penyelidikan dan eksplorasi, dimana siswa mengumpulkan informasi yang diperlukan untuk memahami lebih dalam tentang masalah yang diberikan. Mereka dapat melakukan riset melalui berbagai sumber seperti jurnal ilmiah, eksperimen laboratorium, atau menggunakan perangkat lunak simulasi STEM. Dalam proses ini, peserta didik belajar bekerja secara mandiri maupun dalam kelompok, mengembangkan keterampilan inkuiri, serta menggunakan berbagai alat teknologi untuk mendukung analisis mereka.

Tahap ketiga adalah analisis dan perumusan solusi, peserta didik mulai berdiskusi dan mengolah informasi yang telah diperoleh. Mereka mengidentifikasi berbagai kemungkinan solusi dan menggunakan prinsip STEM untuk menguji kelayakan solusi tersebut. Tahap keempat, pengembangan dan pengujian solusi, ide atau rancangan yang dibuat diwujudkan dalam bentuk *prototipe* atau model nyata. Mereka dapat

melakukan eksperimen langsung, menyusun algoritma pemrograman, atau merancang suatu sistem berbasis teknologi. Tahapan selanjutnya merupakan refleksi dan evaluasi, peserta didik diarahkan untuk meninjau kembali proses pembelajaran yang telah dilakukan, mengidentifikasi tantangan yang dihadapi, dan mengevaluasi efektivitas solusi yang dikembangkan. Pendidik wajib memberikan umpan balik yang konstruktif untuk membantu siswa meningkatkan pemahaman mereka tentang konsep STEM yang diterapkan. Dalam tahap ini, diskusi juga dilakukan untuk membantu siswa menghubungkan pengalaman belajar mereka dengan aplikasi di dunia nyata serta mengeksplorasi kemungkinan pengembangan lebih lanjut. Tahap terakhir adalah presentasi hasil kerja, di mana siswa menyajikan solusi yang telah mereka kembangkan dalam bentuk laporan, demonstrasi proyek, atau presentasi ilmiah. Mereka dapat menggunakan media digital, poster, atau model fisik untuk menjelaskan proses dan hasil yang telah diperoleh. Melalui tahap ini, siswa tidak hanya belajar menyampaikan ide secara efektif tetapi juga mengembangkan keterampilan komunikasi ilmiah dan profesional.

Demi terwujudnya implimentasi PBL-STEM yang baik diperlukan keterlibatan baik pendidik dan peserta didik. Peranan keduanya menentukan

tercapainya kompetensi setiap pembelajaran yang ada. Peran pendidik dan peserta didik mengalami perubahan signifikan dibandingkan dengan metode pembelajaran konvensional. Pendidik tidak lagi berperan sebagai satu-satunya sumber informasi, melainkan sebagai fasilitator yang membimbing peserta didik dalam mengeksplorasi dan menyelesaikan masalah. Sebagai fasilitator, pendidik bertanggung jawab menciptakan lingkungan belajar yang mendorong eksplorasi, merancang masalah autentik yang relevan dengan dunia nyata, serta mengarahkan peserta didik untuk berpikir kritis dan bekerja secara kolaboratif. Selain itu, pendidik juga menyediakan berbagai sumber belajar, seperti jurnal ilmiah, perangkat lunak pemodelan, dan alat eksperimen laboratorium yang mendukung eksplorasi peserta didik. Proses evaluasi dalam PBL-STEM tidak hanya berfokus pada hasil akhir berupa solusi yang dihasilkan, tetapi juga menilai proses berpikir, kreativitas, serta keterampilan kolaborasi peserta didik.

Sedangkan, peserta didik dalam PBL-STEM berperan aktif sebagai pemecah masalah yang bertanggung jawab atas proses pembelajarannya sendiri. Mereka tidak hanya menerima materi secara pasif, tetapi juga terlibat dalam mengidentifikasi masalah, mengumpulkan informasi, serta mengembangkan solusi berbasis STEM. Peserta

didik dilatih untuk berpikir kritis dalam menganalisis masalah dan mencari solusi inovatif dengan mengevaluasi berbagai alternatif berdasarkan data dan eksperimen. Selain itu, kerja sama dalam tim menjadi aspek penting dalam PBL-STEM, di mana peserta didik harus mampu berkomunikasi secara efektif, berbagi peran dan tanggung jawab, serta menghargai kontribusi setiap anggota kelompok. Mereka juga didorong untuk melakukan eksplorasi dan eksperimen menggunakan berbagai alat serta teknologi STEM untuk menguji hipotesis dan menemukan solusi yang optimal. Setelah menyelesaikan proyek, peserta didik melakukan refleksi terhadap proses yang telah mereka jalani untuk mengevaluasi efektivitas strategi yang digunakan dan mengidentifikasi perbaikan yang dapat dilakukan di masa depan.

Inovasi dan Teknologi dalam PBL untuk STEM

Implementasi *Problem-Based Learning* (PBL) dalam pendekatan STEM sangat erat kaitannya dengan perkembangan teknologi karena PBL-STEM mengharuskan peserta didik untuk terlibat secara aktif dalam pemecahan masalah berbasis dunia nyata, dan teknologi dapat menjadi alat yang mendukung proses tersebut dengan menyediakan akses ke informasi, alat simulasi, serta platform komunikasi yang memperkuat kerja sama tim.

Penggunaan teknologi dalam PBL-STEM memungkinkan peserta didik untuk melakukan penelitian lebih mendalam, mengakses sumber daya pembelajaran digital, serta menggunakan perangkat lunak untuk analisis data dan pemodelan ilmiah. Selain itu, teknologi seperti simulasi berbasis komputer, kecerdasan buatan (AI), laboratorium virtual, serta perangkat lunak desain teknik dapat membantu peserta didik dalam memahami konsep yang kompleks dan menerapkan solusi inovatif terhadap permasalahan yang mereka hadapi.

Bagi pendidik, teknologi mempermudah perancangan pembelajaran yang lebih fleksibel dan adaptif terhadap kebutuhan peserta didik. Pada umumnya tiap-tiap institusi Pendidikan sudah memiliki platform e-learning yang dikenal dengan *Learning Management Systems* (LMS). Melalui LMS, pendidik dapat mengelola proses pembelajaran secara lebih efisien dan memberikan umpan balik secara real-time. Teknologi juga mendukung asesmen berbasis digital yang memungkinkan pendidik untuk mengevaluasi pemahaman dan keterampilan peserta didik secara lebih objektif dan akurat.

Hal lain yang dapat memudahkan generasi masa kini dalam PBL-STEM, yaitu keberadaan *Artificial Intelligence* (AI) dan *Internet of Things* (IoT). Integrasi keduanya memungkinkan pengalaman belajar yang lebih interaktif, berbasis

data, dan kontekstual. AI berperan dalam mendukung personalisasi pembelajaran melalui "*chatting bot*" yang dapat memberikan bimbingan sesuai dengan tingkat pemahaman peserta didik. Selain itu, AI juga membantu dalam analisis dan prediksi data, seperti dalam proyek STEM yang memerlukan pemodelan cuaca, optimasi energi, atau analisis struktur teknik berbasis pembelajaran mesin. Simulasi berbasis AI memungkinkan peserta didik memvisualisasikan konsep ilmiah yang kompleks secara lebih mendalam, sementara sistem asesmen otomatis memberikan umpan balik yang lebih cepat dan sesuai dengan kebutuhan individu.

Sementara itu, IoT mendukung PBL-STEM dengan memungkinkan peserta didik mengumpulkan, berbagi, dan menganalisis data secara *real-time* menggunakan perangkat yang saling terhubung. Sebagai contong dalam eksperimen rekayasa berbasis sensor, peserta didik dapat memanfaatkan IoT untuk mengukur suhu, kelembaban, tekanan udara, atau variabel lain yang relevan teknik mereka.

Selanjutnya, Pemanfaatan *virtual lab* dan simulasi dalam pembelajaran PBL-STEM memberikan peluang bagi peserta didik untuk mengeksplorasi konsep sains, teknologi, teknik, dan matematika secara lebih mendalam dan interaktif. Virtual lab memungkinkan peserta didik melakukan eksperimen tanpa keterbatasan ruang, waktu, atau

bahan fisik, sehingga meningkatkan aksesibilitas dan keamanan dalam pembelajaran. Dengan adanya simulasi berbasis komputer, peserta didik dapat mengamati fenomena kompleks yang sulit direplikasi di laboratorium nyata, seperti simulasi reaksi kimia, dinamika fluida, atau pergerakan benda dalam lingkungan tanpa gravitasi. Selain itu, penggunaan virtual lab dalam PBL memungkinkan peserta didik untuk mengembangkan keterampilan berpikir kritis dan pemecahan masalah melalui eksplorasi mandiri, hipotesis, serta analisis data yang didukung oleh kecerdasan buatan dan Internet of Things (IoT). Dengan teknologi ini, pendidik dapat menciptakan lingkungan belajar yang lebih fleksibel, adaptif, dan berbasis tantangan nyata, yang pada akhirnya meningkatkan efektivitas pembelajaran STEM dalam mempersiapkan peserta didik menghadapi dunia industri 4.0.

Evaluasi dan Asesmen dalam PBL-STEM

Kegiatan evaluasi dilakukan untuk mengetahui hasil atau prestasi yang telah dicapai baik oleh pendidik maupun oleh peserta didik. Evaluasi secara umum dapat diartikan sebagai proses sistematis untuk menentukan nilai tujuan, kegiatan, keputusan, unjuk kerja, proses, orang, objek, dan yang lain berdasarkan kriteria tertentu melalui penilaian. Evaluasi hasil belajar menekankan pada diperolehnya informasi tentang seberapa

besar perolehan peserta didik dalam mencapai tujuan pengajaran yang ditetapkan.

Evaluasi dan Asesmen dalam PBL-STEM ini sangat diperlukan karena dapat memberikan umpan balik yang konstruktif kepada peserta didik, membantu guru dalam memantau kemajuan peserta didik dan menyesuaikan pembelajaran. meningkatkan motivasi dan keterlibatan peserta didik, dan mempersiapkan peserta didik untuk menghadapi tantangan di dunia nyata.

Secara umum terdapat dua jalur asesmen yang dapat dilakukan, yaitu asesmen autentik dan asesmen formatif dan sumatif. Asesmen Autentik harus relevan dengan konteks dunia nyata dan mencerminkan tantangan yang dihadapi para profesional STEM. Ini dapat melibatkan penilaian kinerja, portofolio, atau pameran proyek. Asesmen Formatif dilakukan selama proses pembelajaran untuk memberikan umpan balik kepada siswa dan guru, dan asesmen sumatif dilakukan di akhir proyek untuk mengukur pencapaian siswa secara keseluruhan (Herman et al., 2023; Kartini et al., 2023).

Metode Asesmen yang Dapat Digunakan

a. Rubrik, menilai kualitas produk dan proses proyek.
b. Portfolio, mengumpulkan dan mengevaluasi karya siswa selama proyek.

c. Observasi, mengamati dan menilai keterampilan dan partisipasi siswa dalam kelompok.
d. Presentasi, menilai kemampuan siswa dalam mengkomunikasikan hasil proyek.
e. Penilaian diri dan penilaian teman sejawat, mendorong refleksi dan kolaborasi.
f. Tes dan Kuis, mengukur pemahaman konsep STEM.

Dengan menerapkan evaluasi dan asesmen yang efektif, PBL-STEM dapat menjadi pengalaman pembelajaran yang bermakna dan berdampak bagi siswa.

3. Rangkuman

Metode pembelajaran di Indonesia mengalami pergeseran dari pendekatan tradisional menuju model yang lebih aktif, kolaboratif, dan berbasis teknologi. Transformasi ini bertujuan untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis, kreativitas, serta kesiapan peserta didik dalam menghadapi tantangan abad ke-21.

Pendekatan *Problem-Based Learning* (PBL) dan pendidikan *Science, Technology, Engineering, and Mathematics* (STEM) memiliki keterkaitan erat dalam meningkatkan pemahaman konsep, keterampilan berpikir kritis, serta kemampuan

kolaborasi peserta didik. Integrasi PBL dalam pembelajaran STEM menciptakan pengalaman belajar yang lebih kontekstual, menantang, dan relevan dengan permasalahan dunia nyata. Dengan penerapan yang efektif, PBL-STEM dapat menghasilkan lulusan yang lebih siap menghadapi tantangan global, dengan kompetensi yang lebih kuat dalam inovasi dan pemecahan masalah.

Desain dan implementasi PBL dalam pendidikan STEM menciptakan lingkungan belajar yang dinamis dan interaktif. Dengan struktur pembelajaran yang jelas serta integrasi lintas disiplin ilmu, peserta didik dapat mengembangkan keterampilan berpikir kritis, kreativitas, dan kerja sama tim yang esensial bagi dunia industri dan teknologi. Penerapan PBL dalam STEM umumnya mencakup enam tahap utama, yaitu: orientasi terhadap masalah, penyelidikan dan eksplorasi, analisis serta perumusan solusi, pengembangan dan pengujian, refleksi serta evaluasi, serta presentasi hasil kerja.

Lebih lanjut, kemajuan teknologi seperti *Artificial Intelligence* (AI) dan *Internet of Things* (IoT) semakin memperkaya implementasi PBL-STEM. AI mendukung proses analisis, pemodelan, dan asesmen adaptif, sementara IoT memungkinkan akses terhadap data *real-time* serta pelaksanaan

eksperimen berbasis teknologi. PBL-STEM menjadi lebih relevan dalam menghadapi era Industri 4.0 dengan mengintegrasikan kedua teknologi ini, membekali peserta didik dengan keterampilan teknologi mutakhir, dan mempersiapkan mereka menghadapi dunia kerja yang semakin berbasis digital dan otomatisasi.

Asesmen PBL-STEM memerlukan pendekatan yang komprehensif untuk mengukur efektivitas pembelajaran. Dua jalur utama yang dapat diterapkan adalah asesmen autentik, yang menilai kemampuan peserta didik dalam menyelesaikan masalah nyata, serta asesmen formatif dan sumatif, yang digunakan untuk mengevaluasi perkembangan dan hasil belajar secara keseluruhan.

Dengan pendekatan yang sistematis dan berbasis teknologi, PBL-STEM berpotensi meningkatkan kualitas pendidikan di Indonesia, menjadikannya lebih relevan dengan kebutuhan industri dan tantangan global di masa depan.

BAB VII
PERAN GURU DALAM MENGAJARKAN STEM

1. Keterampilan yang Dibutuhkan oleh Guru untuk Mengajarkan STEM

Mengajarkan STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics) memerlukan guru yang memiliki kombinasi keterampilan khusus yang tidak hanya mencakup pengetahuan konten, tetapi juga metodologi pembelajaran, teknologi, serta kemampuan berpikir kritis dan kreatif. Guru STEM harus dapat mengintegrasikan berbagai disiplin ilmu yang saling terkait dan merancang pengalaman pembelajaran yang menantang dan relevan bagi siswa. Di dalam kelas STEM, guru tidak hanya bertugas menyampaikan informasi, tetapi juga membimbing siswa untuk berpikir secara sistematis, menyelesaikan masalah kompleks, dan menghubungkan teori dengan aplikasi praktis dalam kehidupan nyata (Mansour et al., 2024; Tekin, 2023; Truskavetska, 2024).

Salah satu keterampilan dasar yang diperlukan oleh guru STEM adalah pemahaman mendalam mengenai pengetahuan lintas disiplin. Guru harus memiliki pemahaman yang kuat tentang hubungan antar bidang sains, teknologi, teknik, dan matematika

dan bagaimana konsep-konsep ini saling terhubung dalam konteks pembelajaran. Misalnya, pemahaman tentang bagaimana konsep matematika diterapkan dalam teknik atau bagaimana teknologi mendukung eksperimen sains sangat penting dalam menciptakan pengalaman pembelajaran yang holistik. Guru yang mampu mengintegrasikan pengetahuan dari berbagai disiplin ilmu ini dapat membuat pembelajaran STEM menjadi lebih bermakna dan aplikatif bagi siswa (Mansour et al., 2024; Smith et al., 2022; Tekin, 2023).

Keterampilan pedagogis yang diperlukan juga sangat penting dalam pengajaran STEM. Guru harus memiliki kemampuan untuk menerapkan metode pembelajaran berbasis proyek (PBL), pembelajaran berbasis masalah, serta pendekatan interdisipliner yang mendorong siswa untuk berpikir kritis dan memecahkan masalah secara kreatif. Melalui pendekatan-pendekatan ini, siswa tidak hanya memperoleh pengetahuan teoritis, tetapi juga mengembangkan keterampilan praktis yang relevan dengan tantangan dunia nyata. Dengan menggunakan PBL dan pendekatan berbasis masalah (Cohen et al., 2021), guru dapat membantu siswa menghubungkan konsep-konsep yang dipelajari dengan aplikasi di dunia nyata, yang meningkatkan motivasi dan pemahaman mereka terhadap materi pembelajaran (Mansour et al., 2024; Smith et al., 2022).

Penguasaan teknologi juga menjadi keterampilan esensial bagi guru STEM. Seiring dengan

perkembangan teknologi yang pesat, guru perlu memiliki kemampuan untuk menggunakan dan mengintegrasikan alat-alat teknologi modern dalam proses pembelajaran. Teknologi seperti perangkat digital, pemodelan 3D, dan alat-alat STEM lainnya memberikan kesempatan bagi siswa untuk mengeksplorasi konsep-konsep secara visual dan interaktif. Penggunaan teknologi ini tidak hanya memperkaya pengalaman belajar siswa, tetapi juga mempersiapkan mereka dengan keterampilan digital yang sangat dibutuhkan di dunia profesional. Guru yang mahir dalam mengintegrasikan teknologi dalam pembelajaran dapat membuat pembelajaran STEM menjadi lebih menarik dan relevan dengan perkembangan zaman (Mansour et al., 2024; Tekin, 2023; Truskavetska, 2024).

Dalam merancang kurikulum STEM, guru perlu terampil dalam menyusun aktivitas pembelajaran yang menggabungkan berbagai disiplin ilmu secara efektif. Hal ini mencakup kemampuan untuk menganalisis dan memanfaatkan berbagai sumber belajar STEM yang dapat memperkaya pengalaman siswa. Guru juga perlu mempertimbangkan konteks lokal dan global dalam menyusun kurikulum agar pembelajaran yang disampaikan dapat relevan dengan kebutuhan siswa dan tantangan dunia yang lebih luas. Desain kurikulum yang baik akan membantu siswa mengembangkan kemampuan untuk berpikir secara sistematis, menganalisis informasi (Stevenson et al., 2024), dan membuat keputusan berdasarkan pengetahuan yang mereka peroleh (Turner et al., 2021).

Pengalaman autentik merupakan bagian penting dalam pengembangan keterampilan guru STEM. Guru yang terlibat dalam pengalaman belajar nyata, seperti proyek berbasis komunitas atau eksperimen langsung, dapat lebih memahami tantangan yang dihadapi siswa dan lebih siap untuk memberikan bimbingan yang efektif. Pengalaman-pengalaman ini juga memperkaya wawasan guru mengenai bagaimana konsep-konsep STEM dapat diterapkan dalam situasi dunia nyata. Keterlibatan dalam pengalaman autentik memungkinkan guru untuk lebih kreatif dalam mendesain kegiatan pembelajaran yang tidak hanya menantang, tetapi juga relevan dan aplikatif bagi siswa (Stevenson et al., 2024; Turner et al., 2021).

