

Penggunaan Teknologi Kejuruteraan dalam Pendidikan STEM Bersepadu

(Use of Engineering Technology in Integrated STEM Education)

Yusriza Mohamd Yusof, Afida Ayob* & Mohamad Hanif Md Saad
Jabatan Kejuruteraan Elektrik, Elektronik dan Sistem,
Fakulti Kejuruteraan dan Alam Bina, Universiti Kebangsaan Malaysia, Malaysia

*Corresponding author: afida.ayob@ukm.edu.my

Received 30 January 2020, Received in revised form 19 May 2020
Accepted 01 July 2020, Available online 28 February 2021

ABSTRAK

Teknologi merupakan salah satu elemen dalam STEM iaitu STEM membawa maksud Sains, Teknologi, Kejuruteraan dan Matematik. Pendidikan STEM bersepadu pula adalah salah satu kaedah agar pembelajaran menjadi lebih bermakna kepada murid dengan mengaplikasikan pelbagai kaedah pembelajaran. Salah satu pendekatan yang digunakan ialah menggunakan kaedah pembelajaran berasaskan projek (PjBL) yang dapat menjadikan pembelajaran lebih bermakna. Penggunaan teknologi dalam pendekatan STEM bersepadu melalui kaedah pembelajaran berasaskan projek (PjBL) di peringkat sekolah telah diaplikasi di kebanyakan negara maju seperti Amerika Syarikat, Jepun dan Australia. Artikel ini akan membincangkan tentang penggunaan teknologi dalam pendidikan STEM bersepadu terutama dalam mata pelajaran kejuruteraan iaitu topik Elektronik bagi murid menengah rendah di Malaysia dan beberapa negara lain iaitu Australia, Jepun dan Amerika Syarikat. Perbandingan ciri penggunaan teknologi dalam pendidikan STEM merujuk kepada topik Elektronik dalam Dokumen Standard Kurikulum dan Pentaksiran (DSKP) mata pelajaran Reka Bentuk Teknologi (RBT) Tingkatan 2 dan 3, pendidikan STEM peringkat global serta yang sedang digunakan di sekolah-sekolah menengah di Malaysia. Cadangan teknologi berasaskan kejuruteraan yang sesuai digunakan serta modul pembelajaran yang boleh direkabentuk sesuai dengan kehendak DSKP mata pelajaran RBT dan Pelan Pembangunan Pendidikan Malaysia 2013 – 2025 (PPPM 2013-2025) turut dikemukakan supaya modul pembelajaran yang dibangunkan hasil daripada kajian yang dijalankan dapat digunakan oleh guru dan murid.

Kata kunci : STEM; teknologi; reka bentuk teknologi

ABSTRACT

Technology is one of the elements in STEM that STEM stands for Science, Technology, Engineering and Mathematics. Integrated STEM education is one way to make learning more meaningful to students by applying a variety of learning methods. One of the approaches used is the project-based learning method (PjBL). The use of technology in an integrated STEM approach through school-based learning (PjBL) methods has been applied in many developed countries such as the United States, Japan and Australia. This article will discuss the use of technology in integrated STEM education, especially in engineering such as electronics for elementary students in Malaysia and other countries. Comparison of the features of technology use in STEM education refer to the documents of the Curriculum and Assessment Standards Document (DSKP) of Technology Design (RBT), global and STEM education currently in use in Malaysian secondary schools. Proposed engineering-based technology proposals and learning modules that can be designed in accordance with the requirements of the DSKP of Technology Design (RBT) subjects and the Malaysian Education Development Plan 2013 - 2025 (PPPM 2013-2025) have also been submitted for the module learning developed as a result of the research conducted can be used by teachers and students.

Keywords : STEM; technology; design and technology

PENGENALAN

Dalam keadaan dunia menuju ke abad ke-21, pelbagai pembaharuan dalam bidang pendidikan telah dicapai bagi memberi nafas baru kepada bidang pendidikan terutama Sains dan Matematik. Salah satu daripada pembaharuan itu

ialah pendekatan STEM (*Science, Technology, Engineering & Mathematics*) bersepadu atau lebih dikenali dengan istilah *Integrated STEM* (Marrero et al. 2014).

