

Tantangan Manajemen Implementasi Kurikulum Berbasis STEAM dalam Pengembangan Kompetensi Abad 21 Siswa SMA

Moch. Misbakhul Amin^{*1}, Agus Timan², Teguh Triwiyanto³, Nurul Ulfatin⁴

^{1,2,3,4,5}Departemen Manajemen Pendidikan, Universitas Negeri Malang

Email: ¹moch.misbakhul.2501328@students.um.ac.id, ²agus.timan.fip@um.ac.id,
³teguh.triwiyanto.fip@um.ac.id, ⁴nurul.ulfatin.fip@um.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis problematik manajemen implementasi kurikulum berbasis STEAM di Sekolah Menengah Atas (SMA) Indonesia serta merumuskan strategi-strategi efektif untuk mengoptimalkannya. Metode yang digunakan adalah *Systematic Literature Review* (SLR) dengan menganalisis 17 artikel terpilih yang diperoleh dari database ScienceDirect, Sage Journal, Taylor & Francis, Garuda dan Springer. Hasil sintesis menyimpulkan bahwa tantangan manajemen implementasi STEAM bersifat sistemik dan saling terkait, mencakup aspek perencanaan (kebijakan top-down dan kurikulum yang rigid), pengorganisasian (kompetensi guru yang terbatas dan kolaborasi yang lemah), pelaksanaan (infrastruktur teknologi dan sumber daya yang tidak memadai serta kesulitan manajemen waktu di kelas), serta pengawasan (kurangnya sistem penilaian autentik dan mekanisme evaluasi berkelanjutan). Penguatan keempat fungsi manajemen ini menjadi prasyarat kunci untuk mendukung pengembangan kompetensi abad 21 siswa melalui implementasi STEAM yang efektif.

Kata kunci: Keterampilan Abad 21, Manajemen Kurikulum, Pembelajaran STEAM,

Management Challenges in Implementing STEAM-Based Curriculum for 21st Century Skills Development in Senior High Schools

Abstract

This study aims to analyze the management challenges in implementing STEAM-based curricula in Indonesian Senior High Schools (SMA) and to formulate effective strategies to optimize it. A Systematic Literature Review (SLR) method was employed, synthesizing findings from 17 selected articles sourced from databases including ScienceDirect, Sage Journal, Taylor & Francis, Garuda, and Springer. The synthesis concludes that the management challenges in STEAM implementation are systemic and interrelated, encompassing aspects of planning (top-down policies and rigid curricula), organizing (limited teacher competencies and weak collaborative structures), actuating (inadequate technological infrastructure and resources, as well as classroom time-management difficulties), and controlling (a deficit in authentic assessment systems and a lack of continuous evaluation mechanisms). Strengthening these four management functions is a key prerequisite for supporting the development of students' 21st-century competencies through effective STEAM implementation.

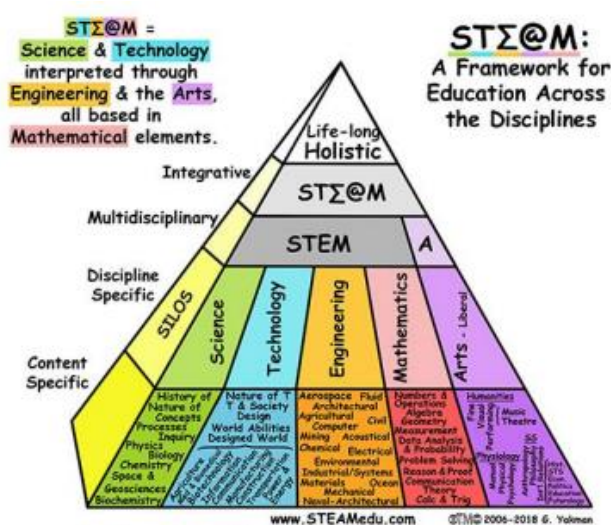
Keywords: 21st Century Skills, Curriculum Management, STEAM Learning.

1. PENDAHULUAN

Revolusi digital dan tuntutan kompetensi abad ke-21 telah mentransformasi paradigma pendidikan global yang mendorong pergeseran dari pendekatan pembelajaran tradisional menuju model yang lebih kolaboratif, kreatif, dan kontekstual [1]. Kriteria kompetensi siswa abad 21 pada awalnya dikenal sebagai 4C (*critical thinking, creativity, collaboration, dan communication*) dicetuskan dan dipopulerkan oleh Partnership for 21st Century Skills (P21) pada awal 2000-an [2]. Kerangka ini kemudian dikembangkan menjadi 6C dengan penambahan aspek *character* dan *citizenship* oleh Michael Fullan dan jaringan New Pedagogies for Deep Learning (NPDL) untuk menekankan pentingnya pembangunan karakter dan tanggung jawab sosial [3][4]. Dalam konteks persaingan global tersebut, Indonesia juga sedang mentransformasikan sistem pendidikan dan mengembangkan kompetensi siswa demi mencapai Visi Indonesia Emas 2045. Ini merupakan cita-cita bangsa Indonesia untuk menjadi negara berdaulat, maju, adil, dan makmur pada peringatan 100 tahun kemerdekaannya, yang dicapai melalui empat pilar utama: Pembangunan sumber daya manusia (SDM) dan penguasaan iptek;

Pembangunan ekonomi berkelanjutan; Pemerataan pembangunan; serta Pemantapan ketahanan nasional dan tata kelola pemerintahan [5]. Pengembangan SDM berkaitan dengan pengembangan kompetensi siswa yang bertujuan menciptakan manusia Indonesia yang produktif, berakhlak mulia, menguasai ilmu pengetahuan dan teknologi, serta memiliki jiwa nasionalisme dan kebhinekaan global yang memiliki kesesuaian dengan pencapaian kompetensi abad 21 siswa.

Dalam upaya mencapai kompetensi siswa abad 21 tersebut, diperlukan kurikulum yang inovatif dan sesuai dengan kebutuhan zaman. Dengan demikian, integrasi pendekatan pembelajaran yang lebih modern dan relevan dengan konteks abad ke-21 menjadi penting. Pendekatan berbasis STEAM (*Science, Technology, Engineering, Arts, and Mathematics*) muncul sebagai kerangka pedagogis inovatif yang tidak hanya mengintegrasikan disiplin ilmu namun juga menekankan pengembangan keterampilan kompleks melalui *experiential learning* [6] dan *project-based learning* [7]. Pembelajaran berbasis STEAM adalah pendekatan integratif yang menggabungkan Sains, Teknologi, Teknik, Seni (*Arts*), dan Matematika untuk menyelesaikan masalah kontekstual dan mendorong inovasi [8]. Konsep ini dipopulerkan oleh Georgette Yakman serta diadvokasi secara luas oleh Rhode Island School of Design (RISD) melalui gerakan *STEM to STEAM* [9].

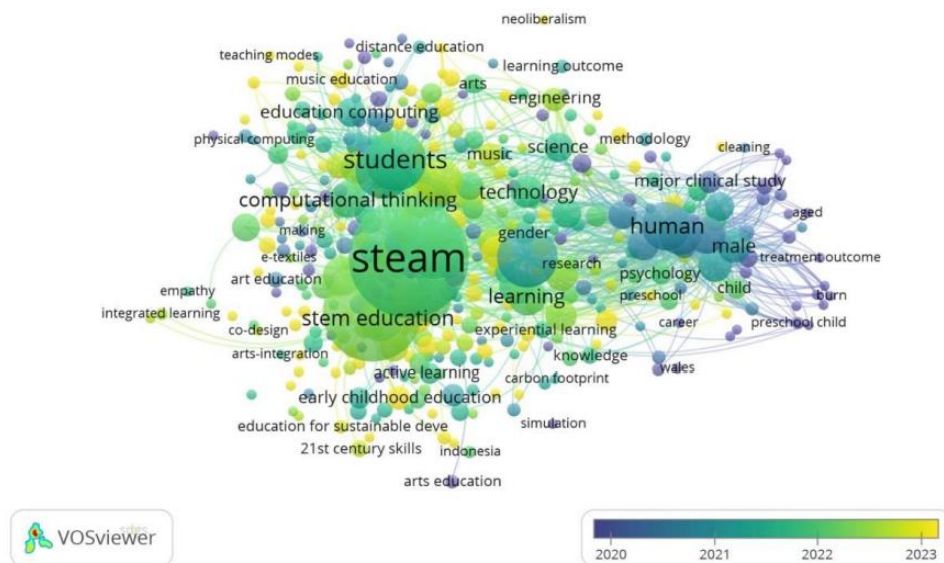


Gambar 1. Paradigma STEAM menurut Yakman
Sumber: [8])

Sebagai dasar analisis, penting dipaparkan kriteria pembelajaran STEAM yang dikemukakan oleh berbagai kajian mutakhir. Misalnya, menyusun kerangka strategis untuk pendidikan STEAM yang menekankan aspek-aspek seperti integrasi antar disiplin (*interdisciplinary*), berbasis proyek (*project-based*), kontekstual terhadap dunia nyata (*real-world problem solving*), kolaboratif, dan kreatif (*creative thinking*) [10]. Selain itu, model pedagogis untuk STEAM mencakup tahap-tahap seperti: eksplorasi masalah, desain dan konstruksi, refleksi, dan penyajian hasil integratif antar disiplin ilmu yang menemukan bahwa STEAM berfokus pada pengembangan kinerja pembelajaran, faktor afektif, dan keterampilan. Kajian lain menyebut bahwa penerapan STEAM pada tingkat sekolah menengah perlu memperhatikan kesiapan guru, lingkungan belajar, dan dukungan institusional [11].

