

Kepemimpinan Transformasional dalam Mendorong Prestasi STEM Madrasah Indonesia: Studi pada Olimpiade Sains Nasional

A. Umar^{1*}, Yuna Puteri Kadarisman², Ahmad Hidayatullah³

1 Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang, Indonesia

2 MAN Insan Cendekia Serpong, Indonesia

3 Kementerian Agama Republik Indonesia

*Correspondence: A. Umar
Email: a.umar@walisongo.ac.id

Received: 07-08-2025
Accepted: 16-09-2025
Published: 28-10-2025



Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Abstrak: Studi ini mengeksplorasi strategi kepemimpinan dan manajemen yang mendorong keunggulan STEM di madrasah Indonesia, dengan fokus pada keberhasilan berkelanjutan dalam Olimpiade Sains Nasional (OSN). Dengan menggunakan Business Model Canvas yang dimodifikasi, penelitian ini mengidentifikasi tiga tema utama: strategi kepemimpinan, manajemen institusional, dan upaya mengatasi tantangan. Transformational leadership (kepemimpinan transformasional) dan distributed leadership (kepemimpinan terdistribusi) membangun budaya kompetitif, sementara pendanaan strategis dan tata kelola mendukung inisiatif STEM. Partisipasi dalam OSN menjadi katalis bagi kemajuan STEM melalui pembinaan ahli dan integrasi kurikulum. Temuan ini menekankan pentingnya strategi berkelanjutan untuk memperluas program STEM dan menyarankan implikasi bagi kebijakan, pelatihan guru, serta adaptasi kurikulum di tingkat nasional.

Katakunci: Business Model Canvas (BMC), manajemen madrasah, Olimpiade Sains Nasional (OSN), pendidikan STEM, kepemimpinan transformasional

Pendahuluan

Indonesia memiliki dua lembaga berbeda yang bertanggung jawab atas pengelolaan institusi pendidikan. Sekolah umum negeri maupun swasta berada di bawah pengawasan Kementerian Pendidikan Dasar dan Menengah (Kemendikdas), sementara madrasah, baik negeri maupun swasta berada di bawah kewenangan Kementerian Agama (Kemenag). Dari sisi kurikulum, kedua jenis sekolah tersebut menawarkan mata pelajaran wajib dan pilihan; namun, madrasah diwajibkan menambahkan lima mata pelajaran agama, yaitu Al-Qur'an dan Hadis, Fiqih, Bahasa Arab, Aqidah Akhlak, dan Sejarah Islam. Sebaliknya, sekolah umum hanya memiliki satu mata pelajaran pendidikan agama. Dengan desain tersebut, madrasah pada dasarnya berfokus pada penguatan pengetahuan dan nilai-nilai Islam, sehingga lebih dikenal sebagai lembaga pendidikan keagamaan dibandingkan lembaga yang menekankan sains umum seperti STEM (Kemenag, 2013).

Pada tahun 2025, data dari Education Management Information System (EMIS) Kementerian Agama mencatatkan adanya 83.558 madrasah di Indonesia, mulai dari jenjang taman kanak-kanak hingga sekolah menengah. Dari jumlah tersebut, hanya 4,84% madrasah yang berstatus negeri, sementara mayoritas (lebih dari 95%) dikelola oleh pihak swasta. Dari sisi akreditasi, hanya 14,67% madrasah yang mendapatkan akreditasi A, sementara 48,27% berakreditasi B, dan 37,06% sisanya memiliki akreditasi C atau bahkan belum terakreditasi (Kemenag, 2025). Angka-angka ini menunjukkan bahwa sekitar 85% madrasah berada dalam kategori akreditasi B ke bawah, yang jelas mencerminkan tantangan besar dalam meningkatkan kualitas pendidikan, termasuk dalam bidang STEM.

Namun, meskipun mayoritas madrasah masih berjuang dengan akreditasi yang rendah, tiga madrasah yang menjadi fokus penelitian ini berhasil secara konsisten menjuarai Olimpiade Sains Nasional (OSN). Keberhasilan tersebut tidak dapat dilepaskan dari peran penting kepemimpinan dan manajemen yang efektif. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun dengan keterbatasan akreditasi, strategi kepemimpinan yang tepat dan pengelolaan sumber daya yang baik dapat membawa madrasah meraih prestasi unggul, termasuk dalam bidang STEM.

Meskipun secara umum kualitas madrasah masih menghadapi tantangan, sejumlah madrasah berhasil menunjukkan prestasi luar biasa di bidang STEM, khususnya dalam ajang Olimpiade Sains Nasional (OSN). OSN merupakan kompetisi tahunan bergengsi yang menjadi wadah nasional untuk menemukan dan menampilkan bakat STEM terbaik, di mana siswa berprestasi akan melanjutkan ke tingkat internasional. Selain pengakuan akademik, partisipasi dalam kompetisi STEM seperti OSN juga dikaitkan dengan peningkatan akses terhadap sumber daya STEM, aspirasi karier di bidang STEM yang lebih tinggi (Smith et al., 2021), serta pengurangan bias gender dalam partisipasi STEM (Sahin et al., 2015). Lebih jauh, keterlibatan sekolah dalam kompetisi ini mendorong investasi pada peningkatan fasilitas pendidikan yang turut memberi manfaat bagi seluruh siswa (Pattipeilohy et al., 2024). Para siswa yang berhasil meraih medali di tingkat nasional maupun internasional juga mendapat berbagai keuntungan melalui program penjurangan bakat di perguruan tinggi. Pada periode 2020–2024, siswa madrasah jenjang SMA berhasil meraih rata-rata 14,26% medali dari seluruh kategori OSN.

Tiga madrasah secara konsisten melampaui ekspektasi dalam ajang OSN, muncul sebagai pencetak prestasi unggul di bidang STEM. Ketiga madrasah tersebut—berlokasi di Banten, Jawa Timur, dan Riau—mendominasi capaian STEM di tingkat nasional, dengan mengantongi 51,01% dari seluruh prestasi OSN madrasah, sementara 48,99% sisanya tersebar pada 28 madrasah lain (Puspresnas, 2025). Dengan jumlah madrasah tingkat SMA mencapai 10.146 institusi di Indonesia (EMIS, 2024), pencapaian luar biasa dari ketiga madrasah ini sangat menonjol. Dalam penelitian ini, ketiganya disebut sebagai Madrasah B (Banten), Madrasah EJ (Jawa Timur), dan Madrasah R (Riau).

Strategi untuk meraih prestasi dalam olimpiade sains sebenarnya telah banyak diteliti (Habiburrohmah et al., 2023; Hidayanti et al., 2023; Idris et al., 2023; Suhendar et al., 2020; Yaqutunnafis, 2020). Namun, penelitian yang berfokus pada bagaimana madrasah mampu mempertahankan capaian mereka dalam kompetisi STEM masih terbatas. Secara

khusus, strategi kepemimpinan dan manajemen institusional yang memungkinkan tiga madrasah berprestasi tinggi ini mempertahankan kesuksesan mereka di OSN belum banyak diungkap. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis strategi kepemimpinan yang diterapkan di tiga madrasah tersebut dalam mendorong keunggulan STEM, meskipun fokus utama pembelajaran mereka secara tradisional ada pada studi keagamaan. Selain itu, penelitian ini juga berupaya mengidentifikasi strategi manajemen institusi yang diterapkan sehingga madrasah mampu bersaing dengan sekolah umum yang umumnya memiliki sumber daya dan dukungan lebih besar dalam pengembangan STEM.

Artikel ini berkontribusi pada diskusi mengenai bagaimana membangun keunggulan STEM di madrasah, dengan menekankan bahwa madrasah tidak hanya mampu memberikan peluang akademik yang lebih baik bagi siswa di masa depan, tetapi juga tetap menunjukkan keunggulan dalam pendidikan agama. Urgensi penelitian ini semakin tinggi karena studi STEM sebagai bidang ilmu berakar pada filsafat positivisme yang secara khusus mengarah pada konstruktivisme (Delahunty, 2022; Kehoe et al., 2022; Saritaş et al., 2023), sedangkan pembinaan kepemimpinan di madrasah pada dasarnya cenderung berangkat dari sudut pandang religiusitas. Lebih jauh, artikel ini memberikan rekomendasi kebijakan untuk memperluas pendekatan sukses madrasah dalam pengembangan STEM, dengan potensi pengakuan baik di tingkat nasional maupun internasional.

Pertanyaan penelitian dalam studi ini difokuskan pada dua aspek utama. Pertama, bagaimana strategi kepemimpinan apa saja yang diterapkan oleh tiga madrasah sampel sehingga mampu meraih keunggulan STEM dalam ajang Olimpiade Sains Nasional (OSN). Kedua, praktik manajemen institusional seperti apa yang dijalankan di ketiga madrasah tersebut yang berkontribusi dalam mendukung keberhasilan program STEM secara berkelanjutan. Dengan demikian, penelitian ini diarahkan untuk memahami peran kepemimpinan dan manajemen institusional dalam membangun budaya akademik yang kompetitif serta menciptakan ekosistem yang kondusif bagi pengembangan STEM di lingkungan madrasah.

Tinjauan Pustaka

Pendekatan STEM dalam pendidikan dan pembelajaran telah mendapat perhatian global, khususnya dalam lima tahun terakhir (Fisher & Morrison, 2024; Hiğde & Aktamış, 2022; Ismail & Yusof, 2023; Johnson et al., 2025; Matsuura & Nakamura, 2021). Fayzullina et al. (2024) berpendapat bahwa STEM berpotensi menjadi pilar utama pendidikan bukan hanya karena literasi sains dan teknologi, tetapi juga karena perannya dalam mendorong perkembangan karier peserta didik (Thompson et al., 2023), mendukung pembangunan nasional dan pertumbuhan ekonomi, serta meningkatkan daya saing global suatu negara (Kocabas et al., 2019).

Di Indonesia, STEM belum memperoleh legitimasi kebijakan untuk implementasi nasional sebagaimana di Amerika Serikat, Tiongkok, India, atau Australia (Miao, 2023; Sharma & Yarlagadda, 2018). Namun, sistem pendidikan tinggi di Indonesia menyimpan potensi besar untuk pengembangan STEM. Peta Jalan Pendidikan Indonesia 2025–2045

menekankan penguatan STEM di tingkat perguruan tinggi dengan mengintegrasikan nilai kreativitas, emosi, dan niat (seni), dengan harapan mendorong lahirnya inovasi (Ramadhan, 2024; Yanuar, 2024). Meskipun belum ada kebijakan formal, guru-guru di tingkat dasar dan menengah semakin familiar dengan STEM dan mulai mengintegrasikan aspeknya ke dalam pembelajaran. Guru telah menggunakan pendekatan STEM untuk meningkatkan kemampuan berpikir komputasional (Fauziah et al., 2024; Wulandari et al., 2024), berpikir kritis, kreativitas, serta keterampilan pemecahan masalah (Intisari et al., 2024). Namun, integrasi informal ini masih belum efektif tanpa adanya kerangka kebijakan yang jelas untuk mendukung implementasinya (Kertati et al., 2024).