Pengembangan profesional guru juga menjadi faktor penting dalam meningkatkan kualitas pengajaran STEM. Guru perlu berpartisipasi dalam pelatihan, seminar, atau program pengembangan profesional yang dirancang untuk memperbarui pengetahuan dan keterampilan mereka dalam pengajaran STEM. Program pengembangan profesional ini memberikan guru kesempatan untuk mempelajari pendekatan terbaru dalam pendidikan STEM, serta memperkenalkan mereka pada alat dan teknologi baru yang dapat digunakan dalam kelas. Dengan pelatihan yang tepat, guru dapat terus meningkatkan kemampuan mereka untuk mengajarkan STEM secara efektif dan inovatif (Christian et al., 2021; J.-W. Zhang et al., 2022).

Dukungan dari lingkungan sekolah juga berperan besar dalam kesuksesan pengajaran STEM. Budaya sekolah yang mendukung, di mana guru diberi kebebasan untuk berinovasi dalam pengajaran dan didorong untuk bekerja sama dengan rekan sejawat, sangat penting untuk menciptakan pembelajaran STEM yang efektif. Kolaborasi antar guru memungkinkan mereka untuk berbagi ide dan strategi pengajaran yang berhasil, serta saling mendukung dalam mengimplementasikan pendekatan-pendekatan baru dalam pengajaran (Hamad et al., 2022). Selain itu, adanya panduan yang jelas dan dukungan manajerial dari pihak sekolah dapat membantu guru untuk menghadapi tantangan yang muncul selama implementasi pembelajaran STEM (Mansour et al., 2024).

Keterampilan tambahan seperti kreativitas, fleksibilitas, dan kemampuan beradaptasi sangat penting bagi guru STEM. Guru harus mampu mengadaptasi metode pengajaran mereka sesuai dengan kebutuhan dan gaya belajar siswa yang berbeda-beda. Kreativitas dalam menyusun kegiatan pembelajaran yang menarik dan menantang dapat memotivasi siswa untuk lebih aktif dalam belajar. Selain itu, kemampuan untuk berkomunikasi secara efektif dan bekerja sama dengan siswa dan rekan sejawat adalah keterampilan yang tidak kalah penting. Kolaborasi yang baik antar guru dan siswa dapat menciptakan lingkungan belajar yang lebih kondusif dan menyenangkan, serta meningkatkan kualitas pembelajaran STEM secara keseluruhan (Turner et al., 2021; Truskavetska, 2024).

2. Pengembangan Profesional Guru untuk Pendidikan STEM

Pengembangan profesional guru memainkan peran yang sangat penting dalam meningkatkan kualitas pendidikan STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics). Guru harus terus-menerus mengembangkan keterampilan dan pengetahuan mereka agar dapat mengintegrasikan konsep-konsep STEM dengan efektif dalam pembelajaran. Program pelatihan dan pengembangan profesional yang baik akan membantu guru untuk beradaptasi dengan tuntutan abad ke-21 yang semakin kompleks. Guru yang terlatih dengan baik dapat memotivasi siswa, mendesain kurikulum yang menarik, dan memfasilitasi proses pembelajaran yang inovatif, yang pada gilirannya meningkatkan kualitas pendidikan STEM di seluruh dunia (O'Dwyer et al., 2023; Weinberg et al., 2021).

Model pengembangan profesional yang berjenjang memberikan struktur yang jelas bagi guru untuk memperoleh keterampilan dan pengetahuan baru secara bertahap. Dalam model ini, guru dimulai dengan pelatihan dasar dan kemudian secara bertahap mengambil lebih banyak tanggung jawab dalam merencanakan dan melaksanakan pembelajaran STEM. Hal ini sangat efektif dalam

meningkatkan efikasi dan kepercayaan diri guru. Dengan adanya komunitas praktik jangka panjang yang mendukung, guru dapat saling berbagi pengalaman, ide, dan strategi untuk pengajaran yang lebih baik. Kolaborasi ini sangat penting untuk pertumbuhan identitas profesional guru dalam bidang STEM, yang tidak hanya meningkatkan keterampilan individu, tetapi juga memperkuat jaringan pendidikan yang lebih luas (Weinberg et al., 2021).

Pengembangan berbasis online juga memainkan peran yang semakin besar dalam pendidikan profesional untuk guru. Program pengembangan profesional daring (OTPDP) memungkinkan guru untuk mengakses pelatihan kapan saja dan di mana saja, yang sangat membantu, terutama bagi mereka yang bekerja di daerah terpencil atau memiliki jadwal yang padat. Pelatihan online ini mencakup topik-topik seperti pedagogi STEM, pemahaman konten STEM, dan keterampilan teknologi, yang semuanya sangat diperlukan untuk keberhasilan pengajaran yang efektif. Ketersediaan internet yang stabil dan kemampuan teknologi di kalangan guru menjadi faktor kunci yang mempengaruhi keberhasilan program ini. Akses yang mudah dan fleksibel meningkatkan motivasi guru untuk terus belajar dan berkembang dalam profesinya (Yıldırım et al., 2022).

Pendekatan konstruktivis dalam pengembangan profesional juga sangat efektif. Pendekatan ini menekankan pembelajaran melalui pengalaman langsung dan refleksi terhadap proses yang dilalui. Workshop, pelatihan langsung, dan pembelajaran daring berdasarkan teori konstruktivis memungkinkan guru untuk secara aktif terlibat dalam pengembangan keterampilan mereka. Dengan memberikan kesempatan bagi guru untuk mengaplikasikan teori dalam praktek nyata, mereka dapat memahami bagaimana menerapkan konsep-konsep STEM dalam konteks yang lebih luas dan relevan bagi siswa (Surahman & Wang, 2023).

Program pengembangan profesional juga memberikan dampak yang signifikan terhadap kompetensi guru. Guru yang berpartisipasi dalam pelatihan STEM cenderung menunjukkan peningkatan yang signifikan dalam pengetahuan mereka tentang STEM, kemampuan berpikir komputasional, dan keterampilan kewirausahaan. Peningkatan dalam kompetensi ini memungkinkan guru untuk merancang pembelajaran yang lebih kreatif dan inovatif. Mereka juga menjadi lebih percaya diri dalam mengajar dan mengambil risiko yang lebih besar dalam eksperimen pembelajaran, yang pada gilirannya mendorong siswa untuk lebih

terbuka dan kreatif dalam menyelesaikan masalah (Hasim et al., 2022; Şahin et al., 2023).

Pelatihan yang berkualitas juga mengarah pada pengembangan kepemimpinan di kalangan guru. Guru yang telah mengikuti pelatihan pengembangan profesional STEM lebih mampu memimpin kelas dan bahkan menjadi pemimpin di komunitas pembelajaran profesional mereka. Kepemimpinan ini tidak hanya melibatkan pengajaran yang efektif tetapi juga membimbing rekan sejawat dalam merancang dan menerapkan metode pengajaran STEM yang lebih baik (Martinovic & Milner-Bolotin, 2024). Dengan meningkatnya kemampuan kepemimpinan ini, guru dapat berkontribusi lebih banyak terhadap perubahan positif dalam sistem pendidikan STEM (O'Dwyer et al., 2023).

Dukungan dari lingkungan sekolah juga sangat penting untuk keberhasilan pengembangan profesional guru. Kepala sekolah dan administrator memainkan peran kunci dalam menyediakan dukungan yang dibutuhkan oleh guru untuk mengimplementasikan pembelajaran STEM yang efektif. Budaya sekolah yang mendukung inovasi dalam pengajaran dan mendorong kolaborasi antar guru membantu menciptakan lingkungan yang kondusif bagi pengembangan profesional. Selain itu,

kebijakan sekolah yang memfasilitasi pembelajaran dan pengembangan keterampilan secara berkelanjutan akan sangat mendukung guru dalam melaksanakan pembelajaran yang lebih baik (Surahman & Wang, 2023).

Rekomendasi untuk pengembangan profesional STEM adalah mengintegrasikan ilmu, desain rekayasa, berpikir komputasional, dan kewirausahaan dalam program pelatihan. Pendekatan yang menyatukan berbagai disiplin ilmu ini akan membantu guru untuk merancang pembelajaran yang lebih terintegrasi dan relevan dengan kebutuhan dunia kerja masa depan. Pengembangan kepemimpinan guru dan penguatan komunitas pembelajaran profesional juga sangat penting untuk mendukung perubahan berkelanjutan dalam pengajaran STEM. Dengan memperkuat dukungan ini, sekolah dan lembaga pendidikan dapat menciptakan lingkungan yang mendorong inovasi dan peningkatan berkelanjutan dalam kualitas pendidikan STEM (Weinberg et al., 2021; Martinovic & Milner-Bolotin, 2024).

BAB VIII
EVALUASI PEMBELAJARAN STEM

1. Instrumen Evaluasi Aspek Pengetahuan

Evaluasi pemahaman konsep teoritis STEM tidak hanya bertujuan untuk menguji sejauh mana peserta didik mengingat informasi, tetapi juga bagaimana mereka memahami hubungan antarkonsep dan mengaplikasikannya dalam kehidupan nyata (Anas & Iswantir, 2024). Misalnya, dalam fisika, peserta didik tidak hanya perlu mengetahui hukum Newton, tetapi juga harus mampu menggunakannya dalam analisis gerak benda. Begitu pula dalam matematika, pemahaman konsep aljabar harus dikaitkan dengan pemodelan masalah dunia nyata. Oleh karena itu, evaluasi harus mencakup berbagai bentuk asesmen, mulai dari soal pilihan ganda berbasis pemahaman, soal esai analitis, hingga studi kasus berbasis STEM yang meminta peserta didik untuk mengidentifikasi konsep yang relevan dalam menyelesaikan permasalahan nyata.

Keberhasilan dalam evaluasi aspek pengetahuan harus diukur berdasarkan sejauh mana peserta didik mampu mencapai keterampilan berpikir yang diinginkan dalam Taksonomi Bloom

(Ruwaida, 2019). Model ini terdiri dari enam tingkatan utama dalam ranah kognitif, yaitu:

C1 – Mengingat (Remembering)

Pada tahap ini, peserta didik dapat mengingat kembali fakta, istilah, dan konsep dasar. Contohnya, menghafal rumus atau menyebutkan definisi hukum fisika.

C2 – Memahami (Understanding)

Pada tahap ini, peserta didik dapat menjelaskan konsep dengan kata-kata sendiri dan membuat interpretasi sederhana. Misalnya, menjelaskan bagaimana hukum Newton bekerja dalam kehidupan sehari-hari.

C3 – Menerapkan (Applying)

Pada tahap ini, peserta didik mampu menggunakan konsep dalam situasi baru, seperti menyelesaikan soal hitungan atau menerapkan prinsip rekayasa dalam desain sederhana.

C4 – Menganalisis (Analyzing)

Pada tahap ini, peserta didik dapat memecah suatu konsep menjadi bagian-bagian dan menjelaskan hubungan antar elemen. Contohnya, menganalisis faktor yang memengaruhi efisiensi turbin angin.

C5 – Mengevaluasi (Evaluating)

Pada tahap ini, peserta didik dapat menilai validitas suatu konsep atau teori serta memberikan argumen berdasarkan bukti ilmiah.

C6 – Menciptakan (Creating)

Pada tahap ini, peserta didik dapat mengembangkan solusi inovatif dengan menerapkan berbagai konsep STEM, misalnya merancang prototipe kendaraan hemat energi.

Dalam tingkat dasar, peserta didik diharapkan dapat mengingat dan memahami konsep-konsep STEM, sedangkan dalam tingkat yang lebih tinggi, peserta didik harus mampu menerapkan, menganalisis, mengevaluasi, dan menciptakan solusi dari berbagai tantangan. Sebagai contoh, dalam evaluasi matematika, peserta didik tidak hanya diminta menyelesaikan persamaan, tetapi juga menerapkan persamaan tersebut dalam skenario rekayasa untuk menghitung beban struktural suatu bangunan.

Untuk menilai keberhasilan evaluasi, pendidik harus memastikan bahwa soal dan instrumen evaluasi mampu mengukur berbagai tingkatan dalam hierarki aspek pengetahuan atau kognitif. Evaluasi yang hanya berfokus pada mengingat dan memahami (C1 dan C2) tidak cukup untuk mengukur keterampilan berpikir kritis dan pemecahan masalah yang menjadi esensi utama pembelajaran STEM (Permatasari, 2021). Oleh karena itu, asesmen yang baik harus mencakup spektrum keterampilan mulai dari tingkat dasar hingga tingkat tinggi, memastikan bahwa peserta didik tidak hanya memahami teori tetapi juga mampu menggunakannya dalam praktik nyata.

Sebagai langkah praktis, instrumen evaluasi dapat dirancang menggunakan rubrik yang mengukur kinerja peserta didik pada berbagai level kognitif. Misalnya, dalam ujian proyek berbasis STEM, rubrik dapat menilai bagaimana peserta didik mengidentifikasi masalah, menganalisis solusi, dan mengembangkan model yang dapat diterapkan dalam dunia nyata.

Taksonomi Bloom dalam ranah kognitif menjadi acuan utama dalam menentukan bagaimana evaluasi aspek pengetahuan dalam STEM harus dilakukan. Dengan mempertimbangkan hierarki keterampilan kognitif, evaluasi dapat dirancang secara komprehensif sehingga peserta didik tidak hanya memahami teori tetapi juga mampu menerapkannya dalam berbagai situasi. Selain itu, penerapan evaluasi berbasis taksonomi ini memungkinkan pendidik untuk menilai sejauh mana pembelajaran STEM telah berhasil membangun keterampilan analitis, reflektif, dan inovatif pada peserta didik.

Jenis Instrumen Evaluasi Aspek Pengetahuan

Evaluasi aspek pengetahuan dalam pembelajaran STEM memerlukan berbagai jenis instrumen yang dapat mengukur pemahaman, penerapan, dan analisis konsep secara akurat. Instrumen evaluasi yang digunakan harus mampu mengakomodasi berbagai tingkat kognitif dalam Taksonomi Bloom, mulai dari mengingat hingga

menciptakan solusi inovatif. Oleh karena itu, evaluasi tidak hanya terbatas pada tes tertulis, tetapi juga melibatkan berbagai pendekatan yang memungkinkan peserta didik menunjukkan pemahaman mereka dalam konteks yang lebih luas. Beberapa instrumen evaluasi yang dapat digunakan dalam aspek kognitif, antara lain:

a. Tes Objektif

Salah satu bentuk instrumen evaluasi yang umum digunakan adalah tes objektif, seperti pilihan ganda, benar/salah, menjodohkan, dan isian singkat. Instrumen ini sering digunakan untuk mengukur pemahaman konsep dasar dan keterampilan berpikir tingkat rendah dengan efisiensi tinggi. Soal pilihan ganda, misalnya, dapat menguji pemahaman terhadap suatu teori atau hukum dalam sains dengan memberikan beberapa opsi jawaban yang mengarah pada pemahaman konseptual. Meskipun memiliki keunggulan dalam kecepatan pemeriksaan dan analisis hasil, tes objektif sering kali tidak mampu mengukur keterampilan berpikir tingkat tinggi, seperti analisis dan sintesis konsep. Oleh karena itu, penggunaannya harus dikombinasikan dengan instrumen lain agar asesmen lebih komprehensif.

b. Tes Subjektif

Selain tes objektif, tes subjektif seperti esai dan analisis kasus memainkan peran penting dalam menilai kemampuan peserta didik dalam menyusun

argumen, menjelaskan konsep secara mendalam, dan menghubungkan berbagai teori dalam STEM. Tes esai memungkinkan peserta didik untuk mengekspresikan pemahamannya dengan lebih luas dan mendalam, sehingga cocok untuk mengukur keterampilan berpikir kritis dan pemecahan masalah. Dalam konteks STEM, soal esai dapat meminta peserta didik untuk menjelaskan prinsip kerja suatu teknologi atau menganalisis dampak perubahan iklim berdasarkan data ilmiah. Namun, tantangan utama dalam penggunaan tes subjektif adalah proses penilaian yang lebih kompleks dan membutuhkan rubrik yang jelas agar hasil evaluasi tetap objektif dan adil.

c. Tes Lisan

Instrumen evaluasi lainnya yang juga sering digunakan adalah tes lisan, seperti presentasi dan tanya jawab. Tes lisan menilai sejauh mana peserta didik dapat mengartikulasikan pemahaman mereka tentang suatu konsep dengan jelas dan logis. Dalam pembelajaran STEM, presentasi dapat digunakan untuk mengukur keterampilan komunikasi ilmiah, di mana peserta didik harus menjelaskan hasil eksperimen atau proyek berbasis STEM kepada audiens. Selain itu, metode tanya jawab juga efektif dalam menilai pemahaman konsep secara langsung dan mendalam, memungkinkan pendidik untuk mengidentifikasi kesalahpahaman atau konsep yang belum dipahami dengan baik oleh peserta didik.

d. Penugasan

Selain tes tertulis dan lisan, penugasan menjadi instrumen evaluasi yang fleksibel dalam mengukur pemahaman aspek pengetahuan. Penugasan dapat berupa penyusunan laporan eksperimen, perancangan model berbasis teknik, atau analisis data dalam pemecahan masalah matematika. Bentuk evaluasi ini tidak hanya menilai pemahaman teoritis, tetapi juga kemampuan peserta didik dalam menerapkan konsep STEM dalam skenario dunia nyata. Agar penugasan dapat dievaluasi secara objektif, rubrik penilaian harus disusun dengan mempertimbangkan aspek kognitif dan aplikatif yang diukur.

e. Portofolio

Portofolio juga menjadi salah satu instrumen evaluasi yang penting dalam pembelajaran STEM, terutama dalam menilai perkembangan pemahaman peserta didik secara berkelanjutan. Portofolio dapat berupa kumpulan tugas, proyek, jurnal refleksi, dan dokumentasi eksperimen yang menunjukkan bagaimana peserta didik mengembangkan pemahamannya dari waktu ke waktu. Dengan pendekatan ini, pendidik dapat mengevaluasi tidak hanya hasil akhir, tetapi juga proses berpikir dan kreativitas peserta didik dalam menyelesaikan permasalahan STEM.

Observasi

Selain itu, observasi merupakan metode evaluasi yang digunakan untuk menilai keterampilan berpikir dan kerja ilmiah peserta didik selama proses pembelajaran. Observasi dapat dilakukan saat peserta didik melakukan eksperimen, berkolaborasi dalam proyek kelompok, atau menyelesaikan tugas berbasis masalah. Pendidik dapat mencatat bagaimana peserta didik mengidentifikasi masalah, menguji hipotesis, dan menarik kesimpulan berdasarkan data yang dikumpulkan. Agar observasi lebih sistematis, instrumen seperti daftar cek dan rubrik penilaian dapat digunakan untuk memastikan bahwa semua aspek evaluasi tercakup secara objektif.

1) Asesmen Berbasis Konsep dan Pemecahan Masalah

Pendekatan evaluasi lainnya yang semakin berkembang dalam pembelajaran STEM adalah asesmen berbasis konsep dan pemecahan masalah. Evaluasi ini menitikberatkan pada kemampuan peserta didik dalam menerapkan prinsip STEM untuk menyelesaikan tantangan nyata. Misalnya, peserta didik dapat diberikan skenario di mana mereka harus merancang solusi untuk meningkatkan efisiensi energi dalam suatu sistem atau mengembangkan algoritma dalam pemrograman untuk menyelesaikan suatu permasalahan. Pendekatan ini memastikan bahwa

peserta didik tidak hanya memahami teori, tetapi juga dapat menggunakannya dalam situasi nyata, yang menjadi esensi utama pembelajaran STEM.