Implementasi STEAM di jenjang SMA (Sekolah Menengah Atas) sangat krusial untuk membekali siswa dengan pemahaman pembelajaran interdisipliner yang aplikatif, sehingga siswa memiliki pengetahuan yang lebih matang dan lebih siap untuk menghadapi studi lanjut di perguruan tinggi. Kesiapan kompetensi pada fase transisi akademik ini menjadi modal utama dalam melahirkan SDM unggul yang siap menggerakkan ekonomi berbasis pengetahuan. Oleh karena itu, penguatan tata kelola STEAM di sekolah merupakan investasi strategis nasional demi mewujudkan Visi Indonesia Emas 2045.

Berikut ini merupakan ilustrasi kecenderungan penelitian tentang STEAM dalam konteks pendidikan sejak tahun 2016 sampai 2025. Penelitian tentang STEAM memiliki kecenderungan fokus pada kegiatan pembelajaran di kelas terutama pada tingkat sekolah dasar.



Gambar 2. Tren Penelitian STEAM dalam Bidang Pendidikan
(Sumber: [12])

Meskipun banyak penelitian telah mengkaji aspek pedagogis dan dampak pembelajaran STEAM, namun masih terdapat beberapa kesenjangan. Pertama, mayoritas penelitian berfokus pada level mikro (lingkup kelas dan metode pembelajaran) dan dampaknya terhadap hasil belajar, sementara aspek manajemen sekolah seperti perencanaan kurikulum, pengorganisasian sumber daya, dan pengawasan masih jarang [13] [14]. Kedua, studi tentang implementasi STEAM di jenjang SMA di Indonesia masih sangat terbatas dimana banyak penelitian tentang implementasi STEAM dilakukan di sekolah dasar. Implementasi kurikulum berbasis STEAM di tingkat SMA memiliki urgensi yang cukup besar karena siswa di tingkat SMA memiliki kebutuhan pembelajaran kontekstual berbasis masalah dalam kehidupan sehari-hari serta untuk meningkatkan kesiapan menuju studi lanjut. Ketiga, tidak banyak penelitian yang menghubungkan implementasi STEAM dengan fungsi manajemen pendidikan yaitu POAC (*planning, organising, actuating, controlling*) sebagai kerangka analisis.

Berdasarkan analisis kesenjangan pada paragraf sebelumnya, artikel ini menghadirkan kebaruan (*novelty*) dengan melakukan sintesis sistematis terhadap tantangan manajerial dalam implementasi kurikulum berbasis STEAM di SMA Indonesia melalui pendekatan *Systematic Literature Review* (SLR). Secara khusus, kajian ini menganalisis tantangan dari perspektif fungsi manajemen pendidikan dalam kerangka pengembangan kompetensi abad ke-21 siswa, yang hingga saat ini masih jarang dikaji secara komprehensif dalam konteks Indonesia.

Berdasarkan identifikasi kesenjangan pada paragraf sebelumnya, permasalahan penelitian dirumuskan sebagai berikut: (1) Bagaimana tantangan manajemen dalam implementasi kurikulum STEAM di Sekolah Menengah Atas (SMA) Indonesia dilihat dari perspektif perencanaan (*planning*), pengorganisasian (*organising*), pelaksanaan (*actuating*), dan pengawasan (*controlling*)?; (2) Strategi manajerial apa yang dapat direkomendasikan untuk mengoptimalkan implementasi kurikulum STEAM tersebut?; dan (3) Bagaimana implikasi penerapan kurikulum berbasis STEAM di SMA dalam upaya pengembangan kompetensi abad ke-21 berupa 6C (*critical thinking, creativity, collaboration, communication, character, citizenship*) siswa?

Berdasarkan rumusan masalah pada paragraf di atas, maka tujuan penulisan artikel ini adalah untuk: (1) Mengidentifikasi dan memetakan tantangan manajemen dalam implementasi kurikulum STEAM di SMA Indonesia. (2) Menganalisis strategi dan rekomendasi yang efektif untuk mengatasi tantangan tersebut berdasarkan sintesis literatur terkini; dan (3) Menyusun kerangka implikasi manajerial bagi sekolah menengah agar implementasi kurikulum STEAM dapat berjalan lebih efektif dan mendukung pengembangan kompetensi abad ke-21 siswa.

2. METODE PENELITIAN

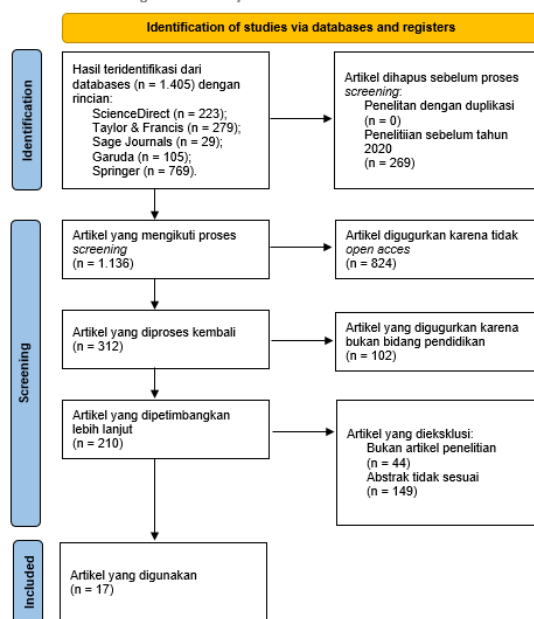
Penelitian ini menggunakan metode *Systematic Literature Review* (SLR) yang bertujuan untuk mengidentifikasi, mengevaluasi, dan mensintesis temuan-temuan penelitian primer yang relevan dengan fokus kajian manajemen implementasi kurikulum STEAM di tingkat Sekolah Menengah Atas (SMA). Pendekatan SLR dipilih karena kemampuannya dalam menyediakan analisis yang komprehensif dan terstruktur terhadap

perkembangan pengetahuan terkini, serta memberikan dasar yang kuat untuk menyimpulkan pola-pola temuan yang ada dalam literatur [15] [16]. SLR memungkinkan penelitian ini untuk menilai secara sistematis tantangan manajerial yang dihadapi dalam implementasi kurikulum STEAM, serta mengidentifikasi strategi-strategi yang telah terbukti efektif di lingkungan sekolah.

Protokol SLR yang digunakan dalam penelitian ini mengikuti pedoman yang telah distandarisasi dalam literatur untuk memastikan transparansi dan akuntabilitas proses tinjauan [17]. Protokol ini meliputi formulasi pertanyaan penelitian, strategi pencarian literatur, kriteria seleksi, dan template ekstraksi data, yang dikembangkan berdasarkan kerangka PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) untuk meningkatkan kualitas dan transparansi dalam pengumpulan dan penyusunan data [18].

Subjek dalam penelitian ini adalah artikel-artikel penelitian yang memenuhi kriteria inklusi yang telah ditetapkan. Kriteria inklusi mencakup: (1) artikel yang membahas implementasi pembelajaran STEAM atau pendekatan serupa pada tingkat pendidikan menengah, (2) studi yang mengkaji aspek manajerial, kebijakan, atau kepemimpinan dalam konteks STEAM, (3) publikasi yang diterbitkan dalam rentang waktu 2020–2026 untuk memastikan kebaruan temuan, (4) artikel yang tersedia dalam teks lengkap, serta (5) studi empiris atau konseptual yang relevan dengan fokus kajian ini.