Olimpiade Sains Nasional (OSN) diharapkan dapat mendorong tumbuhnya integrasi STEM di tingkat pendidikan dasar dan menengah sekaligus menjadi alternatif solusi untuk menciptakan lingkungan belajar berfokus STEM yang belum sepenuhnya difasilitasi oleh kebijakan dan regulasi pemerintah. Sebagai ajang kompetisi tahunan bergengsi, OSN menyediakan wadah nasional untuk mengidentifikasi dan menampilkan bakat STEM unggul, dengan peserta terbaik melaju ke kompetisi internasional. Antusiasme terhadap OSN tercermin dari berkembangnya program pembinaan dan pelatihan (Sholeh et al., 2023), inisiatif peningkatan keterampilan berpikir kritis (Elvi et al., 2020), serta upaya peningkatan kompetensi guru di bidang STEM (Nasra et al., 2022). Dengan demikian, OSN memainkan peran krusial sebagai gerbang pendidikan berorientasi STEM di Indonesia.

Namun, tantangan tetap ada, khususnya di madrasah yang lebih memprioritaskan pendidikan agama dibandingkan mata pelajaran umum. Hal ini menimbulkan dikotomi keilmuan (Hidayanti et al., 2023) dan kurangnya koherensi antara pendidikan Islam dan pendidikan umum (Fakhrurazi et al., 2024). Madrasah yang berada di bawah naungan Kementerian Agama menekankan studi agama seperti Al-Qur'an dan Al-Hadits, Fiqh, Bahasa Arab, Aqidah Akhlak, dan Sejarah Islam dibandingkan mata pelajaran STEM (Suryoto et al., 2023). Selain itu, pendanaan di madrasah sering dialokasikan secara tidak efisien, lebih banyak diarahkan pada biaya administrasi dan operasional ketimbang program pendidikan (Sudrajat, 2019). Kondisi ini mengakibatkan kurangnya infrastruktur teknologi yang diperlukan untuk mendukung pendidikan STEM (Hidayat & Sukari, 2025; Zainuddin et al., 2024).

Meskipun demikian, pendidikan berbasis STEM diyakini mampu meningkatkan keterampilan berpikir kritis dan literasi yang sangat penting bagi pengembangan kompetensi abad ke-21. Integrasi STEM di madrasah berpotensi memperbaiki kualitas pendidikan secara keseluruhan (Kuswanto et al., 2024). Namun, hambatan besar masih ada berupa keterbatasan sumber daya teknologi dan lemahnya pengajaran matematika di madrasah (Sungkowo et al., 2024; Wildani & Budiyo, 2022). Lebih jauh, terdapat anggapan bahwa pendidikan agama yang bersifat tetap dan berbasis keyakinan dapat menghambat adopsi STEM yang menekankan pembelajaran berbasis inkuiri dan inovasi. Berlawanan dengan asumsi tersebut, penelitian menunjukkan bahwa iman kepada Tuhan justru dapat dipupuk melalui pemikiran kritis terhadap fenomena alam yang melengkapi pembelajaran agama (Tambak et al., 2022). Selain itu, pendidikan STEM terbukti

meningkatkan keterampilan berpikir kritis dan pemecahan masalah, yang pada gilirannya dapat memperkuat pendidikan agama di madrasah (Wildani & Budiyo, 2022).

Menghadapi tantangan ini membutuhkan lebih dari sekadar pengakuan terhadap nilai STEM; dibutuhkan kepemimpinan strategis yang mampu menjembatani kesenjangan, menggerakkan sumber daya, dan menciptakan visi bersama untuk integrasi STEM. Kepemimpinan memegang peranan penting dalam mendorong inisiatif STEM (Van Dat et al., 2023) sekaligus menanggulangi berbagai hambatan. Walaupun pentingnya STEM telah diakui secara luas, implementasi yang berhasil memerlukan struktur organisasi yang rapi dan pemahaman kolektif di antara para pemangku kepentingan sekolah (Pynes et al., 2024). Kebutuhan akan kepemimpinan kuat untuk mempromosikan STEM juga telah diakui dalam berbagai konteks, termasuk di sekolah pedesaan Australia (Murphy, 2023) dan sekolah-sekolah di Irlandia, di mana kepala sekolah berperan penting dalam implementasi STEM meskipun menghadapi keterbatasan sumber daya (Fahy, 2022).

Sebagai dasar penting bagi penelitian ini, setidaknya ada tiga latar belakang utama yang relevan. Pertama, STEM di Indonesia (khususnya di pendidikan dasar dan menengah) belum memperoleh legitimasi kebijakan, meskipun menyimpan potensi besar bagi pengembangan dan masa depan peserta didik. Kondisi ini membutuhkan solusi di mana inisiatif harus dimulai dari lingkup kepemimpinan. Penelitian Hallinger (2020) mengenai kepemimpinan dan manajemen pendidikan sangat relevan dalam konteks ini, yang menyarankan bahwa ketika visi pendidikan belum memiliki dukungan kebijakan formal, kepemimpinan menjadi satu-satunya harapan untuk mengakomodasi dan mendorong visi tersebut.

Kedua, Olimpiade Sains Nasional (OSN) merupakan fenomena unik di Indonesia yang memantik antusiasme sains dan teknologi di kalangan siswa maupun guru. Agar OSN tidak hanya menjadi kompetisi sementara, tetapi berfungsi sebagai batu loncatan menuju pengembangan STEM yang berkelanjutan, dibutuhkan kepemimpinan pendidikan yang visioner dan sistematis. Beberapa penelitian (Hallinger, 2020; Hallinger & Heck, 2010; Hallinger & Kovačević, 2021) menegaskan bahwa inisiatif pendidikan semacam fenomena OSN memerlukan kepemimpinan transformasional untuk memaksimalkan dan memperluas potensi momentum sementara menjadi ekosistem jangka panjang.

Ketiga, keterbatasan yang dihadapi madrasah membuat situasi semakin kompleks sehingga membutuhkan kepemimpinan pendidikan adaptif. Literatur kepemimpinan pendidikan klasik telah banyak membahas hal ini. Hallinger & Murphy (1985) merekomendasikan kepemimpinan instruksional sebagai respons terhadap keterbatasan sumber daya. Spillane et al. (2004) mengajukan konsep kepemimpinan terdistribusi, di mana kepemimpinan tidak hanya bertumpu pada kepala sekolah, tetapi juga dibagi kepada guru, komite madrasah, bahkan mitra eksternal seperti universitas. Bahkan, dengan mengandalkan OSN sebagai stimulus kompetitif, madrasah memiliki keunggulan tersendiri. Barney & Clark (2009) berpendapat bahwa keunggulan kompetitif justru sering kali muncul dari keterbatasan, bukan kelimpahan sumber daya, dengan catatan penting bahwa kepemimpinan harus dikembangkan dengan baik.

Meski riset tentang kepemimpinan STEM masih terbatas, beberapa model kepemimpinan telah diajukan. Model kepemimpinan instruksional menekankan peran kepala sekolah dalam membimbing guru agar dapat mengintegrasikan STEM secara efektif (Van Dat et al., 2023). DeRuntz et al. (2022) menekankan pentingnya teori ketergantungan sosial yang mencakup kepemimpinan teknis transformasional dan interdependensi anggota sebagai elemen penting dalam kepemimpinan STEM. Namun, mencapai model kepemimpinan ideal tetap menjadi tantangan mengingat beragam faktor yang memengaruhi efektivitasnya.

Salah satu pertanyaan kritis dalam pendidikan STEM adalah mengidentifikasi variabel kunci yang berkontribusi pada keberhasilan implementasi. Penelitian menyarankan bahwa visi kepemimpinan, agen perubahan, dan kepemimpinan kolaboratif adalah faktor penting (Okstad et al., 2023). Selain itu, dukungan struktural bagi pembelajaran akademik (Leoni et al., 2023), pengembangan profesional guru (Biswas et al., 2022), alokasi sumber daya keuangan (Hensel & Zhang, 2024), keterlibatan komunitas dan orang tua (Leoni et al., 2023), serta mekanisme evaluasi berkelanjutan (Okstad et al., 2023) juga diperlukan untuk membangun lingkungan STEM yang kuat. Faktor-faktor ini dapat dikategorikan ke dalam dua dimensi: kepemimpinan (sebagai penggerak yang memengaruhi iklim sekolah, alokasi sumber daya, dan pengembangan kapasitas) dan infrastruktur (untuk memastikan visi kepemimpinan didukung dengan fasilitas dan lingkungan belajar yang memadai).

Investasi dalam pelatihan guru, fasilitas laboratorium, dan persiapan kompetisi sejalan dengan kedua dimensi tersebut. Pendidik yang terlatih dengan baik sangat penting untuk memberikan pengajaran STEM berkualitas tinggi, mengintegrasikan pedagogi inovatif, serta mempersiapkan siswa menghadapi tantangan akademik. Selain itu, laboratorium modern memberikan siswa sarana untuk melakukan eksperimen langsung dan pemecahan masalah. Persiapan kompetisi yang terstruktur juga menumbuhkan keterampilan berpikir kritis dan inovasi, memastikan siswa dapat berprestasi di tingkat nasional maupun internasional.

Manajemen institusional berperan penting dalam mempertahankan keberhasilan STEM di madrasah. Penelitian menyoroti bahwa pendidik terlatih memfasilitasi pembelajaran berbasis inkuiri dan metode pengajaran inovatif (Rehman et al., 2025; Zavalevskyi et al., 2024). Sekolah yang berinvestasi dalam pengembangan profesional berkelanjutan membangun fondasi lebih kuat untuk pengajaran STEM (Hasim et al., 2022). Lebih jauh, laboratorium yang lengkap secara signifikan meningkatkan kompetensi STEM (Grancharova, 2024; Lazaro & Paglinawan, 2025). Partisipasi dalam kompetisi STEM, seperti OSN, juga mengembangkan keterampilan analitis dan berpikir kritis siswa (Malinda et al., 2022; Wahidin & Romli, 2020).