Pendidikan STEM Bersepadu dalam sistem pendidikan Negara yang diketengahkan dalam Bab 4 Pelan Pembangunan Pendidikan Malaysia (PPPM) 2013-2025 adalah salah satu

langkah untuk mendepani cabaran Revolusi Industri 4.0 yang bermula pada akhir 2013. Revolusi Industri 4.0 merupakan kesinambungan daripada peningkatan automasi beserta rangkaian Internet serta teknologi baru tersebut termasuklah automasi, simulasi, analisis data, penggunaan robotik, *cloud* dan *Internet of Things* (IoT). Klaus Schwab (2017), menerusi bukunya *The Fourth Industrial Revolution* menjelaskan Industri 4.0 mengubah cara kita bekerja dan hidup. Ia melibatkan teknologi automasi dan secara tidak langsung memberi cabaran baru kepada semua bidang di negara ini termasuklah bidang pendidikan. Menurut Makhbul (2018) perubahan yang berlaku rentetan daripada Industri Revolusi 4.0 memerlukan sumber manusia berpengetahuan dan berkemahiran tinggi agar daya saing dapat diperkasakan. Selaras dengan itu, penggunaan teknologi dalam kaedah Penyampaian Pengajaran dan Pemudahcaraan (PdPc) dilihat amat relevan dan sesuai dengan aktiviti pembelajaran Abad ke 21. Murid zaman ini yang lebih dikenali sebagai generasi Z dan generasi *Alpha* terdedah kepada penggunaan gajet dan teknologi dalam kehidupan seharian. Generasi ini sukar untuk menerima kaedah pembelajaran cara lama yang hanya menggunakan buku teks dan papan putih. Para guru perlu bersedia untuk mendepani cabaran penyampaian PdPc yang lebih berteknologi tinggi. Guru perlu terlebih dahulu menguasai penggunaan teknologi terutama yang melibatkan perkakasan elektronik, pengaturcaraan mudah, *Internet of Thing* (IoT), *cloud* dan analisa data.

MAKSUD STEM DAN KEPERLUAN STEM DALAM PENDIDIKAN DI MALAYSIA

Istilah STEM ini bermula pada awal tahun 90-an di Amerika Syarikat dalam polisi-polisi kerajaan Amerika Syarikat; (Koehler, C., Binns, I. C. & Bloom 2015). STEM merupakan pendidikan secara bersepadu di Malaysia yang disokong oleh beberapa dasar.

Dasar yang pertama ialah dasar 60:40 (Sains/Teknikal : Sastera) yang telah mula dilaksanakan pada tahun 1970 dengan matlamat utama iaitu menyediakan lebih ramai murid yang berkelayakan serta dapat meneruskan pengajian di peringkat tertiar dalam bidang Sains dan Teknologi (S&T). Dasar ini juga berhasrat untuk memenuhi keperluan tenaga kerja berkemahiran tinggi dalam industri bagi memacu ekonomi Malaysia. Walaubagaimanapun, menurut Meng et al. (2014), sasaran 60% kemasukan murid ke bidang sains dan 40% ke bidang sastera yang diletakkan oleh kerajaan semenjak tahun 1970an belum mencapai sasaran.

Dasar yang kedua ialah Dasar Sains, Teknologi dan Inovasi Negara (DSTIN) yang telah diperkenalkan pada 1986 bagi menyokong pencapaian aspirasi Malaysia untuk menjadi negara maju. Penggunaan Sains dan Teknologi amat digalakkan sebagai satu alat kepada pembangunan ekonomi bagi meningkatkan kemudahan fizikal dan kesejahteraan rakyat. Dasar ini disemak semula pada tahun 2003 agar selari dengan keperluan negara mencapai hasrat Wawasan 2020. Wawasan 2020 (W2020) yang telah dilancarkan pada tahun 1991 merupakan sumber yang menyokong pendidikan

STEM dengan tujuan untuk meningkatkan Malaysia menjadi sebuah negara perindustrian dan negara maju sepenuhnya menjelang tahun 2020. Salah satu cabaran strategik dalam W2020 ialah mewujudkan masyarakat saintifik, berdaya saing, dinamik, dan bukan sahaja menjadi pengguna teknologi tetapi juga menyumbang kepada tamadun saintifik serta teknologi masa hadapan.