2) Strategi Pengembangan Instrumen Evaluasi Pengetahuan

` Evaluasi dalam pembelajaran STEM harus dirancang secara sistematis agar dapat mengukur berbagai tingkat kognitif secara akurat, mulai dari pemahaman dasar hingga keterampilan berpikir kritis dan pemecahan masalah. Untuk mencapai tujuan tersebut, diperlukan strategi pengembangan instrumen evaluasi yang tidak hanya valid dan reliabel, tetapi juga mampu mengakomodasi tantangan multidisipliner dalam STEM. Tiga strategi utama dalam pengembangan instrumen evaluasi aspek pengetahuan adalah penyusunan soal yang mengukur keterampilan berpikir kritis, pemanfaatan asesmen berbasis teknologi, serta peningkatan validitas dan reliabilitas instrumen evaluasi (Auliya, 2021; Rahmawati dkk., 2022).

3) Menyusun Soal yang Mengukur Keterampilan Berpikir Kritis

Dalam pembelajaran STEM, keterampilan berpikir kritis merupakan aspek fundamental yang harus dikembangkan, mengingat peserta didik tidak hanya dituntut untuk memahami teori tetapi juga menghubungkan konsep dan menggunakannya untuk menyelesaikan permasalahan dunia nyata.

Dengan kata lain, pengembangan instrumen evaluasi harus berorientasi pada pengukuran keterampilan berpikir kritis dengan menggunakan pendekatan yang lebih kompleks daripada sekadar menguji hafalan atau pemahaman sederhana (R. Hidayat & Rohmawati, 2025). Salah satu strategi yang dapat digunakan adalah merancang soal berbasis skenario atau studi kasus, di mana peserta didik harus menganalisis masalah, mengevaluasi solusi, dan mengajukan alternatif solusi yang lebih baik. Misalnya, dalam evaluasi konsep fisika, peserta didik tidak hanya diminta untuk menyebutkan hukum Newton tetapi juga mengaplikasikannya dalam perancangan kendaraan hemat energi. Dalam matematika, peserta didik dapat diberikan data statistik dunia nyata dan diminta untuk menyusun model matematis guna memprediksi tren di masa depan.

Selain penyusunan soal sebagai strategi pengembangan instrumen evaluasi dalam aspek pengetahuan, pengembangan rubrik penilaian juga menjadi hal yang krusial dalam menilai keterampilan berpikir kritis (Manurung dkk., 2020). Rubrik penilaian harus mencakup kriteria yang jelas, seperti keakuratan pemahaman konsep, kedalaman analisis, dan kemampuan peserta didik dalam menghubungkan teori dengan aplikasi nyata. Dengan adanya rubrik yang komprehensif, evaluasi dapat dilakukan secara lebih objektif dan

memberikan gambaran yang lebih akurat tentang sejauh mana peserta didik telah menguasai konsep STEM secara kritis.

4) Menggunakan Asesmen Berbasis Teknologi (Quizzing Online dan Adaptive Learning)

Menurut Lembong dkk. (2023), perkembangan teknologi dalam pendidikan memungkinkan diterapkannya asesmen berbasis digital yang lebih adaptif dan fleksibel dibandingkan metode konvensional. Penggunaan teknologi dalam evaluasi aspek pengetahuan STEM tidak hanya meningkatkan efisiensi tetapi juga membuka peluang untuk mengembangkan instrumen asesmen yang lebih interaktif dan kontekstual. Salah satu contoh teknologi yang dapat dimanfaatkan adalah quizzing online, di mana peserta didik dapat mengerjakan tes secara daring dengan berbagai format soal, seperti pilihan ganda, isian singkat, hingga simulasi interaktif. Platform seperti Kahoot!, Quizizz, dan Google Forms memungkinkan pendidik untuk menyusun soal dengan variasi tingkat kesulitan yang berbeda serta memberikan umpan balik otomatis yang membantu peserta didik memahami konsep yang belum mereka kuasai. Selain itu, teknologi ini juga dapat meningkatkan motivasi belajar karena lebih interaktif dibandingkan tes tertulis konvensional.

Konsep adaptive learning menjadi inovasi penting dalam pengembangan instrumen evaluasi STEM (Wu dkk., 2023). Dalam asesmen berbasis adaptive learning, sistem akan menyesuaikan tingkat kesulitan soal berdasarkan respons peserta didik sebelumnya. Jika peserta didik menjawab benar, maka soal berikutnya akan lebih kompleks, sedangkan jika mereka mengalami kesulitan, sistem akan menyajikan pertanyaan dengan tingkat kesulitan yang lebih rendah atau memberikan petunjuk tambahan. Pendekatan ini memastikan bahwa setiap peserta didik mendapatkan evaluasi yang sesuai dengan kemampuan mereka, sehingga proses asesmen menjadi lebih personal dan efektif. Teknologi lain yang semakin berkembang dalam evaluasi STEM adalah penggunaan simulasi dan realitas virtual (VR) dalam asesmen. Dalam bidang teknik dan fisika, misalnya, peserta didik dapat menggunakan simulasi perangkat lunak untuk menguji konsep seperti dinamika fluida atau analisis tegangan dalam struktur bangunan. Dengan adanya asesmen berbasis simulasi, peserta didik tidak hanya diuji dari segi pemahaman teori tetapi juga dari segi keterampilan aplikatif dalam situasi nyata.

5) Validasi dan Reliabilitas Instrumen Evaluasi (Strategi untuk Meningkatkan Kualitas Evaluasi)

Agar instrumen evaluasi dalam STEM dapat menghasilkan data yang valid dan reliabel, perlu

dilakukan serangkaian proses validasi dan uji reliabilitas (Susanti, 2023). Validitas mengacu pada sejauh mana suatu instrumen benar-benar mengukur apa yang seharusnya diukur, sedangkan reliabilitas berkaitan dengan konsistensi hasil evaluasi jika dilakukan dalam kondisi yang berbeda. Proses validasi dapat dilakukan melalui beberapa pendekatan, salah satunya adalah validasi ahli (expert judgment). Dalam validasi ini, instrumen evaluasi yang telah disusun dikaji oleh para ahli di bidang STEM dan pendidikan untuk memastikan bahwa soal atau tugas yang diberikan sesuai dengan tujuan pembelajaran serta mampu mengukur aspek yang diinginkan. Para ahli akan mengevaluasi kesesuaian soal dengan kurikulum, tingkat kognitif yang diukur, serta kejelasan instruksi yang diberikan kepada peserta didik. Jika terdapat ketidaksesuaian, maka instrumen dapat direvisi sebelum diterapkan secara luas. Selain validasi ahli, uji empiris juga penting untuk mengukur reliabilitas suatu instrumen evaluasi. Salah satu metode yang umum digunakan adalah uji test-retest, di mana instrumen diberikan kepada sekelompok peserta didik dalam dua kesempatan yang berbeda dengan jeda waktu tertentu. Jika hasil yang diperoleh konsisten, maka instrumen tersebut memiliki reliabilitas yang tinggi. Metode lain adalah internal consistency reliability, seperti uji Alpha Cronbach, yang digunakan untuk mengukur sejauh mana butir-butir soal dalam suatu

tes saling berhubungan dan mengukur aspek yang sama.

Strategi lain untuk meningkatkan reliabilitas adalah dengan menggunakan berbagai jenis instrumen evaluasi secara bersamaan, sehingga kelemahan satu metode dapat dikompensasi oleh metode lain (Prakoso, 2024). Misalnya, tes objektif dapat dikombinasikan dengan asesmen berbasis proyek untuk mendapatkan gambaran yang lebih lengkap tentang pemahaman peserta didik. Dengan demikian, pendidik dapat memastikan bahwa evaluasi yang dilakukan tidak hanya mengandalkan satu bentuk tes, tetapi menggunakan pendekatan triangulasi yang lebih holistik.

Instrumen Evaluasi Aspek Keterampilan

Keterampilan dalam pembelajaran STEM mencakup berbagai kompetensi yang mendukung peserta didik dalam memahami, menganalisis, dan mengaplikasikan konsep-konsep sains, teknologi, teknik, dan matematika dalam kehidupan nyata. Evaluasi keterampilan dalam STEM tidak hanya berfokus pada pemahaman teoritis tetapi juga menilai bagaimana peserta didik mengembangkan dan menerapkan keterampilan praktis dalam memecahkan masalah serta berinovasi.

2. Indikator Keterampilan dalam STEM

1) Keterampilan Berpikir Kritis dan Pemecahan Masalah

Keterampilan berpikir kritis dalam STEM mengacu pada kemampuan peserta didik untuk menganalisis informasi, mengevaluasi bukti, mengidentifikasi pola, dan menghasilkan solusi berbasis data (Widiya & Radia, 2023). Evaluasi keterampilan ini dapat dilakukan melalui asesmen berbasis skenario, pemecahan masalah autentik, serta proyek berbasis masalah (Problem-Based Learning). Misalnya, dalam pelajaran fisika, peserta didik dapat diberikan kasus tentang efisiensi energi pada kendaraan listrik dan diminta untuk menganalisis serta memberikan solusi berdasarkan prinsip hukum fisika dan matematika.

2) Keterampilan Eksperimen dan Laboratorium (Scientific Inquiry)

Keterampilan eksperimen dan laboratorium sangat penting dalam STEM, terutama dalam sains dan teknik. Evaluasi keterampilan ini mencakup kemampuan peserta didik dalam merancang eksperimen, mengumpulkan dan menganalisis data, serta menarik kesimpulan berbasis bukti. Instrumen evaluasi yang digunakan dapat berupa jurnal laboratorium, laporan eksperimen, atau asesmen berbasis observasi terhadap proses kerja peserta didik di laboratorium. Misalnya, dalam

pembelajaran kimia, keterampilan eksperimen dapat dinilai berdasarkan ketepatan dalam melakukan titrasi atau kemampuan dalam menginterpretasikan hasil reaksi kimia.

3) Keterampilan Rekayasa dan Desain Teknologi

Dalam STEM, keterampilan rekayasa dan desain teknologi mengacu pada kemampuan peserta didik dalam merancang solusi inovatif terhadap permasalahan nyata dengan pendekatan Engineering Design Process (Aini dkk., 2024). Evaluasi keterampilan ini dapat dilakukan melalui proyek desain teknologi, pembuatan prototipe, serta asesmen berbasis kinerja yang melihat sejauh mana peserta didik mampu menerapkan konsep teknik dalam pengembangan produk. Misalnya, dalam pembelajaran teknik sipil, peserta didik dapat diberikan tugas untuk merancang model jembatan dengan bahan terbatas dan diuji ketahanannya berdasarkan analisis struktur.

4) Keterampilan Matematika dalam STEM

Matematika merupakan fondasi dalam STEM yang mendukung analisis data, pemodelan numerik, serta pemecahan masalah berbasis logika. Evaluasi keterampilan matematika dalam STEM tidak hanya mengukur kemampuan berhitung, tetapi juga menilai bagaimana peserta didik menggunakan model matematis dalam menyelesaikan masalah dunia nyata. Salah satu metode evaluasi yang efektif

adalah dengan menggunakan asesmen berbasis pemecahan masalah, di mana peserta didik harus menginterpretasikan data statistik atau membuat simulasi matematis untuk memahami pola dan tren suatu fenomena.

5) Keterampilan Kolaborasi dan Komunikasi dalam STEM

Kolaborasi dan komunikasi adalah keterampilan penting dalam STEM karena proyek dan eksperimen sering kali dilakukan dalam kelompok. Evaluasi keterampilan ini mencakup bagaimana peserta didik berkontribusi dalam tim, berbagi ide, serta mengomunikasikan hasil penelitian atau proyek mereka melalui presentasi atau laporan tertulis. Instrumen evaluasi yang digunakan dapat berupa rubrik penilaian berbasis kerja tim, refleksi individu, serta observasi terhadap interaksi dalam diskusi kelompok.

6) Metode dan Teknik Evaluasi Keterampilan

Evaluasi keterampilan dalam pembelajaran STEM (Science, Technology, Engineering, and Mathematics) menuntut pendekatan yang lebih luas dibandingkan dengan evaluasi aspek kognitif. Hal ini dikarenakan keterampilan dalam STEM bersifat praktis, berbasis kinerja, dan sering kali mencerminkan kemampuan peserta didik dalam menerapkan konsep dalam situasi nyata. Oleh karena itu, metode dan teknik evaluasi yang digunakan harus mampu mengukur keterampilan

ini secara holistik dan autentik. Beberapa metode yang umum digunakan dalam evaluasi keterampilan STEM meliputi:

Asesmen Kinerja (Performance Assessment), merupakan metode evaluasi yang menilai keterampilan peserta didik melalui tugas-tugas nyata yang mencerminkan aplikasi konsep STEM (Silvia, 2024). Dalam asesmen ini, peserta didik diminta untuk melakukan suatu tugas atau proyek yang mensimulasikan kondisi dunia nyata, seperti melakukan eksperimen, merancang prototipe, atau memprogram aplikasi. Rubrik penilaian sering digunakan dalam asesmen ini untuk memastikan bahwa evaluasi dilakukan secara objektif dan terstruktur.

Portofolio Digital dan Fisik, adalah kumpulan hasil karya peserta didik yang menunjukkan perkembangan keterampilan mereka dalam jangka waktu tertentu. Dalam pembelajaran STEM, portofolio dapat mencakup laporan eksperimen, desain produk, dokumentasi coding, hingga refleksi pribadi (Rahmadana & Agnesa, 2022). Penggunaan portofolio digital semakin umum dalam era teknologi, karena memungkinkan akses yang lebih luas dan dokumentasi yang lebih fleksibel.

Observasi Berbasis Rubrik, yang dilakukan secara langsung terhadap proses pembelajaran merupakan teknik evaluasi yang dapat memberikan informasi mendalam tentang keterampilan peserta

didik. Penggunaan rubrik observasi membantu pendidik dalam mengevaluasi aspek seperti keterampilan problem-solving, kerja sama tim, dan kreativitas dalam menyelesaikan tantangan STEM. Observasi ini dapat dilakukan dalam konteks laboratorium, kerja kelompok, atau simulasi proyek tertentu.

Tes Keterampilan Praktis, dirancang untuk mengukur kemampuan peserta didik dalam menerapkan konsep STEM dalam situasi nyata (Dianti dkk., 2023). Contohnya termasuk ujian laboratorium dalam sains, tantangan coding dalam teknologi, atau penyelesaian masalah berbasis rekayasa. Tes ini sering kali menggabungkan aspek kognitif dengan keterampilan motorik dan teknis.

Proyek Berbasis STEM (Project-Based Assessment), adalah metode yang sangat relevan dalam pembelajaran STEM, karena peserta didik diberi kesempatan untuk merancang, mengembangkan, dan mempresentasikan solusi terhadap masalah nyata (Suryaningsih & Nisa, 2021). Evaluasi proyek mencakup beberapa tahap, termasuk perencanaan, implementasi, dokumentasi, dan refleksi. Aspek kolaborasi dan komunikasi juga menjadi bagian penting dari penilaian proyek berbasis STEM.

Self-Assessment dan Peer-Assessment, merupakan bentuk evaluasi diri dan evaluasi sejawat yang dapat membantu peserta didik merefleksikan

keterampilan mereka sendiri serta memberikan umpan balik kepada teman sejawatnya. Dalam pembelajaran STEM, metode ini mendorong peserta didik untuk berpikir kritis terhadap pekerjaan mereka sendiri dan pekerjaan orang lain, serta meningkatkan keterampilan metakognitif.

Penerapan metode evaluasi keterampilan dalam pembelajaran STEM memerlukan kombinasi dari berbagai teknik di atas untuk mendapatkan gambaran yang menyeluruh mengenai kemampuan peserta didik. Evaluasi yang efektif harus bersifat formatif dan sumatif, serta memberikan umpan balik yang konstruktif agar peserta didik dapat terus mengembangkan keterampilannya dalam bidang STEM.

3. Instrumen Evaluasi Aspek Kemampuan Komunikasi dan Kolaborasi

Dalam pembelajaran berbasis Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM), keterampilan komunikasi dan kolaborasi memiliki peran yang sangat penting dalam proses pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi. Komunikasi yang efektif memungkinkan peserta didik untuk mengartikulasikan pemikiran mereka dengan jelas, baik secara lisan maupun tertulis, sedangkan kolaborasi memungkinkan mereka bekerja secara sinergis dalam menyelesaikan permasalahan kompleks. Evaluasi keterampilan ini

menjadi tantangan tersendiri karena tidak dapat diukur hanya dengan instrumen tes tertulis. Oleh karena itu, diperlukan instrumen yang dapat mengukur aspek komunikasi dan kolaborasi secara komprehensif, baik melalui pengamatan langsung, asesmen berbasis proyek, maupun melalui refleksi diri dan penilaian sejawat.

1) Indikator Kemampuan Komunikasi dan kolaborasi dalam STEM

Kemampuan komunikasi dan kolaborasi merupakan dua aspek kunci dalam pembelajaran STEM yang menentukan keberhasilan peserta didik dalam memahami, menerapkan, dan mengembangkan ilmu pengetahuan serta teknologi. Evaluasi terhadap kedua aspek ini harus didasarkan pada indikator yang terukur dan relevan dengan konteks pembelajaran berbasis proyek dan pemecahan masalah.

2) Indikator Kemampuan Komunikasi dalam STEM

Komunikasi dalam STEM mencakup keterampilan menyampaikan informasi, gagasan, dan hasil analisis secara efektif baik secara lisan maupun tertulis. Salah satu indikator utama dalam menilai keterampilan komunikasi adalah kejelasan dalam menyampaikan ide atau konsep ilmiah (Oktaviani & Nugroho, 2015; Sumianto dkk., 2023). Peserta didik harus mampu mengartikulasikan pemikirannya dengan runtut, menggunakan bahasa

yang tepat, dan menyesuaikan gaya komunikasi dengan audiens yang dituju. Dalam diskusi kelas atau presentasi proyek, kejelasan penyampaian ini menjadi faktor utama dalam menentukan sejauh mana pemahaman mereka terhadap materi yang dipelajari.

Selain itu, kemampuan menggunakan terminologi dan bahasa ilmiah yang sesuai juga menjadi indikator penting dalam evaluasi komunikasi (Sumirat, 2014). Dalam STEM, peserta didik harus mampu mengomunikasikan gagasan menggunakan istilah teknis yang benar, baik dalam laporan tertulis, diskusi akademik, maupun presentasi ilmiah. Penggunaan bahasa yang tepat mencerminkan pemahaman konseptual yang mendalam serta kemampuan dalam menghubungkan berbagai konsep STEM dalam suatu topik yang kompleks.

Indikator lain yang tidak kalah penting adalah keterampilan mendengarkan secara aktif dan memberikan respons yang relevan (Sani, 2019). Dalam interaksi akademik, peserta didik tidak hanya perlu menyampaikan gagasan, tetapi juga mendengarkan pendapat orang lain dengan saksama, memahami perspektif yang berbeda, dan memberikan tanggapan yang membangun. Keterampilan ini mencerminkan pemikiran kritis serta kemampuan analisis yang mendalam dalam pembelajaran STEM. Kemampuan menyampaikan

informasi secara visual juga menjadi bagian dari indikator komunikasi yang efektif dalam STEM (Dini, 2024). Peserta didik perlu mampu memanfaatkan berbagai media visual, seperti grafik, diagram, atau model simulasi, untuk memperjelas konsep yang mereka sampaikan. Penggunaan teknologi digital, seperti presentasi berbasis multimedia atau infografis interaktif, juga menjadi aspek yang semakin penting dalam komunikasi STEM di era digital.

