

Pengantar untuk Konversi Pendidikan STEM ke STEAM-H

PENGANTAR UNTUK KONVERSI

PENDIDIKAN STEM ke STEAM-H



Perkumpulan Rumah Cemerlang Indonesia
Pondok Karisma Residence
Jalan Rafflesia VI D.151
Panglayungan, Cipedes Tasikmalaya – 085223186009



Dr. Ai Tusi Fatimah, S.Pd.,M.Si.
Dr. drh. Agus Yuniawan Isyanto, M.P.
Dr. Toto, Drs., M.Pd.



**PENGANTAR UNTUK
KONVERSI PENDIDIKAN
STEM KE STEAM-H**

PENGANTAR UNTUK KONVERSI PENDIDIKAN STEM KE STEAM-H

**Dr. Ai Tusi Fatimah, S.Pd.,M.Si.
Dr. drh. Agus Yuniawan Isyanto, M.P.
Dr. Toto, Drs., M.Pd.**



PENGANTAR UNTUK KONVERSI PENDIDIKAN STEM KE STEAM-H

© Penerbit Perkumpulan Rumah Cemerlang Indonesia (PRCI)

Penulis:

Dr. Ai Tusi Fatimah, S.Pd.,M.Si.
Dr. drh. Agus Yuniawan Isyanto, M.P.
Dr. Toto, Drs., M.Pd.

Editor: Dr. Toto, Drs., M.Pd.

Cetakan Pertama: September 2022

Cover: Tim Penyusun

Tata Letak: Tim Kreatif PRCI

Hak Cipta 2022, pada Penulis. Diterbitkan pertama kali oleh:

Perkumpulan Rumah Cemerlang Indonesia
ANGGOTA IKAPI JAWA BARAT

Pondok Karisma Residence Jalan Raflesia VI D.151
Panglayungan, Cipedes Tasikmalaya – 085223186009

Website: www.rcipress.rcipublisher.org

E-mail: rumahcemerlangindonesia@gmail.com

Copyright © 2022 by Perkumpulan Rumah Cemerlang Indonesia
All Right Reserved

- Cet. I –: Perkumpulan Rumah Cemerlang Indonesia, 2022
Dimensi : 14,8 x 21 cm
ISBN: 978-623-448-192-1

Hak cipta dilindungi undang-undang
Dilarang memperbanyak buku ini dalam bentuk dan dengan
cara apapun tanpa izin tertulis dari penulis dan penerbit

Undang-undang No.19 Tahun 2002 Tentang
Hak Cipta Pasal 72

Undang-undang No.19 Tahun 2002 Tentang Hak Cipta
Pasal 72

Barang siapa dengan sengaja melanggar dan tanpa hak melakukan perbuatan sebagaimana dimaksud dalam pasal ayat (1) atau pasal 49 ayat (1) dan ayat (2) dipidana dengan pidana penjara masing-masing paling sedikit 1 (satu) bulan dan/atau denda paling sedikit Rp.1.000.000,00 (satu juta rupiah), atau pidana penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dan/atau denda paling banyak Rp.5.000.000.000,00 (lima miliar rupiah).

Barang siapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran hak cipta terkait sebagai dimaksud pada ayat (1) dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp.500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbil'alamin. Berkat limpahan rahmat dari Allah SWT, kami dapat menyusun buku dengan judul “Pengantar untuk Konversi Pendidikan STEM ke STEAM-H”. Buku ini disusun atas landasan hadirnya batasan riset multidisiplin STEAM-H (*Science, Technology, Engineering, Agriculture, Mathematics & Health*) yang sangat memungkinkan untuk dimanifestasikan dalam pendidikan.

Buku ini mengantarkan pendidikan STEAM-H sebagai perluasan dari pendidikan STEM (*Science, Technology, Engineering, & Mathematics*). Kerangka kerja pendidikan STEM yang telah lama berkembang dan terpublikasi di jurnal dan prosiding bereputasi dijadikan acuan dalam konversi pendidikan STEM ke pendidikan STEAM-H. Lebih dari enam ratus artikel tentang STEM ditelusuri. Melalui bantuan VosViewer, diperoleh gambaran hasil riset pendidikan STEM dari beragam perspektif, sehingga diperoleh istilah-istilah penting yang menjadi karakteristik utama pembuka perspektif pendidikan STEAM-H ini.

Pola integrasi merupakan istilah utama yang diadopsi dari pendidikan STEM terintegrasi. Pola integrasi merupakan istilah penting sebagai landasan implementasi integrasi antara beberapa disiplin ilmu dalam STEAM-H. Konten (konsep dan keterampilan) antar disiplin ilmu menjadi bagian penting dari proses implementasi integrasi tersebut. Pola integrasi juga

mengantarkan pada prinsip pembelajaran yang dapat diimplementasikan dengan beragam pendekatan pembelajaran yang sesuai dengan jenis, jenjang, dan tingkat pendidikan.

Mengawali hadirnya pendidikan STEAM-H, perlu memperhatikan prinsip pembelajaran, lingkungan belajar, dan asesmen. Ketiganya ditransmisikan dalam buku ini. Namun demikian, perlu digali lebih lanjut dalam riset-riset mendatang supaya kerangka kerja STEAM-H dapat terwujud dan terimplementasi sesuai dengan jenis, jenjang, dan tingkat pendidikan. Sebagai pengantar pendidikan STEAM-H terintegrasi, buku ini diharapkan dapat membuka paradigma baru dan menambah khasanah keilmuan. Lebih jauh lagi, buku ini dapat memberi kontribusi dan jejaring kolaborasi antara berbagai elemen.

Sebagai pengantar pendidikan STEAM-H terintegrasi, buku ini diharapkan dapat membuka paradigma baru dan menambah khasanah keilmuan. Lebih jauh lagi, buku ini dapat memberi kontribusi dan jejaring kolaborasi antara berbagai elemen.

Kami ucapkan terima kasih kepada Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi yang telah memberikan pendanaan melalui Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi (PDUPT) Tahun 2022. Terima kasih juga kami sampaikan kepada seluruh pimpinan Universitas Galuh yang telah memberi kesempatan untuk melaksanakan penelitian ini dalam rangka mendukung Rencana Induk

Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat serta
Rencana Strategis Universitas Galuh.

Ciamis, 15 Agustus 2022
Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR TABEL.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	vii
1. PENDAHULUAN	1
2. PERKEMBANGAN RISET STEAM-H	10
3. POLA INTEGRASI PENDIDIKAN STEAM-H.....	25
3.1 Multidisiplin.....	27
3.2 Interdisipliner	29
3.3 Transdisipliner	33
3.3 <i>Cross-disciplinary</i>	34
3.4 Langkah-langkah Integrasi STEAM-H	37
3.5 Konten Esensial	41
4. PRINSIP PEMBELAJARAN STEAM-H	
TERINTEGRASI.....	43
4.1 Komponen Penting dari Kurikulum	44
4.2 Pembelajaran Berbasis Situasi.....	48
4.3 Alur Konseptual Grafis.....	59
5. LINGKUNGAN STEAM-H TERINTEGRASI.....	64
5.1 Lingkungan Belajar Otentik	64
5.2 Lingkungan Teknologi Komputer.....	65
6. ASESMEN PENDIDIKAN STEAM-H	
TERINTEGRASI.....	67

7. PENUTUP.....	70
8. REFERENSI	72

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Daftar Klaster	4
Tabel 2.1 Seri Buku STEAM-H Terbitan Springer	11
Tabel 3.1 Pola Integrasi	26
Tabel 4.1 Komponen Penting Kurikulum Pemodelan dengan Data	45

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Klaster Pilihan Istilah-istilah pada Pendidikan STEM	3
Gambar 1.2 Kepekatan Istilah-istilah pada Pendidikan STEM	8
Gambar 1.3 Peta Riset STEM Berdasarkan Tahun ...	9
Gambar 3.1 Disiplin ilmu pada STEAM-H.....	25
Gambar 3.2 Multidisipliner pada STEAM-H	28
Gambar 3.3 Pola interdisipliner matematika terhadap disiplin ilmu lainnya dalam STEAM-H	30
Gambar 3.4 Pola interdisipliner antar disiplin ilmu dalam STEAM-H.....	31
Gambar 3.5 Pola interdisipliner semua disiplin ilmu dalam STEAM-H.....	32
Gambar 3.6 Pola Transdisipliner STEAM-H.....	33
Gambar 3.7 Pola cross-disciplinary.....	35
Gambar 4.1 Kerangka Konseptual Pembelajaran STEM	49
Gambar 4.2 Perbandingan Praktik Sains dan Praktik Teknik/Rekayasa	54
Gambar 4.3 Alur Konseptual Grafis ‘Kurikulum Keamanan Museum’	61

1. PENDAHULUAN

STEAM-H merupakan kepanjangan dari *Science, Technology, Engineering, Agriculture, Mathematics, and Health*. Istilah STEAM-H dapat ditemukan pertama kali dalam sebuah prosiding berjudul “*New Frontiers of Multidisciplinary Research in STEAM-H (Science, Technology, Engineering, Agriculture, Mathematics, and Health)*” pada Tahun 2014 (Toni, 2014). Istilah STEAM-H dapat dikatakan sebagai perluasan dari batasan riset sebelumnya STEM (*Science, Technology, Engineering, and Mathematics*).

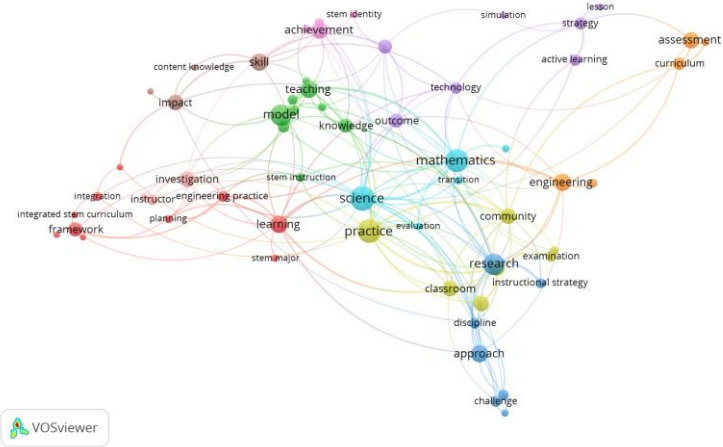
STEM telah berkembang seiring dengan kemajuan teknologi. STEM telah banyak dibahas dalam beragam perspektif termasuk pada bidang pendidikan. Penelitian tentang pendidikan STEM terus mengalami peningkatan yang dibuktikan dengan banyaknya artikel yang membahas STEM sejak Tahun 1990 hingga sekarang (Stewart et al., 2019). STEM kemudian mengalami perkembangan batasan dari bidang ilmu lainnya untuk mendukung pemecahan masalah yang lebih baik. Misalnya, integrasi *arts* pada STEM menjadi STEAM merupakan suatu upaya

membantu siswa untuk meningkatkan pemahaman konsep dengan cara kreatif (Swe & Shaljan, 2019). Program STEM with AgLIT (*Agricultural Literacy Through Innovative Technology*) merupakan integrasi pertanian pada STEM sebagai upaya meningkatkan literasi pertanian siswa (Vallera & Bodzin, 2020). Program ETR merupakan integrasi bidang kesehatan dan STEM untuk menemukan solusi kreatif penanganan masalah COVID-19 (Denner, 2020).