Kemitraan dengan universitas, industri, dan program pemerintah turut mendukung pengembangan STEM institusional. Kolaborasi universitas menyediakan keahlian riset, pendampingan, dan sumber daya laboratorium, sementara kemitraan industri memfasilitasi pembelajaran berbasis pengalaman dan aplikasi nyata STEM. Inisiatif pemerintah, termasuk peluang pendanaan dan dukungan kurikulum, semakin

memperkuat kapasitas STEM institusi (Chisari et al., 2023; Wittrock et al., 2021). Namun, keberlanjutan dan skalabilitas tetap menjadi tantangan, khususnya dalam alokasi sumber daya keuangan (Arlinwibowo et al., 2022).

Studi ini berlandaskan pada tiga perspektif teoretis utama: teori kepemimpinan transformasional (Bass & Riggio, 2006; Burns, 2010), teori kepemimpinan terdistribusi (Spillane, 2006), dan model manajemen institusional berfokus STEM (Barney & Clark, 2009). Ketiga kerangka ini memberikan pemahaman komprehensif mengenai bagaimana kepemimpinan dan manajemen institusional berkontribusi terhadap keunggulan STEM di madrasah. Dengan menelaah elemen-elemen ini, penelitian ini bertujuan untuk mengajukan strategi efektif dalam mengintegrasikan STEM ke dalam pendidikan madrasah meskipun menghadapi tantangan sistemik.

Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan studi kasus kualitatif untuk mengeksplorasi bagaimana tiga madrasah secara konsisten meraih prestasi unggul dalam Olimpiade Sains Nasional (OSN) pada periode 2020 hingga 2024. Desain studi kasus dipilih karena relevan untuk menangkap pemahaman mendalam mengenai strategi kepemimpinan dan manajemen kelembagaan yang berkontribusi terhadap keberhasilan berkelanjutan tersebut (Yin, 2018). Meskipun studi kasus memiliki keterbatasan dalam hal generalisasi (Creswell & Creswell, 2018), penelitian ini bertujuan menghasilkan temuan yang bersifat transferable, sehingga dapat menjadi rujukan bagi lembaga pendidikan serupa yang ingin meningkatkan prestasi serta motivasi dalam bidang STEM.

Selama periode lima tahun (2020–2024), total sebanyak 1.385 medali diberikan pada tingkat SMA dalam OSN. Dari jumlah tersebut, madrasah berhasil meraih 198 medali atau setara dengan 14,30% dari keseluruhan. Medali tersebut tersebar pada 31 madrasah, dengan tiga madrasah menunjukkan capaian yang jauh lebih tinggi dibandingkan lainnya. Madrasah EJ memperoleh 28 medali (24,24%), Madrasah B meraih 27 medali (13,64%), dan Madrasah R mengumpulkan 26 medali (13,13%). Sementara itu, 97 medali (48,99%) lainnya dibagi rata di antara 28 madrasah lain (Pusprenas, 2025). Penelitian ini berfokus pada tiga madrasah berprestasi tersebut karena secara konsisten menunjukkan keunggulan dalam OSN sepanjang periode pengamatan (2020–2024). Meskipun madrasah secara tradisional lebih menekankan pendidikan agama, ketiga lembaga ini tetap mampu mempertahankan pencapaian luar biasa di bidang STEM, sehingga menjadi kasus ideal untuk ditelaah dalam konteks strategi kelembagaan yang mendorong keunggulan STEM.

Pengumpulan data dilakukan melalui wawancara, analisis dokumen, dan observasi. Wawancara dilaksanakan terutama dalam bentuk tertulis melalui survei daring, sehingga responden dapat memberikan jawaban yang lebih detail terkait strategi kepemimpinan dan praktik kelembagaan. Wawancara lanjutan dilakukan untuk memvalidasi jawaban awal dan meningkatkan reliabilitas data. Analisis dokumen mencakup telaah terhadap dokumen kebijakan, laporan sekolah, serta arsip lomba guna mengidentifikasi praktik kelembagaan yang mendukung keberhasilan STEM. Observasi dilakukan untuk menilai aktivitas terkait STEM, termasuk sesi pelatihan, alokasi sumber daya, dan keterlibatan siswa.

Untuk menjamin triangulasi data secara sistematis dan meningkatkan kredibilitas penelitian, digunakan pendekatan validasi multi-metode dengan mengintegrasikan temuan dari wawancara, analisis dokumen, dan observasi. Data yang terkumpul dianalisis secara tematik untuk mengidentifikasi pola berulang dan strategi yang berkontribusi pada keberhasilan STEM. Analisis dilakukan dengan memanfaatkan kerangka Business Model Canvas (BMC) dari Osterwalder yang telah dimodifikasi untuk konteks pendidikan (Segundo et al., 2024). Pemilihan BMC didasarkan pada kemampuannya menyajikan alat yang dinamis dan visual, sesuai dengan kompleksitas lembaga pendidikan yang melibatkan banyak pemangku kepentingan dan misi yang beragam. Temuan yang dihasilkan kemudian diuji keteralihan (transferability) agar dapat diadaptasi dan diterapkan oleh madrasah maupun lembaga pendidikan lain sesuai konteks masing-masing.

Hasil dan Pembahasan

Hasil penelitian disusun dalam tiga tema utama yang muncul dari analisis strategi madrasah dalam mencapai keunggulan STEM, dengan memanfaatkan versi yang disesuaikan dari Business Model Canvas (BMC) Osterwalder untuk konteks pendidikan (Segundo et al., 2024). Tema pertama, Strategi Kepemimpinan yang Mendorong Keunggulan STEM, membahas peran krusial kepemimpinan dalam menentukan arah dan kesuksesan program STEM di madrasah. Tema ini menyoroti bagaimana kepemimpinan visioner, perencanaan strategis, dan pembinaan diterapkan untuk membangun budaya inovasi dan pencapaian akademik. Tema kedua, Manajemen Institusional untuk Pencapaian STEM, mengulas bagaimana madrasah mengalokasikan sumber daya, mengelola infrastruktur, dan mengamankan pendanaan untuk mendukung keberlanjutan dan pertumbuhan inisiatif STEM mereka. Tema ini menekankan pentingnya sistem institusional yang efektif, fasilitas yang memadai, dan struktur keuangan dalam memastikan keberhasilan STEM. Terakhir, tema ketiga, Strategi untuk Mengatasi Tantangan dalam Pengembangan STEM, membahas berbagai hambatan yang dihadapi madrasah dalam mengimplementasikan pendidikan STEM serta bagaimana mereka mengatasi tantangan tersebut melalui strategi yang terarah, kolaborasi, dan adaptasi. Tema-tema ini dijelaskan lebih lanjut sebagai berikut.

Tabel 1. Temuan dari Analisis Business Model Canvas (BMC): Strategi Kepemimpinan, Manajemen Institusional, dan Mitigasi Tantangan

Tema	Madrasah EJ		Madrasah R		Madrasah B	
Tema 1: Strategi Kepemimpinan						
Mitra	Lembaga pelatihan, universitas		Lembaga pelatihan		Universitas, alumni, pakar relevan yang tersedia, orang tua	
Kunci						
Aktivitas	Program persiapan khusus Olimpiade Sains		Program persiapan khusus Olimpiade Sains		Program persiapan khusus Olimpiade Sains	
Unggulan						

Strategi	Tim manajemen	Membangun	Koordinator
Program dan Pemangku Kepentingan	program, orang tua	budaya belajar yang kompetitif	lomba, orang tua
Tema 3: Strategi Mengatasi Tantangan			
Output yang Diharapkan	Juara NSO, juara Olimpiade Madrasah, Young Researchers Supercamp	Juara 1 NSO dan kompetisi akademik	Optimalisasi potensi siswa tanpa target spesifik
Target Program	Siswa	Siswa	Siswa
Metode Pencapaian	Pembinaan rutin, mentoring, dan evaluasi berkala	Pengembangan terstruktur, pelatihan kompetisi	Kuliah umum dan pelatihan dengan target khusus
Tema 2: Manajemen Institusional			
Fasilitas dan Infrastruktur	Laboratorium sains, buku, eksperimen	Ruang pelatihan, buku, modul	Laboratorium sains, modul, eksperimen
Sumber Pendanaan	Dokumen Pelaksanaan Anggaran dari pemerintah, Dana Komite	Dokumen Pelaksanaan Anggaran dari pemerintah, Dana Komite	Dokumen Pelaksanaan Anggaran dari pemerintah, Dana Komite
Struktur Pendanaan	Pendanaan untuk pengembangan intensif dan program riset	Pendanaan untuk pelatihan dan kompetisi	Pendanaan untuk honorarium dan akomodasi persiapan pelatihan

Tema 1: Strategi Kepemimpinan yang Mendorong Keunggulan STEM

Komitmen kepemimpinan madrasah memainkan peran yang sangat penting dalam mendorong keunggulan pada kompetisi STEM. Setiap madrasah mengintegrasikan persiapan Olimpiade Sains ke dalam perencanaan strategis jangka panjang, sehingga partisipasi tidak hanya dipandang sebagai kegiatan ekstrakurikuler, melainkan sebagai prioritas kelembagaan. Komitmen ini tercermin dalam program persiapan Olimpiade Sains yang terstruktur, melibatkan lembaga pelatihan, universitas, serta pakar. Para pimpinan sekolah, termasuk kepala madrasah dan koordinator program, secara aktif mengawasi inisiatif ini untuk memastikan siswa memperoleh pelatihan dan bimbingan khusus.

Aspek komitmen ini dapat dipandang sebagai faktor intrinsik yang memperkuat apa yang dijelaskan Hallinger & Heck (2010) sebagai kepemimpinan kolaboratif, khususnya dalam tiga dimensi: (1) pembagian tanggung jawab, (2) keselarasan visi, dan (3) pemberdayaan. Sebagai contoh, pada level mikro, komitmen kepala madrasah dalam alokasi anggaran mencerminkan keselarasan visi, sementara komitmen guru dalam memberikan bimbingan intensif menunjukkan pembagian tanggung jawab yang terukur. Secara sistemik, komitmen berkelanjutan ini tidak hanya menciptakan ekosistem positif,

tetapi juga menempatkan kepemimpinan kolaboratif sebagai katalis bagi sinergi kelembagaan yang efektif.