3) Indikator Kemampuan Kolaborasi dalam STEM

Kolaborasi dalam STEM mencerminkan sejauh mana peserta didik dapat bekerja sama dalam tim untuk mencapai tujuan bersama. Indikator utama dalam evaluasi keterampilan kolaborasi adalah partisipasi aktif dalam kerja kelompok (Tamaji dkk., 2025). Peserta didik yang memiliki keterampilan kolaboratif yang baik akan terlibat secara aktif dalam proses diskusi, memberikan kontribusi yang berarti, serta berperan sesuai dengan tugas yang telah disepakati dalam tim. Selain partisipasi aktif, kemampuan membagi peran dan tanggung jawab secara adil dalam tim juga menjadi indikator penting. Dalam pembelajaran berbasis proyek STEM, keberhasilan suatu tim sangat bergantung pada bagaimana anggotanya membagi tugas sesuai dengan keahlian masing-masing. Peserta didik yang memiliki keterampilan kolaborasi yang baik akan

mampu mengidentifikasi peran yang sesuai dengan kemampuan mereka, sekaligus menghargai kontribusi anggota tim lainnya dalam menyelesaikan tugas secara kolektif.

Menurut Asna (2024), indikator lain yang perlu diperhatikan adalah keterampilan dalam menyelesaikan konflik dan membangun kesepakatan dalam tim. Dalam kerja kelompok, perbedaan pendapat sering kali tidak dapat dihindari. Peserta didik yang memiliki keterampilan kolaborasi yang baik akan mampu mengelola perbedaan ini secara konstruktif, mencari solusi bersama, serta menghindari konflik yang dapat menghambat kinerja tim. Kemampuan ini menunjukkan tingkat kedewasaan dalam berpikir serta keterampilan negosiasi yang efektif.

Selanjutnya, keterampilan memberikan dan menerima umpan balik secara konstruktif juga menjadi aspek penting dalam evaluasi kolaborasi (Juhadira dkk., 2024). Dalam proses pembelajaran STEM, peserta didik harus terbiasa menerima kritik dan saran dari rekan satu tim atau pendidik untuk memperbaiki hasil kerja mereka. Selain itu, mereka juga perlu mampu memberikan umpan balik yang objektif dan membangun kepada anggota tim lainnya, sehingga seluruh kelompok dapat terus berkembang dalam menyelesaikan proyek atau tugas yang diberikan.

Terakhir, indikator kolaborasi yang tidak kalah penting adalah kemampuan mempertahankan motivasi dan komitmen terhadap tujuan bersama (Suryani, 2024)s. Dalam proyek STEM yang sering kali memerlukan kerja tim dalam jangka waktu yang panjang, peserta didik perlu menunjukkan konsistensi dalam berkontribusi serta menjaga semangat kerja sama dengan anggota tim lainnya. Keterlibatan yang konsisten dan sikap positif dalam menghadapi tantangan menunjukkan bahwa peserta didik memiliki pemahaman akan pentingnya kerja tim dalam menyelesaikan permasalahan ilmiah yang kompleks.

4) Instrumen Evaluasi Kemampuan Komunikasi dan Kolaborasi

Menurut Muzakki & Putri (2023), Nurhaifa dkk. (2020), dan Sukmanasa dkk. (2023), terdapat beberapa metode dan instrumen yang umum digunakan untuk mengevaluasi keterampilan komunikasi dan kolaborasi dalam pembelajaran STEM meliputi:

Rubrik Penilaian Kinerja, digunakan untuk menilai berbagai aspek komunikasi dan kolaborasi secara sistematis. Penilaian ini dapat diterapkan pada presentasi, diskusi kelompok, atau laporan proyek. Beberapa dimensi yang biasanya diukur dalam rubrik komunikasi mencakup kejelasan penyampaian ide, penggunaan bahasa yang sesuai, dan keefektifan dalam berargumen. Sementara itu,

untuk kolaborasi, dimensi yang dinilai meliputi tingkat keterlibatan dalam tim, kemampuan berbagi tanggung jawab, serta kontribusi terhadap pencapaian tujuan bersama.

Observasi Berstruktur, melibatkan pengamatan langsung oleh pendidik terhadap interaksi peserta didik dalam kegiatan pembelajaran. Observasi dilakukan menggunakan lembar observasi dengan kriteria yang telah ditentukan, seperti keaktifan dalam diskusi, keterlibatan dalam pemecahan masalah, dan kemampuan bekerja sama dalam tim.

Self-Assessment dan Peer-Assessment, memungkinkan peserta didik merefleksikan kemampuan komunikasi dan kolaborasi mereka secara mandiri, sedangkan penilaian sejawat (peer-assessment) memberikan kesempatan bagi mereka untuk mengevaluasi kontribusi rekan satu tim dalam suatu proyek atau diskusi. Instrumen ini membantu meningkatkan kesadaran metakognitif peserta didik terhadap keterampilan komunikasi dan kolaborasi mereka.

Kuesioner dan Angket, dapat membantu mengukur persepsi peserta didik terhadap pengalaman komunikasi dan kolaborasi mereka dalam proses pembelajaran STEM. Instrumen ini dapat mencakup pertanyaan terkait tingkat kenyamanan dalam menyampaikan ide, pengalaman

bekerja dalam tim, serta tantangan yang dihadapi dalam berkomunikasi.

Analisis Portofolio, memungkinkan pendidik menilai perkembangan keterampilan komunikasi dan kolaborasi peserta didik dalam jangka waktu tertentu. Portofolio dapat berupa laporan proyek, rekaman presentasi, atau catatan refleksi yang menggambarkan bagaimana peserta didik berinteraksi dalam tim serta bagaimana mereka mengomunikasikan ide-ide mereka.

Kemampuan komunikasi dan kolaborasi dalam STEM mencakup berbagai aspek yang tidak hanya berkaitan dengan keterampilan teknis, tetapi juga dengan aspek interpersonal dan sosial. Instrumen evaluasi ini dapat diimplementasikan dalam berbagai model pembelajaran STEM, seperti Project-Based Learning (PjBL) dan Problem-Based Learning (PBL). Dalam pendekatan berbasis proyek, rubrik dan observasi dapat digunakan untuk menilai kualitas interaksi antaranggota tim serta efektivitas komunikasi dalam menyelesaikan tugas yang diberikan. Sementara itu, dalam pendekatan berbasis pemecahan masalah, evaluasi komunikasi dapat dilakukan melalui analisis argumen yang dikemukakan dalam diskusi kelas.

BAB IX
TANTANGAN DALAM IMPLEMENTASI STEM DI SEKOLAH

1. Kendala Sumber Daya dalam Pendidikan STEM

Pendidikan STEM (Sains, Teknologi, Teknik, dan Matematika) merupakan kunci penting dalam mempersiapkan siswa untuk menghadapi tantangan global dan perkembangan teknologi yang pesat. Meskipun begitu, banyak sekolah, terutama di daerah dengan akses terbatas, menghadapi kendala yang mempengaruhi efektivitas pelaksanaan pendidikan STEM. Kendala tersebut meliputi keterbatasan sumber daya finansial, fasilitas yang tidak memadai, serta keterbatasan waktu dan pelatihan bagi tenaga pengajar. Untuk itu, upaya untuk mengatasi hambatan-hambatan tersebut sangat penting agar pendidikan STEM dapat diakses oleh semua siswa tanpa terkendala oleh sumber daya yang terbatas.

Kendala yang paling sering ditemukan dalam pendidikan STEM adalah keterbatasan finansial dan material. Banyak sekolah yang kekurangan dana untuk membeli perangkat pembelajaran seperti alat peraga, perangkat teknologi, dan fasilitas

laboratorium yang diperlukan untuk mendukung pembelajaran berbasis proyek dan eksperimen. Alat peraga yang terbatas menyebabkan pembelajaran STEM menjadi kurang efektif, karena siswa tidak dapat berinteraksi langsung dengan konsep-konsep yang diajarkan (Alali & Yousef, 2024; Mäkelä et al., 2022; Wilkerson et al., 2023). Kurangnya akses ke teknologi juga menghambat siswa dalam memperoleh pengalaman belajar yang relevan dengan perkembangan teknologi masa kini (Kazemnia et al., 2023; Salame et al., 2024).

Keterbatasan waktu juga menjadi hambatan yang signifikan dalam implementasi pendidikan STEM, terutama di tingkat sekolah dasar. Di banyak sekolah, jadwal pengajaran sudah sangat padat dengan berbagai mata pelajaran lainnya, sehingga sulit untuk mengalokasikan waktu yang cukup untuk pembelajaran STEM. Kurikulum yang sudah terstruktur sering kali tidak memberikan ruang bagi guru untuk mengintegrasikan STEM secara efektif ke dalam pembelajaran sehari-hari. Akibatnya, meskipun STEM memiliki potensi untuk mengembangkan keterampilan penting bagi siswa, penerapannya menjadi terbatas dan kurang optimal (Alali & Yousef, 2024; Holmes et al., 2021; Wilkerson et al., 2023).

Salah satu tantangan terbesar dalam pendidikan STEM adalah kurangnya tenaga pengajar yang terlatih khusus di bidang ini. Banyak guru yang merasa kurang percaya diri dan tidak cukup dilatih untuk mengimplementasikan kurikulum STEM yang

efektif. Pelatihan profesional bagi guru dalam bidang STEM masih sangat terbatas, yang menyebabkan kesenjangan dalam kualitas pengajaran antara guru yang terlatih dan yang tidak (Sharma, 2024). Hal ini menjadi hambatan besar bagi perkembangan pendidikan STEM yang berkualitas di sekolah-sekolah, terutama di daerah-daerah yang kekurangan sumber daya untuk menyediakan pelatihan yang memadai (Mäkelä et al., 2022; Alali & Yousef, 2024; Holmes et al., 2021).

Kurangnya kolaborasi dan dukungan administratif juga menjadi faktor penghambat dalam pelaksanaan pendidikan STEM di sekolah-sekolah. Di banyak sekolah, kurangnya dukungan dari pihak administrasi dan kebijakan yang tidak mendukung dapat membuat implementasi STEM menjadi sulit. Selain itu, kurangnya kolaborasi antara guru STEM dan guru dari disiplin ilmu lainnya juga membatasi potensi interdisipliner yang sangat penting dalam pendidikan STEM (Giamellaro et al., 2024). Padahal, kolaborasi yang erat antar guru dapat memperkaya pembelajaran dan memfasilitasi integrasi pengetahuan dari berbagai disiplin ilmu (Mäkelä et al., 2022; Holmes et al., 2021).

Untuk mengatasi berbagai kendala ini, diperlukan beberapa strategi inovatif yang dapat meningkatkan akses dan kualitas pendidikan STEM. Penggunaan metode pembelajaran berbasis permainan dan pendekatan lokal dapat membantu meningkatkan motivasi dan hasil belajar siswa, terutama di daerah terpencil. Pendekatan ini

memungkinkan guru untuk menggunakan sumber daya yang tersedia secara kreatif, tanpa bergantung sepenuhnya pada fasilitas teknologi yang mahal. Pembelajaran berbasis permainan, misalnya, dapat menjadikan proses belajar lebih menyenangkan dan mendorong keterlibatan siswa dalam kegiatan STEM yang praktis (Salame et al., 2024; Holmes et al., 2021).

Kerja sama dengan berbagai pihak eksternal juga sangat penting untuk memperluas akses sumber daya yang diperlukan untuk pendidikan STEM. Kemitraan dengan organisasi non-pemerintah, perusahaan, dan komunitas dapat membantu menyediakan alat, dana, dan dukungan lainnya. Jejaring sosial dan teknologi digital juga bisa dimanfaatkan untuk memperkuat kolaborasi antara sekolah dan komunitas STEM di luar lingkungan sekolah (Saw, 2020). Dengan adanya kolaborasi ini, sekolah-sekolah dengan sumber daya terbatas dapat memperoleh akses yang lebih luas terhadap materi dan fasilitas yang mendukung pembelajaran STEM (Kazemnia et al., 2023).

Penguatan pelatihan guru secara berkelanjutan juga merupakan langkah penting untuk mengatasi kekurangan keterampilan pengajaran dalam STEM. Guru perlu diberikan pelatihan yang tidak hanya terbatas pada materi, tetapi juga pada teknik-teknik pengajaran yang efektif dalam bidang STEM. Dukungan dari rekan sejawat dan administrasi sekolah juga diperlukan untuk menciptakan lingkungan yang kondusif bagi pengembangan

profesional guru. Dengan pelatihan yang memadai, guru akan lebih percaya diri dalam mengajarkan STEM dan dapat mengadaptasi metode pengajaran yang lebih inovatif (Mäkelä et al., 2022; Sharma, 2024; Holmes et al., 2021).

Program STEM yang fleksibel dan berorientasi jangka panjang juga dapat membantu menyesuaikan kegiatan dengan kebutuhan dan keterbatasan lokal. Pendekatan yang fleksibel memungkinkan penyesuaian kurikulum dan jadwal pembelajaran agar sesuai dengan kondisi dan sumber daya yang ada di masing-masing sekolah. Program-program ini juga harus mampu mengakomodasi keberagaman latar belakang siswa dan memberikan mereka kesempatan yang sama untuk mengembangkan keterampilan STEM yang relevan dengan dunia kerja (Mäkelä et al., 2022; Sharma, 2024).

2. Masalah Kurikulum dan Materi Pembelajaran

Pendidikan yang efektif sangat bergantung pada pengembangan kurikulum dan materi pembelajaran yang sesuai dengan kebutuhan siswa dan tuntutan zaman. Tantangan yang dihadapi dalam pengembangan kurikulum dan materi ajar menjadi isu penting dalam memastikan keberhasilan pendidikan, baik dari segi strategi pembelajaran maupun hasil belajar siswa. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa pengembangan kurikulum yang tepat, ditambah dengan bahan ajar yang relevan, dapat

memberikan dampak yang signifikan terhadap kualitas pembelajaran.

Salah satu tantangan utama dalam kurikulum dan materi pembelajaran adalah ketidaksesuaian materi dengan kompetensi inti dan indikator pencapaian yang diharapkan. Buku teks yang digunakan di banyak sekolah cenderung tidak mengadopsi model pembelajaran inovatif, sehingga tidak mendukung perkembangan kemampuan siswa dalam memecahkan masalah. Materi ajar yang kurang relevan atau tidak up to date menghambat siswa untuk berinteraksi dengan topik yang mereka pelajari secara kritis dan kreatif. Sebagai contoh, dalam banyak kasus, bahan ajar yang digunakan tidak sesuai dengan kebutuhan siswa, yang mengarah pada kesenjangan antara teori yang diajarkan dan aplikasi praktis yang dapat mereka pelajari (Difinubun et al., 2022; Ningrum, 2023).

Tantangan lainnya terkait dengan kurikulum yang mengintegrasikan berbagai disiplin ilmu, seperti kurikulum 2013 dan Cambridge. Di banyak sekolah, bahan ajar yang memadai untuk mendukung kurikulum terintegrasi ini sering kali tidak tersedia. Hal ini menyebabkan kesulitan dalam mengajar, karena materi yang dibutuhkan untuk mendukung kedua kurikulum tidak sebanding dengan kebutuhan pengajaran. Bahkan, dalam beberapa situasi, keterbatasan materi ajar membuat proses

pembelajaran menjadi tidak maksimal dan mengurangi efektivitas pembelajaran integratif (Sabatini et al., 2023). Selain itu, materi ajar yang bersifat homogen sering kali tidak memperhitungkan kebutuhan siswa dengan latar belakang berbeda, seperti English language learners. Hal ini mempersempit peluang belajar siswa, yang pada gilirannya dapat memperkuat perspektif defisit terhadap mereka (De Araujo & Smith, 2021).

Untuk mengatasi masalah tersebut, pengembangan bahan ajar yang inovatif berbasis pendekatan Problem Based Learning (PBL) atau Project Based Learning (PjBL) menjadi semakin penting. Pendekatan ini mendorong partisipasi aktif siswa, memfasilitasi pemecahan masalah nyata, dan meningkatkan keterlibatan mereka dalam pembelajaran. Oleh karena itu, pengembangan materi ajar yang mendukung pembelajaran berbasis proyek dan masalah menjadi kunci untuk memotivasi siswa dan meningkatkan pemahaman konsep. Selain itu, integrasi literasi dalam materi sains juga terbukti efektif dalam meningkatkan hasil belajar siswa, khususnya dalam era digital saat ini. Peningkatan kemampuan literasi ini tidak hanya penting dalam konteks sains, tetapi juga dalam konteks yang lebih luas terkait dengan keterampilan abad ke-21 (Krismonika & Asrizal*, 2021).

Pentingnya pengembangan materi ajar berbasis kurikulum terintegrasi yang menggabungkan kurikulum nasional dan internasional serta komponen literasi sains semakin terasa. Dengan menggabungkan kedua kurikulum ini, materi ajar dapat lebih responsif terhadap perkembangan global dan teknologi, yang memungkinkan siswa mempersiapkan diri untuk dunia yang semakin terhubung dan berubah cepat. Kurikulum terintegrasi yang efektif memberikan siswa keterampilan yang lebih luas, tidak hanya di bidang akademis tetapi juga keterampilan hidup yang relevan dengan berbagai situasi di dunia nyata (Sabatini et al., 2023).

Keterlibatan guru dalam pengembangan materi ajar juga berperan penting dalam memperkuat kualitas pembelajaran. Melalui kegiatan penulisan dan adaptasi materi ajar, guru dapat memperkuat pemahaman mereka terhadap kebijakan, teori, dan praktik pembelajaran yang relevan. Guru yang aktif terlibat dalam pengembangan materi dapat lebih mudah memahami kebutuhan siswa dan merancang pendekatan yang lebih efektif. Kolaborasi antara guru, peneliti, dan pihak lain dalam pengembangan materi ajar dapat menghasilkan bahan yang lebih tepat sasaran, meningkatkan kualitas pembelajaran, dan memberikan umpan balik yang konstruktif untuk perbaikan berkelanjutan (Moore et al., 2021).

Teknologi juga memainkan peran penting dalam pengembangan materi ajar yang lebih adaptif.

Penggunaan metaheuristik dan kecerdasan buatan untuk menyusun urutan materi ajar yang sesuai dengan karakteristik siswa terbukti sangat efektif, terutama dalam konteks pembelajaran daring. Teknik ini membantu dalam menyusun materi yang lebih relevan dan sesuai dengan kemampuan siswa, meskipun masih banyak tantangan dalam pemodelan parameter siswa yang kompleks (De Oliveira Costa Machado et al., 2020). Dalam konteks ini, strategi curriculum learning dalam machine learning dapat diterapkan untuk meningkatkan kualitas materi ajar adaptif. Dengan melatih model pembelajaran dari data yang mudah dipahami ke data yang lebih kompleks, proses ini dapat mempercepat konvergensi model dan membantu siswa memahami materi dengan cara yang lebih mudah dan efektif (Wang et al., 2021).

Pengembangan dan adaptasi materi ajar yang tepat sangat penting dalam konteks pendidikan STEM. Dengan mengatasi tantangan yang ada, seperti keterbatasan materi, waktu, dan tenaga pengajar yang terlatih, serta dengan memanfaatkan teknologi yang ada, pendidikan STEM dapat semakin efektif dalam mempersiapkan siswa untuk menghadapi tantangan masa depan. Perubahan dalam kurikulum dan pendekatan pengajaran harus terus diupayakan untuk memastikan pendidikan yang lebih inklusif dan relevan dengan kebutuhan global dan perkembangan dunia.