Pendidikan STEAM-H pada tulisan ini diadopsi dari perkembangan riset pendidikan STEM yang diterbitkan pada jurnal internasional bereputasi. Penelusuran artikel STEM berfokus pada laman Springer sebagai penggagas STEAM-H. Terdapat 675 artikel yang didominasi oleh *International Journal of STEM Education* (571 artikel dari tahun 2014 hingga 2022). Sisanya dari *Journal for STEM Education Research* (57), *IJERE* (8), dan lainnya.

Untuk mengetahui istilah-istilah pada pendidikan STEM, dilakukan penelusuran dengan menggunakan VOSviewer. Fokus penelusuran pada judul artikel dengan mengambil minimal tiga istilah yang muncul. Hasilnya terdapat 207 kata. Setelah mengalami

penelaahan, sebanyak 61 kata yang dianggap sesuai untuk melakukan konversi dari pendidikan STEM ke STEAM-H. 61 istilah tersebut terdapat dalam 10 kluster seperti diilustrasikan pada Gambar 1.1 berikut ini.



Gambar 1.1 Kluster Pilihan Istilah-istilah pada Pendidikan STEM

Lebih jelas lagi, Tabel 1.1 menyajikan daftar istilah pada setiap kluster. Adapun istilah kunci sebagai acuan konversi adalah bidang/disiplin, integrasi, kurikulum, pembelajaran (pendekatan/strategi/praktik), lingkungan belajar, pengetahuan/keterampilan/berpikir, dan penilaian (capaian/hasil).

Tabel 1.1 Daftar Klaster

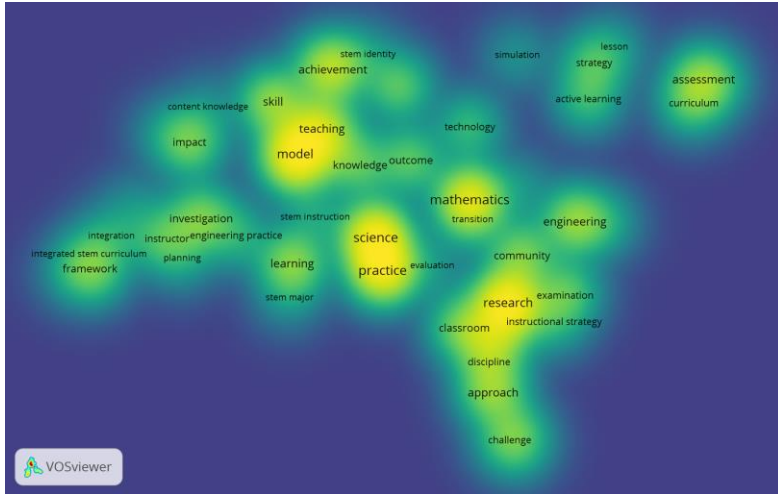
Klaster	Istilah	Kuantitas
1 (10 item)	<i>Complexity</i> (kompleksitas)	3
	<i>Engineering practice</i> (praktik teknik/rekayasa)	8
	<i>Framework</i> (kerangka kerja)	13
	<i>Integrated STEM curriculum</i> (kurikulum STEM terintegrasi)	3
	<i>Integration</i> (integrasi)	6
	<i>Interdisciplinary collaboration</i> (kolaborasi interdisiplin)	3
	<i>Learning</i> (belajar)	20
	<i>Planing</i> (perencanaan)	5
	<i>STEM literacy</i> (literasi STEM)	3
	<i>STEM major</i> (jurusan STEM)	4
2 (9 item)	<i>Adoption</i> (adopsi)	7
	<i>Computational thinking</i> (Berpikir komputasional)	4
	<i>Context</i> (Konteks)	7
	<i>Exploration</i> (eksplorasi)	5
	<i>Knowledge</i> (pengetahuan)	13
	<i>Model</i>	31
	<i>Relationship</i> (hubungan)	10

Klaster	Istilah	Kuantitas
	<i>STEM instruction</i> (pengajaran STEM)	6
	<i>Teaching</i> (pengajaran)	18
3 (7 item)	<i>Approach</i> (pendekatan)	20
	<i>Boundary</i> (batas)	4
	<i>Challenge</i> (tantangan)	8
	<i>Discipline</i> (disiplin)	8
	<i>Instructional strategy</i> (strategi instruksional)	7
	<i>Pedagogy</i> (pedagogi)	8
	<i>Research</i> (penelitian)	31
4 (7 item)	<i>Classroom</i> (kelas)	17
	<i>Community</i> (komunitas)	17
	<i>Examination</i> (ujian)	8
	<i>Identity</i> (identitas)	17
	<i>Influence</i> (pengaruh)	17
	<i>Practice</i> (praktik)	40
	<i>STEM field</i> (bidang STEM)	6
5 (6 item)	Active learning (pembelajaran aktif)	10
	Environment (lingkungan)	14
	Lesson (pelajaran)	4
	Outcome (hasil)	14
	Simulation (simulasi)	4
	Strategy (strategi)	11

Klaster	Istilah	Kuantitas
	Technology (teknologi)	10
6 (5 item)	<i>Evaluation</i> (evaluasi)	4
	<i>Instructional change</i> (Perubahan instruksional)	4
	<i>Mathematics</i> (matematika)	36
	<i>Science</i> (sains)	46
	<i>Transition</i> (transisi)	5
7 (5 item)	<i>Assessment</i> (penilaian)	18
	<i>Curriculum</i> (kurikulum)	11
	<i>Engineering</i> (teknik/rekayasa)	21
	<i>Field</i> (bidang)	4
	<i>Validation</i> (validasi)	6
8 (4 item)	<i>Content knowledge</i> (Pengetahuan konten)	3
	<i>Impact</i> (dampak)	17
	<i>Inclusive STEM high school</i> (Sekolah Menengah STEM Inklusif)	3
	<i>Skill</i> (keterampilan)	21
9 (4 item)	<i>Achievement</i> (pencapaian)	18
	<i>Critical thinking</i> (berpikir kritis)	5
	<i>Science identity</i> (identitas sains)	6

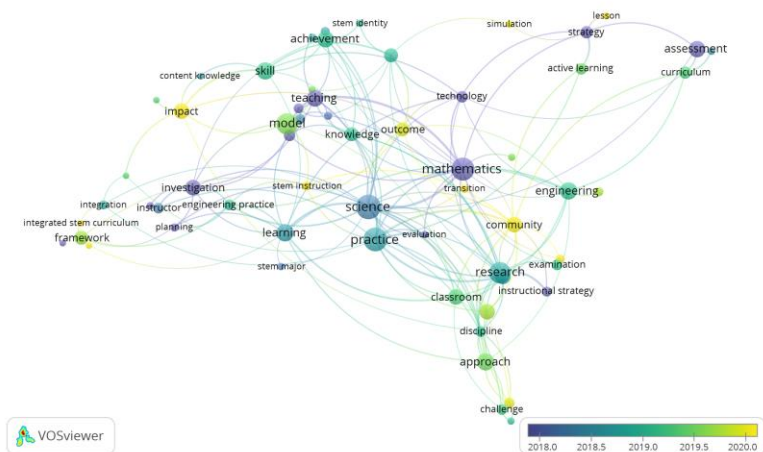
Klaster	Istilah	Kuantitas
	<i>STEM identity</i> (identitas STEM)	4
10 (3 item)	<i>Instructor</i> (pengajar)	8
	<i>Investigation</i> (investigasi)	17
	<i>Pedagogical knowledge</i> (pengetahuan pedagogi)	4

Berdasarkan Tabel 1.1, sains merupakan istilah paling banyak muncul (43 kali) disusul kata praktik (40 kali) dan matematika (36 kali). Hal ini dapat dilihat dari ukuran bulatan pada Gambar 1.1. Kita juga dapat melihat bahwa istilah tersebut sering diteliti, yang dapat dilihat berdasarkan kepekatan warna yang ditunjukkan VOSviewer pada Gambar 1.2. Makin besar bulatan dan pudar warna yang ditampilkan, makin banyak istilah tersebut digunakan dalam judul artikel, dan sebaliknya. Hasil ini sejalan dengan hasil penelusuran (English, 2016), bahwa sains dan matematika merupakan dua disiplin ilmu dalam STEM yang sering muncul dan mendominasi pembahasan dalam berbagai publikasi pendidikan STEM.



Gambar 1.2 Kepekatan Istilah-istilah pada Pendidikan STEM

Selanjutnya, kita dapat melihat *trend* istilah yang digunakan pada penelitian STEM terbaru dan masih jarang diteliti. Gambar 1.2 menunjukkan istilah STEM pada penelitian terlama sampai terbaru yang ditampilkan dalam gradasi warna. Makin cerah warna bulatan, makin baru istilah tersebut digunakan.



Gambar 1.3 Peta Riset STEM Berdasarkan Tahun

Berdasarkan artikel pendidikan STEM yang telah ditelusuri, tulisan ini memaparkan bagaimana riset-riset di area STEM dapat dijadikan acuan dasar untuk membangun pendidikan STEAM-H terintegrasi. Adapun fokus tulisan diawali dari aspek pola integrasi yang berpengaruh pada prinsip, lingkungan, dan asesmen pembelajaran.

2. PERKEMBANGAN RISET STEAM-H

Istilah STEAM-H berawal dari sebuah prosiding yang berupaya mengeksplorasi batas-batas baru dalam penelitian multidisiplin, mendorong minat dan partisipasi mahasiswa dalam penelitian interdisipliner, dan untuk merangsang penelitian baru bagi spektrum keilmuan yang lebih luas (Toni, 2014). Istilah STEAM-H lebih lanjut dapat ditemukan pada laman *SpingerLink* berupa seri buku yang secara khusus mengusung topik-topik di area Sains, Teknologi, Teknik, Pertanian, Matematika dan Kesehatan. Seri buku STEAM-H menunjukkan kemajuan terbaru dalam ilmu murni dan terapan dari para peneliti yang berkolaborasi dalam bidang yang berbeda di mana matematika sebagai fokus intinya. Seri buku tersebut berfungsi sebagai katalis bagi para peneliti untuk mengembangkan aplikasi baru yang dapat memberi kemajuan yang mendasar dalam berbagai disiplin ilmu dengan pendekatan interdisipliner. Seri buku STEAM-H mulai terbit pada

Tahun 2018. Hingga kini, terdapat sembilan buku seperti pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Seri Buku STEAM-H Terbitan Springer

No	Judul	Editor	Terbit	Deskripsi
1	<i><u>New Trends and Advanced Methods in Interdisciplinary Mathematical Sciences</u></i>	Bourama Toni (Toni, 2018)	02 August 2018	Volume ini bertujuan untuk menghasilkan interaksi interdisipliner dengan penekanan pada metode dan aplikasi antar bidang. Topik-topik yang disajikan meliputi sistem rangkap tiga geometris, segmentasi gambar, pengenalan pola dalam kedokteran, opsi hambatan harga, distribusi bilangan p -

No	Judul	Editor	Terbit	Deskripsi
				<i>adic</i> dalam pola data geofisika, <i>adelic physics</i> , dan teori permainan evolusioner.
2	<u>Advanced Research in Naval Engineering</u>	Anthony A. Ruffa & Bourama Toni (Ruffa & Toni, 2022)	20 December 2018	Volume ini menyajikan aplikasi matematika dalam teknik angkatan laut yang menampilkan pendekatan yang lebih holistik dengan melampaui batas-batas ilmiah serta menyajikan instrumen dan model interdisipliner pada berbagai topik. Setiap bab memberikan penekanan

No	Judul	Editor	Terbit	Deskripsi
				khusus pada metode penelitian dan aplikasi analisis di lapangan. Topik-topik yang disajikan diantaranya adalah struktur kupu-kupu FFT, <i>impedansi</i> akustik piston dalam media dua lapis, pelacak <i>batch</i> deterministik, persamaan <i>spline</i> , dst.
3	<u>Quantum Foundations, Probability and Information</u>	Andrei Khrennikov, & Bourama Toni	26 December 2018	Volume ini menyajikan masalah kompleks dengan perspektif informasional, probabilistik, dan matematis

No	Judul	Editor	Terbit	Deskripsi
		(Khrennikov & Toni, 2018)		serta menampilkan model matematis baru dari fenomena kuantum dan subkuantum. Topik masalah yang disajikan adalah aplikasi persamaan diferensial parsial dalam teori medan kuantum, geometri diferensial, proses osilasi dan getaran, dan integral <i>Feynman</i> untuk fungsi potensial yang berkembang pesat.