Selain itu, kemitraan strategis dengan institusi eksternal semakin memperkuat proses persiapan. Universitas dan lembaga pelatihan menyediakan keahlian, sumber daya, dan pendampingan untuk mendukung siswa. Madrasah juga melibatkan orang tua dan alumni dalam program mereka, sehingga tercipta budaya kolaborasi dalam pengembangan talenta STEM. Pendekatan berbasis kepemimpinan ini memastikan bahwa pelatihan Olimpiade bersifat sistematis dan berkelanjutan, bukan sekadar sporadis.

Lebih jauh, kepemimpinan transformasional muncul sebagai faktor kunci dalam keberhasilan STEM di ketiga madrasah, yang dijalankan melalui model kepemimpinan terdistribusi. Model ini, yang ditandai dengan pembangunan visi, pemberdayaan pendidik, serta adaptabilitas kelembagaan, memastikan inisiatif STEM dapat diimplementasikan dan dipertahankan secara efektif. Hal ini mendorong terciptanya lingkungan kolaboratif di mana guru memperoleh dukungan, sumber daya dialokasikan secara strategis, dan pengembangan STEM selaras dengan tujuan kelembagaan jangka panjang.

Dominasi peran kepemimpinan dalam mendorong keberhasilan STEM sejalan dengan literatur yang menekankan pentingnya visi kepemimpinan yang jelas dan koheren (Pynes et al., 2024; Van Dat et al., 2023). Namun, temuan penelitian ini menunjukkan argumen yang lebih mendalam, yaitu bahwa pengembangan STEM tidak hanya terbantu oleh kepemimpinan yang kuat, tetapi justru berkembang dalam model kepemimpinan yang secara khusus dirancang untuk mendorong inovasi, adaptabilitas, serta komitmen kelembagaan yang berkelanjutan. Sejalan dengan Hallinger & Kovačević (2021), dalam konteks pendidikan yang dinamis dan penuh tantangan, kepemimpinan transformasional mampu menghadirkan kerangka adaptif yang responsif terhadap persoalan, sekaligus membangun kapasitas transformasional institusi secara berkelanjutan.

Keunggulan kepemimpinan transformasional dalam pendidikan STEM terletak pada kemampuannya membangun visi bersama, memberdayakan pendidik, serta menciptakan budaya perbaikan berkelanjutan. Model ini mendorong pendekatan proaktif, di mana pimpinan sekolah mendukung pengembangan profesional guru, mengalokasikan sumber daya secara strategis, serta mengintegrasikan STEM ke dalam perencanaan institusional jangka panjang (Da Costa & Domingos, 2019; Talib et al., 2025). Lebih dari itu, kepemimpinan transformasional menciptakan lingkungan di mana inkuiri ilmiah, kemajuan teknologi, dan pemecahan masalah lintas disiplin terintegrasi dalam proses pembelajaran, sehingga pendidikan STEM tidak dianggap sebagai inisiatif terpisah, melainkan sebagai pilar utama keunggulan akademik (Nemani, 2024).

Pada tingkat kelembagaan, terdapat divisi khusus di bawah wakil kepala madrasah bidang kesiswaan yang bertanggung jawab mengelola program Olimpiade Sains Nasional (OSN). Divisi ini mengawasi seleksi peserta, menilai kemampuan siswa, menyelenggarakan program pelatihan, serta mengatur aspek logistik mulai dari persiapan hingga kompetisi. Untuk menjaga keseimbangan akademik, divisi ini berkoordinasi dengan bidang kurikulum. Di Madrasah EJ, siswa yang kembali dari pelatihan mendapatkan dukungan

terstruktur untuk mengejar ketertinggalan pelajaran, sementara di Madrasah B, kebijakan khusus memastikan peserta OSN memperoleh pengakuan akademik yang memadai atas prestasi mereka.

Temuan ini menegaskan bahwa kepemimpinan kolaboratif merupakan kompetensi utama dalam memfasilitasi keberhasilan STEM (Okstad et al., 2023). Dalam konteks ini, pencapaian keunggulan STEM memerlukan model tata kelola yang tidak hanya kolaboratif tetapi juga selaras secara strategis dengan visi STEM yang lebih luas. Leoni et al. (2023) juga menekankan bahwa keberhasilan implementasi STEM bergantung pada kerangka kelembagaan yang terintegrasi dan inklusif, di mana seluruh komponen sekolah berfungsi secara kohesif untuk mendukung pengembangan STEM.

Selain persiapan akademik, pimpinan madrasah menekankan motivasi dan dukungan holistik bagi siswa. Sesi motivasi rutin diselenggarakan, di mana kepala madrasah dan pimpinan sekolah menegaskan pentingnya berprestasi di OSN. Divisi juga bekerja sama dengan Wakil Kepala Asrama yang membawahi kegiatan keagamaan untuk menyelenggarakan doa bersama sebelum kompetisi, memberikan dukungan spiritual kepada siswa. Manfaat jangka panjang dari partisipasi OSN juga diperkuat melalui program bimbingan karir. Siswa berprestasi berkesempatan memperoleh beasiswa bergengsi serta jalur masuk langsung ke perguruan tinggi negeri ternama tanpa tes seleksi. Hal ini semakin meneguhkan nilai kompetisi STEM dan memotivasi siswa untuk berpartisipasi serta meraih prestasi terbaik.

Dalam konteks Indonesia, pendidikan STEM—setidaknya dalam lingkup penelitian ini—masih erat terkait dengan kerangka kompetisi, khususnya melalui OSN. Meskipun pendekatan berbasis kompetisi memiliki keterbatasan karena tren pendidikan modern lebih menekankan kolaborasi (Falentino et al., 2024), temuan penelitian ini menunjukkan bahwa kompetisi dapat menjadi penggerak strategis pengembangan STEM. Penekanan pada kompetisi mendorong peningkatan infrastruktur dan sumber daya STEM, memastikan kesiapan institusi dalam partisipasi OSN. Dengan demikian, OSN dapat berfungsi sebagai katalis untuk membangun ekosistem akademik berorientasi STEM, termasuk penyediaan fasilitas khusus dan sistem dukungan kelembagaan.

Kerangka kompetisi juga secara inheren menumbuhkan kebutuhan siswa untuk memiliki motivasi tinggi agar tetap kompetitif. Hal ini memperkuat rekomendasi penelitian bahwa motivasi merupakan kompetensi kepemimpinan yang krusial. Motivasi tidak hanya dibangun di ruang kelas oleh guru, tetapi juga menjadi karakteristik mendasar dari lingkungan pendidikan yang dipromosikan oleh pimpinan sekolah (Sholeh et al., 2023).

Secara keseluruhan, keunggulan STEM di madrasah didorong oleh kepemimpinan transformasional dan terdistribusi yang mampu menjamin keberlanjutan pendanaan, kolaborasi pemangku kepentingan, serta dukungan akademik. Kepemimpinan yang efektif menyeimbangkan inisiatif berbasis kompetisi seperti OSN dengan tujuan pendidikan yang lebih luas, sehingga mendorong adaptabilitas institusi jangka panjang. Secara praktis, madrasah perlu berinvestasi pada pengembangan kepemimpinan, perencanaan keuangan, serta kolaborasi strategis dengan universitas dan pakar eksternal untuk memperkuat

sumber daya STEM. Secara teoretis, penelitian selanjutnya perlu mengeksplorasi bagaimana kepemimpinan transformasional dapat diadaptasi secara efektif pada madrasah dengan kebijakan penerimaan dan kapasitas finansial yang berbeda, guna memastikan dampak yang lebih luas terhadap pendidikan STEM.

Keunggulan STEM di madrasah pada akhirnya digerakkan oleh kepemimpinan transformasional dan terdistribusi yang menjamin keberlanjutan pendanaan, kolaborasi dengan pemangku kepentingan, serta dukungan akademik. Untuk memperluas keberhasilan ini, pemimpin madrasah perlu berfokus pada identifikasi bakat sejak dini, optimalisasi sumber daya, serta motivasi yang berkelanjutan. Secara praktis, lembaga pendidikan harus berinvestasi dalam pengembangan kepemimpinan, perencanaan keuangan, dan kolaborasi strategis guna memperkuat sumber daya STEM. Sementara itu, secara teoretis, penelitian di masa depan perlu mengeksplorasi bagaimana kepemimpinan transformasional dapat diadaptasi secara efektif pada madrasah dengan kebijakan penerimaan dan kapasitas finansial yang beragam, sehingga mampu memberikan dampak yang lebih luas terhadap pendidikan STEM.

Meskipun ketiga madrasah sampel memperoleh keuntungan dari penerimaan siswa berprestasi tinggi, prinsip-prinsip inti kepemimpinan transformasional—pembangunan visi, pemberdayaan pendidik, dan adaptabilitas institusional—tetap bersifat universal dan dapat diterapkan di berbagai konteks (Buchori et al., 2024; Wahyudin et al., 2024). Bagi madrasah dengan sistem penerimaan terbuka, identifikasi bakat sejak dini dan program pendampingan yang terstruktur dapat menumbuhkan potensi pada kelompok siswa yang lebih luas, sehingga mereka mampu mengembangkan kompetensi STEM terlepas dari latar belakang akademik awalnya. Alih-alih hanya bergantung pada siswa berprestasi tinggi, para pemimpin dapat menerapkan pelatihan yang terdiferensiasi, jalur pembelajaran yang fleksibel, serta dukungan akademik yang terarah untuk mengembangkan kemampuan siswa secara progresif (Suhendar et al., 2020; Yaqutunnafis, 2020).

Keterbatasan sumber daya, yang merupakan tantangan umum di banyak madrasah, dapat diatasi melalui kemitraan strategis dengan universitas, lembaga penelitian, dan pemangku kepentingan industri, sehingga memungkinkan akses terhadap pelatihan ahli dan fasilitas canggih dengan biaya minimal (Rusu et al., 2007; Siregar & Nalarsih, 2024). Pemanfaatan platform pembelajaran digital dan sumber daya STEM berbasis akses terbuka juga dapat melengkapi pembelajaran konvensional, sehingga mengurangi ketergantungan pada infrastruktur yang mahal. Lebih jauh lagi, penumbuhan budaya berorientasi STEM tidak semata-mata ditentukan oleh kapasitas finansial, tetapi lebih pada strategi kepemimpinan yang efektif. Integrasi prinsip-prinsip STEM dalam pembelajaran sehari-hari, penerapan pembelajaran berbasis proyek, serta pemeliharaan motivasi siswa melalui insentif akademik dan jalur karir dapat menumbuhkan keunggulan pada berbagai konteks madrasah (Abas et al., 2024; Fauziah et al., 2024).