BAB X
PENDIDIKAN STEM UNTUK KETERAMPILAN MASA DEPAN

1. Keterampilan yang Dibutuhkan di Era Digital dan Revolusi Industri 4.0

Era Digital dan Revolusi Industri 4.0 mengubah dunia kerja dan pendidikan dengan cepat, mendorong individu untuk memiliki keterampilan yang relevan dengan perkembangan teknologi. Keterampilan digital menjadi semakin penting, karena hampir setiap sektor membutuhkan penguasaan teknologi untuk meningkatkan produktivitas dan efisiensi. Selain keterampilan digital, kemampuan berpikir kritis, kreativitas, serta adaptasi terhadap perubahan menjadi elemen kunci untuk menghadapi tantangan di era ini.

Literasi data dan informasi kini menjadi keterampilan utama yang harus dimiliki. Kemampuan untuk mengakses, menganalisis, dan memanfaatkan data secara efektif sangat penting dalam konteks yang semakin bergantung pada informasi. Individu yang memiliki literasi data yang tinggi dapat membuat keputusan yang lebih baik, meningkatkan efektivitas pekerjaan, dan mengembangkan inovasi yang didasarkan pada bukti dan fakta. Kemampuan ini juga penting untuk

memahami pola-pola dalam data yang dapat mendukung keputusan strategis dalam berbagai bidang (Dermawan et al., 2025; Y. Sari et al., 2025; Siddiqui et al., 2023; Yaacob et al., 2024).

Penguasaan teknologi informasi merupakan keterampilan lain yang tidak kalah penting. Hal ini mencakup penggunaan perangkat lunak untuk berbagai keperluan, mulai dari pengelolaan data hingga pemrograman dan automasi proses. Keamanan digital juga menjadi bagian integral dari keterampilan ini, karena dengan meningkatnya ketergantungan pada teknologi, ancaman terhadap data pribadi dan keamanan siber juga semakin besar. Penguasaan teknologi ini memungkinkan individu untuk beradaptasi dengan berbagai alat digital yang diperlukan di dunia kerja modern (Jurczuk & Florea, 2022; Kipper et al., 2021; Santos et al., 2021).

Di samping keterampilan teknis, soft skills menjadi aspek yang tidak bisa diabaikan. Berpikir kritis dan kemampuan pemecahan masalah adalah keterampilan yang membantu individu dalam menghadapi situasi yang kompleks. Kemampuan untuk menganalisis masalah secara mendalam dan menemukan solusi yang inovatif menjadi salah satu faktor utama dalam keberhasilan profesional di berbagai bidang. Di dunia yang terus berubah, kemampuan untuk berpikir secara kritis dan memecahkan masalah secara efisien akan menentukan sejauh mana seseorang dapat beradaptasi dan bertahan dalam lingkungan kerja

yang dinamis (Kusnadi et al., 2020; Suarta et al., 2020).

Kreativitas dan inovasi juga menjadi faktor penting dalam menghadapi tantangan yang datang dengan perkembangan teknologi. Seseorang yang dapat berinovasi dan berpikir kreatif akan lebih siap untuk memanfaatkan peluang baru dan menciptakan solusi yang berdampak. Keterampilan ini sangat diperlukan di dunia kerja yang semakin kompetitif, di mana penciptaan nilai baru melalui ide-ide orisinal dapat membedakan seseorang dari yang lainnya. Oleh karena itu, kemampuan untuk berpikir kreatif dan berinovasi menjadi salah satu aspek yang sangat dihargai dalam dunia kerja modern (Kipper et al., 2021; Suarta et al., 2020; Siddiqui et al., 2023; Kusnadi et al., 2020; Santos et al., 2021).

Komunikasi yang efektif dan kemampuan bekerja dalam tim menjadi keterampilan dasar yang harus dimiliki oleh tenaga kerja di era ini. Di dunia yang serba terhubung, kemampuan untuk berkolaborasi secara efisien dengan orang lain, baik secara langsung maupun melalui platform digital, sangat penting. Selain itu, kepemimpinan dan kemampuan untuk memotivasi orang lain juga memainkan peran penting dalam keberhasilan tim. Oleh karena itu, keterampilan komunikasi yang baik, baik lisan maupun tulisan, serta kemampuan untuk bekerja dalam tim, menjadi faktor yang tidak dapat dipisahkan dari keterampilan yang dibutuhkan di dunia kerja modern (Kipper et al., 2021; Suarta et al.,

2020; Siddiqui et al., 2023; Kusnadi et al., 2020; Santos et al., 2021).

Manajemen diri dan kemampuan untuk terus belajar adalah keterampilan yang akan membantu individu untuk tetap relevan di dunia kerja yang terus berkembang. Dalam menghadapi kemajuan teknologi yang pesat, kemampuan untuk mengelola waktu dengan baik, belajar secara mandiri, dan terus mengembangkan keterampilan baru menjadi sangat penting. Pembelajaran berkelanjutan memungkinkan seseorang untuk mengikuti perkembangan teknologi dan tren industri terbaru, yang menjadi kunci untuk tetap kompetitif di pasar kerja (Kipper et al., 2021; Suarta et al., 2020; Siddiqui et al., 2023; Kusnadi et al., 2020; Santos et al., 2021).

Kesiapan dan pengembangan sumber daya manusia (SDM) juga sangat penting dalam era digital. Reskilling dan upskilling menjadi kebutuhan utama bagi tenaga kerja untuk memastikan mereka tetap memiliki keterampilan yang sesuai dengan perkembangan teknologi (Nwaohiri & Nwosu, 2021). Reskilling, atau memperbarui keterampilan yang sudah ada, serta upskilling, atau meningkatkan keterampilan untuk tugas yang lebih tinggi, membantu individu beradaptasi dengan perubahan dunia kerja yang cepat (Dermawan et al., 2025).

Akses terhadap pelatihan berbasis teknologi juga menjadi hal yang tak kalah penting. Organisasi dan institusi pendidikan perlu menyediakan pelatihan digital yang relevan dan praktis bagi tenaga kerja dan

siswa. Pelatihan semacam ini akan membekali mereka dengan keterampilan yang dibutuhkan untuk menghadapi tuntutan pekerjaan di era digital. Oleh karena itu, penting bagi lembaga pendidikan dan organisasi untuk bekerja sama dalam menyediakan akses ke pelatihan berbasis teknologi yang efektif (Dermawan et al., 2025; Kipper et al., 2021; Sari et al., 2025; Nwaohiri & Nwosu, 2021).

Integrasi keterampilan generik seperti kejujuran, integritas, empati, dan etika dalam kurikulum pendidikan juga menjadi bagian yang sangat penting dalam mempersiapkan tenaga kerja untuk menghadapi tantangan global. Keterampilan ini tidak hanya bermanfaat dalam pekerjaan sehari-hari tetapi juga memainkan peran penting dalam membangun karakter individu yang baik. Pendidikan harus menanamkan nilai-nilai ini agar tenaga kerja tidak hanya kompeten dalam hal keterampilan teknis, tetapi juga dalam hal etika profesional dan nilai-nilai sosial yang mendukung kehidupan yang lebih baik (Suarta et al., 2020).

2. Pendidikan STEM dalam Mengembangkan Keterampilan 21st Century

Pendidikan STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics) semakin dianggap sebagai pendekatan yang penting dalam mempersiapkan siswa untuk menghadapi tantangan abad ke-21. Dalam konteks ini, keterampilan seperti pemikiran kritis, kreativitas, komunikasi, kolaborasi,

dan literasi teknologi menjadi kompetensi utama yang sangat diperlukan di dunia yang berkembang pesat. Pembelajaran STEM tidak hanya berfokus pada penguasaan teori, tetapi juga pada penerapan pengetahuan dalam memecahkan masalah dunia nyata. Oleh karena itu, pendidikan STEM menjadi kunci dalam membentuk individu yang adaptif, inovatif, dan siap menghadapi perkembangan teknologi yang pesat.

Pendidikan STEM secara efektif dapat meningkatkan keterampilan abad ke-21 pada siswa. Keterampilan utama yang dikembangkan termasuk berpikir kritis, kreativitas, komunikasi, kolaborasi, dan literasi ilmiah. Pembelajaran STEM mengintegrasikan berbagai disiplin ilmu, yang memungkinkan siswa untuk mengembangkan keterampilan lintas bidang. Keterampilan umum, seperti kemampuan berpikir kritis dan bekerja dalam tim, biasanya berkembang lebih cepat daripada keterampilan spesifik di bidang STEM, meskipun keterampilan STEM-spesifik tetap lebih mendalam dan relevan untuk memecahkan masalah di dunia nyata (Anggreiny et al., 2023; Ilma et al., 2023; Rusminati & Juniarso, 2023).

Keterampilan produktivitas, yang berfokus pada efisiensi dan kualitas dalam pekerjaan, juga mengalami peningkatan signifikan melalui

pembelajaran berbasis proyek dan pemecahan masalah. Model pembelajaran ini tidak hanya mengajarkan siswa untuk berpikir kreatif dan kritis, tetapi juga untuk bekerja sama dalam menyelesaikan tantangan yang kompleks. Pembelajaran berbasis proyek (PBL) dan pemecahan masalah (PBL) terbukti efektif dalam mengembangkan keterampilan ini, karena mengharuskan siswa untuk bekerja secara kolaboratif dalam menyelesaikan masalah nyata dan mengintegrasikan berbagai konsep dari disiplin ilmu yang berbeda (Alali, 2024; Rodríguez et al., 2024; Ilma et al., 2023).

Model-model pembelajaran seperti STEM-EDELCY dan blended learning menunjukkan efektivitas dalam meningkatkan keterampilan abad ke-21 pada siswa. Model STEM-EDELCY, misalnya, lebih efektif dibandingkan dengan model siklus 5E dan guided inquiry, terutama dalam konteks pendidikan tingkat menengah. Blended learning, yang menggabungkan pembelajaran tatap muka dengan materi daring, sangat cocok untuk pengembangan keterampilan abad ke-21 pada siswa SMA. Pendekatan ini memungkinkan siswa untuk belajar secara mandiri melalui materi online, sambil terlibat dalam diskusi dan proyek di kelas yang melibatkan interaksi langsung (Anggreiny et al., 2023).

Penerapan pendidikan STEM di sekolah menghadapi beberapa tantangan, khususnya dalam hal integrasi lintas disiplin dan pengembangan keterampilan guru. Integrasi berbagai disiplin ilmu dalam pendidikan STEM, seperti yang terlihat dalam penggunaan robotika edukasi, berperan penting dalam memperkuat pemahaman siswa tentang konsep-konsep yang saling terkait. Selain itu, pengembangan metode pembelajaran STEM yang melibatkan integrasi teknologi dan evaluasi efektivitasnya sangat diperlukan untuk meningkatkan kualitas pembelajaran. Pelatihan guru yang memfokuskan pada pengembangan kompetensi dan keterampilan mengajar dalam konteks STEM (Arafat et al., 2024), serta peningkatan kolaborasi antar guru, menjadi aspek kunci dalam menciptakan lingkungan pembelajaran yang efektif dan mendukung perkembangan keterampilan abad ke-21 pada siswa (Rodríguez et al., 2024; Ilma et al., 2023).

BAB XI
KOLABORASI ANTARA SEKOLAH DAN INDUSTRI DALAM PENDIDIKAN STEM

1. Manfaat Kolaborasi antara Pendidikan dan Dunia Industri

Kolaborasi antara pendidikan, khususnya perguruan tinggi, dan dunia industri semakin diakui sebagai langkah strategis dalam menjembatani kesenjangan antara dunia akademik dan dunia kerja. Kerjasama ini tidak hanya memberikan manfaat besar bagi kedua belah pihak, tetapi juga bagi masyarakat luas. Melalui sinergi yang terjalin, kolaborasi ini memperkuat inovasi, meningkatkan relevansi pendidikan, dan mempersiapkan lulusan yang siap untuk menghadapi tantangan dunia kerja yang semakin dinamis dan kompleks. Proses ini juga memberi peluang kepada industri untuk mengakses talenta-talenta baru dan menemukan solusi inovatif yang dapat mendorong pertumbuhan sektor industri.

Manfaat kolaborasi antara perguruan tinggi dan industri sangat dirasakan oleh dunia pendidikan, terutama dalam hal peningkatan relevansi kurikulum yang diajarkan. Dengan adanya

kerjasama tersebut, perguruan tinggi dapat memastikan bahwa kurikulum yang disusun lebih sesuai dengan kebutuhan pasar kerja dan perkembangan teknologi yang cepat. Mahasiswa yang terlibat dalam proses pembelajaran yang terhubung langsung dengan industri akan memperoleh pengetahuan dan keterampilan yang dibutuhkan oleh dunia kerja, sehingga mereka lebih siap dan kompetitif saat memasuki pasar kerja setelah lulus (Du Plessis et al., 2024; Suparno et al., 2023).

Kolaborasi yang terjalin juga memberikan kesempatan besar bagi mahasiswa untuk mendapatkan pengalaman praktis yang langsung dapat diterapkan di dunia kerja. Pengalaman magang, penelitian terapan, dan proyek bersama industri merupakan beberapa contoh bentuk keterlibatan mahasiswa dalam dunia industri. Hal ini sangat penting karena dapat memperkuat keterampilan profesional mereka, seperti kemampuan berkomunikasi, berpikir kritis, serta kerja tim, yang semuanya sangat dihargai di dunia kerja. Mahasiswa yang memperoleh pengalaman semacam ini akan memiliki daya saing yang lebih tinggi di pasar kerja, yang pada akhirnya membuka lebih banyak peluang kerja bagi mereka (Laundon et al., 2023).

Kolaborasi dengan industri juga memberi mahasiswa akses ke sumber daya dan teknologi terbaru yang dimiliki oleh dunia industri. Fasilitas modern, teknologi canggih, serta pengetahuan

praktis yang dimiliki oleh industri dapat memperkaya proses pembelajaran di perguruan tinggi. Hal ini membantu mahasiswa tidak hanya dalam mendapatkan teori yang diperlukan, tetapi juga mempersiapkan mereka untuk bekerja dengan teknologi mutakhir yang digunakan oleh perusahaan-perusahaan besar. Dengan adanya dukungan fasilitas dan sumber daya ini, mahasiswa dapat mengembangkan penelitian atau proyek yang lebih relevan dan inovatif, serta memperdalam pemahaman mereka tentang tren terbaru di industri terkait (Asplund & Bengtsson, 2020; Bonab et al., 2024; Esangbedo et al., 2023).

Industri juga mendapatkan manfaat besar dari kolaborasi ini. Salah satu keuntungan utama bagi industri adalah akses langsung ke talenta muda yang terlatih dan siap bekerja. Lulusan perguruan tinggi yang sudah dibekali dengan keterampilan praktis yang sesuai dengan kebutuhan pasar kerja akan sangat berharga bagi perusahaan. Dengan adanya kolaborasi ini, industri dapat merekrut talenta-talenta baru yang sudah terlatih dan tidak memerlukan banyak waktu adaptasi. Selain itu, perusahaan juga dapat mendapatkan ide-ide segar dan solusi inovatif melalui riset dan pengembangan yang dilakukan bersama perguruan tinggi. Proses ini tidak hanya mempercepat pengembangan produk dan layanan baru, tetapi juga meningkatkan daya saing industri di pasar global (Suparno et al., 2023; Asplund & Bengtsson, 2020).

Kolaborasi dengan perguruan tinggi juga memberikan manfaat bagi industri dalam hal transfer pengetahuan dan teknologi. Hasil riset yang dilakukan di perguruan tinggi sering kali memiliki potensi besar untuk diterapkan langsung di industri. Pengembangan produk baru, perbaikan proses produksi, atau inovasi teknologi dapat lebih cepat direalisasikan melalui penerapan hasil penelitian akademis. Kolaborasi ini memungkinkan industri untuk memanfaatkan pengetahuan dan teknologi yang dihasilkan oleh akademisi untuk meningkatkan kualitas produk dan layanan mereka (Alpaydın & Fitjar, 2024; Zhuang et al., 2025). Proses ini tidak hanya bermanfaat bagi industri, tetapi juga mendorong pertumbuhan ekonomi secara lebih luas (Suparno et al., 2023; Asplund & Bengtsson, 2020; Zheng et al., 2023; Bonab et al., 2024).

Keuntungan lain yang didapat oleh industri adalah penguatan jaringan dan reputasi perusahaan. Dengan terlibat dalam pengembangan kurikulum, penelitian, dan kegiatan pembelajaran di perguruan tinggi, industri dapat memperkuat citra profesional mereka. Kolaborasi semacam ini membantu perusahaan membangun hubungan yang lebih kuat dengan dunia akademis, memperluas jaringan industri mereka, dan meningkatkan visibilitas mereka sebagai pemimpin dalam inovasi dan pengembangan teknologi. Hal ini juga berkontribusi pada reputasi positif perusahaan, yang pada gilirannya dapat menarik lebih banyak pelanggan, mitra, dan talenta baru (Laundon et al., 2023; Zhuang et al., 2025).

Penguatan hubungan antara perguruan tinggi dan industri juga dapat berkontribusi pada pengembangan kebijakan dan strategi industri yang lebih inovatif. Dengan berbagi pengetahuan, baik dari sisi akademis maupun praktis, kedua belah pihak dapat menciptakan kebijakan atau strategi yang lebih efektif dalam merespons perubahan teknologi dan kebutuhan pasar. Hal ini sangat relevan di era digital dan Revolusi Industri 4.0, di mana industri harus terus berinovasi agar tetap kompetitif. Kolaborasi yang erat antara akademisi dan praktisi industri dapat menghasilkan kebijakan yang mendukung transformasi digital dan mempercepat adopsi teknologi baru (Veraldo et al., 2024).

Kolaborasi ini juga memberikan kesempatan untuk mempersiapkan mahasiswa agar lebih siap menghadapi tantangan dunia kerja yang semakin kompleks. Melalui pengalaman magang, proyek bersama industri, dan pelatihan berbasis dunia nyata, mahasiswa tidak hanya memahami teori, tetapi juga mampu menerapkannya dalam situasi yang sesungguhnya. Dengan bekal pengalaman praktis yang diperoleh, mahasiswa memiliki kemampuan untuk beradaptasi lebih cepat dengan tuntutan pekerjaan yang terus berkembang. Mereka dapat mengatasi masalah yang ada di industri dengan lebih percaya diri dan lebih siap untuk berkarier di bidang yang mereka minati (Du Plessis et al., 2024; Asplund & Bengtsson, 2020).

Kolaborasi antara perguruan tinggi dan industri juga mendorong inovasi yang berkelanjutan. Perguruan tinggi berfungsi sebagai pusat riset dan pengembangan yang dapat memberikan ide-ide baru dan solusi inovatif untuk industri. Sebaliknya, industri dapat memberikan umpan balik langsung dan perspektif praktis yang sangat diperlukan untuk meningkatkan relevansi penelitian akademik. Dengan terjalinnya hubungan yang lebih erat antara kedua sektor ini, inovasi tidak hanya terjadi di lingkungan akademik, tetapi juga di dunia industri, yang pada akhirnya akan mempercepat kemajuan teknologi dan memperkuat daya saing negara dalam skala global (Suparno et al., 2023; Bonab et al., 2024).

2. Bentuk Kolaborasi yang Bisa Diterapkan di Sekolah

Kolaborasi di sekolah merupakan elemen yang krusial untuk meningkatkan kualitas pembelajaran, mendorong inovasi, dan menciptakan lingkungan belajar yang inklusif. Melalui kolaborasi, para guru dan staf sekolah dapat bekerja bersama untuk menciptakan praktik mengajar yang lebih efektif dan menyelesaikan tantangan pendidikan yang ada. Kolaborasi ini juga membantu membangun iklim positif di dalam sekolah, yang pada gilirannya dapat meningkatkan motivasi dan keterlibatan siswa dalam proses belajar. Dengan adanya pertukaran pengetahuan, keterampilan, dan pengalaman antar

guru, proses pembelajaran menjadi lebih dinamis dan sesuai dengan kebutuhan siswa.