No	Judul	Editor	Terbit	Deskripsi
4	<u>Mathematical Structures and Applications</u>	Toka Diagana & Bourama Toni (Diagana & Toni, 2017)	25 January 2019	Volume ini menyajikan penelitian aplikasi dalam struktur matematika terutama pada masalah topikal. Topik yang dibahas meliputi operator metrik dan <i>hermitisitas</i> umum, <i>Semi-frames</i> , operator <i>Hilbert-Schmidt</i> , Aksi <i>symplectic affine</i> , Gerakan <i>Brown Fractional</i> , <i>metrik Walker Osserman</i> , Persamaan <i>Maxwell</i> Nonlinier, Model

No	Judul	Editor	Terbit	Deskripsi
				<i>Yukawa, Observable Heisenberg, dst.</i>
5	<u>Modern Statistical Methods for Spatial and Multivariate Data</u>	Norou Diawara (Ruffa & Toni, 2022)	11 July 2019	Volume ini menyajikan model dan metode statistik untuk data spasial dan multivariat. Topik masalah mencakup aspek <i>spatio-temporal</i> , teknik klasifikasi, hasil multivariat dengan data nol dan dua kali lipat, pemodelan pilihan diskrit, distribusi kopula, dan solusi algoritme yang layak.

No	Judul	Editor	Terbit	Deskripsi
6	<u>Quantum-Like Models for Information Retrieval and Decision-Making</u>	Diederik Aerts, Andrei Khrennikov, Massimo Melucci, & Bourama Toni (Khrennikov et al., 2019)	20 September 2020	Volume ini menyajikan integrasi metode kuantum yang luas dengan pengalaman dunia nyata pada ilmu komputer. Topik masalah meliputi pemodelan berbasis informasi-probabilitas kuantum di bidang-bidang pencarian informasi; akses informasi kuantum interaktif; jaringan saraf konvolusi dalam; pengambilan keputusan, dinamika

No	Judul	Editor	Terbit	Deskripsi
				kuantum; sistem kuantum terbuka; dan teori probabilitas kontekstual.
7	<u>Advanced Mathematical Methods in Biosciences and Applications</u>	Faina Berezovskaya & Bourama Toni (Giusti & Mainardi, 2019)	01 October 2020	Volume ini menyajikan penelitian biologi matematika dan biomedis. Topik berfokus pada metode matematika tingkat lanjut tentang analisis matematis model quasispecies, persamaan Arnold's weak resonance, analisis <i>bifurcation</i> , model <i>Tonnelier-Gerstner</i> , dst.

No	Judul	Editor	Terbit	Deskripsi
8	<u>Pattern Recognition Techniques Applied to Biomedical Problems</u>	Martha Refugio Ortiz-Posadas (Ortiz-Posadas, 2020)	01 March 2021	Volume ini menyajikan teknik pengenalan pola, diagnosis, prognosis pada bidang biomedis. Topik masalah multidisiplin memadukan komputasi, matematika, dan ilmu teknis lainnya untuk pengembangan alat dan metodologi komputasi yang dapat diterapkan pada proses analisis informasi medis untuk menentukan diagnosis dan

No	Judul	Editor	Terbit	Deskripsi
				strategi pengobatan yang tepat.
9	<i>Studies in Evolution Equations and Related Topics</i>	Gaston M. N'Guérékata & Bourama Toni (Ortiz-Posadas, 2020)	28 October 2021	Volume ini menyajikan perkembangan teknik terkini dalam persamaan evolusi (bidang matematika) yang yang terintegrasi ke dalam ilmu fisika, biologi, sosial, komputasi, teknik dan teknologi. Topik masalah seperti Persamaan Impulsive implicit Caputo fractional q-difference dalam ruang

No	Judul	Editor	Terbit	Deskripsi
				Banach berdimensi hingga dan tak hingga, kontrol optimal keadaan rata-rata dari model dinamis populasi, stabilitas struktural masalah $p(u)$ -Laplacian eliptik nonlinier dengan kondisi batas tipe Robin, dst.
10	<u>Advances in Non-Archimedean Analysis and Applications</u>	W. A. Zúñiga-Galindo & Bourama Toni (Zúñiga-Galindo & Toni, 2021)	02 December 2021	Volume ini menyajikan gambaran interdisipliner yang luas tentang analisis <i>non-Archimedean</i> dan aplikasinya. Interdisipliner pada

No	Judul	Editor	Terbit	Deskripsi
				matematika ke dalam ilmu fisika, biologi, sosial, dan komputasi serta teknik dan teknologi.
11	<i>The Mathematics of Patterns, Symmetries, and Beauties in Nature</i>	Bourama Toni (Toni, 2021)	07 December 2021	Volume ini menyajikan berbagai pendekatan ilmiah matematis, statistik, fisika, dan dunia nyata. Topik meliputi pendekatan Archimedean dan Non-Archimedean untuk pemodelan matematika; model termografi dengan aplikasi

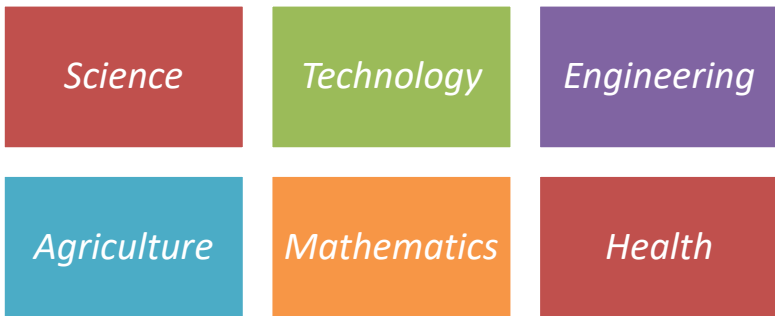
No	Judul	Editor	Terbit	Deskripsi
				<p>untuk radang <i>tungiasis</i> kulit; pemodelan Robot Pembunuh kutu; berbagai aspek matematika untuk Covid-19, mulai dari simulasi skenario jarak sosial hingga dinamika evolusi virus corona, dst.</p>
12	<p><u>Recent Trends in Naval Engineering Research</u></p>	<p>Anthony A. Ruffa & Bourama Toni (Ruffa & Toni, 2022)</p>	<p>13 June 2022</p>	<p>Volume ini menyajikan aplikasi matematika dalam teknik angkatan laut. Topik-topik seperti bahan kisi mikro dalam dinamika struktural, transmisi akustik dalam aliran</p>

No	Judul	Editor	Terbit	Deskripsi
				cairan bilangan <i>Mach</i> rendah, dst.

Berdasarkan hasil penelusuran STEAM-H tersebut, kita dapat menyaksikan bahwa matematika mendominasi pusat inti integrasi bidang ilmu terhadap bidang ilmu yang lainnya. Dalam hal ini, matematika memainkan peran yang semakin penting dalam berbagai disiplin ilmu yang dapat mengaburkan batas antara disiplin ilmu (Toni, 2014).

3. POLA INTEGRASI PENDIDIKAN STEAM-H

Sains, teknologi, teknik/rekayasa, pertanian, matematika, dan kesehatan merupakan disiplin ilmu pada STEAM-H. Dalam pendidikan, disiplin yaitu konsep dan keterampilan dipelajari secara terpisah di setiap keilmuan (English, 2016). Terdapat juga istilah intradisiplin yaitu masing-masing bidang spesifik dipandang dari perspektif keilmuan sendiri-sendiri.



Gambar 3.1 Disiplin ilmu pada STEAM-H

Pembelajaran berbasis disiplin ilmu atau mata pelajaran merupakan pembelajaran yang banyak dilakukan di sekolah-sekolah saat ini. Setiap disiplin ilmu dipelajari dalam setiap jenjang pendidikan

tertentu dengan konten yang ditetapkan dalam standar kurikulum. Integrasi antar disiplin dalam pembelajaran banyak ditemukan seiring berkembangnya STEM, yaitu melintasi batas-batas disiplin (Li, 2014).

Dengan mengadopsi STEM terintegrasi, bagian ini akan membahas STEAM-H terintegrasi. STEM terintegrasi diklasifikasikan berdasarkan peningkatan integrasinya mulai dari disiplin, multidisiplin, interdisiplin, dan transdisiplin (English, 2016; Roehrig et al., 2021). Terdapat juga istilah *cross-disciplinary* (lintas disiplin (Li & Lewis, 2019). Masing-masing istilah dijelaskan pada Tabel 3.1 berikut ini.

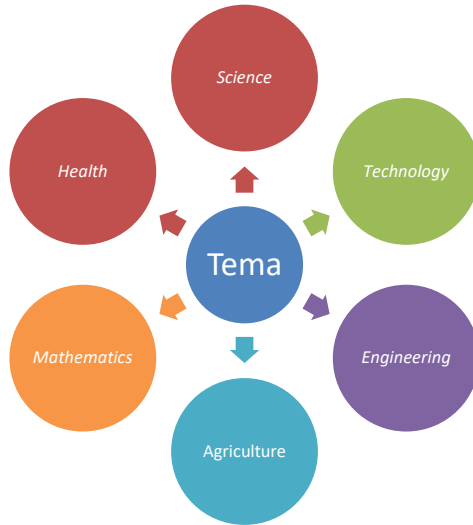
Tabel 3.1 Pola Integrasi

Pola Integrasi	Deskripsi
Disiplin	Konsep dan keterampilan dipelajari secara terpisah di setiap disiplin ilmu
Multidisiplin	Konsep dan keterampilan dipelajari secara terpisah dalam setiap disiplin ilmu tetapi terhubung dalam tema yang sama

Pola Integrasi	Deskripsi
Interdisipliner	Konsep dan keterampilan yang terkoneksi dari dua atau lebih disiplin ilmu dipelajari melalui tema atau masalah yang sama
Transdisipliner	Pengetahuan dan keterampilan yang dipelajari dari dua atau lebih disiplin diterapkan pada masalah dan proyek dunia nyata, sehingga membantu membentuk pengalaman belajar
Lintas-disiplin	Suatu disiplin ilmu dapat dipandang dari beberapa sudut pandang disiplin lain

3.1 Multidisiplin

Prinsip STEAM-H dalam multidisiplin dapat dilakukan dengan menetapkan suatu tema yang sama namun konsep dan keterampilan dipelajari secara terpisah dalam setiap disiplin ilmu. Setiap disiplin menawarkan sudut pandang yang berbeda sesuai dengan dasar keilmuannya.