Proses pengumpulan data dilakukan melalui tahapan sistematis dimulai dengan penelusuran literatur di empat database terindeks yaitu ScienceDirect, Sage Journals, Taylor & Francis, Garuda (Sinta), dan Springer. Strategi pencarian menggunakan kombinasi kata kunci yang relevan, seperti "*STEAM education*", "*secondary education*", dan "*curriculum management*". Tahapan seleksi dilakukan secara berurutan dengan kriteria berupa: publikasi terbaru (2020-2026), artikel *open access*, termasuk bidang pendidikan, termasuk artikel penelitian, serta kesesuaian judul dan abstrak. Kemudian dilakukan penilaian kelayakan artikel secara keseluruhan yang memenuhi kriteria inklusi. Dari 1.405 artikel yang ditemukan, dilakukan proses seleksi sehingga diperoleh 17 artikel yang memenuhi kriteria untuk disintesis dalam kajian ini.



Gambar 3. Proses Seleksi Artikel Menggunakan Diagram PRISMA
(Sumber: [19] disunting oleh Penulis)

Analisis data dilakukan dengan pendekatan sintesis tematik (*thematic synthesis*), yang mengelompokkan temuan-temuan penelitian ke dalam pola-pola bermakna sesuai dengan fokus kajian [20]. Guna memastikan objektivitas analisis dan meminimalkan bias subjektif peneliti, tahapan ekstraksi data tematik dilakukan melalui empat langkah terstruktur sebagai berikut: (1) Tahap Familiarisasi dan Ekstraksi Terstruktur: Peneliti membaca keseluruhan teks naskah secara berulang untuk memahami konteks temuan. Selanjutnya, bagian teks yang memuat problematik dan strategi manajemen STEAM diekstraksi ke dalam spreadsheet Microsoft Excel yang berfungsi sebagai matriks ekstraksi data standar; (2) Tahap Pengkodean Awal (*Initial Coding*): Pernyataan, frasa, atau data kualitatif yang diekstraksi dari artikel-artikel primer diberikan kode-kode bebas secara induktif berdasarkan substansi tantangan yang dilaporkan (misalnya: kode "pelatihan guru", "sarana & prasarana", atau "evaluasi kurikulum"); (3) Tahap Pemetaan Tematik Berbasis *Framework* POAC: Kode-kode awal yang sejenis

kemudian dikelompokkan dan dipetakan secara deduktif ke dalam empat tema besar (*superordinate themes*) berdasarkan fungsi manajemen pendidikan, yaitu: Perencanaan (*Planning*), Pengorganisasian (*Organizing*), Pelaksanaan (*Actuating*), dan Pengawasan (*Controlling*); dan (4) Tahap Pengujian Objektivitas dan Validasi Tema: Untuk menjaga reliabilitas analitis, peneliti melakukan peninjauan berulang (*iterative review*) terhadap kecocokan antara kode awal dengan tema induknya. Objektivitas diperkuat dengan melakukan verifikasi silang (*cross-checking*) definisi operasional setiap fungsi manajemen POAC terhadap literatur manajemen kurikulum klasik, sehingga batas antar-tema menjadi jelas (*mutually exclusive*) dan terhindar dari tumpang tindih penilaian subjektif. Sintesis akhir dilakukan dengan menganalisis kesamaan, perbedaan, serta interkoneksi antartema untuk merumuskan simpulan komprehensif mengenai problematik manajerial implementasi STEAM di jenjang SMA.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Sintesis

Berdasarkan proses seleksi secara sistematis, 17 artikel terpilih memenuhi kriteria inklusi untuk dilakukan sintesis. Artikel-artikel tersebut terdiri dari penelitian empiris dan tinjauan kritis yang membahas implementasi STEAM di sekolah dengan fokus spesifik pada aspek manajemen dan kebijakan. Tabel 1 berikut ini menjabarkan identitas masing-masing artikel terpilih yang menjadi dasar analisis. Artikel-artikel tersebut akan dirujuk menggunakan kode [1] hingga [17] dalam pembahasan selanjutnya.

Tabel 1. Daftar Studi Terpilih yang Disintesis

Artikel	Metode Penelitian	Temuan Penelitian yang Relevan
[21]	Kuantitatif deskriptif dengan metode survei	Tantangan Manajerial yang Dominan: (1) Tantangan Teknis (75%) berupa kesulitan dalam aspek praktikal pelaksanaan STEAM di kelas; (2) Dukungan Pedagogik (68.75%) berupa kurangnya model atau metode mengajar STEAM yang menarik dan siap pakai; (3) Keterbatasan Fasilitas Teknologi (65.62%) berupa ketersediaan komputer, internet, dan perangkat pendukung yang tidak memadai; (4) Keterbatasan Fasilitas Umum (64.06%) berupa kekurangan media interaktif dan penataan furnitur kelas yang mendukung; dan (5) Akses Konten dan Pengaturan Waktu (59.37%) berupa kesulitan mengakses bahan ajar STEAM dan mengelola waktu untuk aktivitas hands-on.
[22]	Kualitatif dengan desain Penelitian Tindakan Partisipatif (<i>Participatory Action Research</i> /PAR).	(1) Pembelajaran rekan sejawat (<i>peer learning</i>) membantu guru saling mendukung dalam penguasaan teknologi. (2) Refleksi terbimbing membantu guru menyeimbangkan fokus antara teknologi dan tujuan pembelajaran. Strategi untuk mengatasi tantangan pedagogis STEAM: (1) Mentoring dari peneliti/pelatih meningkatkan kemampuan guru dalam merancang dan melaksanakan pembelajaran STEAM; (3) Penyediaan contoh tugas pembelajaran STEAM membantu guru dalam pengembangan materi; (3) Praktik refleksi dan umpan balik sejawat meningkatkan kualitas rencana pembelajaran; (4) Kolaborasi antar-guru memperkaya pengalaman dan strategi pembelajaran.
[10]	Konseptual (<i>conceptual paper</i>) yang mengartikulasikan kerangka kerja strategis baru untuk pendidikan STEAM.	Tujuh Karakteristik STEAM yang Efektif (<i>Road-STEAMer Framework</i>): (1) <i>Equity</i> (Keadilan) berupa pendekatan berbasis nilai yang meratakan hierarki disiplin dan melibatkan siswa sebagai pemimpin pembelajaran; (2) <i>Disciplinary Inter-relationship</i> (Hubungan Antardisiplin) berupa integrasi seni dan STEM secara dinamis, bisa bersifat interdisipliner, transdisipliner, atau lintas disiplin; (3) <i>Collaboration</i> (Kolaborasi) berupa melibatkan guru, siswa, mitra eksternal, komunitas, dan teknologi sebagai alat kolaborasi; (4) <i>Real-world Connections</i> (Koneksi Dunia Nyata) berupa menghubungkan pembelajaran dengan masalah nyata (misalnya perubahan iklim) dan kebijakan seperti European Green Deal; (5) <i>Thinking-Making-Doing</i> berupa proses interaktif yang menekankan keterampilan abad ke-21, pembuatan (<i>making</i>), dan pembelajaran berbasis inkuiri; (6) <i>Creativity</i> (Kreativitas) sebagai keterampilan, alat,