Salah satu bentuk kolaborasi yang paling berdampak adalah kolaborasi profesional. Bentuk kolaborasi ini melibatkan diskusi mendalam antar guru, perencanaan pembelajaran bersama, serta refleksi kolektif mengenai praktik mengajar. Hal ini sangat penting untuk mendorong inovasi di sekolah, karena dengan bekerja bersama, guru dapat menemukan solusi kreatif untuk mengatasi berbagai tantangan dalam proses pembelajaran. Kolaborasi profesional tidak hanya memperbaiki kualitas pengajaran, tetapi juga meningkatkan semangat dan profesionalisme para guru dalam mengajar (García-Martínez et al., 2021; Pan et al., 2024).

Pertukaran pengetahuan dan ko-konstruksi merupakan bentuk lain dari kolaborasi yang sangat efektif. Dalam kolaborasi ini, guru saling bertukar pengalaman dan berbagi praktik terbaik untuk meningkatkan cara mengajar mereka. Ko-konstruksi yang lebih mendalam melibatkan perancangan materi atau strategi pembelajaran bersama-sama. Ini tidak hanya memperkaya pengalaman pembelajaran, tetapi juga memperkuat hubungan antar guru dan menciptakan lingkungan yang lebih terbuka untuk berinovasi (De Jong et al., 2022; Kalinowski et al., 2022). Keberhasilan kolaborasi ini

sangat bergantung pada pengalaman dan struktur organisasi yang ada di sekolah.

Selain kolaborasi antar guru, kolaborasi tim dan organisasi juga memainkan peran penting dalam perbaikan pendidikan. Kerja sama dalam tim untuk perbaikan pengajaran, pengembangan tim, serta peningkatan organisasi sekolah dapat menghasilkan dampak yang signifikan terhadap pengelolaan dan budaya sekolah. Kolaborasi ini melibatkan berbagai pihak yang bekerja sama untuk merancang kebijakan dan strategi yang dapat memperbaiki seluruh ekosistem pendidikan di sekolah. Dengan adanya dinamika yang baik antar tim, pengembangan organisasi dapat berlangsung secara lebih terstruktur dan terfokus pada peningkatan kualitas pendidikan secara menyeluruh (Wullschleger et al., 2023).

Di samping itu, kolaborasi lintas profesi, seperti kerja sama antara guru dengan tenaga kesehatan, konselor, atau pihak eksternal lainnya, sangat penting untuk mendukung kebutuhan siswa secara lebih holistik. Hal ini sangat relevan dalam pendidikan inklusif, di mana siswa dengan kebutuhan khusus memerlukan perhatian lebih. Kolaborasi lintas profesi memastikan bahwa setiap aspek perkembangan siswa, baik akademik maupun sosial-emotional, mendapat perhatian yang optimal.

Dengan demikian, setiap kebutuhan siswa dapat ditangani dengan pendekatan yang lebih terintegrasi dan menyeluruh, meningkatkan kesejahteraan siswa dan kualitas pendidikan yang mereka terima (Heatly et al., 2023; Lakkala et al., 2021).

BAB XII
MENINGKATKAN MINAT SISWA PADA STEM

1. Strategi untuk Meningkatkan Minat Siswa pada STEM

Meningkatkan minat siswa pada bidang STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics) merupakan langkah penting dalam mempersiapkan generasi masa depan yang inovatif dan siap menghadapi tantangan global. Salah satu cara yang paling efektif untuk meningkatkan minat ini adalah dengan mengadopsi pendekatan pembelajaran yang aktif dan kolaboratif. Pendekatan ini memungkinkan siswa tidak hanya menjadi penerima informasi, tetapi juga aktif terlibat dalam proses belajar. Pembelajaran kolaboratif telah terbukti meningkatkan sikap positif dan minat siswa terhadap STEM serta memberikan dorongan untuk mengeksplorasi karier di bidang STEM lebih lanjut. Dibandingkan dengan metode pembelajaran tradisional, kolaborasi lebih mendorong pemikiran kritis, keterlibatan, dan pemahaman yang lebih dalam tentang konsep-konsep STEM (Ngoc et al., 2024).

Metode pembelajaran berbasis eksperimen dan proyek juga memberikan kontribusi besar terhadap peningkatan minat siswa dalam STEM. Ketika siswa dihadapkan pada proyek nyata yang relevan dengan kehidupan sehari-hari, mereka cenderung lebih tertarik untuk mengeksplorasi konsep-konsep ilmiah, teknologi, dan rekayasa. Pembelajaran berbasis proyek ini tidak hanya meningkatkan minat siswa terhadap STEM, tetapi juga mengembangkan keterampilan penting seperti kepemimpinan, kerja sama, dan kemampuan problem solving yang sangat dibutuhkan di dunia kerja (Hiğde & Aktamış, 2022; Kazula et al., 2022). Aktivitas hands-on yang memungkinkan siswa untuk terlibat langsung dengan materi juga sangat efektif dalam merangsang minat mereka, terutama bagi siswa yang mungkin memiliki pengetahuan awal yang terbatas.

Lingkungan belajar yang mendukung, baik di dalam maupun di luar kelas, juga memiliki peran yang sangat penting dalam membangun minat siswa pada STEM. Kunjungan ke tempat-tempat seperti museum sains, laboratorium, atau pusat sains dapat memperkaya pengalaman belajar dan memberi siswa perspektif yang lebih luas mengenai penerapan STEM dalam kehidupan sehari-hari. Kunjungan ini menjadi lebih efektif jika siswa dipersiapkan sebelumnya dengan pengetahuan dasar yang relevan dengan kunjungan tersebut (Neher-Asylbekov & Wagner, 2022). Selain itu, umpan balik positif dari guru sangat membantu dalam meningkatkan rasa percaya diri dan rasa memiliki siswa terhadap bidang

STEM, yang sangat penting untuk kelompok-kelompok yang kurang terwakili dalam bidang ini, seperti siswa perempuan (Park et al., 2024).

Selain itu, intervensi yang mempertimbangkan faktor-faktor lingkungan dan personal juga berperan penting dalam meningkatkan minat siswa terhadap STEM. Persepsi kemampuan diri dan efikasi diri memainkan peran kunci dalam motivasi dan minat siswa, terutama pada kelompok-kelompok yang historisnya kurang terwakili dalam STEM. Siswa perempuan, misalnya, sering kali diuntungkan dari intervensi yang secara khusus menangani faktor-faktor ini, yang membantu mereka merasa lebih mampu dan termotivasi untuk mengejar karier di bidang STEM (Sáinz et al., 2022).

Desain kurikulum yang relevan juga sangat penting dalam meningkatkan minat siswa pada STEM. Kurikulum yang memberikan pilihan kepada siswa, relevansi personal, tantangan yang sesuai dengan tingkat kemampuan mereka, dan mempertimbangkan konteks sosial-budaya siswa terbukti efektif dalam meningkatkan minat mereka. Dengan memberikan ruang bagi siswa untuk memilih topik atau proyek yang sesuai dengan minat pribadi mereka, kurikulum dapat menjadi lebih menarik dan mendorong keterlibatan aktif siswa (Calabrese et al., 2025). Selain itu, penggunaan media inovatif seperti game digital yang terintegrasi dengan pembelajaran dapat menarik minat siswa lebih jauh. Game ini tidak hanya menyenangkan, tetapi juga memungkinkan

siswa untuk belajar konsep-konsep STEM dengan cara yang interaktif dan menarik (Ishak et al., 2022).

2. Peran Orang Tua dan Masyarakat dalam Meningkatkan Minat STEM

Minat siswa terhadap bidang STEM (Sains, Teknologi, Teknik, dan Matematika) sangat dipengaruhi oleh dukungan dan keterlibatan orang tua. Ketika orang tua aktif mendorong anak-anak mereka untuk mengeksplorasi materi STEM, baik melalui pembelian bahan ajar maupun keterlibatan dalam aktivitas STEM di luar sekolah, minat dan motivasi anak terhadap bidang ini cenderung meningkat secara signifikan. Terlibatnya orang tua dalam proyek-proyek STEM dapat memberikan pengalaman langsung yang memperkaya pengetahuan anak, sekaligus memperkuat minat mereka terhadap karier di bidang tersebut. Keterlibatan orang tua terbukti memberikan dampak yang signifikan, baik pada anak laki-laki maupun perempuan (Dotterer, 2021; Gülhan, 2023; Šimunović & Babarović, 2020).

Keyakinan orang tua tentang kemampuan anak di bidang STEM memainkan peran yang tak kalah penting dalam membentuk minat dan motivasi anak. Persepsi orang tua terhadap kemampuan anak dan harapan yang mereka tetapkan dapat menjadi

faktor yang menentukan dalam prestasi akademik dan pilihan karier anak. Pesan-pesan positif yang diberikan orang tua, baik secara langsung maupun tidak langsung, memberikan pengaruh besar terhadap keyakinan diri anak. Ini sangat penting dalam mengembangkan minat mereka terhadap STEM (Küçükaydın & Ayaz, 2025), di mana pesan yang penuh harapan akan mendorong mereka untuk lebih giat berusaha dan mencapai prestasi di bidang ini (Šimunović & Babarović, 2020; Dotterer, 2021).

Kesadaran orang tua mengenai pentingnya pendidikan STEM juga sangat memengaruhi sikap dan minat anak terhadap karier di bidang ini. Ketika orang tua menyadari pentingnya STEM dalam perkembangan karier anak-anak mereka, mereka cenderung memberikan lebih banyak dukungan, baik berupa dorongan moral maupun penyediaan sumber daya yang diperlukan untuk belajar. Tingkat kesadaran orang tua ini menciptakan suasana yang positif di rumah, yang berfungsi untuk memperkuat sikap anak terhadap pembelajaran STEM. Pembentukan sikap positif ini memiliki dampak yang besar dalam jangka panjang, yang pada akhirnya memotivasi anak untuk melanjutkan pendidikan dan mengejar karier di bidang STEM (Küçükaydın & Ayaz, 2025).

Profesionalisme orang tua, terutama dalam bidang STEM, memiliki pengaruh yang kuat terhadap minat dan kesuksesan anak di bidang ini. Anak-anak yang orang tuanya bekerja di bidang yang terkait dengan STEM cenderung lebih tertarik dan bertahan dalam pendidikan STEM. Pengaruh ini lebih besar pada anak perempuan dan kelompok minoritas, di mana keterpaparan mereka terhadap dunia kerja STEM sejak dini dapat mengurangi ketimpangan partisipasi di bidang ini. Model peran yang positif dari orang tua yang bekerja di bidang STEM memberi anak contoh konkret mengenai bagaimana menerapkan pengetahuan STEM dalam kehidupan nyata, yang dapat menginspirasi mereka untuk mengikuti jejak orang tua mereka (Plasman et al., 2020).

Lingkungan sosial juga memainkan peran yang penting dalam membentuk minat anak terhadap STEM. Kegiatan STEM yang melibatkan keluarga, baik di rumah maupun dalam komunitas, terbukti dapat meningkatkan keberhasilan anak dalam bidang ini. Kolaborasi antara sekolah, orang tua, dan komunitas menciptakan peluang yang lebih luas bagi anak untuk belajar dan berinteraksi dengan konsep-konsep STEM secara lebih mendalam. Di sisi lain, konsep "science capital" yang diperkenalkan dalam penelitian menunjukkan bahwa akses ke sumber

daya STEM dan status pekerjaan orang tua dapat memengaruhi seberapa besar minat anak terhadap STEM. Semakin tinggi science capital yang dimiliki anak, semakin besar kemungkinan mereka untuk terlibat dalam kegiatan STEM dan melanjutkan karier di bidang ini (Plasman et al., 2020).

3. Aktivitas dan Kegiatan yang Dapat Menumbuhkan Minat STEM pada Siswa

Minat siswa terhadap bidang STEM (Sains, Teknologi, Teknik, dan Matematika) sangat dipengaruhi oleh peran orang tua dan lingkungan sosial yang mendukung. Keterlibatan aktif orang tua, baik dalam bentuk dukungan emosional maupun praktis, seperti menyediakan materi STEM atau berpartisipasi dalam aktivitas terkait STEM, berkontribusi signifikan terhadap peningkatan minat anak. Hal ini berlaku baik pada anak laki-laki maupun perempuan, dan turut membantu membangun motivasi mereka untuk mengejar karier di bidang STEM (Šimunović & Babarović, 2020; Dotterer, 2021; Gülhan, 2023).

Keyakinan orang tua terhadap kemampuan anak di bidang STEM juga memainkan peran krusial dalam membentuk sikap dan motivasi anak. Persepsi orang tua mengenai potensi anak serta harapan yang mereka tetapkan mempengaruhi hasil akademis dan

pilihan karier anak. Pesan yang disampaikan oleh orang tua, baik melalui komunikasi langsung maupun tidak langsung, membentuk pola pikir dan minat anak terhadap STEM, memotivasi mereka untuk mengejar prestasi yang lebih tinggi di bidang ini (Šimunović & Babarović, 2020; Küçükaydın & Ayaz, 2025; Dotterer, 2021).

Kesadaran orang tua tentang pentingnya STEM juga memiliki dampak besar terhadap minat dan sikap anak terhadap bidang ini. Orang tua yang menyadari pentingnya STEM lebih cenderung menciptakan lingkungan belajar yang positif dan mendorong anak untuk terlibat lebih dalam dalam kegiatan STEM. Pembentukan sikap positif terhadap STEM, yang dimulai dari rumah, memberi landasan yang kuat bagi anak untuk mengejar pendidikan dan karier di bidang ini, memperbesar kemungkinan mereka untuk berhasil dalam perjalanan STEM mereka (Küçükaydın & Ayaz, 2025).

Profesi orang tua, khususnya yang berhubungan langsung dengan bidang profesional atau STEM, memiliki pengaruh yang signifikan terhadap minat anak dalam bidang ini. Anak-anak yang memiliki orang tua yang bekerja di sektor STEM sering kali lebih tertarik untuk mengeksplorasi dan mengikuti jejak karier tersebut. Pengaruh ini lebih besar pada anak perempuan dan kelompok minoritas, di mana

adanya contoh konkret dari orang tua yang sukses di bidang STEM dapat memotivasi mereka untuk meraih keberhasilan yang serupa (Plasman et al., 2020).

Selain peran orang tua, lingkungan sosial juga memainkan peran penting dalam meningkatkan minat anak terhadap STEM. Kegiatan STEM yang melibatkan keluarga di rumah atau komunitas memperkaya pengalaman belajar dan memberikan kesempatan bagi anak untuk mengeksplorasi konsep-konsep STEM dalam konteks yang lebih luas. Lingkungan sosial yang positif, dengan akses ke sumber daya yang mendukung, memperkuat minat anak terhadap STEM. Konsep "science capital," yang mencakup faktor-faktor seperti status pekerjaan orang tua dan akses ke sumber daya STEM, berfungsi sebagai modal sosial yang diwariskan dari orang tua kepada anak dan memperkuat partisipasi serta minat anak dalam kegiatan STEM (Plasman et al., 2020).

DAFTAR PUSTAKA

Admane, M., & Mondhe, P. (2021). Skill Development of Students through Hands-On Workshop. *Journal of Engineering Education Transformations*. https://doi.org/10.16920/JEET/2021/V34I0/157151

Akiri, E., Tor, H. M., & Dori, Y. (2021). Teaching and Assessment Methods: STEM Teachers' Perceptions and Implementation. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, *17*. https://doi.org/10.29333/EJMSTE/10882

Akram, H., Abdelrady, A. H., Al-Adwan, A., & Ramzan, M. (2022). Teachers' Perceptions of Technology Integration in Teaching-Learning Practices: A Systematic Review. *Frontiers in Psychology*, *13*. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.920317

Alali, R., & Yousef, W. (2024). Enhancing student motivation and achievement in science classrooms through STEM education. *STEM Education*. https://doi.org/10.3934/steme.2024012

Almulla, M. (2020). The Effectiveness of the Project-Based Learning (PBL) Approach as a Way to Engage Students in Learning. *SAGE Open*, *10*. https://doi.org/10.1177/2158244020938702

Alpaydın, U. A. R., & Fitjar, R. (2024). How do university-industry collaborations benefit innovation? Direct

and indirect outcomes of different collaboration types. *Growth and Change*. https://doi.org/10.1111/grow.12721

Alvarenga, I. M. (2023). Tourist Safari: Learning based on the methods of projects such as the 'hands-on' approach in building knowledge for the students in course LM-0347 (Panorama of Tourism in French IV), School of Modern Foreign Languages. *Repertorio Americano*. https://doi.org/10.15359/ra.1-33.7

Anggreiny, L. P., Limbong, E. E. S., & Simanjuntak, A. (2023). Meta Analysis of the Effectiveness of the STEM Approach to 21st Century Skills in High School Physics Learning. *Indonesian Journal of Advanced Research*. https://doi.org/10.55927/ijar.v2i12.7319

Arafat, M. H., Budiyanto, C., Yuana, R., & Fenyvesi, K. (2024). Implementation of Integrated STEM Learning in Educational Robotics towards 21st Century Skills: A Systematic Review. *International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology*. https://doi.org/10.46328/ijemst.4271

Arıkan, S., Erktin, E., & Pesen, M. (2020). Development and Validation of a STEM Competencies Assessment Framework. *International Journal of Science and Mathematics Education*, *20*, 1–24. https://doi.org/10.1007/s10763-020-10132-3

Asplund, C.-J., & Bengtsson, L. (2020). Knowledge spillover from Master of Science Theses in Engineering Education in Sweden. *European Journal of Engineering Education*, *45*, 443–456. https://doi.org/10.1080/03043797.2019.1604632

Ata-Aktürk, A., & Demircan, H. (2020). Supporting Preschool Children's STEM Learning with Parent-Involved Early Engineering Education. *Early Childhood Education Journal*, *49*, 607–621. https://doi.org/10.1007/s10643-020-01100-1

Banks, F., & Barlex, D. (2020). *Teaching STEM in the secondary school: Helping teachers meet the challenge*. Routledge.

Billiar, K., Hubelbank, J., Oliva, T., & Camesano, T. (2014). Teaching STEM by Design. *Advances in Engineering Education*, *4*(1), n1.