Dasar terakhir yang menyokong pelaksanaan pendidikan STEM ialah Pelan Pembangunan Pendidikan Malaysia 2013-2025 (PPPM 2013-2025) iaitu merujuk kepada Malaysia Education Blueprint (2013). Merujuk kepada Jadual 1, pelaksanaan STEM berdasarkan PPPM 2013-2025 melalui 3 gelombang atau fasa.

Setiap fasa menunjukkan perkembangan pembelajaran STEM yang melibatkan semua peringkat terutamanya murid, pendidik serta ibu bapa. Keadaan ini menunjukkan usaha kerajaan adalah secara berterusan untuk memastikan pendidikan STEM berjaya dilaksanakan.

Pada tahun 2012, Bahagian Perancangan dan Penyelidikan Dasar Pendidikan (BPPDP) Kementerian Pendidikan Malaysia telah mengeluarkan laporan bahawa seramai 203,391 orang murid (49%) mengambil bidang STEM. Berlaku penurunan purata kita-kira 6000 orang murid setahun yang mengambil bidang STEM. Pada tahun 2018 pula, BPPDP melaporkan hanya 167,962 orang murid (44%) mengambil bidang STEM (Kementerian Pendidikan Malaysia 2019). Kekurangan pendedahan aplikasi sains dalam kehidupan seharian adalah salah satu faktor penurunan ketara pelajar dalam bidang STEM. Selain itu, peranan ibu bapa juga amat penting dalam menanam minat murid terhadap STEM. Terdapat segelintir ibu bapa yang memberi isyarat salah tentang mata pelajaran STEM yang seterusnya mendorong murid untuk tidak mengambil mata pelajaran itu (Kementerian Pendidikan Malaysia, (2019)). Data ini menunjukkan bahawa dasar 60:40 (Sains/Teknikal:Sastera) yang disasarkan oleh kerajaan semenjak tahun 1970 masih belum tercapai.

PPPM (2013-2025) menyarankan agar KBSM disemak seiring dengan Kurikulum Standard Sekolah Rendah (KSSR) dengan memberi penekanan kepada penguasaan kemahiran abad ke-21 seperti pemikiran kritis, kreatif dan inovatif, penyelesaian masalah dan kepimpinan untuk membolehkan murid bersaing di peringkat global (Ketua Pengarah Pelajaran Malaysia 2016).

Kurikulum Bersepadu Sekolah Menengah (KBSM) telah digantikan secara berperingkat dengan Kurikulum Standard Sekolah Menengah (KSSM). Jadual 2 menunjukkan transisi peralihan daripada KBSM kepada KSSM. PPPM (2013-2025) juga telah mengusulkan pendekatan Pendidikan STEM yang menyepadukan mata pelajaran Sains, Teknologi, Kejuruteraan dan Matematik melalui KSSM.

Mulai tahun 2019, KSSM telah dilaksanakan bagi murid menengah rendah. Mata pelajaran Kemahiran Hidup Bersepadu (KHB) telah digantikan sepenuhnya dengan mata pelajaran Reka Bentuk Teknologi (RBT) untuk murid Tingkatan 1, 2 dan 3 pada tahun 2019. Guru RBT adalah