		dan hasil dari praktik STEAM, terkait dengan inovasi dan permainan; (7) <i>Inclusion, Empowerment, Personalisation</i> (Inklusi, Pemberdayaan, Personalisasi) menciptakan lingkungan yang inklusif, membangun identitas, dan meningkatkan kepercayaan diri siswa.
[23]	Penelitian kualitatif dengan pendekatan Penelitian Tindakan (<i>Action Research</i>).	(1) Guru lebih percaya diri merancang dan melaksanakan pembelajaran STEAM dengan pendekatan design thinking; (2) Perubahan pembelajaran dari ceramah tradisional menjadi pembelajaran berbasis inkuiri, berpusat pada siswa, dan <i>hands-on</i> ; (3) Guru menyadari nilai integrasi antar mata pelajaran dan menghubungkannya dengan konteks dunia nyata; (4) Kolaborasi meningkat antar guru dari disiplin berbeda dalam merancang pembelajaran terintegrasi; (5) Guru lebih memprioritaskan pemahaman kebutuhan dan perspektif siswa, meningkatkan keterlibatan dan disiplin kelas; (6) Guru mampu merancang aktivitas dengan bahan rendah biaya dan mengatasi keterbatasan sumber daya; dan (7) Guru melihat STEAM sebagai pendekatan praktis dan relevan untuk menghubungkan kurikulum dengan masalah dunia nyata.
[24]	<i>Mixed-methods</i> menggunakan survei persepsi dan analisis dokumen	(1) Keuntungan terbesar yang diantisipasi adalah meningkatkan minat belajar siswa, pengembangan kemampuan belajar mandiri, dan pembentukan kepribadian; (2) Hambatan terbesar yang dilihat adalah kesulitan mengintegrasikan mata pelajaran dan kurangnya pengetahuan guru tentang subjek di luar bidang keahliannya; (3) Guru juga khawatir akan kurangnya fasilitas dan sumber daya; (4) Pengembangan metode pengajaran STEAM dinilai sebagai hal paling penting dan mendasak, diikuti oleh pelatihan STEAM; (5) Analisis menunjukkan reformasi STEAM di Uzbekistan bersifat top-down, sehingga terdapat kesenjangan besar antara penetapan STEAM sebagai kebijakan/prinsip kurikulum oleh pemerintah dengan pemahaman dan kesiapan para pendidik di lapangan.
[25]	Pendekatan kualitatif-interpretatif dalam sebuah studi kasus implementasi STEAM di kelas matematika	(1) Persepsi Positif Siswa terhadap STEAM: Setelah pengalaman, mayoritas siswa (68%, naik dari 48%) menyetujui integrasi berbagai area pengetahuan di kelas matematika. Mereka melihat STEAM membuat pelajaran lebih menyenangkan, menarik, dan relevan; (2) Peningkatan Keterbukaan dan Kenyamanan: Keterbukaan siswa untuk berpartisipasi dalam proyek STEAM meningkat (73%, naik dari 52%). Tingkat kenyamanan mereka pada area Teknik (Engineering) dan Seni (Arts) meningkat paling signifikan; (3) Manfaat yang Dirasakan Siswa: Siswa mengidentifikasi beberapa keuntungan STEAM yaitu Mengembangkan kemampuan berpikir & kreativitas, memperoleh pengetahuan yang lebih luas dan terintegrasi, membantu dalam pengambilan keputusan karier dan mempersiapkan masa depan, dan mendorong koneksi antara mata pelajaran dengan dunia nyata.
[26]	Kuasi-eksperimen dengan pendekatan campuran (<i>mixed-methods</i>) untuk mengevaluasi dampak program pengembangan profesional guru dalam konteks pendidikan STEAM	(1) Peningkatan signifikan dalam self-efficacy guru, terutama pada sub-skala pembelajaran berbasis inkuiri dan penggunaan konteks relevan; (2) Faktor yang paling dihargai guru dalam program: transferabilitas ke kelas (24%), manfaat sumber daya pembelajaran (22%), dampak positif pada motivasi dan pembelajaran siswa (22%), Pertukaran pengalaman dengan sesama guru (14%). (3) Tantangan yang teridentifikasi adalah kurangnya perhatian pada dimensi budaya dan nilai-nilai fundamental, kebutuhan akan pelatihan yang lebih mendalam dalam pendekatan interdisipliner, dan hambatan struktural (kurikulum terpisah, waktu terbatas, bahan ajar khusus).
[27]	Studi kasus eksploratif dengan pendekatan kualitatif untuk menyelidiki implementasi pendidikan STE(A)M di Indonesia dari perspektif	Area implementasi STE(A)M di Indonesia mencakup empat bidang: (1) Aktivitas tingkat universitas (penelitian, konferensi, materi pembelajaran); (2) Pelatihan guru (dilakukan oleh lembaga pemerintah); (3) Aktivitas di sekolah (pembelajaran berbasis proyek dalam kurikulum); dan (4) Aktivitas luar sekolah (memperkenalkan STE(A)M kepada anak dan keluarga).

	para ahli, pembuat kebijakan, dan praktisi	Tahapan implementasi STE(A)M melalui empat tahap: (1) Tahap awal (membangun kolaborasi antarsektor pemerintah); (2) Tahap pertumbuhan (sosialisasi, penelitian, dan kemitraan); (3) Tahap ekspansi (pelatihan guru besar-besaran, pendirian pusat penelitian, integrasi STEAM); (4) Tahap mapan (pelatihan berkelanjutan, pembangunan komunitas belajar).
[28]	Pendekatan studi kasus kualitatif untuk mengeksplorasi strategi pengajaran eksplisit yang diterapkan oleh seorang guru STEAM sekolah menengah dalam program perubahan iklim	Strategi pengajaran eksplisit yang diidentifikasi dalam tiga tahap program STEAM: (1) Tahap <i>Context Presentation</i> (Penyajian Konteks): Menggunakan pertanyaan terbuka yang terkait dengan kehidupan nyata (bukan virtual), Memberikan tugas khusus yang realistis untuk membuat siswa menyadari masalah perubahan iklim di komunitas mereka, dan mendorong pertukaran pendapat melalui pembelajaran kolaboratif dengan rasa tanggung jawab mencari solusi nyata. (2) Tahap <i>Creative Design</i> (Desain Kreatif): memberi kesempatan pada siswa untuk merancang eksperimen dengan berbagai alat dalam konteks kompleks, mendorong proses pemecahan masalah yang terhubung dengan komunitas nyata siswa, menggunakan bahan dan informasi sehari-hari untuk mengabstraksi fenomena dalam mempertimbangkan masalah nyata, guru berperan sebagai kolaborator (bukan pemberi informasi), dan menciptakan kelas yang berpusat pada siswa melalui komunikasi yang kuat. (3) Tahap <i>Emotional Touch</i> (Sentuhan Emosional): Menggunakan berbagai media untuk mempertimbangkan masalah realistis dan membuat proses eksperimen bersifat sukarela, mengevaluasi efektivitas produk akhir dari berbagai sudut pandang (ekonomi, lingkungan, sosial).
[11]	Penelitian desain pendidikan (<i>educational design research</i>) dengan pendekatan campuran (kuantitatif dan kualitatif)	(1) Guru yang menggunakan design heuristics menunjukkan peningkatan signifikan dalam kualitas rencana pembelajaran STEAM yang berfokus pada <i>Engineering Design Process</i> (EDP) dalam lingkungan hybrid learning; (2) Faktor <i>Defining the Problem</i> (DP) memiliki ukuran efek sedang, menunjukkan bahwa guru masih mengalami kesulitan dalam merumuskan masalah untuk aktivitas STEAM; (3) Item LC 5 (variasi strategi penilaian) secara konsisten mendapat skor terendah di semua kelompok, mengindikasikan tantangan dalam merancang penilaian yang beragam untuk pembelajaran STEAM; dan (4) <i>Design heuristics</i> terbukti efektif sebagai pedoman pedagogis untuk membantu guru merencanakan pembelajaran STEAM-EDP dalam konteks <i>hybrid learning</i> .
[29]	Penelitian campuran (<i>mixed-method</i>) dengan pendekatan kualitatif dan kuantitatif.	(1) Pemahaman Interseksi Seni-Desain-Sains: Setelah modul, lebih banyak siswa memahami peran seni dan desain dalam sains sebagai alat komunikasi, pemahaman visual, dan pemicu ide baru; (2) Peningkatan Pembelajaran dan Keterampilan: Siswa melaporkan peningkatan pengetahuan dalam ilmu tanaman (45%), pemodelan 3D (38%), dan keterampilan penelitian (21%). Keterampilan lunak (<i>soft skills</i>) yang dikembangkan meliputi kerja tim (27%), komunikasi (11.1%), dan komunikasi sains (7.9%). Keterampilan yang diperoleh dinilai relevan untuk proyek masa depan, kuliah, karier, dan kehidupan profesional; (3) Peningkatan Minat terhadap Bidang STEAM dan Karier: 40% siswa melaporkan peningkatan minat terhadap karier STEAM setelah modul, dengan beberapa menyatakan ketertarikan baru pada ilmu tanaman. 13% siswa telah memiliki minat pada karier STEAM sebelum modul. Modul efektif dalam menciptakan pembelajaran yang aktif, otentik, kolaboratif, dan bermakna, serta mendukung integrasi disiplin ilmu secara genuin.
[30]	Studi kuantitatif menggunakan <i>Structural Equation Modeling</i> (SEM) untuk menganalisis hubungan struktural antar variabel.	(1) Model hubungan struktural antara kolaborasi sumber daya pembelajaran, penerimaan perubahan pendidikan sekolah, keahlian pembelajaran, efikasi pembelajaran, dan sikap terhadap STEAM terbukti sesuai (fit model); (2) Penerimaan perubahan pendidikan sekolah dan efikasi pembelajaran berpengaruh positif langsung terhadap sikap terhadap STEAM; (3) Efikasi pembelajaran memiliki pengaruh lebih