Tema 2: Manajemen Kelembagaan untuk Pencapaian STEM

Dukungan kelembagaan yang kuat memungkinkan siswa menyeimbangkan pelatihan Olimpiade yang intensif dengan tanggung jawab akademik mereka. Guru memegang peran penting dalam mengintegrasikan kompetisi STEM ke dalam kerangka akademik. Di beberapa madrasah, partisipasi dalam Olimpiade diposisikan sebagai alternatif bentuk penilaian, sehingga mengurangi beban tugas tambahan bagi siswa peserta. Dengan demikian, siswa dapat fokus pada pelatihan tanpa tertinggal secara akademis.

Selain itu, madrasah menyediakan infrastruktur penting, termasuk laboratorium sains, ruang pelatihan, serta materi pembelajaran yang memadai untuk mendukung persiapan Olimpiade. Dukungan finansial juga menjadi faktor krusial—anggaran pemerintah dan kontribusi komite sekolah dialokasikan untuk pelatihan, partisipasi kompetisi, dan akomodasi siswa. Beberapa institusi bahkan memberikan insentif berupa jaminan nilai minimum bagi siswa yang mengikuti pelatihan Olimpiade secara intensif, sebagai bentuk pengakuan akademik atas dedikasi mereka terhadap prestasi STEM.

Ketiga madrasah dalam penelitian ini merupakan sekolah negeri yang sebagian besar dibiayai pemerintah. Persiapan Olimpiade Sains Nasional (OSN) telah masuk secara permanen dalam anggaran tahunan, sehingga keberlanjutan program tetap terjaga meskipun terjadi pergantian kepemimpinan maupun tim operasional. Namun demikian, untuk memenuhi kebutuhan tambahan di luar dana pemerintah, sekolah diperbolehkan memungut kontribusi tambahan dari orang tua, yang dikenal sebagai Dana Komite. Dana ini berperan penting dalam mendukung persiapan OSN dengan menutupi biaya esensial yang tidak tercakup dalam anggaran pemerintah.

Pendanaan tambahan dari orang tua dialokasikan secara strategis untuk mendukung persiapan OSN. Sebagian besar dana digunakan untuk menanggung biaya akomodasi dan konsumsi selama periode pelatihan maupun kompetisi. Madrasah B dan EJ bahkan menyediakan asrama khusus bagi peserta OSN, terpisah dari siswa lain, untuk menciptakan lingkungan belajar yang lebih fokus. Di sisi lain, orang tua turut serta mendukung siswa dengan mengadakan pertemuan makan bersama (potluck) guna menjaga semangat, mengingat pemisahan dari aktivitas sekolah reguler dalam jangka panjang dapat memengaruhi motivasi dan kesejahteraan sosial siswa. Orang tua juga berkontribusi dengan menyediakan makanan tambahan untuk menjaga antusiasme siswa selama masa persiapan.

Temuan penelitian ini menunjukkan bahwa Dana Komite memberikan fleksibilitas finansial ketika dana pemerintah tidak mencukupi. Namun, hal ini juga menimbulkan kekhawatiran terkait ketergantungan pada kontribusi orang tua. Literatur sebelumnya mencatat bahwa pendanaan STEM kerap lebih diprioritaskan untuk kebutuhan administratif dibandingkan pengembangan pendidikan (Hidayat & Sukari, 2025; Sudrajat, 2019). Jika kondisi ini benar, maka Dana Komite hanya menjadi solusi parsial yang efektif di sekolah dengan komunitas orang tua mampu, sedangkan madrasah dengan orang tua berpenghasilan rendah berisiko tidak memperoleh dukungan yang cukup.

Alokasi penting lainnya dari Dana Komite adalah perekrutan tutor spesialis serta pendanaan program pelatihan eksternal. Sebagai sekolah negeri, madrasah wajib mengikuti regulasi anggaran ketat dari Kementerian Keuangan. Misalnya, biaya maksimal yang diperbolehkan untuk satu jam pelatihan adalah Rp600.000 (US\$36). Namun, ketika biaya pelatih ahli atau program khusus melebihi batas ini, Dana Komite menutupi kekurangannya sehingga siswa tetap dapat mengakses instruktur berkualitas tinggi.

Beberapa penelitian menekankan bahwa implementasi STEM yang efektif membutuhkan investasi pada pengembangan profesional guru untuk mengurangi ketergantungan pada instruktur eksternal (Biswas et al., 2022; Rehman et al., 2025). Namun, hal ini menimbulkan pertanyaan tentang keberlanjutan bagi sekolah dengan komunitas orang tua yang kurang mampu. Dengan demikian, Dana Komite tampak sebagai solusi yang terbatas: bermanfaat pada konteks tertentu, tetapi bermasalah pada konteks lain.

Selain itu, dana juga digunakan untuk menyewa laboratorium di universitas, sehingga siswa dapat melakukan eksperimen lanjutan dan pelatihan praktik yang tidak tersedia di fasilitas madrasah. Pengalaman ini menjembatani pembelajaran berbasis sekolah dengan kompleksitas OSN. Di sisi lain, Madrasah EJ juga menginvestasikan sebagian Dana Komite untuk pengembangan laboratorium internal, memungkinkan lebih banyak siswa terlibat dalam persiapan OSN serta membuka akses bagi madrasah lain untuk menggunakan fasilitas tersebut dengan biaya lebih terjangkau. Hal ini sekaligus memberi kesempatan berlatih bersama mitra eksternal.

Kritik terhadap Dana Komite menunjukkan bahwa persoalan utama bukan hanya keberadaan dana, tetapi bagaimana dana tersebut dimanfaatkan. Keputusan Madrasah EJ untuk mengalokasikan Dana Komite pada pengembangan laboratorium menggambarkan kepemimpinan sekolah yang strategis dalam mendukung implementasi STEM, yang membutuhkan infrastruktur laboratorium yang kuat, pembelajaran berbasis proyek, serta integrasi kurikulum untuk menumbuhkan berpikir kritis dan inovatif (Grancharova, 2024; Kertati et al., 2024).

Kondisi ini menjadi tantangan bagi kepemimpinan transformasional. Seorang pemimpin dengan Dana Komite yang memadai mampu memberdayakan guru dan menumbuhkan budaya perbaikan berkelanjutan. Namun, pertanyaan mendasar tetap ada: bagaimana kepemimpinan transformasional bekerja dalam konteks terbatas sumber daya? Apakah visi dapat terwujud tanpa dukungan finansial yang cukup, atau visi hanya akan tetap bersifat aspiratif?

Pertanyaan ini mengarah pada rekomendasi teoretis untuk membangun model hubungan antara kepemimpinan transformasional, pendanaan, dan hasil STEM. Dalam kerangka ini, keberhasilan STEM menjadi variabel dependen, sementara kepemimpinan dan pendanaan merupakan variabel independen. Pertanyaan kunci yang muncul adalah apakah kepemimpinan atau pendanaan yang memiliki pengaruh lebih kuat terhadap keunggulan STEM. Apakah kepemimpinan efektif hanya muncul ketika sumber daya finansial mencukupi, atautah pendanaan saja tidak cukup menjamin keberhasilan implementasi STEM?

Tema 3: Strategi untuk Mengatasi Tantangan dalam Pengembangan STEM

Madrasah menerapkan proses penerimaan selektif dan program pengembangan terstruktur untuk mengidentifikasi serta membina siswa berpotensi tinggi. Beberapa lembaga, seperti Madrasah B, menggunakan proses seleksi bakat yang ketat dengan memberikan jalur masuk khusus dan beasiswa bagi siswa yang telah menunjukkan prestasi luar biasa dalam kompetisi STEM sebelumnya.

Setelah diterima, siswa mengikuti program pelatihan yang disesuaikan dengan kekuatan dan kategori lomba mereka. Metode pelatihan beragam, mulai dari kuliah umum, pembinaan terstruktur, hingga pelatihan intensif melalui training camp karantina. Mentor eksternal, termasuk dosen universitas dan alumni berpengalaman, turut memberikan bimbingan khusus agar siswa benar-benar siap menghadapi kompetisi tingkat nasional.

Selain itu, tantangan untuk menyeimbangkan antara kewajiban akademik dan persiapan lomba diatasi dengan fleksibilitas kelembagaan. Strategi seperti kelas tambahan, rencana belajar terstruktur, serta dukungan akademik personal memastikan siswa tetap dapat menjaga prestasi akademiknya sembari unggul dalam olimpiade. Inisiatif ini menegaskan pentingnya sistem dukungan yang terstruktur dalam menopang keberhasilan jangka panjang pada kompetisi STEM.

Meskipun menghadapi keterbatasan dana dan sumber daya, ketiga madrasah mengembangkan strategi khusus agar siswanya tetap kompetitif dalam ajang STEM, khususnya Olimpiade Sains Nasional (OSN). Upaya mereka berfokus pada rekrutmen bakat, persiapan terstruktur, dan pemanfaatan kolaborasi eksternal untuk mengatasi keterbatasan.

Proses tersebut diawali dengan penekanan pada identifikasi dan rekrutmen bakat. Setiap madrasah memberikan jalur khusus bagi siswa yang telah menunjukkan prestasi unggul dalam bidang STEM. Selain itu, penjurangan bakat dilakukan sejak tahun pertama siswa, sehingga potensi yang menjanjikan dapat segera diidentifikasi dan diarahkan dalam program pendampingan khusus. Setelah terpilih, siswa menerima pembinaan intensif untuk mengasah keterampilan kompetitif mereka.

Untuk mendukung pelatihan, madrasah memberi izin peserta OSN untuk meninggalkan kelas reguler agar dapat fokus penuh pada persiapan. Walaupun berpotensi menimbulkan kesenjangan akademik, guru mata pelajaran memberikan dukungan khusus agar siswa dapat mengejar ketertinggalan. Guna meningkatkan motivasi, madrasah juga menyediakan insentif akademik seperti penyesuaian nilai, penghargaan publik, hingga akses beasiswa atau jalur masuk langsung ke perguruan tinggi ternama.

Dengan keterbatasan finansial, madrasah sangat bergantung pada kemitraan dengan universitas, alumni, dan lembaga penelitian untuk memperoleh pelatihan lanjutan serta akses fasilitas. Kolaborasi ini menyediakan tutor khusus, laboratorium, dan kesempatan penelitian langsung yang melampaui kapasitas internal madrasah. Alumni berprestasi di OSN juga turut berperan membimbing peserta, berbagi pengalaman, dan memberi arahan strategis. Melalui kombinasi ini, madrasah tetap mampu menghasilkan siswa yang berdaya saing tinggi di tingkat nasional meski dengan sumber daya terbatas.