JADUAL 1. Pelaksanaan STEM berdasarkan Pelan Pembangunan Pendidikan 2013-2025

Gelombang 1 (2013-2015)	Gelombang 2 (2016-2020)	Gelombang 3 (2021-2025)
<ul style="list-style-type: none"> Mengukuhkan kualiti Pendidikan STEM melalui pengukuhan kurikulum, pengujian dan latihan guru dan penggunaan model pembelajaran pelbagai mod (blended learning). 	<ul style="list-style-type: none"> Menarik minat dan kesedaran masyarakat tentang STEM melalui kempen dan kerjasama. Semakan semula Kurikulum Standard Sekolah Menengah (KSSM) dan Kurikulum Standard Sekolah Rendah (KSSR) dilaksanakan. Menaik taraf makmal sains sedia ada di sekolah rendah dan menengah. Kementerian juga bercadang memperluaskan program kesedaran STEM kepada murid sekolah rendah serta bercadang menggunakan pendekatan tidak formal untuk mengukuhkan minat dalam pendidikan dan kerjaya dalam bidang STEM. 	<ul style="list-style-type: none"> STEM akan dianjak ke arah kecemerlangan melalui peningkatan keluwesan operasi (Panduan Pelaksanaan Sains, Teknologi, Kejuruteraan dan Matematik) dalam pengajaran dan pembelajaran (PdPc).

JADUAL 2. Transisi peralihan daripada KBSM kepada KSSM

Kohort	Tingkatan 1	Tingkatan 2	Tingkatan 3	Tingkatan 4	Tingkatan 5
2017	KSSM	KBSM	KBSM	KBSM	KBSM
2018	KSSM	KSSM	KBSM	KBSM	KBSM
2019	KSSM	KSSM	KSSM	KBSM	KBSM
2020	KSSM	KSSM	KSSM	KSSM	KBSM
2021	KSSM	KSSM	KSSM	KSSM	KSSM

dalam kategori guru STEM yang perlu bersedia dengan kemahiran STEM. Guru yang akan mengajar mata pelajaran RBT merupakan guru Kemahiran Hidup Bersepadu yang mempunyai latarbelakang akademik dari pelbagai bidang.

AMALAN PENYAMPAIAN STEM SECARA TRADISIONAL DI MALAYSIA

Kaedah tradisional bagi PdPc STEM adalah sekadar menunjukkan video, paparan nota pelajaran menggunakan perisian 'Microsoft Power Point' serta menggunakan model berbentuk 3D pegun. Kaedah pengajaran sebegini amat membosankan murid generasi Z dan Alpha kerana kaedah pengajaran ini yang dianggap pasif serta bersifat satu hala. Proses pembelajaran dengan menyampaikan kandungan pelajaran secara teori bukanlah kaedah yang berkesan. Pembelajaran kaedah lama tidak lagi relevan terhadap murid masa kini yang terdedah dengan gajet berteknologi seawal usia. Menurut Ismail (2017), guru-guru disarankan untuk menggunakan media pembelajaran seperti alat, kaedah atau teknik supaya PdPc menjadi lebih efektif dalam proses pendidikan dan pengajaran di sekolah. Pembelajaran Abad ke-21 (PAK 21) memerlukan penggunaan Bahan Bantu Mengajar (BBM) yang juga dikenali sebagai sebahagian daripada media pengajaran berbentuk audio visual serta bahan-bahan yang berkaitan dengannya yang berfungsi dalam pelaksanaan sesuatu pengajaran.

Musa, N. E., dan Mohamad, M. H. (2014). menyatakan bahawa BBM adalah satu elemen penting yang digunakan