		besar dibanding penerimaan perubahan; (4) Kolaborasi sumber daya pembelajaran tidak berpengaruh langsung, tetapi berpengaruh positif secara tidak langsung melalui mediasi efikasi pembelajaran dan penerimaan perubahan sekolah; (5) Penerimaan perubahan sekolah juga memengaruhi sikap melalui mediasi ganda (keahlian pembelajaran dan efikasi pembelajaran); (6) Keahlian pembelajaran memengaruhi sikap hanya melalui efikasi pembelajaran (tidak langsung); (7) Penerimaan perubahan sekolah dan kolaborasi sumber daya pembelajaran memiliki pengaruh total terbesar terhadap pembentukan sikap positif terhadap STEAM.
[31]	Studi kualitatif dengan analisis deskriptif terhadap pelaksanaan STE(A)M-PBL di kelas dari perspektif pembelajaran matematika sekolah.	(1) Guru berkembang dari mengimplementasikan proyek monodisiplin (8 proyek) ke interdisipliner (27 proyek) dan transdisipliner (6 proyek) seiring waktu dan dukungan berkelanjutan; (3) Guru matematika cenderung menghindari proyek transdisipliner yang sulit memuat matematika sekolah, dan lebih memilih proyek interdisipliner yang memungkinkan eksplorasi matematika mendalam; (3) Guru non-matematika cenderung mengabaikan atau menyederhanakan konten matematika dalam proyek interdisipliner, dan lebih fokus pada aspek desain atau inkuiri. Kesulitan Implementasi: (1) Proyek transdisipliner sulit memuat matematika sekolah secara mendalam karena kompleksitas konteks dunia nyata; (2) Kolaborasi siswa tidak selalu efektif; beberapa siswa kurang terlibat dalam proses analitis; dan (3) Guru mengalami kesulitan dalam menilai siswa secara adil dalam pembelajaran kolaboratif.
[32]	Studi kualitatif dengan pendekatan fenomenologis untuk memahami pengalaman guru dan pendidik guru dalam program pembelajaran STEM.	Ditemukan lima aktivitas kunci yang mendukung pembelajaran guru dalam mendesain kurikulum STEM terintegrasi: (1) Analisis sumber ajar STEM – membantu guru memahami contoh integrasi dan mengevaluasi kualitasnya; (2) Imersi dalam pengalaman pembelajaran STEM – guru berperan sebagai siswa untuk mengalami langsung pedagogi konstruktivis dan integrasi disiplin; (3) Eksplorasi kemungkinan STEM dalam kurikulum negara bagian – mengidentifikasi titik temu antar disiplin dan topik dunia nyata dalam dokumen kurikulum resmi; (4) Kunjungan ke museum, galeri, dan tempat kerja STEM – mendapatkan inspirasi topik autentik dan melihat integrasi dalam konteks nyata; (5) Kolaborasi dalam desain kurikulum STEM – bekerja dalam tim multidisiplin untuk berbagi pengetahuan dan mengembangkan unit pembelajaran. Dampak Aktivitas: (1) Analisis sumber ajar dan imersi dianggap paling bernilai karena cakupan belajarnya luas; (2) Kolaborasi antar guru dari disiplin berbeda sangat efektif untuk berbagi pengetahuan konten dan pedagogis; (3) Pengalaman langsung di luar kelas (museum, industri) membantu guru memahami relevansi STEM dan mendapatkan topik integrasi yang autentik; (4) Keterbatasan waktu dalam program dan kebutuhan membangun kemitraan dengan pihak eksternal (museum, industri) menjadi kendala implementasi.
[33]	Desain penelitian longitudinal dengan pengukuran pre-test dan post-test untuk mengevaluasi dampak program Pengembangan Profesional (PD) berbasis STEAM terhadap kreativitas dan motivasi siswa.	(1) Intervensi STEAM meningkatkan skor kreativitas aktif (<i>Act</i>), <i>flow</i>, dan efikasi diri (SE) siswa secara signifikan; (2) Tidak ada peningkatan signifikan dalam motivasi karir (CM) secara keseluruhan, tetapi analisis berdasarkan gender menunjukkan peningkatan CM pada siswa laki-laki, sementara perempuan tidak mengalami perubahan; (3) Tidak Ada Efek Gender yang Signifikan: Tidak ditemukan perbedaan gender yang signifikan dalam kreativitas atau efikasi diri, menunjukkan bahwa STEAM dapat menjadi pendekatan yang inklusif; (4) Korelasi kanonik menunjukkan hubungan yang kuat antara konstruk motivasi sains dan kreativitas. Efikasi diri menjadi prediktor terkuat untuk motivasi sains; (5) SEM mengonfirmasi bahwa kreativitas aktif (<i>Act</i>) berpengaruh positif

		terhadap efikasi diri, yang pada gilirannya memengaruhi motivasi karir.
[34]	Pendekatan kualitatif dengan desain studi kasus untuk menganalisis proses perancangan dan implementasi aktivitas STEAM oleh seorang guru matematika sekolah menengah di Italia yang terlibat dalam proyek Erasmus+ STEAM-Connect.	(1) Desain aktivitas STEAM berevolusi dari pendekatan multidisiplin (kerja sama tanpa koordinasi antar-disiplin) menuju interdisiplin (koordinasi dengan tujuan masing-masing disiplin), dan bergerak ke arah transdisiplin (tujuan bersama berbasis masalah dunia nyata); (2) Evolusi desain dipicu oleh koneksi horizontal (antar-guru/antar-peneliti) dan vertikal (guru-peneliti), baik dalam tingkat nasional maupun internasional. Koneksi ini mendorong refleksi, umpan balik, dan pengayaan desain; (3) Kolaborasi efektif membutuhkan waktu, komitmen, dan dukungan institusional. Guru matematika awalnya memimpin desain karena lebih berpengalaman, namun keterlibatan guru disiplin lain sangat penting untuk mencapai pendekatan inter/transdisiplin yang seimbang; (4) Template yang digunakan dalam proyek cenderung mempertahankan batasan disipliner (kolom "mata pelajaran" dan "kompetensi spesifik mata pelajaran"), sehingga kurang mendorong pendekatan transdisiplin yang sepenuhnya terintegrasi; dan (5) Guru menggunakan metafora seperti roda besar (matematika) dengan roda kecil (disiplin lain) untuk multidisiplin, vas berisi cairan berbeda untuk interdisiplin, dan prisma yang membiaskan cahaya untuk transdisiplin, menunjukkan pemahaman konseptual yang berkembang.
[35]	Pendekatan analisis deskriptif kuantitatif untuk meneliti tren pendidikan STEM/STEAM di Jepang.	(1) Jumlah dan anggaran penelitian STEM/STEAM meningkat pesat sejak 2015; (2) Istilah STEM muncul lebih dulu (studi pertama dengan kata kunci 2005, judul 2011), sementara STEAM mulai muncul di judul penelitian sejak 2015 dan melonjak pada 2020; (3) Penelitian STEAM cenderung berasal dari bidang seni, teknologi, dan kurikulum, dengan masih terbatasnya integrasi "A" (Art/seni) dalam pendidikan sains; (4) Kesenjangan gender signifikan di Jepang dan Asia Timur lainnya: persentase setuju siswa laki-laki lebih tinggi 10–20 poin persen dibanding perempuan, sementara di AS kesenjangan lebih kecil (3–6 poin persen); dan (5) Konteks Pendidikan Terintegrasi di Jepang: Jepang telah memiliki pengalaman panjang dalam pembelajaran terintegrasi (misalnya Living Environment Studies, Period for Integrated Studies), namun integrasi dalam STEAM masih memerlukan kejelasan konsep dan implementasi.

Sintesis pada 17 artikel ini dilakukan untuk memahami tantangan manajemen kurikulum berbasis STEAM. Berikut ini merupakan sajian sintesis temuan penelitian berdasarkan 17 artikel rujukan utama menggunakan kerangka POAC (*Planning, Organizing, Actuating, Controlling*).