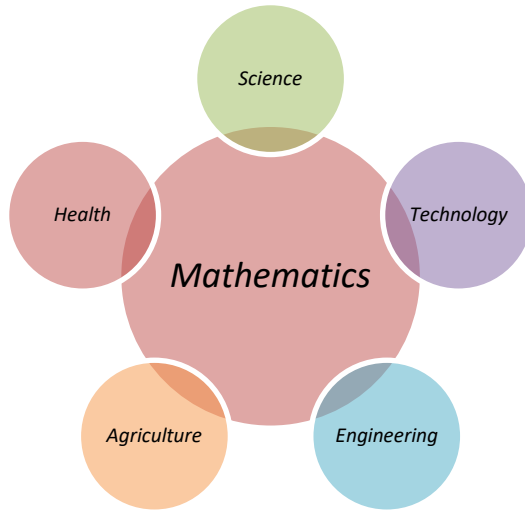
Gambar 3.2 Multidispliner pada STEAM-H

Dalam implementasinya di sekolah, tentunya tidak semua disiplin ilmu STEAM-H diajarkan. Oleh karena itu, tema dapat dipilih sesuai dengan disiplin ilmu atau mata pelajaran yang dipelajari oleh siswa. Sebagai contoh, dipilih tema “kecepatan” bagi siswa sekolah menengah atas. Tema ini dipelajari pada mata pelajaran IPA (khususnya fisika). Tema “kecepatan” juga memiliki makna khusus dalam sudut pandang matematika pada materi “turunan”. Meskipun keduanya mempelajari tema yang sama, namun setiap bidang ilmu dapat memiliki perbedaan dalam

terminologi, notasi, dan konvensi tanda (Rabin et al., 2021).

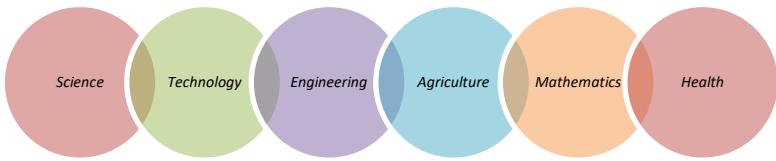
3.2 Interdisipliner

Pola integrasi interdisipliner merupakan suatu pola integrasi STEAM-H yang diharapkan. Pola ini mengintegrasikan konsep dan keterampilan yang terkait erat dari dua atau lebih disiplin ilmu pada sisi yang beririsan. Sebagai contoh, STEAM-H terintegrasi ini dapat dilihat kembali dalam riset-riset yang telah dipaparkan pada bagian dua sebelumnya. Riset-riset tersebut banyak mengintegrasikan matematika terhadap disiplin-disiplin ilmu lainnya dan dapat diilustrasikan pada Gambar 3.2 berikut ini.



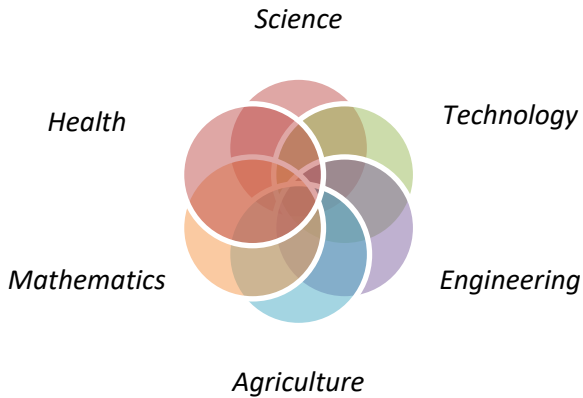
Gambar 3.3 Pola interdisipliner matematika terhadap disiplin ilmu lainnya dalam STEAM-H

Beragam pola integrasi interdisipliner antar disiplin ilmu dapat terjadi tidak hanya berpusat pada matematika, namun pusat integrasi berlaku juga dengan ilmu lainnya. Disiplin ilmu yang menjadi pusat integrasi dikatakan integrator konseptual (Roehrig et al., 2021). Pola interdisipliner pada STEAM-H akan terjadi jika paling sedikit dua disiplin ilmu memiliki konsep yang saling terkoneksi, disebut koneksi konseptual (Pleasants et al., 2021).



Gambar 3.4 Pola interdisipliner antar disiplin ilmu dalam STEAM-H

Pola interdisipliner pada STEAM-H mungkin saja akan terjadi dalam semua disiplin STEAM-H. ini dapat dipicu oleh masalah dunia nyata yang sangat kompleks. Masalah dunia nyata ini sebagai integrator kontekstual (Roehrig et al., 2021) dan semua disiplin ilmu turut serta berkontribusi memberikan konsep atau keterampilan untuk memecahkan masalah tersebut.

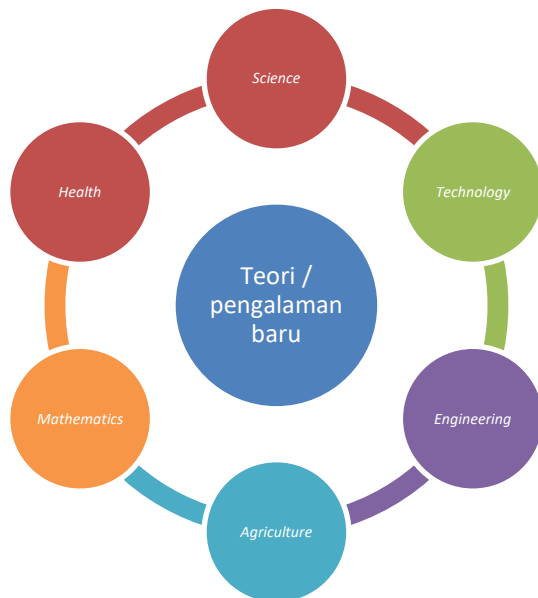


Gambar 3.5 Pola interdisipliner semua disiplin ilmu dalam STEAM-H

Pola integrasi interdisipliner merupakan pola yang banyak berkembang dalam STEM terintegrasi. Contohnya integrasi sains dan teknik (Pleasants et al., 2021; Brand, 2020a), serta sains dan matematika (Polizzi et al., 2021; Yoon & Strobel, 2017). Begitu pula pada STEAM-H, pola interdisipliner yang fokus pada irisan konseptual antar bidang ilmu sangat memungkinkan untuk diimplementasikan dalam pembelajaran STEAM-H terintegrasi. Melalui pola ini, keterampilan dan pengetahuan dari masing-masing disiplin ilmu dapat dipelajari secara mendalam.

3.3 Transdisipliner

Transdisiplin yaitu integrasi dari beberapa disiplin ilmu untuk menghasilkan sebuah teori atau aksioma baru dengan membangun koneksi di dalamnya. Dalam pendidikan, pola transdisipliner diterapkan pada masalah dan proyek dunia nyata yang di dalamnya dipelajari pengetahuan dan keterampilan dari dua atau lebih disiplin ilmu untuk membangun pengalaman. Melalui pola ini, siswa didorong untuk membuat koneksi baru dan produktif di dua atau lebih disiplin ilmu (English, 2016).

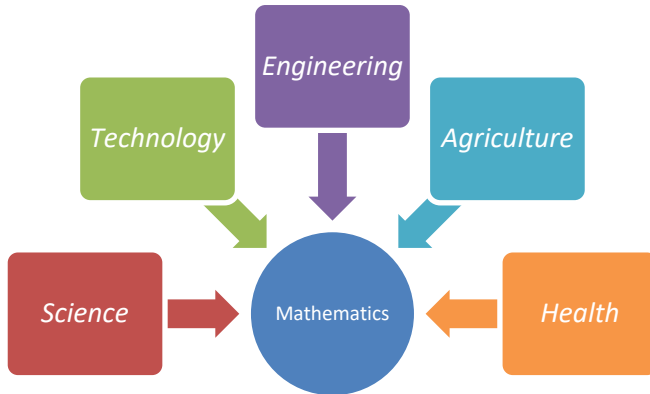


Gambar 3.6 Pola Transdisipliner STEAM-H

Gao et al. (2020) merangkum karakteristik transdisipliner yaitu pendekatan integratif yang mengacu pada kesatuan pengetahuan dan keterampilan di luar kerangka disiplin, melampaui lingkup sempit pandangan dunia disiplin, mencakup beberapa bagian khusus dari disiplin ilmu, serta fokus pada ruang masalah yang dihadapi tanpa banyak memperhatikan jejak masing-masing disiplin ilmu.

3.3 *Cross-disciplinary*

Cross-disciplinary (lintas disiplin) yaitu suatu disiplin ilmu spesifik dapat dipandang dari beberapa sudut pandang disiplin lain. Misalnya matematika, dapat menghubungkan konsep dan keterampilan dengan disiplin lainnya (Li & Lewis, 2019). Contoh spesifik adalah konsep kalkulus yang dipelajari secara luas dalam berbagai disiplin ilmu. Konteks bunga majemuk dan kecepatan kendaraan menggunakan konsep kalkulus yang sama namun diinterpretasikan ke dalam situasi khusus suatu disiplin ilmu (Rabin et al., 2021).



Gambar 3.7 Pola *cross-disciplinary*

Keempat pola integrasi (multidisiplin, interdisiplin, transdisiplin, lintas-disiplin) memiliki kekhasan masing-masing. Dalam implementasi pembelajaran, keempatnya dapat diimplementasikan sesuai dengan jenis, jenjang, dan tingkat pendidikan. Hal ini dikarenakan tidak setiap jenis, jenjang, dan tingkat pendidikan mempelajari semua disiplin dalam STEAM-H. Semua jenis, jenjang, dan tingkat pendidikan mempelajari matematika dan sains dengan standar isi kurikulum yang berbeda-beda. Oleh karena itu, integrasi matematika dan sains dapat dilakukan di semua jenis, jenjang, dan tingkat pendidikan.

Jenis pendidikan kejuruan SMK/MAK memiliki beragam spektrum keahlian yang dipelajari seperti disiplin ilmu teknik, teknologi, pertanian, dan kesehatan. Integrasi beberapa disiplin ilmu dalam STEAM-H sangat memungkinkan dilakukan. Misalnya, untuk memperdalam pengetahuan dan keterampilan matematika, sains, dan teknik di SMK dapat dilakukan pembelajaran interdisipliner.

Bagi jenis pendidikan umum seperti SMA/MA, integrasi disiplin dalam STEAM-H tidak terbatas pada interdisipliner dari matematika dan sains. Mereka dapat mengambil suatu masalah dunia nyata untuk diselesaikan dengan konsep yang telah dipelajarinya sebagai pengalaman baru bagi siswa. Masalah dunia nyata tersebut dapat diambil dari konteks kesehatan, pertanian, teknik, atau teknologi.

Kelley & Knowles (2016) menyatakan bahwa proses mengintegrasikan sains, teknologi, teknik, dan matematika dalam konteks otentik bisa serumit tantangan global yang menuntut generasi baru pakar STEM. Peneliti pendidikan menunjukkan bahwa guru berjuang untuk membuat koneksi di seluruh disiplin STEM. Akibatnya, siswa sering tidak tertarik pada

sains dan matematika ketika pembelajaran dilakukan secara terpisah sehingga kehilangan koneksi antara konsep lintas disiplin dengan aplikasi dunia nyata.

3.4 Langkah-langkah Integrasi STEAM-H

English (2016) menyatakan bahwa pengetahuan konten inti setiap disiplin ilmu dan proses interdisiplin merupakan faktor utama kesuksesan STEM terintegrasi. Pengetahuan dan keterampilan yang terstandar dalam kurikulum yang dikembangkan dengan baik yang berkonsentrasi pada keterampilan abad kedua puluh satu (proses penyelidikan, pemecahan masalah, pemikiran kritis, kreativitas, dan inovasi serta fokus yang kuat pada pengetahuan disiplin) diperlukan untuk memelihara keterampilan generik, pemahaman konseptual yang mendalam, dan hubungan interdisipliner. Dengan mengadopsi STEM terintegrasi (English, 2016; Roehrig et al., 2021), berikut adalah langkah-langkah integrasi STEAM-H.