Keberhasilan berkelanjutan madrasah tertentu dalam kompetisi STEM menegaskan pentingnya perencanaan strategis jangka panjang, dukungan kelembagaan, serta kemampuan adaptasi. Prestasi konsisten mereka mencerminkan sistem yang mapan dalam membangun budaya unggul, membedakan madrasah dari sekolah umum lainnya yang juga mengikuti Olimpiade STEM. Kajian atas pendekatan ini memberikan wawasan berharga mengenai faktor kelembagaan dan kepemimpinan yang berkontribusi pada keberhasilan. Selain itu, evaluasi mengenai kemungkinan replikasi strategi ini penting untuk menentukan potensi penerapannya pada madrasah lain dengan kondisi sumber daya yang beragam.

Kemampuan madrasah untuk mempertahankan keunggulan STEM selama beberapa tahun sangat terkait dengan model kepemimpinan yang digunakan, terutama kepemimpinan transformasional dan distributif. Kepemimpinan yang efektif memastikan adanya investasi berkelanjutan pada pembinaan khusus, infrastruktur, dan kolaborasi dengan para pemangku kepentingan, yang kesemuanya sangat krusial bagi keberhasilan jangka panjang. Mengingat beberapa bidang STEM seperti ilmu kebumiharan dan astronomi tidak termasuk dalam kurikulum standar (Idris et al., 2023), keterlibatan pakar eksternal menjadi mutlak. Lebih jauh, kolaborasi dengan pemangku kepentingan relevan terbukti berperan penting dalam keberhasilan inisiatif OSN (Puspitasari et al., 2024). Selain kompetisi, partisipasi dalam OSN juga memperluas wawasan global dan menumbuhkan sikap positif terhadap STEM, baik pada pendidik maupun peserta didik, sekaligus menawarkan solusi atas tantangan pendidikan STEM yang sedang berlangsung (Pattipeilohy et al., 2024; Sain et al., 2024).

Untuk memastikan sistem ini dapat ditransfer ke madrasah yang tidak memiliki privilese menerima siswa berprestasi tinggi, beberapa strategi kunci dapat diterapkan. Alih-alih mengandalkan seleksi masuk, madrasah dapat menggunakan model identifikasi bakat sejak dini, di mana seluruh siswa dievaluasi minat dan kemampuan dasarnya dalam STEM. Dengan demikian, madrasah dapat mengembangkan potensi internal siswa secara progresif.

Selain itu, program pendampingan terstruktur dapat melibatkan siswa senior, alumni, dan guru untuk membimbing siswa yang lebih muda dalam perjalanan STEM mereka. Dengan pelatihan bertahap—dimulai dari konsep dasar hingga ke materi tingkat kompetisi—madrasah dapat membangun sistem yang dapat diskalakan dan inklusif bagi berbagai tingkat kemampuan siswa. Kemitraan dengan universitas serta pakar eksternal juga dapat diperluas agar tidak hanya berfokus pada siswa elit, melainkan terintegrasi dalam kurikulum untuk memperkuat kapasitas STEM secara menyeluruh.

Bagi madrasah dengan keterbatasan dana, jaringan kolaboratif dapat dibentuk, di mana beberapa lembaga berbagi sumber daya untuk mengakses laboratorium, tutor ahli, dan program pelatihan bersama. Pendekatan ini tidak hanya mengurangi biaya, tetapi juga membangun ekosistem suportif antar madrasah yang saling belajar dan bertumbuh bersama.

Kesimpulan

Hasil penelitian ini menegaskan peran krusial kepemimpinan dan manajemen kelembagaan dalam mendorong keunggulan STEM di madrasah. Kepemimpinan yang kuat memastikan keberlanjutan inisiatif STEM, terutama melalui perencanaan keuangan strategis dan kolaborasi dengan para pemangku kepentingan. Integrasi persiapan OSN ke dalam anggaran tahunan, yang diperkuat dengan kontribusi orang tua, memungkinkan madrasah menyediakan dukungan esensial seperti pembimbingan khusus, akses laboratorium, dan penguatan akademik yang terstruktur. Selain itu, kemitraan dengan universitas dan kolaborasi antar-madrasah memperluas pengalaman siswa terhadap pelatihan ilmiah tingkat lanjut, sehingga semakin memperkuat kesiapan kompetitif mereka.

Temuan ini menunjukkan bahwa madrasah yang ingin memperluas keberhasilan STEM secara nasional perlu memprioritaskan mekanisme pendanaan terstruktur, pengembangan kepemimpinan, serta keterlibatan komunitas. Dukungan kebijakan sangat diperlukan untuk memperluas sumber daya keuangan bagi program STEM, memberikan fleksibilitas yang lebih besar dalam penganggaran, serta meningkatkan pelatihan guru dalam pengajaran STEM yang bersifat khusus. Penelitian mendatang diharapkan dapat mengeksplorasi dampak kompetisi STEM internasional terhadap siswa madrasah, khususnya dalam menilai sejauh mana partisipasi pada ajang global dapat lebih lanjut meningkatkan kualitas pendidikan STEM di lembaga pendidikan Islam.

Keterbatasan dan Implikasi Penelitian

Penelitian ini terbatas pada madrasah negeri berakreditasi A, sehingga temuan yang dihasilkan mungkin tidak sepenuhnya menggambarkan kondisi madrasah swasta yang memiliki tantangan dan dinamika yang berbeda. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lebih lanjut yang melibatkan madrasah swasta untuk memahami peran kepemimpinan dan manajemen di lingkungan tersebut. Penelitian ini juga berimplikasi pada teori kepemimpinan transformasional dalam konteks pendidikan Islam, di mana nilai religiusitas dapat berjalan seiring dengan pengembangan inovasi STEM. Hal ini membuka kemungkinan bahwa pendidikan agama yang berbasis keyakinan tidak harus menjadi penghalang, melainkan justru dapat memperkaya pendekatan pendidikan berbasis sains dan teknologi melalui pemikiran kritis terhadap fenomena alam.

Daftar Pustaka

- Abas, S., Dian Alirahman, A., & Maburur, H. (2024). Humanizing STEM-Based Learning (Science, Technology, Engineering, and Mathematics) for the Transformation of Islamic Education in the 21st Century. *EDUCAN : JURNAL PENDIDIKAN ISLAM*, 8(1), 98–120. <https://doi.org/10.21111/educan.v8i1.11429>
- Arlinwibowo, J., Retnawati, H., Pradani, R. G., & Fatima, G. N. (2022). STEM Implementation Issues in Indonesia: Identifying the Problems Source and Its Implications. *The Qualitative Report*, 28(8), 2213–2229. <https://doi.org/10.46743/2160-3715/2023.5667>
- Barney, J. B., & Clark, D. N. (2009). *Resource-based theory: Creating and sustaining competitive advantage* (reprinted). Oxford University Press.

- Bass, B. M., & Riggio, R. (2006). *Transformational leadership* (2. ed). Psychology Press.
- Biswas, S., Benabentos, R., Brewe, E., Potvin, G., Edward, J., Kravec, M., & Kramer, L. (2022). Institutionalizing evidence-based STEM reform through faculty professional development and support structures. *International Journal of STEM Education*, 9(1), 1–23. <https://doi.org/10.1186/s40594-022-00353-z>
- Buchori, U., Ma'mur, I., & Muhtarom, A. (2024). Peran Penting Kepemimpinan Transformasional dalam Proses Pengembangan Madrasah [The Critical Role of Transformational Leadership in the Development of Madrasahs]. *Evaluasi: Jurnal Manajemen Pendidikan Islam*, 8(1), 124–143. <https://doi.org/10.32478/g75xeq47>
- Burns, J. M. (2010). *Leadership* (1. Harper Perennial political classics ed). Harper Perennial.
- Chisari, L. B., Bakker, A., & Akkerman, S. F. (2023). Seeing and seeking relevance in the challenges of a STEM school–university partnership. *International Journal of Science Education, Part B*, 13(2), 99–115. <https://doi.org/10.1080/21548455.2022.2123723>
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2018). *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches*. SAGE Publications, Inc.
- Da Costa, M. C. O., & Domingos, A. M. D. (2019). The role of leadership in a STEM teachers professional development programme. *New Trends and Issues Proceedings on Humanities and Social Sciences*, 6(7), 1–11. <https://doi.org/10.18844/prosoc.v6i7.4504>
- Delahunty, T. (2022). The learning sciences as a mindset for STEM education research. In T. Delahunty & M. Ní Ríordáin, *Perspectives in Contemporary STEM Education Research* (1st edn, pp. 48–59). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781003108122-6>
- DeRuntz, B., Withee, T., & Henson, H. (2022). Leadership Development and STEM Student Success Using the Social Interdependence Model. *2022 ASEE Annual Conference & Exposition Proceedings*, 42096. <https://doi.org/10.18260/1-2--42096>
- Elvi, M., Liana, M., Sarkity, D., & Fitriyah, D. (2020). Pelatihan OSN Matematika Melalui Soal Berbasis Critical Thinking Skill Bagi Siswa SMP Negeri 4 Tanjungpinang [Coaching for the Mathematics National Science Olympiad (OSN) Through Critical Thinking Skill-Based Problems for Junior High School Students at SMP Negeri 4 Tanjungpinang]. *Dinamisia : Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 4(4), 649–654. <https://doi.org/10.31849/dinamisia.v4i4.4160>
- EMIS. (2024). Dashboard EMIS. <http://infopublik-emis.kemendiknas.go.id/?ta=2023%2F2024+Genap>
- Fahy, A. (2022). A National Study of Irish Leadership in STEM Education. *Academy of Management Proceedings*, 2022, 17923. <https://doi.org/10.5465/AMBPP.2022.17923abstract>
- Fakhrurazi, Syarifuddin, U. K., Alfarisi, U., & Shofiyah, S. (2024). Harmonizing Paths: Unveiling the Dichotomy Between Islamic Education and General Education in Indonesia. *Afkaruna: Indonesian Interdisciplinary Journal of Islamic Studies*, 20(1). <https://doi.org/10.18196/afkaruna.v20i1.18339>
- Falentino, C., Yulianrifat, E. P., Dinurrohmah, S., Tanlianto, A., Sulaeman, N. F., & Nuryadin, A. (2024). Beyond the Gap: Understanding Gender Disparities in Indonesia's National Science Olympiad Achievements. *Daengku: Journal of*