Tabel 2. Sintesis Temuan Tantangan Manajemen Implementasi STEAM

Dimensi POAC & Tantangan	Temuan Spesifik	Kode Artikel
A. PERENCANAAN (<i>Planning</i>)		
A.1. Kebijakan & Kurikulum	Kurikulum yang kaku dan tidak fleksibel, kurang memberikan ruang untuk integrasi STEAM yang autentik. Kesenjangan antara kebijakan nasional yang <i>top-down</i> dengan pemahaman dan kesiapan guru di lapangan. Kurangnya panduan operasional dan definisi konseptual yang jelas tentang STEAM, khususnya peran "A" (Seni).	[24], [25], [34] [24], [27], [35] [24], [27], [35]
A.2. Desain Pembelajaran	Kesulitan guru dalam merancang aktivitas STEAM yang benar-benar terintegrasi dan transdisipliner, bukan sekadar multidisiplin. Tantangan dalam merumuskan masalah dunia nyata yang sesuai dan menyeimbangkan integrasi kelima domain STEAM.	[10], [28], [32], [34] [25], [11]

B. PENGORGANISASIAN (<i>Organizing</i>)		
B.1. Sumber Daya Manusia (Guru)	Keterbatasan kompetensi dan self-efficacy guru dalam pedagogi STEAM, teknologi, dan pendekatan inkuiri. Resistensi terhadap perubahan dari metode pengajaran tradisional ke pendekatan kolaboratif dan berpusat pada siswa. Kurangnya pelatihan yang memadai, praktis, dan berkelanjutan, serta dukungan mentoring.	[21], [23], [26], [30] [24], [26], [27] [21], [23], [24], [26]
B.2. Kolaborasi & Struktur	Kurangnya waktu dan mekanisme yang terstruktur untuk kolaborasi perencanaan antar guru dari disiplin berbeda. Tantangan dalam membangun tim kolaboratif yang efektif dan seimbang antar disiplin ilmu.	[23], [25], [34] [10], [32], [34]
C. PELAKSANAAN (<i>Acting</i>)		
C.1. Infrastruktur & Sumber Daya	Keterbatasan akses terhadap teknologi digital, internet, dan perangkat pendukung (seperti komputer, software, lab). Kekurangan bahan dan fasilitas material untuk eksperimen, prototyping, dan kegiatan hands-on.	[21], [22], [29] [21], [28], [29]
C.2. Proses Pembelajaran di Kelas	Kesulitan mengelola waktu untuk aktivitas proyek yang kompleks dalam jadwal kurikulum yang padat. Ketidakmerataan partisipasi dan keterlibatan siswa dalam kerja kelompok selama proyek STEAM.	[21], [25], [31] [31], [34]
D. PENGAWASAN & EVALUASI (<i>Controlling</i>)		
D.1. Penilaian (Assesment)	Keterbatasan guru dalam mengembangkan strategi dan instrumen penilaian yang beragam, autentik, dan sesuai untuk pembelajaran STEAM yang kolaboratif. Kesulitan menilai kontribusi individu secara adil dalam kerja kelompok dan proyek.	[25], [11], [31] [31], [34]
D.2. Monitoring & Dampak	Kurangnya sistem monitoring yang efektif untuk mengevaluasi proses implementasi dan dampak jangka panjang STEAM. Tantangan dalam mengukur hasil pembelajaran non-kognitif (seperti kreativitas, kolaborasi) yang menjadi tujuan utama STEAM.	[27], [33] [30], [33]

3.2. Pembahasan

Berdasarkan sintesis 17 studi terpilih, teridentifikasi pola tantangan manajemen STEAM yang konsisten pada berbagai konteks. Temuan mengungkapkan tantangan multidimensi yang mencakup seluruh spektrum fungsi manajerial, dari perencanaan hingga evaluasi. Bagian berikut akan membahas masing-masing tingkat tantangan secara mendalam, dengan merujuk pada temuan spesifik dari studi-studi terkait.

3.2.1. Tantangan Manajemen Implementasi STEAM

Implementasi kurikulum berbasis STEAM di Sekolah Menengah Atas (SMA) Indonesia menghadapi berbagai tantangan yang perlu dianalisis dari beberapa dimensi manajerial. Tantangan ini meliputi perencanaan kebijakan, pengorganisasian sumber daya manusia, pelaksanaan operasional, serta pengawasan dan evaluasi.

Tingkat Perencanaan (Planning)

Tantangan terbesar dimulai dari tingkat perencanaan yang ditandai adanya ketidaksinkronan antara kebijakan di tingkat pusat dan realitas di sekolah. Kebijakan *top-down* yang tidak disertai sosialisasi mendalam menyebabkan kesenjangan pemahaman di tingkat guru [24][27]. Guru di Uzbekistan, misalnya, mendukung ide STEAM namun tidak memahami esensi dan implementasinya [5]. Fenomena serupa terlihat di Indonesia dan Jepang, di mana kerangka konseptual STEAM, khususnya integrasi "A" (Arts), masih ambigu [27][35]. Di level kurikulum, struktur yang kaku dan berorientasi mata pelajaran terpisah menjadi penghalang utama untuk merancang pembelajaran yang benar-benar terintegrasi [25][34]. Agar kurikulum STEAM sebagai program

strategis sekolah dapat dipahami dengan baik, maka sekolah dapat melakukan pelatihan atau workshop tentang implementasi STEAM dan memanfaatkan komunitas belajar profesional (*professional learning community* atau PLC).

Tingkat Pengorganisasian (Organizing) Sumber Daya Manusia

Tantangan pengorganisasian berpusat pada kapasitas guru dan budaya kerja. Kompetensi guru dalam pedagogi STEAM, teknologi, dan pendekatan *design thinking* masih terbatas [21][23][26]. Pelatihan yang ada seringkali terlalu teoritis dan tidak memberikan contoh praktis yang kontekstual [21]. Lebih dari itu, perubahan keyakinan (*beliefs*) dan *self-efficacy* guru membutuhkan waktu dan program pengembangan profesional yang intensif dan berkelanjutan [23][26]. Aspek pengorganisasian lain yang krusial adalah membangun kolaborasi. Implementasi STEAM yang ideal membutuhkan perencanaan tim guru antar disiplin ilmu, namun hal ini terkendala oleh struktur sekolah yang terisolasi, kurangnya waktu yang dialokasikan secara resmi, dan ketiadaan mekanisme pendukung kolaborasi [23][25][34]. Salah satu peran penting yang diperlukan untuk mendukung keberhasilan dalam proses pengorganisasian adalah kepemimpinan yang visioner dan instruksional yang mampu menginternalisasi kurikulum STEAM dalam program sekolah sehingga implementasi kurikulum STEAM juga akan memberikan perubahan positif pada budaya sekolah yang inovatif dan berbasis ilmu pengetahuan.

Tingkat Pelaksanaan (Acting) dan Operasional

Pada tahap pelaksanaan, kendala sarana dan prasarana menjadi penghambat nyata. Keterbatasan akses teknologi digital, internet, dan perangkat pendukung (seperti komputer dan software spesifik) sangat terasa, khususnya di sekolah-sekolah dengan sumber daya terbatas [21][22]. Kekurangan bahan praktikum dan ruang untuk aktivitas eksperimen juga membatasi variasi dan kualitas proyek STEAM [21][29]. Di dalam kelas, guru menghadapi tantangan operasional seperti mengelola waktu proyek yang panjang dalam alokasi jam pelajaran yang terbatas [21][25]. Selain itu, guru menghadapi tantangan besar untuk memastikan keterlibatan semua siswa secara merata dalam kerja kelompok kolaboratif [31][34]. Tantangan pelaksanaan ini dapat diatasi dengan penerapan berbagai kebijakan strategis, misalnya adalah pemilihan jenis proyek STEAM yang ekonomis namun secara esensial mencakup kebutuhan pembeajaran STEAM. Selain itu guru juga bisa mendelegasikan setiap kelompok siswa untuk menyiapkan alat dan bahan untuk kegiatan pembelajaran STEAM.

Tingkat Pengawasan dan Evaluasi (Controlling)

Tantangan di tingkat pengawasan dan evaluasi seringkali kurang mendapat perhatian. Penilaian (*assessment*) menjadi titik lemah utamanya dimana guru mengalami kesulitan merancang instrumen penilaian yang sesuai untuk mengukur proses kolaboratif, kreativitas, dan pemecahan masalah kompleks dalam STEAM [25][11]. Termasuk di dalamnya ada tantangan besar dalam menilai peran individu dalam kerja kelompok secara adil [31][34]. Di tingkat sistem, belum ada mekanisme monitoring dan evaluasi yang komprehensif untuk mengukur dampak jangka panjang implementasi STEAM terhadap hasil belajar siswa, baik kognitif maupun non-kognitif [27][33]. Pada tahap ini, diperlukan peran aktif kepala sekolah untuk melakukan supervisi klinis agar implementasi kurikulum STEAM berjalan dengan lancar. Melalui supervisi klinis, kepala sekolah dapat mengidentifikasi berbagai permasalahan yang dihadapi guru dalam menerapkan pembelajaran STEAM, termasuk memberikan rekomendasi terkait pengukuran dampak jangka panjang dari penerapan kurikulum STEAM.