1) Membuat koneksi STEAM-H secara eksplisit

Setiap disiplin ilmu memetakan konsep-konsep yang terintegrasi satu sama lainnya secara eksplisit. Koneksi ini diupayakan secara terus menerus oleh peneliti untuk mendapatkan cara membantu guru dan siswa membuat koneksi

STEAM-H lebih eksplisit dan bermakna pada setiap lintas disiplin dan lintas kelas. Kegiatan ini akan lebih menantang jika kerangka kurikulum dan sumber daya yang diperlukan masih kurang. Manfaat yang akan dihasilkan dari membuat koneksi yang lebih jelas antar disiplin ini akan mengembangkan pemahaman dan apresiasi siswa tentang bagaimana konten, keterampilan, dan cara berpikir yang terintegrasi saling berinteraksi.

2) Menargetkan capaian/hasil belajar siswa

Integrasi lintas disiplin memungkinkan koneksi yang terjadi melibatkan konsep atau keterampilan yang dipelajari dalam lintas tingkat kelas. Hal tersebut dapat berdampak pada perbedaan target capaian pembelajaran yang telah ditetapkan kurikulum dalam setiap tingkat kelas dengan integrasi disiplin ilmu yang diimplementasikan. Dengan demikian, target capaian belajar siswa dalam masing-masing disiplin ilmu harus terlebih dulu ditetapkan bersamaan dengan perencanaan integrasi. Capaian pembelajaran yang telah ditetapkan dalam STEAM-H terintegrasi

diharapkan dapat mendorong siswa untuk terlibat aktif, tekun, dan memiliki motivasi tinggi dalam belajar.

3) Menentukan integrator

Integrator atau pengintegrasian dapat berupa konsep atau konteks yang dapat menyatukan beragam disiplin dalam STEAM-H. Integrator dapat berasal dari disiplin dalam STEAM-H atau konteks masalah dunia nyata. Misalnya konsep matematika dapat dipilih menjadi integrator karena dapat mempengaruhi dan berkontribusi pada pemahaman ide dan konsep disiplin STEAM-H lainnya. Suatu disiplin STEAM-H dapat dijadikan integrator konseptual atau kontekstual dalam situasi tertentu. Misalnya, disiplin pertanian untuk siswa sekolah umum sebagai integrator kontekstual yang dapat mengembangkan pemahaman mendalam tentang konten dan proses matematika dan sains inti, sedangkan bagi siswa sekolah kejuruan pertanian, disiplin pertanian sebagai integrator konseptual untuk disiplin STEAM-H lainnya.

4) Melakukan Integrasi konseptual.

Integrasi konseptual terjadi jika konsep pada disiplin yang akan diintegrasikan relevan dengan kurikulum. Misalnya konsep sains dan matematika yang dipelajari di seluruh kurikulum relevan dan diperlukan untuk mengembangkan solusi dalam masalah (teknik/rekayasa) di sekolah kejuruan bidang teknik. Ketiga disiplin tersebut memiliki konsep yang beririsan sehingga terjadi pola interdisipliner. Namun demikian, seringkali sains dan teknik bersifat multidisiplin. Pelajaran sains dan teknik berbeda dan berdiri sendiri. Pelajaran sains menyediakan konten pengetahuan dan data yang diperlukan untuk digunakan dalam pelajaran teknik.

5) Melakukan Integrasi kontekstual

Integrasi kontekstual dapat dilakukan dengan menggunakan masalah kehidupan sehari-hari untuk mengontekstualisasikan pembelajaran konten STEAM-H atau menggunakan konten STEAM-H untuk lebih memahami masalah kehidupan sehari-hari.

3.5 Konten Esensial

STEAM-H terintegrasi akan terwujud jika antara disiplin ilmu memiliki konektivitas konten (konsep atau keterampilan). Konten esensial akan bergantung pada koneksi konten disiplin ilmu yang akan diintegrasikan. Untuk melihat koneksi tersebut diperlukan penggalan kurikulum yang melibatkan disiplin ilmu dalam STEAM-H.

Konten yang ada pada suatu pembelajaran STEAM-H terintegrasi dapat bersifat eksplisit maupun implisit. Konten yang eksplisit tentunya akan menguntungkan bagi siswa untuk mengimplementasikan apa yang telah mereka pelajari di dalam setiap disiplin ilmu. Namun demikian, keterkaitan antar disiplin sangat kompleks sehingga unit kurikulum atau masalah dunia nyata mungkin memiliki koneksi implisit antara disiplin itu sendiri dan antara disiplin dengan masalah dunia nyata (Roehrig et al., 2021)

English (2016) memberikan contoh integrasi konten teknik dan matematika yaitu pemodelan berbasis teknik dengan data sebagai berikut:

- 1) Menjelajahi, mengajukan, dan menyempurnakan pertanyaan investigasi dalam konteks STEM
- 2) Menerapkan konsep berbasis disiplin dan desain rekayasa dalam merumuskan dan memecahkan masalah
- 3) Menguji, merevisi, dan meningkatkan produk yang dihasilkan
- 4) Merencanakan dan melakukan investigasi
- 5) Menganalisis dan mewakili data dalam berbagai cara
- 6) Mengembangkan, menerapkan, dan menilai model berbasis bukti
- 7) Memahami inferensi informal yang melibatkan variasi dan ketidakpastian
- 8) Mengevaluasi argumen dan kesimpulan berbasis data secara kritis
- 9) Mencari, mengevaluasi, dan mengkomunikasikan informasi
- 10) Berpikir dengan cara yang kreatif, fleksibel, dan inovatif

4. PRINSIP PEMBELAJARAN STEAM-H TERINTEGRASI

Berdasarkan pola integrasi STEAM-H yang telah dijelaskan pada bagian tiga, kita dapat memandang STEAM-H terintegrasi ke dalam empat pendekatan pembelajaran yaitu pendekatan multidisiplin, interdisiplin, transdisiplin, dan lintas-disiplin. Ketiga pendekatan tersebut pada prinsipnya mengeksplorasi pembelajaran dari paling sedikit dua disiplin ilmu STEAM-H. Pada tipe multidisiplin, pendekatan pembelajaran berbasis STEAM-H dapat diimplementasikan dengan strategi “Konten dipelajari secara terpisah dalam setiap mata pelajaran tetapi terhubung dalam tema yang sama”. Pada tipe interdisiplin, “Konten yang terkoneksi dari dua atau lebih mata pelajaran dipelajari melalui tema masalah yang sama”. Pada tipe transdisiplin, “Konten yang dipelajari dari dua atau lebih mata pelajaran diterapkan pada proyek dunia nyata untuk memperoleh pengalaman belajar baru”. Pada tipe lintas-disiplin, konten suatu disiplin dapat dipandang

dari disiplin lain untuk menambah pengetahuan dan pengalaman siswa.

Strategi pembelajaran berbasis STEAM-H tipe multidisiplin dapat difokuskan pada capaian pembelajaran dalam satu mata pelajaran, tema berupa konteks yang berasal dari mata pelajaran STEAM-H lainnya. Pada tipe interdisiplin dan lintas-disiplin, capaian belajar berasal dari semua mata pelajaran yang diintegrasikan. Pada tipe transdisiplin, dapat menentukan capaian pembelajaran baru sesuai pengalaman belajar yang ditetapkan. Tipe transdisipliner ini dipandang sangat menguntungkan untuk diimplementasikan dalam kurikulum merdeka terutama pada penguatan profil pancasila.

4.1 Komponen Penting dari Kurikulum

Sebagai langkah awal implementasi pembelajaran terintegrasi adalah dengan menentukan komponen penting dari kurikulum (Gale et al., 2020). Tinjauan kurikulum ini dilakukan secara mendalam untuk memperoleh komponen penting yang mencerminkan tujuan keseluruhan program STEAM-H terintegrasi yang dapat dioperasionalkan dalam urutan kegiatan untuk setiap tingkat kelas.

Sebagai contoh, Gale et al. (2020) mengintegrasikan matematika, sains, dan teknik/rekayasa dalam program “Pemodelan dengan Data” dengan mengidentifikasi 10 komponen penting yang terdiri dari dua komponen struktural dan delapan komponen interaksional tambahan seperti yang disajikan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Komponen Penting Kurikulum Pemodelan dengan Data

Komponen Penting	Deskripsi	
Komponen struktural	Komponen prosedural	Komponen edukatif
	1. Program diselenggarakan sesuai dengan tantangan berbasis masalah yang dikontekstualisasikan.	2. Pemanfaatan materi kurikulum termasuk buku guru, materi dan bahan yang terkait dengan desain, tinjauan umum, informasi tentang standar matematika dan sains yang terkoneksi, instruksi untuk mempersiapkan dan memanfaatkan

Komponen Penting	Deskripsi		
		teknologi (3D printer, LEGO Robotics, software CAD), Digital Engineering Design Log)	
Komponen interaksi	Area komponen	Guru	Siswa
	Proses desain rekayasa	3. Guru memfasilitasi keterlibatan siswa dalam proses desain rekayasa	4. Siswa terlibat dalam proses desain rekayasa
	Integrasi matematika/sains	5. Guru memfasilitasi integrasi	6. Siswa menerapkan konten dan keterampilan

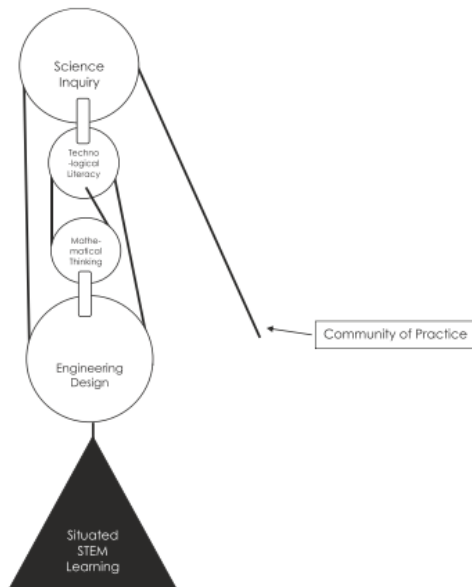
Komponen Penting	Deskripsi		
		matematika/sains dan Teknik	Matematika / Sains
	Teknologi manufaktur canggih	7. Guru memfasilitasi pemanfaatan teknologi manufaktur maju	8. Siswa menggunakan teknologi manufaktur canggih
	Kerja kelompok kolaboratif	9. Guru memfasilitasi kerja kelompok kolaboratif	10. Siswa terlibat dalam kerja kelompok kolaboratif

Bagaimana dengan komponen penting pada pendidikan STEAM-H? Komponen-komponen tersebut dapat diimplementasikan dalam pendidikan STEAM-H dengan penyesuaian. Penambahan pada komponen kedua yaitu informasi standar kurikulum pertanian dan kesehatan yang saling terkoneksi dengan matematika, sains, dan teknologi. Pada area komponen interaksi dapat lebih bervariasi lagi dengan desain teknik/rekayasa, pertanian, atau kesehatan. Komponen interaksi ini menyesuaikan dengan jenis, jenjang, dan tingkat pendidikan.