Blagorazumnaia, O., & Trifonova, L. (2024). Developing Critical Skills and Design Thinking via Practical Classes in Higher Education. *Intertext*. https://doi.org/10.54481/intertext.2023.2.08

Bonab, M. P., Ehteshamnejad, E., Mohsenikiasari, M., & Nikroy, Z. (2024). A Comprehensive Framework for Analyzing Industry-University Collaboration. *Journal of Technology in Entrepreneurship and Strategic Management*. https://doi.org/10.61838/kman.jtesm.3.1.1

Cadley, A. C. (2024). The Effectively Integrating

Technology into Mathematics Education and its Benefits and Challenges to Teachers: A Systematic Literature Review. *Cognizance Journal of Multidisciplinary Studies*. https://doi.org/10.47760/cognizance.2024.v04i12.015

Calabrese, J., Aina, D. K., Cordner, H., & Songer, N. (2025). Do students recognize design features that promote interest in science and engineering? *Interdisciplinary Journal of Environmental and Science Education*. https://doi.org/10.29333/ijese/15811

Chang, D., Hwang, G.-J., Chang, S.-C., & Wang, S.-Y. (2021). Promoting students' cross-disciplinary performance and higher order thinking: a peer assessment-facilitated STEM approach in a mathematics course. *Educational Technology Research and Development*, *69*, 3281–3306. https://doi.org/10.1007/s11423-021-10062-z

Chatzidaki, E., Papavlasopoulou, S., Gijlers, H., Eysink, T., & Koulouris, P. (2024). Technology-Enhanced STEM Learning in Childhood. *Proceedings of the 23rd Annual ACM Interaction Design and Children Conference*. https://doi.org/10.1145/3628516.3661152

Chen, C., & Chen, K. (2021). Effects of STEM Inquiry Method on Learning Attitude and Creativity. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology*

Education.
https://doi.org/10.29333/ejmste/11254

Chen, J., & Liu, C.-Y. (2024). Using knowledge building and flipped learning to enhance students' learning performance in a hands-on STEM activity. *Journal of Computer Assisted Learning*. https://doi.org/10.1111/jcal.13069

Cheng, M.-F., Lo, Y.-H., & Cheng, C.-H. (2024). The impact of STEM curriculum on students' engineering design abilities and attitudes toward STEM. *International Journal of Technology and Design Education*. https://doi.org/10.1007/s10798-024-09883-9

Chirikov, I., Semenova, T., Maloshonok, N., Bettinger, E., & Kizilcec, R. (2020). Online education platforms scale college STEM instruction with equivalent learning outcomes at lower cost. *Science Advances*, *6*. https://doi.org/10.1126/sciadv.aay5324

Chng, E., Tan, A.-L., & Tan, S.-C. (2023). Examining the Use of Emerging Technologies in Schools: a Review of Artificial Intelligence and Immersive Technologies in STEM Education. *Journal for STEM Education Research*, *6*, 385–407. https://doi.org/10.1007/s41979-023-00092-y

Christian, K., Kelly, A., & Bugallo, M. (2021). NGSS-based teacher professional development to implement engineering practices in STEM instruction. *International Journal of STEM Education*, *8*, 1–18.

https://doi.org/10.1186/s40594-021-00284-1

Cohen, J., Hecht, A., Mcloughlin, G., Turner, L., & Schwartz, M. (2021). Universal School Meals and Associations with Student Participation, Attendance, Academic Performance, Diet Quality, Food Security, and Body Mass Index: A Systematic Review. *Nutrients*, *13*. https://doi.org/10.3390/nu13030911

Crespí, P., García-Ramos, J. M., & Queiruga-Dios, M. (2022). Project-Based Learning (PBL) and Its Impact on the Development of Interpersonal Competences in Higher Education. *Journal of New Approaches in Educational Research*. https://doi.org/10.7821/naer.2022.7.993

Dauletkeldi, A. D. (2024). THE IMPORTANCE OF USING STEM TECHNOLOGY IN EDUCATION. *Bulletin of Dulaty University*. https://doi.org/10.55956/hqcl9818

De Araujo, Z., & Smith, E. (2021). Examining English language learners' learning needs through the lens of algebra curriculum materials. *Educational Studies in Mathematics*, *109*, 65–87. https://doi.org/10.1007/s10649-021-10081-w

De Jong, L., Meirink, J., & Admiraal, W. (2022). School-based collaboration as a learning context for teachers: A systematic review. *International Journal of Educational Research*. https://doi.org/10.1016/j.ijer.2022.101927

De Oliveira Costa Machado, M., Bravo, N. F. S., Martins, A. F., Bernardino, H., Barrére, E., & Souza, J. (2020). Metaheuristic-based adaptive curriculum sequencing approaches: a systematic review and mapping of the literature. *Artificial Intelligence Review*, *54*, 711–754. https://doi.org/10.1007/s10462-020-09864-z

Dermawan, A., Wening, N., Vemberi, Y., & Fitriastuti, L. I. (2025). A Systematic Literature Review of Digital Skills and Human Resource Readiness for the Industrial Revolution Era 4.0 and 5.0. *JMKSP (Jurnal Manajemen, Kepemimpinan, Dan Supervisi Pendidikan)*. https://doi.org/10.31851/jmksp.v10i1.17965

Difinubun, F. A., Makmuri, M., & Aurelia, H. F. (2022). Analisis Kebutuhan Modul Ajar Matematika untuk Meningkatkan Kemampuan Pemecahan Masalah Siswa SMK Kelas X. *Griya Journal of Mathematics Education and Application*. https://doi.org/10.29303/griya.v2i4.244

Dike, I. C., Out, M. S., & Dike, A. A. (2024). Effect of Hands-On Instructional Approach on Pupils' Achievement and Retention in Cultural and Creative Arts. *International Journal of Professional Business Review*. https://doi.org/10.26668/businessreview/2023.v9i1.4207

Dökme, I., & Hancıoğlu, Z. Ş. (2025). Three-stage robotic

STEM program ignites secondary school students' interest in STEM career and attitudes toward science. *Education and Information Technologies*. https://doi.org/10.1007/s10639-025-13318-w

Dotterer, A. (2021). Parent involvement, expectancy values, and STEM outcomes among underrepresented adolescents. *Social Psychology of Education*, *25*, 113–127. https://doi.org/10.1007/s11218-021-09677-0

Du Plessis, D. J., Angula, N., Du Plessis, C., & Tokwe, C. (2024). The Impact of University-Industry Collaboration on Graduate Employability After COVID-19: A Literature Review. *THE INTERNATIONAL JOURNAL OF MANAGEMENT SCIENCE AND BUSINESS ADMINISTRATION*. https://doi.org/10.18775/jmsba.1849-5664-5419.2014.106.1003

Dyulgerova, K., & Atanasova, D. (2022). Strategies for applying a competency-based approach in STEM training. *2022 45th Jubilee International Convention on Information, Communication and Electronic Technology (MIPRO)*, 723–728. https://doi.org/10.23919/MIPRO55190.2022.9803508

Elliott, R. (2022). An Examination of the Personal Technology of Students in STEM Disciplines. *2022 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)*, 1–9. https://doi.org/10.1109/FIE56618.2022.9962743

Elmi, C. (2024). Fostering students' inquiry aptitudes and collaborative reasoning in higher education science courses with social annotation tools and collaborative platforms. *School Science and Mathematics*. https://doi.org/10.1111/ssm.18316

Esangbedo, C. O., Zhang, J., Esangbedo, M. O., Kone, S. D., & Xu, L. (2023). The role of industry-academia collaboration in enhancing educational opportunities and outcomes under the digital driven Industry 4.0. *Journal of Infrastructure, Policy and Development*. https://doi.org/10.24294/jipd.v8i1.2569

Falloon, G., Hatzigianni, M., Bower, M., Forbes, A., & Stevenson, M. (2020). Understanding K-12 STEM Education: a Framework for Developing STEM Literacy. *Journal of Science Education and Technology*, *29*, 369–385. https://doi.org/10.1007/s10956-020-09823-x

Fan, S.-C., Yu, K.-C., & Lin, K.-Y. (2020). A Framework for Implementing an Engineering-Focused STEM Curriculum. *International Journal of Science and Mathematics Education*, *19*, 1523–1541. https://doi.org/10.1007/s10763-020-10129-y

Felder, R. M., & Brent, R. (2024). *Teaching and learning STEM: A practical guide*. John Wiley & Sons.

Gao, X., Li, P.-Q., Shen, J., & Sun, H. (2020). Reviewing assessment of student learning in interdisciplinary

STEM education. *International Journal of STEM Education*, *7*, 1–14. https://doi.org/10.1186/s40594-020-00225-4

García-Martínez, I., Montenegro-Rueda, M., Molina-Fernández, E., & Fernández-Batanero, J. (2021). Mapping teacher collaboration for school success. *School Effectiveness and School Improvement*, *32*, 631–649. https://doi.org/10.1080/09243453.2021.1925700

Gautam, S., Nagarajan, K., Loh, K., Zhou, K., Yung, L., Tong, Y., & Li, Z. (2020). Hands-On Learning: An Experiential Approach to Train Chemical Engineering Students. *Chemical Engineering Education*, *54*, 72–82. https://consensus.app/papers/handson-learning-an-experiential-approach-to-train-gautam-nagarajan/5f4e678c1a805ec18495ee7379cf9323/

Giamellaro, M., Ewing, B., & Siegel, D. (2024). Affordances and Constraints to Implementing Project-Based STEM: A Case Study of Systemic School Change. *International Journal of Science and Mathematics Education*. https://doi.org/10.1007/s10763-024-10487-x

Gugole, M., Fiore, F., Rosi, T., Zendri, G., & Montresor, A. (2023). Stem-Kit: An interdisciplinary approach to learning physics and computer science. *2023 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)*, 1–8. https://doi.org/10.1109/FIE58773.2023.1034320

Gülhan, F. (2023). Parental Involvement in STEM Education: A Systematic Literature Review. *European Journal of STEM Education*. https://doi.org/10.20897/ejsteme/13506

Hamad, S., Tairab, H., Wardat, Y., Rabbani, L., Alarabi, K., Yousif, M., Abu-Al-Aish, A., & Stoica, G. (2022). Understanding Science Teachers' Implementations of Integrated STEM: Teacher Perceptions and Practice. *Sustainability*. https://doi.org/10.3390/su14063594

Handayani, S., Mintarti, S., Rachmawati, D., Wahyono, H., & Yusof, H. (2021). *Analysis of STEM-Based Learning Evaluation*. https://doi.org/10.2991/aebmr.k.210616.038

Hapuarachchi, T., Mapkar, M., Rahouti, M., & Xiong, K. (2024). Advancing Blockchain Learning in STEM Education Through A Comprehensive Hands-On Educational Approach. *2024 IEEE Integrated STEM Education Conference (ISEC)*, 1–6. https://doi.org/10.1109/ISEC61299.2024.10665004

Hasim, S. M., Rosli, R., Halim, L., Capraro, M., & Capraro, R. (2022). STEM Professional Development Activities and Their Impact on Teacher Knowledge and Instructional Practices. *Mathematics*. https://doi.org/10.3390/math10071109

Heatly, M., Nichols-Hadeed, C., Stiles, A., & Alpert-Gillis, L. (2023). Implementation of a School Mental Health Learning Collaborative Model to Support Cross-Sector Collaboration. *School Mental Health*, 1–18. https://doi.org/10.1007/s12310-023-09578-x

Herman, D. F., Hanum, W. N., Prastiwi, Z. N., & Wahyuni, S. (2023). Smart classrooms: Mengintegrasikan IoT dan AI untuk pembelajaran adaptif. *Jurnal Teknologi Pendidikan*, *15*(3), 215–230.

Hiğde, E., & Aktamış, H. (2022). The Effects of STEM Activities on Students' STEM Career Interests, Motivation, Science Process Skills, Science Achievement and Views. *Thinking Skills and Creativity*. https://doi.org/10.1016/j.tsc.2022.101000

Holmes, K., Mackenzie, E., Berger, N., & Walker, M. (2021). *Linking K-12 STEM Pedagogy to Local Contexts: A Scoping Review of Benefits and Limitations*. *6*. https://doi.org/10.3389/feduc.2021.693808

Hrynevych, L., Morze, N., Vember, V., & Boiko, M. (2021). Use of digital tools as a component of STEM education ecosystem. *Educational Technology Quarterly*. https://doi.org/10.55056/etq.24

Hu, W., & Guo, X. (2021). *Toward the Development of Key Competencies: A Conceptual Framework for the STEM Curriculum Design and a Case Study*. *6*. https://doi.org/10.3389/feduc.2021.684265

Hu, X., Fang, Y., & Liang, Y. (2024). Roles and Effect of Digital Technology on Young Children's STEM Education: A Scoping Review of Empirical Studies. *Education Sciences*. https://doi.org/10.3390/educsci14040357

Huang, Y.-M., Wang, W.-S., Lee, H., Lin, C., & Wu, T. (2024). Empowering virtual reality with feedback and reflection in hands-on learning: Effect of learning engagement and higher-order thinking. *J. Comput. Assist. Learn.*, *40*, 1413–1427. https://doi.org/10.1111/jcal.12959

Ibraeva, E., & Kyrykbayeva, B. S. (2023). Development of interest in STEM education among primary school children in the system of supplementary education. *Perspectives of Science and Education*. https://doi.org/10.32744/pse.2023.1.16

Ilma, A. Z., Wilujeng, I., Widowati, A., Nurtanto, M., & Kholifah, N. (2023). A Systematic Literature Review of STEM Education in Indonesia (2016-2021): Contribution to Improving Skills in 21st Century Learning. *Pegem Journal of Education and Instruction*. https://doi.org/10.47750/pegegog.13.02.17

Ishak, S. A., Din, R., Othman, N., Gabarre, S., & Hasran, U. (2022). Rethinking the Ideology of Using Digital Games to Increase Individual Interest in STEM. *Sustainability*. https://doi.org/10.3390/su14084519

Jiang, C., & Pang, Y. (2023). Enhancing design thinking in engineering students with project-based learning. *Computer Applications in Engineering Education*, *31*, 814–830. https://doi.org/10.1002/cae.22608

Joseph, O. B., & Uzondu, N. C. (2024a). Bridging the digital divide in STEM education: Strategies and best practices. *Engineering Science & Technology Journal*. https://doi.org/10.51594/estj.v5i8.1378

Joseph, O. B., & Uzondu, N. C. (2024b). Curriculums development for interdisciplinary STEM education: A review of models and approaches. *International Journal of Applied Research in Social Sciences*. https://doi.org/10.51594/ijarss.v6i8.1371

Jurczuk, A., & Florea, A. (2022). Future-Oriented Digital Skills for Process Design and Automation. *Human Technology*. https://doi.org/10.14254/1795-6889.2022.18-2.3

Kalinowski, E., Jurczok, A., Westphal, A., & Vock, M. (2022). Welche individuellen und institutionellen Faktoren begünstigen die Kooperation von Grundschullehrkräften? *Zeitschrift Für Erziehungswissenschaft*, *25*, 999–1029. https://doi.org/10.1007/s11618-022-01081-4

Kaloyanova, N., & Papancheva, R. (2024). TRENDS IN ASSESSMENT OF STEM COMPETENCES – METHODOLOGY AND TECHNOLOGIES. *Education and Technologies Journal*.

https://doi.org/10.26883/2010.241.5857

Kanapathy, S., & Azhari, A. M. (2024). Exploration of the Experience of Hands-On Learning and Its Impacts on STEM Learning. *Pedagogika*. https://doi.org/10.15823/p.2024.155.6

Kartini, A., Husamah, H., Permana, F. H., & Shukri, M. (2023). PBL-based STEM: Its effect on the cognitive learning outcome of junior high school students. *Jurnal Biolokus: Jurnal Penelitian Pendidikan Biologi Dan Biologi*, *6*(2), 187–195.

Kazemnia, A., Garg, A., Wang, L., Karikkineth, A., & Koldobskiy, D. (2023). Enhancing STEM Education to Communities with Low Access to STEM Resources. *2023 IEEE Integrated STEM Education Conference (ISEC)*, 238–239. https://doi.org/10.1109/ISEC57711.2023.10402262

Kazula, S., Eichler, G., Lenk, L., Sauereisen, J., & Enghardt, L. (2022). An Experiment- and Project-based Learning Approach to Increase Interest of High School Students for STEM and Enhance Soft Skills of STEM Students. *2022 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)*, 1–5. https://doi.org/10.1109/FIE56618.2022.9962704

Khurma, O. A., Darayseh, A. Al, & Alramamneh, Y. (2022). A Framework for Incorporating the "Learning How to Learn" Approach in Teaching STEM Education.

Education Sciences. https://doi.org/10.3390/educsci13010001

Kipper, L., Iepsen, S., Forno, A. J. D., Frozza, R., Furstenau, L., Agnes, J. A., & Cossul, D. (2021). Scientific mapping to identify competencies required by industry 4.0. *Technology in Society*, *64*, 101454. https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2020.101454

Koes-H, S., & Putri, N. (2021). The Effect of Project-Based Learning in STEM on Students' Scientific Reasoning. *Journal of Physics: Conference Series*, *1835*. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1835/1/012006

Konca, A., Izci, B., & Simsar, A. (2023). Evaluating popular STEM applications for young children. *European Early Childhood Education Research Journal*, *32*, 130–146. https://doi.org/10.1080/1350293X.2023.2221414

Krismonika, E. P. P., & Asrizal*, A. (2021). META ANALYSIS THE EFFECT OF INTEGRATED SCIENCE TEACHING MATERIALS WITH LITERACY ON STUDENT LEARNING OUTCOMES. *Universe*. https://doi.org/10.24036/universe.v2i2.68

Küçükaydın, M., & Ayaz, E. (2025). Modelling the relationship between parents' STEM awareness and elementary school children's STEM career interest and attitudes. *Social Psychology of Education*. https://doi.org/10.1007/s11218-024-10000-w

Kusnadi, E., Abdulkarim, A., Komalasari, K., & Sapriya. (2020). Strengthening Student's Soft Skills in the Era of Industrial Revolution 4.0. *Proceedings of the 2nd Annual Civic Education Conference (ACEC 2019)*. https://doi.org/10.2991/assehr.k.200320.018

Lakkala, S., Galkienė, A., Navaitienė, J., Cierpiałowska, T., Tomecek, S., & Uusiautti, S. (2021). Teachers Supporting Students in Collaborative Ways—An Analysis of Collaborative Work Creating Supportive Learning Environments for Every Student in a School: Cases from Austria, Finland, Lithuania, and Poland. *Sustainability*, *13*, 2804. https://doi.org/10.3390/SU13052804

Laseinde, O., & Dada, D. (2023). Enhancing teaching and learning in STEM Labs: The development of an android-based virtual reality platform. *Materials Today: Proceedings*. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.09.020

Laundon, M., Williams, P., & Williams, J. (2023). Benefits of co-creating higher education learning resources: an industry participant perspective. *The Australian Educational Researcher*. https://doi.org/10.1007/s13384-023-00656-2

Lee, H., Cheng, Y.-P., Wang, W.-S., Lin, C., & Huang, Y.-M. (2023). Exploring the Learning Process and Effectiveness of STEM Education via Learning Behavior Analysis and the Interactive-Constructive-Active-Passive Framework. *Journal of Educational*

Computing Research, *61*, 951–976. https://doi.org/10.1177/07356331221136888

Lestari, A., Tersta, F., Firman, F., & Sofyan, S. (2024). Implementation of Project-Based Learning Through the STEM (Science, Technology, Engineering and Math). *International Journal of Education, Culture, and Society*. https://doi.org/10.58578/ijecs.v2i3.3410

Lestari, D., Tricahyadinata, I., Rahmawati, R., Darma, D., Maria, S., & Heksarini, A. (2021). The Concept of Work-Life Balance and Practical Application for Customer Services of Banks. *Jurnal Minds: Manajemen Ide Dan Inspirasi*. https://doi.org/10.24252/minds.v8i1.21121

Mäkelä, T., Tuhkala, A., Mäki-Kuutti, M., & Rautopuro, J. (2022). Enablers and Constraints of STEM Programme Implementation: an External Change Agent Perspective from a National STEM Programme in Finland. *International Journal of Science and Mathematics Education*, *21*, 969–991. https://doi.org/10.1007/s10763-022-10271-9

Mansour, N., Said, Z., & Abu-Tineh, A. (2024). Factors impacting science and mathematics teachers' competencies and self-efficacy in TPACK for PBL and STEM. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*. https://doi.org/10.29333/ejmste/14467

Maratha, L., Shafee, K., Kalid, Fatimah, W., & Ahmad, W. (2021). *The Design of ScI-oTLS: An Internet of Things Platform to Support Collaborative Learning for Science subject in Primary School*. https://consensus.app/papers/the-design-of-sciotls-an-internet-of-things-platform-to-maratha-shafee/dd90a5d6e0c25a11ab95e48bac5de873/

Marnewick, C. (2023). Student experiences of project-based learning in agile project management education. *Project Leadership and Society*. https://doi.org/10.1016/j.plas.2023.100096

Martinovic, D., & Milner-Bolotin, M. (2024). Re-imagining professional learning communities in education: Placing teacher leadership in STEM context. *School Science and Mathematics*. https://doi.org/10.1111/ssm.18315

Maspul, K. A. (2024). Enhancing Project-Based Learning in STEM Education with Integrated Technology and Coding. *Journal of Intelligent Systems and Information Technology*. https://doi.org/10.61971/jisit.v1i1.20

Mateos-Núñez, M., Martínez-Borreguero, G., & Naranjo-Correa, F. (2020). Learning Science in Primary Education with STEM Workshops: Analysis of Teaching Effectiveness from a Cognitive and Emotional Perspective. *Sustainability*. https://doi.org/10.3390/su12083095

Maulidia, R., Nurhasanah, R., & Wibowo, P. (2020). Problem based learning berorientasi STEM context terhadap kemampuan berpikir kreatif siswa. *PRISMA, Prosiding Seminar Nasional Matematika*, *3*, 54564–54678.