3.2.2. Strategi dan Rekomendasi yang Efektif

Berdasarkan sintesis di atas, strategi efektif dalam menghadapi tantangan harus bersifat holistik dan menjawab tantangan di semua level POAC. Ada beberapa strategi dan rekomendasi yang diberikan berdasarkan analisis tantangan implementasi kurikulum berbasis STEAM: (1) Sekolah perlu mengembangkan kebijakan yang melibatkan guru dalam proses perencanaan (*bottom-up*) untuk menjamin relevansi kurikulum [22][10]. Keterlibatan guru diperlukan dalam penyusunan panduan operasional dan kurikulum yang fleksibel, disertai contoh rencana pembelajaran (*lesson plan*) STEAM yang terintegrasi dengan kurikulum nasional [25][32]; (2) Program pengembangan profesionalitas guru harus intensif, berkelanjutan, berorientasi praktik, dan menggunakan pendekatan coaching atau mentoring [23][26][33]. Pelatihan perlu fokus pada peningkatan *self-efficacy* guru, pedagogi kreatif, *design thinking*, dan strategi penilaian autentik [23][26][11]. Pembentukan komunitas praktek antar guru lintas disiplin dan sekolah dapat mendukung pembelajaran kolektif [32]; (3) Sekolah perlu mengalokasikan waktu khusus dalam jadwal untuk perencanaan kolaboratif guru [25][34]. Pimpinan sekolah harus mendorong dan memfasilitasi pembentukan tim pengajar STEAM lintas mata pelajaran [34]; (4) Pengembangan dan sosialisasi model-model penilaian autentik untuk STEAM (seperti portfolio, penilaian berbasis kinerja, dan rubrik untuk keterampilan abad 21) sangat mendesak [25][11]. Institusi perlu

mengembangkan sistem monitoring sederhana untuk melacak proses implementasi dan dampaknya terhadap motivasi serta minat karir siswa [29][33].

3.2.3. Implikasi untuk Pengembangan Kompetensi Abad 21 Siswa SMA

Implementasi STEAM yang efektif memiliki implikasi langsung terhadap pengembangan keterampilan abad 21 (*Critical Thinking, Creativity, Collaboration, Communication, Citizenship, Character*) pada siswa SMA. Pada aspek *critical thinking & creativity* (berpikir kritis & kreativitas), pembelajaran STEAM berbasis masalah dunia nyata dan *inquiry* secara alamiah melatih siswa untuk menganalisis informasi kompleks, mengevaluasi solusi alternatif, dan berinovasi [10][28][33]. Temuan menunjukkan peningkatan signifikan pada kreativitas siswa setelah terlibat dalam proyek STEAM [33].

Pada aspek *collaboration & communication* (kolaborasi & komunikasi), struktur proyek STEAM yang mengharuskan kerja tim lintas keahlian memaksa siswa untuk berkolaborasi, bernegosiasi, dan mengomunikasikan ide-ide mereka secara efektif [10][29]. Studi kasus menunjukkan peningkatan keterampilan kerja tim dan komunikasi sains pada siswa [29]. Terakhir, pada aspek *citizenship & character* (kewarganegaraan & karakter), dengan menghubungkan pembelajaran dengan isu sosial dan lingkungan (seperti perubahan iklim), STEAM mengembangkan kesadaran kewarganegaraan global, empati, dan rasa tanggung jawab [28]. Program yang mengintegrasikan diskusi nilai-nilai dan etika berhasil menyentuh dimensi humanistik siswa [28]. Pengalaman otentik dalam proyek STEAM terbukti meningkatkan minat dan kesiapan siswa untuk mengejar karir di bidang STEM/STEAM, sekaligus membantu mereka memahami aplikasi ilmu pengetahuan dalam konteks profesional [29][34].

Namun demikian, implikasi positif pendekatan STEAM terhadap penguatan kompetensi abad 21 siswa ini menghadapi beberapa tantangan berkaitan dengan realitas empiris ekosistem pendidikan di Indonesia. Pertama, konsep ideal STEAM yang memuat pembelajaran interdisipliner masih sangat sulit diterapkan di jenjang SMA. Hal ini terjadi karena sistem mengajar guru di Indonesia masih berbasis linearitas mata pelajaran tunggal, sehingga kolaborasi antarguru lintas disiplin untuk mendesain proyek STEAM masih sangat jarang dilakukan di sekolah. Selain itu, kurangnya pelatihan guru berkaitan dengan implementasi pembelajaran antardisiplin ilmu juga masih kurang. [21][31] Kedua, terdapat kesenjangan antara tuntutan teknologi/logistik dengan ketersediaan infrastruktur pendidikan di berbagai wilayah Indonesia. Realitanya, di sekolah-sekolah daerah 3T (Terdepan, Terluar, Tertinggal) menunjukkan bahwa kebutuhan mendasar seperti stabilitas listrik, akses internet, dan ketersediaan laboratorium standar belum terpenuhi. Kondisi ini berisiko menjadi beban finansial baru bagi sekolah atau orang tua untuk pengadaan bahan proyek pembelajaran. [21] Ketiga, orientasi penilaian pendidikan di Indonesia yang masih didominasi oleh *high-stakes testing* (seperti Asesmen Nasional Berbasis Komputer atau Tes Kompetensi Akademik) menimbulkan dilema berkaitan dengan orientasi pembelajaran berkualitas atau pemenuhan standar nilai secara kognitif. [11][35] Oleh karena itu, jika tantangan manajerial ini tidak dimitigasi secara eksplisit melalui kebijakan makro yang adaptif, implikasi ideal STEAM untuk membentuk generasi abad 21 menuju Indonesia Emas 2045 hanya akan menjadi retorika kurikulum di atas kertas yang justru berpotensi memperlebar kesenjangan kualitas pendidikan antardaerah.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan sintesis sistematis terhadap 17 artikel penelitian, dapat disimpulkan bahwa implementasi kurikulum STEAM di SMA dihadapkan pada sejumlah tantangan manajerial yang kompleks dan saling berkaitan, yang dapat dianalisis melalui kerangka fungsi manajemen POAC. Dari Perspektif Perencanaan (*Planning*), tantangan utama terletak pada disinkroni antara kebijakan dan implementasi. Kebijakan yang bersifat top-down seringkali tidak disertai dengan panduan operasional yang jelas, definisi konseptual STEAM yang matang (terutama peran "A"/Seni), serta kurikulum yang fleksibel untuk mendukung integrasi autentik lintas disiplin. Hal ini menciptakan kesenjangan antara harapan kebijakan dengan pemahaman dan kemampuan praktis guru di lapangan.

Dari Perspektif Pengorganisasian (*Organizing*), tantangan berpusat pada kapasitas sumber daya manusia dan budaya kolaborasi. Kompetensi dan self-efficacy guru dalam pedagogi STEAM, teknologi, dan pendekatan inkuiri masih terbatas, didukung oleh program pengembangan profesi yang kurang praktis dan berkelanjutan. Struktur sekolah yang terisolasi serta tidak adanya alokasi waktu dan mekanisme formal menghambat terbentuknya kolaborasi efektif antarguru dari disiplin ilmu yang berbeda, yang merupakan jantung dari pembelajaran STEAM. Dari Perspektif Pelaksanaan (*Actuating*), kendala terbesar bersifat infrastrukturnal dan operasional. Keterbatasan akses terhadap teknologi digital, perangkat pendukung, bahan praktikum, dan ruang hands-on membatasi variasi dan kualitas aktivitas STEAM. Di tingkat kelas, guru menghadapi kesulitan dalam mengelola waktu proyek yang panjang dan memastikan partisipasi aktif seluruh siswa dalam kerja kelompok.

Dari Perspektif Pengawasan dan Evaluasi (*Controlling*), tantangan utama adalah defisit sistem penilaian yang autentik. Guru mengalami kesulitan dalam mengembangkan dan menerapkan instrumen penilaian yang mampu mengukur proses kolaborasi, kreativitas, dan pemecahan masalah kompleks—kompetensi inti dari STEAM. Selain itu, belum adanya sistem monitoring yang komprehensif untuk mengevaluasi dampak jangka panjang implementasi terhadap hasil belajar siswa.