4.2 Pembelajaran Berbasis Situasi

Kelley & Knowles (2016) telah memberikan kerangka kerja konseptual STEM seputar teori pembelajaran dan pedagogi yang mengarah pada pencapaian hasil pembelajaran utama dengan teori kognisi situasi (*situated cognition theory*). Dasar dari teori ini adalah pemahaman tentang bagaimana pengetahuan dan keterampilan dapat diterapkan sama pentingnya dengan mempelajari pengetahuan dan keterampilan itu sendiri. Teori kognisi situasi mengakui bahwa konteks, baik elemen fisik dan sosial dari kegiatan belajar, sangat penting untuk proses pembelajaran. Ketika seorang siswa mengembangkan basis

pengetahuan dan keterampilan di sekitar suatu kegiatan, konteks kegiatan penting bagi proses. Seringkali ketika pembelajaran didasarkan dalam konteks situasional, pembelajaran itu otentik dan relevan, serta mewakili pengalaman yang ditentukan dalam pembelajaran. Gambar 4.1 berikut merupakan kerangka kerja STEM terintegrasi dengan disiplin teknik sebagai integrator kontekstual.



Gambar 4.1 Kerangka Konseptual Pembelajaran STEM
(Kelley & Knowles, 2016)

Gambar 4.1 menampilkan balok dan tekel empat katrol untuk mengangkat beban, dalam hal ini "pembelajaran STEM." Balok dan tekel adalah sistem

katrol yang membantu menghasilkan mekanisme untuk mengangkat beban dengan lebih mudah. Ilustrasi tersebut menghubungkan pembelajaran situasional, teknik/rekayasa, sains, teknologi, dan berpikir matematis sebagai sistem yang terintegrasi. Setiap katrol dalam sistem menghubungkan praktik umum dalam empat disiplin STEM dan terikat oleh tali komunitas praktik. Hubungan yang kompleks dari sistem katrol harus bekerja secara harmonis untuk memastikan integritas seluruh sistem. Keempat disiplin STEM terintegrasi tidak harus terjadi selama pengalaman belajar STEM tetapi guru STEM harus memiliki pemahaman yang kuat tentang hubungan yang dapat dibangun di seluruh disiplin.

1) Katrol 1: desain teknik

Desain teknik merupakan integrator kontekstual yang berfungsi sebagai katalis dalam pembelajaran STEM untuk membawa keempat disiplin STEM pada tema yang sama. Integrator kontekstual memberikan pendekatan sistematis untuk memecahkan masalah di semua disiplin STEM yang memberi kesempatan kepada siswa untuk membangun koneksi di antara disiplin STEM.

2) Katrol 2: penyelidikan sains

Kunci pemahaman sains adalah mempelajari sains dalam konteks yang relevan dan mampu mentransfer pengetahuan sains ke situasi otentik. Penyelidikan ilmiah mempersiapkan siswa untuk berpikir dan bertindak seperti ilmuwan, mengajukan pertanyaan, berhipotesis, dan melakukan penyelidikan menggunakan praktik sains standar. Namun, pendekatan berbasis inkuiri melibatkan tingkat pengetahuan dan keterlibatan yang tinggi di pihak guru dan siswa.

3) Katrol 3: literasi teknologi

Pengertian teknologi memiliki banyak perspektif yang berbeda. Secara umum terdapat dua perspektif teknologi yaitu teknik/rekayasa teknologi dan humaniora teknologi. Perspektif teknik/rekayasa teknologi terdiri dari:

- Kumpulan pengetahuan yang berbeda
- Suatu aktivitas atau cara melakukan
- Desain, teknik, produksi, dan prosedur penelitian
- Alat fisik, instrumen, dan artefak
- Sistem dan organisasi terintegrasi yang terorganisir yang digunakan untuk

membuat, memproduksi, dan menggunakan teknologi

Perspektif humaniora teknologi terdiri dari:

- Lebih dari sekedar alat, instrumen, artefak, proses, dan sistem
- Mempengaruhi struktur tatanan budaya/sosial terlepas dari niat penggunaannya
- Melayani nilai-nilai kemanusiaan dan mempengaruhi pembentukan nilai
- Kekuatan sosial dan ekonomi otonom yang sering mengesampingkan nilai-nilai tradisional dan bersaing
- Mampu menimbulkan konsekuensi sosial dan ekonomi yang tidak terduga baik positif maupun destruktif

4) Katrol 4: Berpikir matematis

Pembelajaran kontekstual dipandang dapat memberi makna pada matematika karena siswa seringkali ingin mengetahui bagaimana matematika relevan dengan kehidupan sehari-hari. Namun demikian, tidak semua konten

matematika dapat diterapkan pada pendekatan desain teknik.

5) Tali: komunitas praktik

Pembelajaran sebagai suatu kegiatan di dalamnya terdapat aspek sosial. Jika pembelajaran berlangsung dalam komunitas praktik, maka pembelajaran akan membantu siswa mentransformasikan pemahaman awal tentang pengetahuan, keterampilan, dan praktik menuju implementasi saat praktik berlangsung. Dalam komunitas praktik, praktisi pemula dan berpengalaman dapat mengamati, mengajukan pertanyaan, dan berpartisipasi bersama orang lain untuk memperoleh banyak pengalaman yang berbeda. Komunitas praktik dapat melibatkan pakar komunitas sebagai mitra seperti ilmuwan dan praktisi supaya dapat membantu memfokuskan pembelajaran sesuai konteks kehidupan nyata

Pendekatan pembelajaran terintegrasi harus memanfaatkan gagasan bahwa konten setiap disiplin ilmu harus diajarkan bersamaan dengan praktiknya. Baik konten dan praktik sama-sama penting untuk

menyediakan konteks yang ideal untuk pembelajaran dan alasan untuk melakukannya. Tabel 4.2 berikut memberi pandangan tentang perbandingan praktik sains dan teknik/rekayasa.

Gambar 4.2 Perbandingan Praktik Sains dan Praktik Teknik/Rekayasa

Praktik Sains	Praktik Teknik/Rekayasa
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dimulai dengan pertanyaan tentang suatu fenomena. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dimulai dengan masalah, kebutuhan, atau keinginan yang mengarah pada solusi rekayasa.
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Menggunakan model untuk mengembangkan penjelasan tentang fenomena alam. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Menggunakan model dan simulasi untuk menganalisis solusi yang ada.
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Penyelidikan ilmiah di lapangan atau laboratorium menggunakan pendekatan sistematis. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Investigasi teknik untuk mendapatkan data yang diperlukan untuk mengidentifikasi kriteria dan kendala

Praktik Sains	Praktik Teknik/Rekayasa
	dan untuk menguji ide-ide desain.
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Menganalisis dan menafsirkan data dari penyelidikan ilmiah menggunakan berbagai alat untuk analisis (tabulasi, interpretasi grafis, visualisasi, dan analisis statistik) menemukan pola. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Menganalisis dan menafsirkan data yang dikumpulkan dari pengujian desain dan investigasi untuk menemukan solusi desain yang optimal.
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pemikiran matematis dan komputasional adalah alat dasar untuk merepresentasikan variabel dan hubungannya. Cara berpikir ini memungkinkan untuk membuat prediksi, 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pemikiran matematis dan komputasional merupakan bagian integral dari desain dengan memungkinkan para insinyur menjalankan tes dan model matematika untuk menilai kinerja

Praktik Sains	Praktik Teknik/Rekayasa
menguji teori, dan menemukan pola atau korelasi.	solusi desain sebelum membuat prototipe.
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Membangun teori ilmiah untuk memberikan penjelasan adalah tujuan para ilmuwan dan mendasarkan penjelasan suatu fenomena dengan bukti yang tersedia. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Membangun solusi perancangan menggunakan pendekatan sistematis untuk memecahkan masalah teknik berdasarkan pengetahuan ilmiah dan model dunia material. Solusi yang dirancang dioptimalkan dengan menyeimbangkan batasan dan kriteria dari kondisi yang ada.
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Argumen dengan bukti adalah kunci 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Argumen dengan bukti adalah kunci

Praktik Sains	Praktik Teknik/Rekayasa
<p>untuk praktik ilmiah dengan memberikan garis penalaran untuk menjelaskan fenomena alam. Ilmuwan mempertahankan penjelasan, merumuskan bukti berdasarkan data, dan memeriksa gagasan dengan pemahaman para ahli dan rekan sejawat.</p>	<p>rekayasa untuk menemukan solusi terbaik untuk suatu masalah. Lokasi solusi terbaik didasarkan pada pendekatan sistematis untuk membandingkan alternatif, merumuskan bukti dari pengujian, dan merevisi solusi desain.</p>

(Kelley & Knowles, 2016)

Adapun standar praktik matematika (Kelley & Knowles, 2016) terdiri dari:

- Pahami masalahnya dan tekun dalam menyelesaikannya. Siswa yang mahir matematis menjelaskan arti suatu masalah dan mencari titik masuk solusi.

- Bernalar secara abstrak dan kuantitatif. Siswa yang mahir secara matematis mampu mendekontekstualisasikan—menciptakan abstraksi dari suatu situasi dan merepresentasikannya sebagai simbol dan memanipulasi.
- Membangun argumen yang layak dan mengkritik alasan orang lain.
- Pemodelan Matematika.
- Alat yang tepat secara strategis.
- Presisi.
- Cari dan manfaatkan struktur.
- Carilah dan nyatakan keteraturan dalam penalaran berulang.

Kennedy dan Odell (2014) menyatakan bahwa program pendidikan STEM berkualitas tinggi harus mencakup:

- Integrasi teknologi dan teknik ke dalam kurikulum sains dan matematika minimal;
- Mempromosikan penyelidikan ilmiah dan desain rekayasa, termasuk pengajaran matematika dan sains yang ketat;

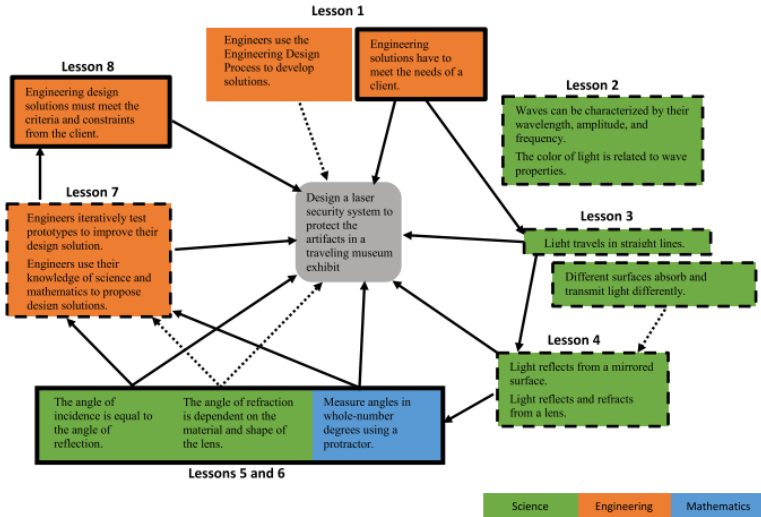
- Pendekatan kolaboratif untuk belajar, menghubungkan siswa dan pendidik dengan bidang dan profesional;
- Memberikan sudut pandang global dan multi-perspektif;
- Menggabungkan strategi seperti pembelajaran berbasis proyek, memberikan pengalaman belajar formal dan informal;
- Menggabungkan teknologi yang tepat untuk meningkatkan pembelajaran.

Apakah kerangka kerja Kelley & Knowles (2016) dapat diimplementasikan dalam pendidikan STEAM-H? Tentu saja kerangka kerja ini akan lebih kaya lagi dengan bertambahnya disiplin pertanian dan kesehatan yang dapat menjadi integrator selain teknik/rekayasa. Posisi dan banyaknya katrol dapat beradaptasi bergantung pada integrator yang ditetapkan.