- Humanities and Social Sciences Innovation, 4(6), 956–967.
<https://doi.org/10.35877/454RI.daengku2934>
- Fauziah, L., Rumahorbo, L. A., Aritonang, A., & Siregar, R. (2024). Peningkatan Keterampilan Berpikir Komputasional Siswa SMA N 2 Medan Melalui Pendekatan STEM [Enhancing Computational Thinking Skills of Senior High School Students at SMA N 2 Medan Through a STEM Approach]. *Bilangan : Jurnal Ilmiah Matematika, Kebumian Dan Angkasa*, 2(3), 112–128. <https://doi.org/10.62383/bilangan.v2i3.63>
- Fayzullina, A. R., Zulfugarzade, T. E., Kondakchian, N. A., Aytuganova, J. I., Khvatova, M. A., & Kelina, K. G. (2024). A review of STEM education research in BRICS countries: An analysis of research trends. *Frontiers in Education*, 9, 1410069. <https://doi.org/10.3389/educ.2024.1410069>
- Fisher, W. P., & Morrison, J. (2024). Ecologizing STEM education: Measuring and managing for stakeholder empowerment. *Measurement: Sensors*, 1–5. <https://doi.org/10.1016/j.measen.2024.101311>
- Grancharova, D. (2024). The Role of Stem Lab Experiments in Building Science Literacy in Chemistry Education. *International Journal of Multidisciplinary Research in Arts, Science and Technology*, 2(8), 42–50. <https://doi.org/10.61778/ijmrast.v2i8.76>
- Habiburrohman, M., Oktaviani, D. R., Tafrikan, M., & Kurniawan, P. (2023). Meningkatkan Prestasi Olimpiade Sains Nasional (OSN), Kompetisi Sains Madrasah (KSM) 2022 Kota dan Kabupaten Semarang melalui Pembinaan Kepada Guru dan Siswa [Improving the National Science Olympiad (OSN) and Madrasah Science Competition (KSM) 2022 Achievements in Semarang City and Regency through Teacher and Student Coaching]. *Manggali*, 3(1), Article 1. <https://doi.org/10.31331/manggali.v3i1.2529>
- Hallinger, P. (2020). Science mapping the knowledge base on educational leadership and management from the emerging regions of Asia, Africa and Latin America, 1965–2018. *Educational Management Administration & Leadership*, 48(2), 209–230. <https://doi.org/10.1177/1741143218822772>
- Hallinger, P., & Heck, R. H. (2010). Collaborative leadership and school improvement: Understanding the impact on school capacity and student learning. *School Leadership & Management*, 30(2), 95–110. <https://doi.org/10.1080/13632431003663214>
- Hallinger, P., & Kovačević, J. (2021). Science mapping the knowledge base in educational leadership and management: A longitudinal bibliometric analysis, 1960 to 2018. *Educational Management Administration & Leadership*, 49(1), 5–30. <https://doi.org/10.1177/1741143219859002>
- Hallinger, P., & Murphy, J. (1985). Assessing the Instructional Management Behavior of Principals. *The Elementary School Journal*, 86(2), 217–247. <https://doi.org/10.1086/461445>
- Hasim, S. M., Rosli, R., Halim, L., Capraro, M. M., & Capraro, R. M. (2022). STEM Professional Development Activities and Their Impact on Teacher Knowledge and Instructional Practices. *Mathematics*, 10(7), 1–20. <https://doi.org/10.3390/math10071109>

- Hensel, R., & Zhang, X. (2024). Institutionalization Challenges for an NSF S-STEM Program. 2024 ASEE Annual Conference & Exposition Proceedings, 1–14. <https://doi.org/10.18260/1-2--47638>
- Hidayanti, Nazir, M., Junaidah, & Yetri. (2023). Implementasi Management Pembinaan Program Olimpiade Sains Nasional dan Kompetisi Sains Madrasah Di MAN 1 Lampung Tengah [Implementation of Management in the Coaching Program for the National Science Olympiad and Madrasah Science Competition at MAN 1 Central Lampung]. *Didaktik: Jurnal Ilmiah PGSD STKIP Subang*, 9(5), Article 5. <https://doi.org/10.36989/didaktik.v9i5.2345>
- Hidayat, M., & Sukari, S. (2025). Relevansi Kurikulum Pendidikan Islam di Madrasah dengan Kebutuhan Dunia Modern [The Relevance of the Islamic Education Curriculum in Madrasah to the Needs of the Modern World]. *Moral: Jurnal Kajian Pendidikan Islam*, 2(1), 39–49. <https://doi.org/10.61132/moral.v2i1.483>
- Hiçde, 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*, 43, 101000. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2022.101000>
- Idris, S., Sabrina, N., Mellyzar, M., & Ginting, F. W. (2023). Pendampingan Persiapan Olimpiade Sains Nasional Bidang Kebumian Di SMAN 1 Muara Batu [Assistance in Preparing for the National Science Olympiad in the Earth Science Category at SMAN 1 Muara Batu]. *Jurnal Vokasi*, 7(2), 134. <https://doi.org/10.30811/vokasi.v7i2.3981>
- Intisari, Mutmainnah, & Asrifan, A. (2024). Integrating STEM in Early Childhood Education: A Cutting-Edge Study on PAUD Development in Indonesia. *British Journal of Teacher Education and Pedagogy*, 3(1), Article 1. <https://doi.org/10.32996/bjtep.2024.3.1.7>
- Ismail, N., & Yusuf, U. K. (2023). A systematic literature review: Recent techniques of predicting STEM stream students. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 5, 100141. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2023.100141>
- Johnson, S. L., Bishop, J. P., & Rogers, K. D. (2025). Shifting pedagogically: Incorporating the social, cultural, and emotional dimensions of student learning to develop STEM-identities in computer science. *Journal of Applied Developmental Psychology*, 97, 101757. <https://doi.org/10.1016/j.appdev.2025.101757>
- Kehoe, A., Rothwell, C., & Bluhm, R. (2022). The Philosophy of Science: An Overview. In M. E. L. Brown, M. Veen, & G. M. Finn (Eds), *Applied Philosophy for Health Professions Education* (pp. 187–203). Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-1512-3_13
- Kemenag. (2013). Peraturan Menteri Agama Republik Indonesia no. 90 tahun 2013 tentang Penyelenggaraan Pendidikan Madrasah. https://simpuh.kemenag.go.id/regulasi/pma_90_13.pdf
- Kemenag. (2025). Dashboard EMIS. <http://infopublik-emis.kemenag.go.id/?ta=2024%2F2025+Genap>
- Kertati, I., Agustinova, D. E., Sukini, S., Firdaus, W., Naldi, A., & Rahim, R. (2024). A bibliometric analysis of Indonesian stem education research (2019–2023): Trends,

- contributors, and future directions. *Journal of Infrastructure, Policy and Development*, 8(15), 9508. <https://doi.org/10.24294/jipd9508>
- Kocabas, S., Ozfidan, B., & Burlbaw, L. M. (2019). American STEM Education in Its Global, National, and Linguistic Contexts. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 16(1). <https://doi.org/10.29333/ejmste/108618>
- Kuswanto, K., Abidin, Z., Pestano, R. D., & Ikhlas, M. (2024). Critical Thinking, Literacy, and Numeracy as Factors in STEM: Madrasah Student Learning. *Edukasia : Jurnal Penelitian Pendidikan Islam*, 19(1), 99. <https://doi.org/10.21043/edukasia.v19i1.19884>
- Lazaro, J. M. V., & Paglinawan, Dr. J. L. (2025). Laboratory Resource Availability and Students' Engagement in Science. *International Journal of Research and Innovation in Applied Science*, 9(12), 146–153. <https://doi.org/10.51584/IJRIAS.2024.912015>
- Leoni, D., Fleming, T., & McFarland, J. L. (2023). Cultivating a Science, Technology, Engineering and Mathematics (STEM) community for two-year college student success and persistence. *PLOS ONE*, 18(9), 1–22. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0290958>
- Malinda, A., Roza, Y., & Maimunah, M. (2022). Critical Thinking Ability of Junior High School Students in Solving Mathematics Questions of the National Science Competition. *Jurnal Pendidikan Matematika (JUPITEK)*, 5(2), 187–193. <https://doi.org/10.30598/jupitekvol5iss2pp187-193>
- Matsuura, T., & Nakamura, D. (2021). Trends in STEM/STEAM Education and Students' Perceptions in Japan. *Asia-Pacific Science Education*, 7(1), 7–33. <https://doi.org/10.1163/23641177-bja10022>
- Miao, Y. (2023). The Practice of STEM Education in Higher Education Context: China and USA. *International Journal of New Developments in Education*, 5(22), 17–25. <https://doi.org/10.25236/IJNDE.2023.052204>
- Murphy, S. (2023). Leadership practices contributing to STEM education success at three rural Australian schools. *The Australian Educational Researcher*, 50(4), 1049–1067. <https://doi.org/10.1007/s13384-022-00541-4>
- Nasra, E., Azra, F., Fitriza, Z., Riga, R., S.G, M. I., Faradilla, T., & R.P, A. R. (2022). Peningkatan Kompetensi Profesional MGMP Kimia Kabupaten Pasaman Sebagai Pembina Siswa Menghadapi Olimpiade Sains Nasional (OSN) [Improving the Professional Competence of the Pasaman Regency Chemistry MGMP as Coaches for Students in the National Science Olympiad (OSN)]. *Jurnal Pengabdian Pada Masyarakat*, 7(4), 995–1002. <https://doi.org/10.30653/002.202274.248>
- Nemani, S. (2024). Preparing future-ready students: The role of transformational leadership in equipping students for the 21st-century workforce. *Journal for the Education of Gifted Young Scientists*, 12(4), 181–192. <https://doi.org/10.17478/jegys.1552021>
- Okstad, J., Callais, V., López, N., Ojikutu, F., Morgan, D., & Abdelghaffar, A. (2023). It's in Our DNA: Leadership Perspectives on Institutionalizing STEM Success in an Alliance. *Journal of Postsecondary Student Success*, 2(2), 57–80. https://doi.org/10.33009/fsop_jpss131390
- Pattipeilohy, P., Akyuwen, F., Cindy, A. H., & Pattiasina, J. (2024). The National Science Olympiad and Its Impact on Improving the Quality of Education. *EDUKASIA: Jurnal*