Untuk mengoptimalkan implementasi kurikulum STEAM guna mendukung pengembangan kompetensi abad ke-21 (6C) siswa, diperlukan strategi manajerial yang holistik dan terintegrasi. Strategi tersebut meliputi: (a) perencanaan partisipatif yang melibatkan guru dalam penyusunan panduan dan kurikulum fleksibel; (b) pengembangan profesional guru yang transformasional, intensif, berkelanjutan, dan berfokus pada peningkatan self-efficacy serta pedagogi kreatif; (c) penciptaan struktur pendukung kolaborasi melalui alokasi waktu dan pembentukan community of practice; (d) penyediaan infrastruktur dan sumber daya yang memadai, dengan strategi pemanfaatan teknologi sederhana dan bahan rendah biaya; serta (e) pengembangan sistem penilaian autentik dan mekanisme monitoring berbasis bukti yang dapat menangkap perkembangan kompetensi 6C siswa.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Beetham, H., & Sharpe, R. (Eds.). (2013). *Rethinking pedagogy for a digital age: Designing for 21st century learning*. Routledge.
- [2] Partnership for 21st Century Skills. (n.d.). *Framework for 21st century learning*. <http://www.battelleforkids.org/networks/p21>
- [3] Fullan, M., & Langworthy, M. (2014). *A rich seam: How new pedagogies find deep learning*. Pearson. https://www.michaelfullan.ca/wp-content/uploads/2014/01/3897.Rich_Seam_web.pdf
- [4] Fullan, M. (2018). *Deep learning: Engage the world change the world*. Corwin Press.
- [5] Kementerian PPN/Bappenas. (2019). Visi Indonesia 2045: *Berdaulat, maju, adil, dan makmur*. https://www.bappenas.go.id/files/VISI%20INDONESIA%202045/Lengkap_Visi%20Indonesia%202045_Revisi%20III.pdf
- [6] Kolb, D. A. (1984). *Experiential learning: Experience as the source of learning and development*. Prentice-Hall.
- [7] Krajcik, J. S., & Blumenfeld, P. C. (2006). *Project-Based Learning*. In R. K. Mergendoller & L. J. H. T. M. (Eds.), *Project-Based Learning: An instructional model and its applications*. Lawrence Erlbaum Associates.
- [8] Yakman, G. (2008). *STEAM education: An overview of creating a model of integrative education*. In Pupils' Attitudes Towards Technology (PATT-19) Conference: Research on Technology, Innovation, Design & Engineering Teaching, Salt Lake City, Utah, USA.
- [9] Rhode Island School of Design (RISD). (2010). *STEM to STEAM: The importance of art and design in the American economy*. <http://www.risd.edu/STEAM/>
- [10] Chappell, K., Hetherington, L., Juillard, S., Aguirre, C., & Duca, E. (2025). A framework for effective STEAM education: Pedagogy for responding to wicked problems. *International Journal of Educational Development and Research*, 40, 100474. <https://doi.org/10.1016/j.ijedro.2025.100474>
- [11] Laksmiwati, P. A., Lavicza, Z., Cahyono, A. N., Alagic, M., & Mumcu, F. (2024). When engineering design meets STEAM education in hybrid learning environment: teachers' innovation key through design heuristics. *Asia Pacific Journal of Education*. <https://doi.org/10.1080/02188791.2024.2373226>
- [12] Nurazmi, N., Bancong, H., Nurfadilah, N., & Yusal, Y. (2025). Mapping the Evolution of STEAM Education: A Bibliometric Analysis of Global Trends from 2016 to 2025. *International Journal of Learning, Teaching and Educational Research*, 24(9), 940-965. <https://doi.org/10.26803/ijlter.24.9.45>
- [13] Darling-Hammond, L., & Hammerness, K. (2005). *The design of teacher education programs*. In J. M. Spector, M. D. Merrill, J. Elen, & M. J. Bishop (Eds.), *Handbook of research on educational communications and technology* (pp. 81-99). Springer.
- [14] Spector, J. M., Merrill, M. D., Elen, J., & Bishop, M. J. (Eds.). (2014). *Handbook of research on educational communications and technology (4th ed.)*. Springer.
- [15] Bettany-Saltikov, J., & McSherry, W. (2024). *Systematic reviews in the health sciences: An introduction*. Sage.

-
- [16] Van Dinter, H., Hou, K., & Choi, M. (2021). Systematic literature review on management of STEAM education in secondary schools. *Educational Research Review*, 15(2), 99-112. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2021.100159>
- [17] Liberati, A., Altman, D. G., Tetzlaff, J., Mulrow, C., Gøtzsche, P. C., Ioannidis, J. P. A., Clarke, M., Devereaux, P. J., Kleijnen, J., & Moher, D. (2009). *The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate healthcare interventions: Explanation and elaboration*. PLOS Med, 6(7), e1000100. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000100>
- [18] Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G., & The PRISMA Group. (2015). *Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement*. PLOS Med, 6(7), e1000097. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097>
- [19] Page, M.J., McKenzie, J.E., Bossuyt, P.M., Boutron, I., Hoffmann, T.C., Mulrow, C.D., Shamseer, L., Tetzlaff, J.M., Akl, E.A., Brennan, S.E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J.M., Hróbjartsson, A., Lalu, M.M., Li, T., Loder, E.W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., McGuinness, L.A., Stewart, L.A., Thomas, J., Tricco, A.C., Welch, V.A., Whiting, P. and Moher, D. (2021). *The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews*. BMJ, 372, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- [20] Barbosa, A. L., & Galembeck, M. (2022). *Exploring thematic synthesis in educational research: A systematic approach*. Springer.
- [21] Nuragnia, B., Nadiroh, & Usman, H. (2021). Pembelajaran STEAM di Sekolah Dasar: Implementasi dan Tantangan. *Jurnal Pendidikan dan Kebudayaan*, 6(2), 138-146. <https://doi.org/10.24832/jpnk.v6i2.2388>
- [22] Dos Santos, J. M., Silveira, A. R. P., Breda, A. M., & Saimon, M. (2025). Empowering Mozambican educators: Overcoming technological challenges to implement STEAM education. *International Journal of Educational Research and Practice*, 40, 100481. <https://doi.org/10.1016/j.ijedro.2025.100481>
- [23] Mehddi, F., Kazi, A. S., & Butt, A. I. (2025). *From theory to practice: How STEAM professional development shapes teacher beliefs and perceptions about design thinking activities*, 15(3), 1-15. SAGE Open. <https://doi.org/10.1177/21582440251355779>
- [24] Lee, Y. (2021). Examining the impact of steam education reform on teachers' perceptions about STEAM in Uzbekistan. *Asia-Pacific Science Education*, 37, 34-63. <https://doi.org/10.1163/23641177-bja10025>
- [25] Viseu, F., Gonçalves, S., & Martins, P. M. (2025). The interconnection of STEAM areas in the study of functions. *International Journal of Educational Research Open*, 100537. <https://doi.org/10.1016/j.ijedro.2025.100537>
- [26] Romero-Ariza, M., Quesada, A., Abril, A.-M., & Cobo, C. (2021). Changing teachers' self-efficacy, beliefs and practices through STEAM teacher professional development. *Journal for the Study of Education and Development*, 44(4), 942-969. <https://doi.org/10.1080/02103702.2021.1926164>
- [27] Laksmiwati, P. A., Lavicza, Z., Cahyono, A. N., Yunianto, W., & Houghton, T. (2023). Unveiling the implementation of STE(A)M education: An exploratory case study of Indonesia from experts' and policymakers' perspectives. *Cogent Education*. <https://doi.org/10.1080/2331186X.2023.2267959>
- [28] Park, Y. S., & Park, J. H. (2020). Exploring the Explicit Teaching Strategies in STEAM Program of Climate Change. *Asia-Pacific Science Education*, 6, 116-151. <https://doi.org/10.1163/23641177-BJA00002>
- [29] Arango-Caro, S., Langewisch, T., Ying, K., Haberberger, M. A., Ly, N., Branton, C., & Callis-Duehl, K. (2025). 3D plants: the impact of integrating science, design, and technology on high school student learning and interests in STEAM subjects and careers. *Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research*, 7, 1-18. <https://doi.org/10.1186/s43031-025-00120-4>
- [30] Kim, Y.-H., & Na, S.-I. (2022). Using structural equation modelling for understanding relationships influencing the middle school technology teacher's attitudes toward STEAM education in Korea. *International Journal of Technology and Design Education*, 32, 2495-2526. <https://doi.org/10.1007/s10798-021-09708-z>
- [31] Diego-Mantecon, J.-M., Prodromou, T., Lavicza, Z., Blanco, T. F., & Ortiz-Laso, Z. (2021). An attempt to evaluate STEAM project-based instruction from a school mathematics perspective. *ZDM – Mathematics Education*, 53, 1137-1148. <https://doi.org/10.1007/s11858-021-01303-9>
- [32] Stevenson, E., van Driel, J., & Millar, V. (2024). How to support teacher learning of integrated STEAM curriculum design. *Journal for STEM Education Research*. <https://doi.org/10.1007/s41979-024-00133-0>

- [33] Conradty, C., & Bogner, F. X. (2020). STEAM teaching professional development works: effects on students' creativity and motivation. *Smart Learning Environments*, 7, 1-20. <https://doi.org/10.1186/s40561-020-00132-9>
- [34] Silvestri, L., Bagossi, S., Pocalana, G., & Robutti, O. (2025). Towards a transdisciplinary approach in a mathematics teacher's design of a STEAM activity. *International Journal of Educational Research Open*, 100490. <https://doi.org/10.1016/j.ijedro.2025.100490>
- [35] Matsuura, T., & Nakamura, D. (2021). Trends in STEM/STEAM education and students' perceptions in Japan. *Asia-Pacific Science Education*, 7, 7-33. <https://doi.org/10.1163/23641177-bja10022>