4.3 Alur Konseptual Grafis

Conceptual flow graphic (alur konseptual grafis) merupakan alat analitik, bagian dari proses menganalisis bahan ajar di tingkat unit untuk penyelarasan pelajaran individu dengan tujuan

pembelajaran utama dan koherensi antar pelajaran (Roehrig et al., 2021). Alat analitik pada STEM fokus pada integrasi eksplisit konsep dan praktik sains, teknik, dan matematika. Jika diterapkan dalam STEAM-H, fokus integrasi dapat diperluas pada ‘sains, pertanian, dan matematika’ atau ‘sains, kesehatan, dan matematika’. Alur konseptual grafis mencakup konsep utama yang dibahas dalam setiap pelajaran, disusun secara kronologis, dan dihubungkan oleh panah yang mewakili kekuatan hubungan antara konsep dan tujuan utama pembelajaran. Unit yang menunjukkan hubungan yang kuat antara pelajaran dan antara setiap pelajaran dan tujuan inti pembelajaran terlihat mirip dengan roda sepeda dengan jari-jari. Gambar 4.2 berikut contoh merupakan alur konseptual grafis.



Gambar 4.3 Alur Konseptual Grafis ‘Kurikulum Keamanan Museum’
(Roehrig et al., 2021)

Keamanan Museum dirancang untuk kelas enam untuk mengembangkan pengetahuan siswa tentang pemantulan dan pembiasan cahaya dalam ilmu fisika. Cara membuat alur konseptual grafis tersebut adalah sebagai berikut:

- 1) Identifikasi tujuan utama atau ekspektasi kinerja unit (pernyataan tentang apa yang harus dapat dilakukan siswa pada akhir unit instruksional). Contoh ekspektasi kinerja pada Gambar 4.2 adalah merancang sistem keamanan laser untuk

melindungi artefak dalam pameran museum keliling.

- 2) Menentukan desain konteks masalah dunia nyata. Gambar 4.2 menggunakan desain teknik karena unit ilmu fisika berada dalam kategori terpadu dan koheren dengan integrasi konseptual yang kuat antara konsep ilmu utama dan desain teknik. Desain teknik tersebut sebagai berikut: “Anda perlu memanfaatkan pengetahuan ilmiah Anda untuk membuat sistem keamanan laser menggunakan cahaya dari laser tunggal. Setiap kota (tuan rumah) mungkin menempatkan artefak dengan memilih tata letak yang berbeda, serta sistem keamanan ruang masuk museum yang berisi koleksi artefak inti. Ambil keputusan bersama tim untuk menetapkan berapa banyak artefak yang akan ditampilkan di ruang masuk dan peletakannya dengan mempertimbangkan sistem keamanan. Desain tata letak harus memastikan bahwa pencuri melewati sinar laser setidaknya tiga kali dari tempat mereka memasuki ruangan ke tempat mereka mencapai artefak. Sistem keamanan laser harus cukup rumit untuk mencegah pencuri mencoba mencuri artefak.

Oleh karena itu, sinar laser harus membiaskan setidaknya satu kali dan memantulkan setidaknya satu kali.

3) Menentukan pola sifat hubungan interdisipliner yang digunakan untuk mengkategorikan dan memahami sifat integrasi dan koherensi kurikuler dalam setiap unit. Gambar 4.2 membentuk unit-unit dengan empat jenis kurikulum STEM terintegrasi yang luas:

- unit sains yang koheren dengan tantangan desain teknik terkoneksi secara longgar,
- unit yang berfokus pada desain teknik dengan koneksi terbatas ke konten sains,
- unit desain teknik dengan sains konten sebagai konteks, dan
- unit STEM yang terintegrasi dan koheren.

Alur konseptual grafis pada STEAM-H terintegrasi akan lebih menarik dan luas dengan banyaknya konsep yang terintegrasi di dalamnya. Kita akan menemukan banyak desain yang tidak hanya sebatas fokus pada area teknik/rekayasa, tetapi dapat menambah fokus pada area pertanian dan kesehatan.

5. LINGKUNGAN STEAM-H TERINTEGRASI

Lingkungan belajar adalah aspek pendukung terwujudnya implementasi STEAM-H terintegrasi. Dengan mengacu pada apa yang telah dilakukan oleh para pegiat STEM, bagian ini akan membahas lingkungan belajar yang dapat diadopsi untuk pendidikan STEAM-H terintegrasi.

5.1 Lingkungan Belajar Otentik

Lingkungan belajar otentik menekankan pada realitas dunia nyata. Lingkungan ini dapat menstimulus implementasi pengetahuan dan keterampilan yang telah dipelajari, juga membantu siswa meningkatkan keterampilan komunikasi dan kolaborasi (Singer et al., 2020). Lingkungan belajar otentik di sekolah kejuruan dapat selaras dengan realitas dunia kerja. *Teaching factory* memungkinkan implementasi lingkungan belajar otentik terwujud di sekolah kejuruan.

Lingkungan belajar otentik pada pendidikan STEAM-H memiliki cakupan yang lebih luas dibandingkan

dengan STEM. Hal ini tidak lepas dengan hadirnya disiplin pertanian dan kesehatan yang memiliki realitas dunia nyata yang sangat beragam. Di mana, lingkungan belajar STEM lebih cenderung banyak menggunakan desain teknik/rekayasa. Lingkungan belajar otentik berbasis disiplin pertanian dan kesehatan akan banyak melibatkan sains, teknik, teknologi, dan matematika di dalamnya.

5.2 Lingkungan Teknologi Komputer

Teknologi komputer yang pesat berkembang dapat menyajikan lingkungan belajar virtual yang sangat menarik. Lingkungan belajar dengan menggunakan teknologi belajar mudah diakses oleh siswa. Hasil penelitian Sokolowski et al. (2015) tentang efek menggunakan lingkungan komputerisasi eksplorasi di kelas 1 sampai 8 matematika menjelaskan bahwa pentingnya memberikan siswa kesempatan untuk mengeksplorasi aplikasi konsep matematika di kelas terutama yang didukung oleh komputer yang berdampak pada peningkatan keterampilan pemecahan masalah matematika

Contoh lainnya, Miller (2018) mengembangkan keterampilan berhitung menggunakan teknologi

interaktif dalam lingkungan belajar berbasis bermain menggunakan iPad. Teknologi ini diperkenalkan di TK pedesaan kecil. Siswa cenderung lebih tertarik pada pada aplikasi yang kreatif dan menghibur daripada aplikasi yang memiliki prinsip pedagogis yang baik tetapi kurang kreatif. Penggunaan teknologi interaktif mendorong kolaborasi dan keterlibatan siswa dalam lingkungan belajar berbasis permainan. Tingkat kesulitan aplikasi merupakan faktor yang mempengaruhi penggunaan teknologi interaktif. Jika tingkat kesulitannya terlalu tinggi, siswa akan meninggalkan aplikasi.

6. ASESMEN PENDIDIKAN STEAM-H TERINTEGRASI

Gao et al. (2020) berpendapat bahwa terdapat dua dimensi asesmen pada pendidikan STEM. Dimensi pertama menyangkut sifat disiplin yang terdiri dari monodisiplin (disiplin/intradisiplin), interdisiplin, dan transdisiplin. Dimensi kedua menyangkut tujuan pembelajaran yang terdiri dari pengetahuan, keterampilan, praktik, dan ranah afektif. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa sebagian besar asesmen terfokus pada penilaian pengetahuan monodisiplin, domain afektif monodisiplin, dan domain afektif transdisipliner. Padahal, pembelajaran dirancang dengan tujuan untuk meningkatkan pemahaman atau keterampilan interdisipliner siswa, asesmennya mereka tidak sesuai dengan tujuan pembelajaran.

Asesmen pendidikan STEAM-H terintegrasi pada dasarnya menyangkut dua dimensi yang sama seperti yang diungkapkan oleh Gao et al. Pola integrasi sangat mempengaruhi penetapan tujuan belajar dan teknik

asesmen yang akan diimplementasikan. Pola disiplin, multidisiplin, dan interdisiplin dari segi pengetahuan dan keterampilan masih dapat dipisahkan antara satu disiplin dengan disiplin lainnya, meskipun ada disiplin yang lebih mendominasi di dalamnya. Pada pola transdisiplin, bisa saja konsep dan keterampilan setiap disiplin tidak terlihat. Tantangan lainnya adalah ketika konsep dan keterampilan dalam disiplin tersebut bukan merupakan fokus dari kurikulum ti jenjang sekolah tersebut.

Asesmen pada ranah kognitif memiliki ragam bentuk untuk mencapai kemampuan atau capaian tertentu di dalam suatu bidang ilmu. Berikut ini diberikan beberapa contoh kemampuan konsep atau keterampilan yang telah diteliti sebelumnya pada pendidikan STEM.

1. Dasar Keterampilan Komunikasi Sains (Shivni et al., 2021)
2. Keterampilan numerasi (Miller, 2018)
3. Keterampilan penalaran proporsional (Alfieri et al., 2015)
4. Keterampilan spasial (Atit et al., 2020a)

5. Keterampilan abad 21 (Peters-burton & Stehle, 2019a) (Han et al., 2021; Peters-burton & Stehle, 2019b) (Perdana et al., 2021)
6. Pencapaian Sains (Betancur et al., 2018; Binder et al., 2019b; Gómez & Suárez, 2020a, 2020b; D. R. Williams et al., 2018a)
7. Pencapaian Matematika (Atit et al., 2020a, 2020b; Wang et al., 2022; K. L. Williams, 2021, 2021)
8. Pencapaian akademik (Binder et al., 2019a, 2019b; Cutucache et al., 2016)
9. *Prior knowledge*(Binder et al., 2019a).

7. PENUTUP

Pendidikan STEAM-H terintegrasi merupakan paradigma baru dalam pendidikan. Ini dapat membuka peluang bagi para periset di area pendidikan untuk mengembangkannya lebih jauh lagi. Pengembangan diperlukan pada arah teknis sebagai kerangka kerja implementasi pada setiap jenis, jenjang, dan tingkat pendidikan.

Beragamnya pola integrasi yang dapat dihadirkan dari disiplin STEAM-H diharapkan memacu munculnya pendekatan pembelajaran yang memperkaya pengalaman belajar siswa. Sebagai langkah awal integrasi diperlukan penggalian konten (konsep dan keterampilan) antar disiplin ilmu yang saling terkoneksi. Hasilnya dapat digunakan untuk membangun unit-unit pembelajaran berbasis STEM terintegrasi.

Topik konversi yang disajikan pada tulisan ini baru terbatas pada prinsip pembelajaran, lingkungan belajar, dan asesmen berbasis STEAM-H terintegrasi dengan pembahasan yang sangat terbatas. Padahal,

ada banyak istilah-istilah penting lainnya (lihat kembali Tabel 1.1 pada bagian pendahuluan) yang perlu dibahas lebih mendalam. Oleh karena itu, diperlukan riset empiris untuk menggali lebih dalam lagi topik-topik yang dihintarkan tersebut. Riset tersebut menjadi peluang yang menjanjikan karena memiliki *novelty* yang tinggi.