Meng, N., Dong, Y., Roehrs, D., & Luan, L. (2023). Tackle implementation challenges in project-based learning: a survey study of PBL e-learning platforms. *Educational Technology Research and Development*, 1–29. https://doi.org/10.1007/s11423-023-10202-7

Moore, N., Coldwell, M., & Perry, E. (2021). Exploring the role of curriculum materials in teacher professional development. *Professional Development in Education*, *47*, 331–347. https://doi.org/10.1080/19415257.2021.1879230

Mustafa, F., Nguyen, H., & Gao, X. (2024). The challenges and solutions of technology integration in rural schools: A systematic literature review. *International Journal of Educational Research*. https://doi.org/10.1016/j.ijer.2024.102380

Mystakidis, S., Christopoulos, A., & Pellas, N. (2021). A systematic mapping review of augmented reality applications to support STEM learning in higher education. *Education and Information Technologies*, *27*, 1883–1927. https://doi.org/10.1007/s10639-021-10682-1

Neher-Asylbekov, S., & Wagner, I. (2022). Effects of Out-of-School STEM Learning Environments on Student Interest: a Critical Systematic Literature Review. *Journal for STEM Education Research*, *6*, 1–44. https://doi.org/10.1007/s41979-022-00080-8

Ng, C. H., & Adnan, M. (2024). THE NEEDS OF COMPETENCY ASSESSMENT IN STEM EDUCATION: A SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW. *International Journal of Modern Education*. https://doi.org/10.35631/ijmoe.623031

Ngoc, T. D., Thi, X. Le, & Van, H. B. (2024). Improving Students' Attitudes toward STEM and Their Interest in STEM Careers: A Collaborative Learning Approach. *2024 9th International STEM Education Conference (ISTEM-Ed)*, 1–7. https://doi.org/10.1109/iSTEM-Ed62750.2024.10663122

Ningrum, I. E. (2023). Analisis Kebutuhan Bahan Ajar Matematika Berpendekatan Problem Based Learning (PBL). *TSAQOFAH*. https://doi.org/10.58578/tsaqofah.v3i3.1553

Nwaohiri, N., & Nwosu, M. (2021). *Reskilling the Library Workforce for the Fourth Industrial Revolution*. https://doi.org/10.1108/978-1-80043-656-520201025

O'Dwyer, A., Hourigan, M., Leavy, A., & Corry, E. (2023). "I Have Seen STEM in Action and It's Quite Do-able!"

The Impact of an Extended Professional Development Model on Teacher Efficacy in Primary STEM Education. *International Journal of Science and Mathematics Education*, *21*, 131–157. https://doi.org/10.1007/s10763-023-10361-2

Owens, A., & Hite, R. (2020). Enhancing student communication competencies in STEM using virtual global collaboration project based learning. *Research in Science & Technological Education*, *40*, 76–102. https://doi.org/10.1080/02635143.2020.1778663

Pan, H.-L., Lin, Y.-C., & Chung, C.-H. (2024). Teacher collaboration, school innovativeness and innovative teaching in Taiwan: Evidence from TALIS. *International Journal of Educational Research*. https://doi.org/10.1016/j.ijer.2024.102383

Park, L., Ward, D., Moore-Russo, D., Rickard, B., Vessels, V., & Hundley, J. (2024). Positive Feedback as a Lever to Boost Students' STEM Outcomes. *Personality & Social Psychology Bulletin*, 1461672241265954. https://doi.org/10.1177/01461672241265954

Patil, R., Kulkarni, A., Ghatage, R., Endait, S., Kale, G., & Joshi, R. (2024). Automated Assessment of Multimodal Answer Sheets in the STEM domain. *ArXiv*, *abs/2409.1*. https://doi.org/10.48550/arXiv.2409.15749

Peterson, B., & Hipple, B. (2020). Formative Assessment in Hands-On STEM Education. *Handbook of Research on Formative Assessment in Pre-K Through Elementary Classrooms*. https://doi.org/10.4018/978-1-7998-0323-2.ch009

Plasman, J., Gottfried, M., Williams, D., Ippolito, M., & Owens, A. (2020). Parents' Occupations and Students' Success in STEM Fields: A Systematic Review and Narrative Synthesis. *Adolescent Research Review*, *6*, 33–44. https://doi.org/10.1007/s40894-020-00136-z

Pooja, N., & Shantanu, B. (2024). STEM education: Evaluation and improvement methods. *I-Manager's Journal on School Educational Technology*. https://doi.org/10.26634/jsch.20.1.21009

Ranbir, & Education, P. P. D. (2024). Educational Technology Integration: Challenges and Opportunities. *Innovative Research Thoughts*. https://doi.org/10.36676/irt.v10.i2.1406

Reaves, J. S., Likely, R., & Arias, A. M. (2022). Design Principles for Considering the Participatory Relationship of Students, Teachers, Curriculum, and Place in Project-Based STEM Units. *Education Sciences*. https://doi.org/10.3390/educsci12110760

Reeves, P., Claydon, J., & Davenport, G. (2021). Program

evaluation practices and the training of PhD students in STEM. *Studies in Graduate and Postdoctoral Education*. https://doi.org/10.1108/sgpe-04-2021-0029

Rintaningrum, R. (2023). Technology integration in English language teaching and learning: Benefits and challenges. *Cogent Education*, *10*. https://doi.org/10.1080/2331186X.2022.2164690

Rusminati, S. H., & Juniarso, T. (2023). Studi Literatur: STEM untuk Menumbuhkan Keterampilan Abad 21 di Sekolah Dasar. *Journal on Education*. https://doi.org/10.31004/joe.v5i3.1974

Saad, A., & Zainudin, S. (2022). A review of Project-Based Learning (PBL) and Computational Thinking (CT) in teaching and learning. *Learning and Motivation*. https://doi.org/10.1016/j.lmot.2022.101802

Sabatini, S., Manurung, B., & Sudibyo, M. (2023). DEVELOPING ECOLOGY AND ENVIRONMENTAL LEARNING MATERIALS BASED ON INTEGRATION CURRICULUM AND SCIENTIFIC LITERACY FOR NATIONAL PLUS SCHOOL STUDENTS IN INDONESIA. *Quaerite Veritatem : Jurnal Pendidikan*. https://doi.org/10.53842/qvj.v2i2.34

Şahin, E., Sarı, U., & Şen, Ö. (2023). STEM professional development program for gifted education teachers: STEM lesson plan design competence, self-efficacy, computational thinking and

entrepreneurial skills. *Thinking Skills and Creativity*. https://doi.org/10.1016/j.tsc.2023.101439

Sáinz, M., Fàbregues, S., Romano, M., & López, B. (2022). Interventions to increase young people's interest in STEM. A scoping review. *Frontiers in Psychology*, *13*. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.954996

Salame, A. H., Shahdan, T. S. T., Kayode, B., & Pek, L. S. (2024). Enhancing STEM Education in Rural Schools through Play Activities: A Scoping Review. *International Journal on Studies in Education*. https://doi.org/10.46328/ijonse.293

Santos, G., Sá, J. C., Félix, M. J., Barreto, L., Carvalho, F., Doiro, M., Zgodavová, K., Stefanović, M., Stefanovic, M., & Stefanović, M. (2021). New needed quality management skills for quality managers 4.0. *Sustainability (Switzerland)*, *13*(11), 1–22. https://doi.org/10.3390/su13116149

Saputra, M. R., & Kurniawati, A. (2024). Dampak Pembelajaran dengan Pendekatan Hands on and Minds on terhadap Self Efficacy Matematis Siswa. *Jurnal Educazione : Jurnal Pendidikan, Pembelajaran Dan Bimbingan Dan Konseling*. https://doi.org/10.56013/edu.v12i1.2763

Sari, N. M., & Abrar, M. (2024). Use of Technology in English Language Learning: Challenges and Benefits. *Linguistic, English Education and Art (LEEA) Journal*.

https://doi.org/10.31539/leea.v7i2.10034

Sari, Y., Kurnia, D., Purnomowati, I., & Anwar, R. (2025). Peningkatan Keterampilan Digital Mahasiswa Program Pascasarjana Universitas Baturaja dalam Mendukung Pembelajaran Era 4.0. *Cakrawala: Jurnal Pengabdian Masyarakat Global*. https://doi.org/10.30640/cakrawala.v4i1.3840

Saw, G. (2020). Leveraging Social Capital to Broaden Participation in STEM. *Policy Insights from the Behavioral and Brain Sciences*, *7*, 35–43. https://doi.org/10.1177/2372732219895997

Seo, S., Van Orman, D., Beattie, M., Paxson, L., & Murray, J. (2024). Transforming Learning Orientations Through STEM Interdisciplinary Project-Based Learning. *Education Sciences*. https://doi.org/10.3390/educsci14111154

Sharma, R. (2024). The Effects of Parental Involvement on Student Academic Success. *Global International Research Thoughts*. https://doi.org/10.36676/girt.v12.i1.111

Siddiqui, F. H., Thaheem, M. J., & Abdekhodaee, A. (2023). A Review of the Digital Skills Needed in the Construction Industry: Towards a Taxonomy of Skills. *Buildings*. https://doi.org/10.3390/buildings13112711

Simamora, A. M. (2024). A Decade of Science Technology, Engineering, and Mathematics (STEM) Project-

Based Learning (PjBL): A Systematic Literature Review. *Journal of Computers for Science and Mathematics Learning*. https://doi.org/10.70232/pn3nek61

Šimunović, M., & Babarović, T. (2020). The Role of Parental Socializing Behaviors in Two Domains of Student STEM Career Interest. *Research in Science Education*, 1–17. https://doi.org/10.1007/s11165-020-09938-6

Smith, K., Maynard, N., Berry, A., Stephenson, T., Spiteri, T., Corrigan, D., Mansfield, J., Ellerton, P., & Smith, T. (2022). Principles of Problem-Based Learning (PBL) in STEM Education: Using Expert Wisdom and Research to Frame Educational Practice. *Education Sciences*. https://doi.org/10.3390/educsci12100728

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

Stohlmann, M., Moore, T., & Roehrig, G. (2012). Considerations for Teaching Integrated STEM Education. *Journal of Pre-College Engineering Education Research*, *2*, 28–34. https://doi.org/10.5703/1288284314653

Su, K.-D., & Chen, H.-Y. (2023). *Exploring the Learning*

Efficacy of Students' STEM Education from the Process of Hands-On Practical Experience. 421–429. https://doi.org/10.1007/978-3-031-40113-8_41

Suarta, M., Suwintana, I., Sudhana, I., & Hariyanti, N. K. D. (2020). *Employability Skills for Sustainable Development and Supporting Industrial Revolution 4.0: A Study for Polytechnic Curriculum Development*. 36–39. https://doi.org/10.2991/assehr.k.200813.009

Subandi, U., & Supardi, U. S. (2024). Integrasi teknologi AI dalam pembelajaran STEM di sekolah menengah: Perspektif personalisasi, tantangan, dan implikasi. *Bilangan: Jurnal Ilmiah Matematika, Kebumian Dan Angkasa*, *2*(6), 89–104.

Suparno, Pudjiarti, E. S., & Supeno, B. J. (2023). Collaborative Synergy: Leveraging Competitive Advantage In University-Industry Innovation. *Interciencia*. https://doi.org/10.59671/bfsog

Surahman, E., & Wang, T.-H. (2023). In-service STEM teachers professional development programmes: A systematic literature review 2018–2022. *Teaching and Teacher Education*. https://doi.org/10.1016/j.tate.2023.104326

Suryadi, A., & Kurniati, E. (2021). *Teori dan implementasi pendidikan STEM*. Bayfa Cendekia Indonesia.

Tan, L., & Wei, B. (2024). How science teachers deal with STEM education: An explorative study from the lens

of curriculum ideology. *Science Education*. https://doi.org/10.1002/sce.21904

Tanır, H., & Türkmen, L. (2024). The Effect of Project-Based Stem Education Approach on Academic Achievement and Stem Career Interests in Science. *South Eastern European Journal of Public Health*. https://doi.org/10.70135/seejph.vi.1560

Tekin, Ö. G. (2023). Teachers' basic knowledge level of STEM education. *African Educational Research Journal*. https://doi.org/10.30918/aerj.114.23.092

Tessema, G., Michael, K., & Areaya, S. (2024). Realist hands-on learning approach and its contributions to learners' conceptual understanding and problem-solving skills on solid geometry. *Pedagogical Research*. https://doi.org/10.29333/pr/14096

Thi, N., & Thanh, H. P. (2021). Building a STEM lesson plan of science subject to meet the General Education Curriculum 2018. *Journal of Science Educational Science*. https://doi.org/10.18173/2354-1075.2021-0202

Thomason, D., & Hsu, P.-L. (2024). The effect of a STEM integrated curriculum on design thinking dispositions in middle school students. *International Journal of Technology and Design Education*. https://doi.org/10.1007/s10798-024-09894-6

Torra, L., Berg, N., Henrik, L., Stephan, B., & Wamsler, S.

(2024). Exploring the Impact of EdTech Tools on STEM Learning Outcomes in Swedish Schools. *International Journal of Education, Science, Technology, and Engineering (IJESTE)*. https://doi.org/10.36079/lamintang.ijeste-0701.730

Truskavetska, I. (2024). Use of STEM-technologies in the educational process for teaching natural sciences. *Social Pedagogy: Theory and Practice*. https://doi.org/10.12958/1817-3764-2024-2-131-137

Urban, A. (2023). How Hands-On Assessments Can Boost Retention, Satisfaction, Skill Development, and Career Outcomes in Online Courses. *AI, Computer Science and Robotics Technology*. https://doi.org/10.5772/acrt.23

Veraldo, L. G., Vilela, D. C., & Marques, A. S. (2024). STEM Project: Students in the teaching role for mathematical learning. *V Seven International Multidisciplinary Congress*. https://doi.org/10.56238/sevenvmulti2024-154

Viberg, O., Grönlund, Å., & Andersson, A. (2020). Integrating digital technology in mathematics education: a Swedish case study. *Interactive Learning Environments*, *31*, 232–243. https://doi.org/10.1080/10494820.2020.1770801

Wammes, D., Kester, L., & Slof, B. (2025). Adapting the

difficulty of hands-on tasks to pupils' prior knowledge: effects on challenge and skill development. *International Journal of Technology and Design Education*. https://doi.org/10.1007/s10798-024-09952-z

Wawan, C., Fenyvesi, K., Lathifah, A., & Ari, R. (2022). Computational Thinking Development: Benefiting from Educational Robotics in STEM Teaching. *European Journal of Educational Research*. https://doi.org/10.12973/eu-jer.11.4.1997

Weinberg, A., Balgopal, M., & McMeeking, L. S. (2021). Professional Growth and Identity Development of STEM Teacher Educators in a Community of Practice. *International Journal of Science and Mathematics Education*, *19*, 99–120. https://doi.org/10.1007/s10763-020-10148-9

Widana, I., Sopandi, A. T., & Suwardika, G. (2021). Development of an Authentic Assessment Model in Mathematics Learning: A Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM) Approach. *Indonesian Research Journal in Education |IRJE|*. https://doi.org/10.22437/IRJE.V5I1.12992

Widyawati, A., Suyanta, & Kuswanto, H. (2024). *Model pembelajaran e-PBL-STEM berbasis Tri N*. Penerbit Ruang Tentor.

Wilkerson, N., De Jesús, D., & Adam, K. (2023). Constraints in PK-8 STEM Classrooms: A Mixed

Methods Study. *2023 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)*, 1–9. https://doi.org/10.1109/FIE58773.2023.10342897

Wullschleger, A., Vörös, A., Rechsteiner, B., Rickenbacher, A., & Merki, K. M. (2023). Improving teaching, teamwork, and school organization: Collaboration networks in school teams. *Teaching and Teacher Education*. https://doi.org/10.1016/j.tate.2022.103909

Yaacob, T. Z., Poobalan, K., Hashim, H. I. C., Hasan, M. Z., Subramaniam, Y., & Indıran, L. (2024). The Relationship Between Students' Digital Competency Skills and Adaptation to Industry 4.0 Learning Technologies. *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences*. https://doi.org/10.6007/ijarbss/v14-i7/21938

Yang, D., & Baldwin, S. (2020). *Using Technology to Support Student Learning in an Integrated STEM Learning Environment*. *4*, 1–11. https://doi.org/10.46328/IJTES.V4I1.22

Yata, C., Ohtani, T., & Isobe, M. (2020). Conceptual framework of STEM based on Japanese subject principles. *International Journal of STEM Education*, *7*, 1–10. https://doi.org/10.1186/s40594-020-00205-8

Yesnazar, Zhorabekova, Urustenbekova, & Koshkarova.

(2024). DESIGN OF A LESSON PLAN IN THE CONTEXT OF STEM EDUCATION FOR PROSPECTIVE PRIMARY SCHOOL TEACHERS. *PEDAGOGY AND PSYCHOLOGY*. https://doi.org/10.51889/2960-1649.2024.59.2.005

Yıldırım, B., Akcan, A., & Öcal, E. (2022). TEACHERS' PERCEPTIONS AND STEM TEACHING ACTIVITIES: ONLINE TEACHER PROFESSIONAL DEVELOPMENT AND EMPLOYMENT. *Journal of Baltic Science Education*. https://doi.org/10.33225/jbse/22.21.84

Yuna, D., Syaifuddin, & Rosita. (2025). Technology Integration in Education Management: Challenges, Benefits, and Future Directions. *Forum for Linguistic Studies*. https://doi.org/10.30564/fls.v7i2.8358

Zaščerinska, J., Emet, S., Usea, S., & Bikova, A. (2023). STEM Education: A Comparative Study of Platforms in Selected Countries. *2023 International Interdisciplinary PhD Workshop (IIPhDW)*, 1–6. https://doi.org/10.1109/IIPhDW54739.2023.10124402

Zhang, J.-W., Zhou, M., & Zhang, X. (2022). Interventions to promote teachers' perceptions about STEM education: A meta-analysis. *Education and Information Technologies*, *28*, 7355–7390. https://doi.org/10.1007/s10639-022-11492-9

Zhang, L., & Yan. (2023). A study of the impact of project-based learning on student learning effects: a meta-analysis study. *Frontiers in Psychology*, *14*. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1202728

Zhuang, T., Oh, M., & Kimura, K. (2025). Modernizing higher education with industrial forces in Asia: a comparative study of discourse of university-industry collaboration in China, Japan and Singapore. *Asia Pacific Education Review*. https://doi.org/10.1007/s12564-024-10033-y