- Pendidikan Dan Pembelajaran, 5(2), 43–54.
<https://doi.org/10.62775/edukasia.v5i2.821>
- Puspitasari, M. A., Thohir, M., & Mardiyah, M. (2024). Dari Keunggulan Menuju Kemenangan: Perjalanan Siswa Sekolah Indonesia Jeddah Menuju Kejayaan Olimpiade Sains Nasional [From Excellence to Victory: The Journey of Sekolah Indonesia Jeddah Students to National Science Olympiad Triumph]. *Jurnal Manajemen Dan Pendidikan Agama Islam*, 3(1), 08–22.
<https://doi.org/10.61132/jmpai.v3i1.793>
- Puspresnas. (2025). Kabar Prestasi [Announcements].
<https://pusatprestasinasional.kemdikbud.go.id/pengumuman>
- Pynes, D., Kloser, M., Wagner, C., Szopiak, M., Wilsey, M., Svarovsky, G. N., & Trinter, C. (2024). Bridging theory and practice: A framework for STEM teacher leadership. *School Science and Mathematics*, 1–15. <https://doi.org/10.1111/ssm.12686>
- Ramadhan, A. (2024, October 14). Bisakah Pendekatan STEM Meningkatkan Skor PISA Indonesia? [Can the STEM Approach Improve Indonesia's PISA Scores?]. *kompas.id*.
<https://www.kompas.id/baca/humaniora/2024/10/13/stem>
- Rehman, N., Huang, X., Mahmood, A., Zafeer, H. M. I., & Mohammad, N. K. (2025). Emerging trends and effective strategies in STEM teacher professional development: A systematic review. *Humanities and Social Sciences Communications*, 12(1), 1–23.
<https://doi.org/10.1057/s41599-024-04272-y>
- Rusu, A., Rusu, A., Paglione, M., Snyder, F., & Santiago, C. (2007). Overcoming limited resources: An academia-government partnership on Software Engineering and Capstone Projects. 2007 37th Annual Frontiers in Education Conference - Global Engineering: Knowledge without Borders, Opportunities without Passports, S4C-9-S4C-14. <https://doi.org/10.1109/FIE.2007.4418121>
- Sahin, A., Gulacar, O., & Stuessy, C. (2015). High School Students' Perceptions of the Effects of International Science Olympiad on Their STEM Career Aspirations and Twenty-First Century Skill Development. *Research in Science Education*, 45(6), 785–805.
<https://doi.org/10.1007/s11165-014-9439-5>
- Sain, Z. H., Aziz, A. L., & Agoi, M. A. (2024). Navigating Educational Challenges in Indonesia: Policy Recommendations for Future Success. *Journal of Digital Learning and Distance Education*, 3(4), 1038–1046. <https://doi.org/10.56778/jdlde.v3i4.339>
- Sarıtaş, D., Özcan, H., & Adúriz-Bravo, A. (2023). On the practice of integrated STEM education as 'poiesis'. *STEM Education Review*, 1(10), 1–15.
<https://doi.org/10.54844/stemer.2023.0408>
- Segundo, J., Fernandez-Alles, M., Velez, M., & Sanchez, J. M. (2024). Unicanvas: Exploring a tool for strategic management. *Open Research Europe*, 4, 1–32.
<https://doi.org/10.12688/openreseurope.17233.3>
- Sharma, J., & Yarlagadda, P. K. (2018). Perspectives of 'STEM education and policies' for the development of a skilled workforce in Australia and India. *International Journal of Science Education*, 40(16), 1999–2022. <https://doi.org/10.1080/09500693.2018.1517239>
- Sholeh, M., Andayati, D., & Suraya, S. (2023). Pendampingan Kegiatan Olimpiade Siswa Nasional Bidang Komputer pada Siswa SMA Negeri 1 Prambanan Sleman [Coaching

- for the National Student Olympiad in Computer Science at SMA Negeri 1 Prambanan Sleman]. *ABDI MAKARTI*, 2(2), 109. <https://doi.org/10.52353/abdimakarti.v2i2.470>
- Siregar, N. C., & Nalarsih, R. T. (2024). Pengenalan Metode STEM Bagi Guru Sains di Pesantren Darul Mursyid, Medan Indonesia: Pengabdian Masyarakat [Introduction of the STEM Method for Science Teachers at Pesantren Darul Mursyid, Medan, Indonesia: Community Service]. *Khidmatuna: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 3(1), 44–53. <https://doi.org/10.36781/khidmatuna.v3i01.641>
- Smith, K. N., Jaeger, A. J., & Thomas, D. (2021). “Science Olympiad Is Why I’m Here”: The Influence of an Early STEM Program on College and Major Choice. *Research in Science Education*, 51(S1), 443–459. <https://doi.org/10.1007/s11165-019-09897-7>
- Spillane, J. P. (2006). *Distributed Leadership*. Jossey-Bass a Wiley imprint.
- Spillane, J. P., Halverson, R., & Diamond, J. B. (2004). Towards a theory of leadership practice: A distributed perspective. *Journal of Curriculum Studies*, 36(1), 3–34. <https://doi.org/10.1080/0022027032000106726>
- Sudrajat, A. R. (2019). Manajemen Pembiayaan Pendidikan Madrasah Tsanawiyah Satu Atap [Management of Education Financing in Integrated Madrasah Tsanawiyah]. *MANAZHIM*, 1(2), 166–182. <https://doi.org/10.36088/manazhim.v1i2.226>
- Suhendar, U., Ekayanti, A., & Merona, S. P. (2020). Pola Pembinaan Olimpiade Sains Nasional Matematika SMP di Kabupaten Ponorogo [Coaching Patterns for Mathematics in the National Science Olympiad at the Junior High School Level in Ponorogo Regency]. *Mosharafa: Jurnal Pendidikan Matematika*, 9(2), Article 2. <https://doi.org/10.31980/mosharafa.v9i2.602>
- Sungkowo, A., Susanto, A., Arifannisa, Renyaan, A. S., & Widyasari, E. (2024). Promote Innovation In Madrasah Through The Use Of Educational Technology. *IJGIE (International Journal of Graduate of Islamic Education)*, 5(1), 71–81. <https://doi.org/10.37567/ijgie.v5i1.2815>
- Suryoto, Hitami, M., & Yusrianto, E. (2023). Dualisme Lembaga Pendidikan di Indonesia [Dualism of Educational Institutions in Indonesia]. *Journal of Islamic Education Studies*, 1(2), 120–128. <https://doi.org/10.58569/jies.v1i2.582>
- Talib, S., Alias, B. S., Matore, M. E. E. M., & Abdullah, A. H. (2025). Empowering STEM education through the role of principals: A systematic literature review. *Journal of Education and Learning (EduLearn)*, 19(1), 570–578. <https://doi.org/10.11591/edulearn.v19i1.21889>
- Tambak, S., Ahmad, M. Y., Sukenti, D., & Siregar, E. (2022). Faith, Identity Processes and Science-Based Project Learning Methods for Madrasah Teachers. *AL-ISHLAH: Jurnal Pendidikan*, 14(1), 203–216. <https://doi.org/10.35445/alishlah.v14i1.1184>
- Thompson, K. R., Webster, C. D., Pomper, K. W., & Krall, R. M. (2023). Use of aquaponics project-based environments to improve students’ perception of Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM) disciplines and career pathways. *Interdisciplinary Journal of Environmental and Science Education*, 19(2), e2309. <https://doi.org/10.29333/ijese/13102>

- Van Dat, T., Ngoc Thach, P., & Nguyen Cam Tu, P. (2023). Instructional Leadership Promotes Stem Education in Schools. *Teacher Education and Curriculum Studies*, 8(3), 121–128. <https://doi.org/10.11648/j.tecs.20230803.12>
- Wahidin, D., & Romli, L. A. M. (2020). Students Critical Thinking Development in National Sciences and Mathematics Competition in Indonesia: A Descriptive Study. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 9(1), 106–116. <https://doi.org/10.15294/jpii.v9i1.22240>
- Wahyudin, A., Furqon, M., Prabowo, G., & Zawawi, A. A. (2024). Application of Style Leadership Transformational in Islamic Education Institutions. *Ar-Rosikhun: Jurnal Manajemen Pendidikan Islam*, 3(3), 218–226. <https://doi.org/10.18860/rosikhun.v3i3.27705>
- Wildani, A., & Budiyo, A. (2022). Challenge of Applying STEM Education to Improve Physics Problem Solving Skills in Islamic Boarding Schools. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 8(3), 1231–1235. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v8i3.1586>
- Witrock, D., Gaskins, W., Agarwal, J., & Raju, G. (2021). Removing Barriers and Preparing Students for STEM Majors through Partnerships with Local Public Schools. 2021 CoNECD Proceedings, 36117. <https://doi.org/10.18260/1-2--36117>
- Wulandari, T. D., Listaji, P., Sulaiman, T., Wan Jaafar, W. M., & Rahim, S. S. A. (2024). Development of STEM-Based Science Educational Game Using Scratch to Train Computational Thinking Skill for Socondary School Students. *Jurnal Pendidikan Sains Indonesia*, 12(4), 867–884. <https://doi.org/10.24815/jpsi.v12i4.39893>
- Yanuar. (2024, October 30). Menuju 2045, Kebijakan Afirmasi Pendidikan Tinggi Akan Diperluas [Towards 2045, Affirmative Policies in Higher Education Will Be Expanded]. Pusat Layanan Pembiayaan Pendidikan. <https://puslapdik.dikdasmen.go.id/menuju-2045-kebijakan-afirmasi-pendidikan-tinggi-akan-diperluas/>
- Yaqutunnafis, L. (2020). Manajemen Kelas Olimpiade Sains Nasional (ASN) Di MTS Negeri 1 Kota Mataram [Management of National Science Olympiad (NSO) Classes at MTS Negeri 1 Kota Mataram]. *MEDIA BINA ILMIAH*, 14(10), Article 10. <https://doi.org/10.33758/mbi.v14i10.525>
- Yin, R. K. (2018). *Case study research and applications: Design and methods* (Sixth edition). SAGE.
- Zainuddin, Z., Abidin, Z., Susanti, A., & Muttaqin, M. (2024). Innovation and Adaptation of Islamic Religious Education in Madrasahs in the Context of Society 5.0 Era. *Formosa Journal of Sustainable Research*, 3(10), 2157–2168. <https://doi.org/10.55927/fjsr.v3i10.11999>
- Zavalevskiy, Y., Lozova, O., Vasylyashko, I., & Chernomorets, V. (2024). Professional Development of Teachers in the Context of STEM Education as a Relevant Psychological and Pedagogical Issue. *Problems of Education*, 2(101), 147–160. <https://doi.org/10.52256/2710-3986.2-101.2024.10>