8. REFERENSI

Alfieri, L., Higashi, R., Shoop, R., & Schunn, C. D. (2015). Case studies of a robot-based game to shape interests and hone proportional reasoning skills. *International Journal of STEM Education*, 2(1). <https://doi.org/10.1186/s40594-015-0017-9>

Atit, K., Power, J. R., Veurink, N., Uttal, D. H., Sorby, S., Panther, G., Msall, C., Fiorella, L., & Carr, M. (2020a). Examining the role of spatial skills and mathematics motivation on middle school mathematics achievement. *International Journal of STEM Education*, 7(1). <https://doi.org/10.1186/s40594-020-00234-3>

Atit, K., Power, J. R., Veurink, N., Uttal, D. H., Sorby, S., Panther, G., Msall, C., Fiorella, L., & Carr, M. (2020b). Examining the role of spatial skills and mathematics motivation on middle school mathematics achievement. *International Journal of STEM Education*, 7(1). <https://doi.org/10.1186/s40594-020-00234-3>

- Betancur, L., Votruba-Drzal, E., & Schunn, C. (2018). Socioeconomic gaps in science achievement. *International Journal of STEM Education*, 5(1). <https://doi.org/10.1186/s40594-018-0132-5>
- Binder, T., Sandmann, A., Sures, B., Friege, G., Theyssen, H., & Schmiemann, P. (2019b). Assessing prior knowledge types as predictors of academic achievement in the introductory phase of biology and physics study programmes using logistic regression. *International Journal of STEM Education*, 6(1). <https://doi.org/10.1186/s40594-019-0189-9>
- Brand, B. R. (2020). Integrating science and engineering practices: outcomes from a collaborative professional development. *International Journal of STEM Education*, 7(1). <https://doi.org/10.1186/s40594-020-00210-x>
- Cannady, M. A., Moore, D., Votruba-drzal, E., Greenwald, E., Stites, R., & Schunn, C. D. (2017). *environmental factors predict working in STEMM vs non-STEMM middle-skill careers*. <https://doi.org/10.1186/s40594-017-0079-y>

Cutucache, C. E., Luhr, J. L., Nelson, K. L., Grandgenett, N. F., & Tapprich, W. E. (2016). NE STEM 4U: an out-of-school time academic program to improve achievement of socioeconomically disadvantaged youth in STEM areas. *International Journal of STEM Education*, 3(1). <https://doi.org/10.1186/s40594-016-0037-0>

Denner, J. (2020). *STEM Education + Health Education = Creative Solutions*. ETR. <https://www.etr.org/blog/stem-education-health-education-creative-solutions/>

Diagana, T., & Toni, B. (2017). *Mathematical Structures and Applications*.

English, L. D. (2016). STEM education K-12: perspectives on integration. *International Journal of STEM Education*, 3(1), 1–8. <https://doi.org/10.1186/s40594-016-0036-1>

Gale, J., Alemdar, M., Lingle, J., & Newton, S. (2020). Exploring critical components of an integrated STEM curriculum: an application of the innovation implementation framework.

International Journal of STEM Education, 7(1), 1–17. <https://doi.org/10.1186/s40594-020-0204-1>

Gao, X., Li, P., Shen, J., & Sun, H. (2020). Reviewing assessment of student learning in interdisciplinary STEM education. *International Journal of STEM Education*, 7(1). <https://doi.org/10.1186/s40594-020-00225-4>

Giusti, A., & Mainardi, F. (2019). Advanced Mathematical Methods in Biosciences and Applications. In *Mathematics* (Vol. 8, Issue 1). <http://link.springer.com/10.1007/978-3-030-15715-9>

Gómez, R. L., & Suárez, A. M. (2020a). Do inquiry-based teaching and school climate influence science achievement and critical thinking? Evidence from PISA 2015. *International Journal of STEM Education*, 7(1). <https://doi.org/10.1186/s40594-020-00240-5>

Hailikari, T., Katajavuori, N., & Lindblom-Ylänne, S. (2008). The relevance of prior knowledge in learning and instructional design. *American*

Journal of Pharmaceutical Education, 72(5).
<https://doi.org/10.5688/aj7205113>

Han, J., Kelley, T., & Knowles, J. G. (2021). Factors Influencing Student STEM Learning: Self-Efficacy and Outcome Expectancy, 21st Century Skills, and Career Awareness. *Journal for STEM Education Research*, 4(2), 117–137.
<https://doi.org/10.1007/s41979-021-00053-3>

Kelley, T. R., & Knowles, J. G. (2016). A conceptual framework for integrated STEM education. *International Journal of STEM Education*, 3(1).
<https://doi.org/10.1186/s40594-016-0046-z>

Khrennikov, A., Aerts, D., Wang, B., Buccio, E. D., & Melucci, M. (2019). *Quantum-like models for information retrieval and decision-making*.
<http://link.springer.com/10.1007/978-3-030-25913-6>

Khrennikov, A., & Toni, B. (2018). Quantum Foundations, Probability and Information. In *STEAM-H: Science, Technology, Engineering, Agriculture, Mathematics & Health*. Springer Cham.

- Li, Y. (2014). International Journal of STEM Education - a platform to promote STEM education and research worldwide. *International Journal of STEM Education*, 1(1), 1-2. <https://doi.org/10.1186/2196-7822-1-1>
- Li, Y., & Lewis, W. J. (2019). Recognizing and promoting interdisciplinary collaboration, leadership, and impact: award for interdisciplinary excellence in mathematics education (IEME award). *International Journal of STEM Education*, 6(1). <https://doi.org/10.1186/s40594-019-0162-7>
- Miller, T. (2018). Developing numeracy skills using interactive technology in a play-based learning environment. *International Journal of STEM Education*, 5(1). <https://doi.org/10.1186/s40594-018-0135-2>
- Ortiz-Posadas, M. R. (2020). Pattern Recognition Techniques Applied to Biomedical Problems. In *STEAM-H: Science, Technology, Engineering, Agriculture, Mathematics and Health*. https://doi.org/10.1007/978-3-030-38021-2_5

- Perdana, R., Apriani, A. N., Richardo, R., Rochaendi, E., & Kusuma, C. (2021). Elementary students' attitudes towards STEM and 21st-century skills. *International Journal of Evaluation and Research in Education*, 10(3), 1080–1088. <https://doi.org/10.11591/IJERE.V10I3.21389>
- Peters-burton, E. E., & Stehle, S. M. (2019a). Developing student 21 st Century skills in selected exemplary inclusive STEM high schools. *International Journal of STEM Education*, 1, 1–15.
- Peters-burton, E. E., & Stehle, S. M. (2019b). Developing student 21 st Century skills in selected exemplary inclusive STEM high schools. *International Journal of STEM Education*, 1, 1–15. file:///C:/Users/LENOVO/Documents/STEAM_H Project/International Journal of STEM 2019/s40594-019-0192-1.pdf
- Pleasants, J., Tank, K. M., & Olson, J. K. (2021). Conceptual connections between science and engineering in elementary teachers' unit plans. *International Journal of STEM Education*, 8(1). <https://doi.org/10.1186/s40594-021-00274-3>

Polizzi, S. J., Zhu, Y., Reid, J. W., Ofem, B., Salisbury, S., Beeth, M., Roehrig, G., Mohr-Schroeder, M., Sheppard, K., & Rushton, G. T. (2021). Science and mathematics teacher communities of practice: social influences on discipline-based identity and self-efficacy beliefs. *International Journal of STEM Education*, 8(1). <https://doi.org/10.1186/s40594-021-00275-2>

Rabin, J. M., Burgasser, A., Bussey, T. J., Eggers, J., Lo, S. M., Seethaler, S., Stevens, L., & Weizman, H. (2021). Interdisciplinary conversations in STEM education: can faculty understand each other better than their students do? *International Journal of STEM Education*, 8(1). <https://doi.org/10.1186/s40594-020-00266-9>

Roehrig, G. H., Dare, E. A., Ring-Whalen, E., & Wieselmann, J. R. (2021). Understanding coherence and integration in integrated STEM curriculum. *International Journal of STEM Education*, 8(1). <https://doi.org/10.1186/s40594-020-00259-8>

Ruffa, A. A., & Toni, B. (2022). *Recent Trends in Naval Engineering*. Springer Cham.

Saribas, D., & Ceyhan, G. D. (2015). Learning to teach scientific practices: pedagogical decisions and reflections during a course for pre-service science teachers. *International Journal of STEM Education*, 2(1).
<https://doi.org/10.1186/s40594-015-0023-y>

Shivni, R., Cline, C., Newport, M., Yuan, S., & Bergan-Roller, H. E. (2021). Establishing a baseline of science communication skills in an undergraduate environmental science course. *International Journal of STEM Education*, 8(1).
<https://doi.org/10.1186/s40594-021-00304-0>

Singer, A., Montgomery, G., & Schmoll, S. (2020). How to foster the formation of STEM identity: studying diversity in an authentic learning environment. *International Journal of STEM Education*, 7(1).
<https://doi.org/10.1186/s40594-020-00254-z>

Sokolowski, A., Li, Y., & Willson, V. (2015). The effects of using exploratory computerized environments in grades 1 to 8 mathematics: a meta-analysis of research. *International Journal of STEM Education*, 2(1).
<https://doi.org/10.1186/s40594-015-0022-z>

- Stewart, A. J., Mueller, M. P., & Tippins, D. J. (2019). Converting STEM into STEAM Programs. In *Converting STEM into STEAM Programs*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-25101-7_1
- Swe, M., & Shaljan, K. (2019). STEAM Education. In *STEAM Education*. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-04003-1>
- Toni, B. (2014). New Frontiers of Multidisciplinary Research in STEAM-H (Science, Technology, Engineering, Agriculture, Mathematics, and Health). In *Springer Proceedings in Mathematics and Statistics* (Vol. 90). https://doi.org/10.1007/978-3-319-07755-0_15
- Toni, B. (2018). *New Trends and Advanced Methods in Interdisciplinary Mathematical Sciences* (B. Toni (ed.)). Springer Cham. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-319-55612-3>
- Toni, B. (2021). *The Mathematics of Patterns, Symmetries, and Beauties in Nature*. Springer Cham.

Vallera, F. L., & Bodzin, A. M. (2020). Integrating STEM with AgLIT (Agricultural Literacy Through Innovative Technology): The Efficacy of a Project-Based Curriculum for Upper-Primary Students. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 18(3), 419–439. <https://doi.org/10.1007/s10763-019-09979-y>

Wang, C., Cho, H. J., Wiles, B., Moss, J. D., Bonem, E. M., Li, Q., Lu, Y., & Bristol, C. L. (2022). Competence and autonomous motivation as motivational predictors of college students' mathematics achievement: from the perspective of self-determination theory. *International Journal of STEM Education*. <https://doi.org/10.1186/s40594-022-00359-7>

Williams, D. R., Brule, H., Kelley, S. S., & Skinner, E. A. (2018a). Science in the Learning Gardens (SciLG): a study of students' motivation, achievement, and science identity in low-income middle schools. *International Journal of STEM Education*, 5(1). <https://doi.org/10.1186/s40594-018-0104-9>

Williams, D. R., Brule, H., Kelley, S. S., & Skinner, E.

A. (2018b). Science in the Learning Gardens (SciLG): a study of students' motivation, achievement, and science identity in low-income middle schools. *International Journal of STEM Education*, 5(1).
<https://doi.org/10.1186/s40594-018-0104-9>

Williams, K. L. (2021). Correction to: Contextualizing Math-Related Strengths and Math Achievement: Positive Math Orientations, Social Supports and the Moderating Effects of Prior Math Knowledge. *Journal for STEM Education Research*, 4(1), 115–115. <https://doi.org/10.1007/s41979-021-00051-5>

Yoon, S. Y., & Strobel, J. (2017). Trends in Texas high school student enrollment in mathematics, science, and CTE-STEM courses. *International Journal of STEM Education*, 4(1).
<https://doi.org/10.1186/s40594-017-0063-6>

Zúñiga-Galindo, W. A., & Toni, B. (2021). *Advances in Non-Archimedean Analysis and Applications*. Springer Cham.