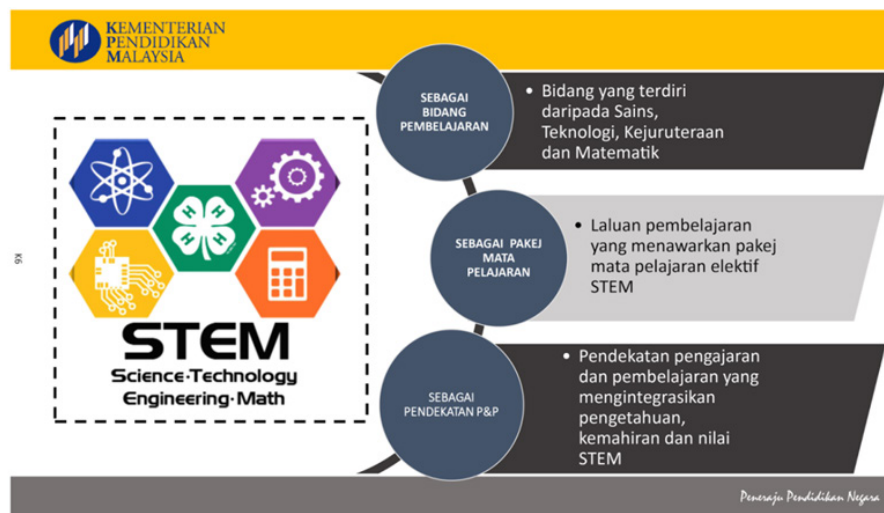
dalam proses pengajaran dan pembelajaran. Ia boleh dibahagikan kepada 3 kategori iaitu seperti dalam Jadual 3. Merujuk kepada jadual tersebut, BBM boleh dikategorikan kepada BBM bukan elektronik, BBM berbentuk elektronik serta bahan bercorak pengalaman dan bahan sebenar.

Menurut Ahmad Zanzali, N.A dan Daud, N.D. (2010) BBM memainkan peranan penting ke arah memahami konsep di dalam proses pengajaran selain daripada bertujuan untuk menarik minat murid. Walaubagaimanapun, kaedah penyampaian cara tradisional ini tidak menunjukkan ciri-ciri (PAK 21) yang relevan dengan kemajuan teknologi masa kini. Menurut Ahmad Zanzali, N.A dan Daud, N.D. (2010) penggunaan buku teks, papan hitam dan kapur tulis sahaja tidak mencukupi sebagai kaedah pengajaran guru dalam proses PdPc, bahkan guru perlu menggunakan teknologi dalam proses PdPc bagi meningkatkan minat pelajar terhadap sesuatu mata pelajaran yang dipelajarinya kerana ianya merupakan kaedah pembelajaran secara interaktif. Kaedah penyampaian menggunakan pendekatan teknologi agak mudah untuk dilaksanakan kerana murid zaman ini memang telah didedahkan dengan. penggunaan teknologi dalam kehidupan seharian seawal usia mereka.

Selaras dengan itu, sudah tiba masanya teknologi digunakan dalam PdPc STEM supaya unsur-unsur kejuruteraan dapat diintegrasikan dalam PdPc seperti yang telah disarankan oleh Jayarajah (Jayarajah et al. 2014). Unsur kejuruteraan yang dimasukkan ke dalam PdPc mampu membina minat murid terhadap sains kerana kejuruteraan menyediakan platform kepada murid untuk mengaitkan sains dengan pengalaman harian.

JADUAL 3. Kategori Bahan Bantu Mengajar (BBM)

Kategori BBM	Contoh BBM		
BBM bukan elektronik	<ul style="list-style-type: none"> • Papan tulis • Buku teks • Papan pameran • Model • Surat • Lukisan • Majalah • Skrip 	<ul style="list-style-type: none"> • Buku rujukan • Grafik model • Papan pengajaran • Gambar • Carta • Grafik • Alat permainan 	<ul style="list-style-type: none"> • Fail tegak • Bingkai carta pusing • Kad imbasan • Risalah • Nota-nota • Kertas kerja • Kad cantuman • Boneka
BBM berbentuk elektronik	<ul style="list-style-type: none"> • Filem tayangan • Filem jalur • Filem slaid • Pita video • Pita rakaman 	<ul style="list-style-type: none"> • Piring hitam • Kad audio • Projektor LCD • Projektor OHP • Televisyen 	<ul style="list-style-type: none"> • Cakera padat audio • Computer • Internet
Bahan bercorak pengalaman dan bahan sebenar	<ul style="list-style-type: none"> • Lakonan • Pantomin • Lawatan • Projek • Pameran. 		



RAJAH 1. STEM dalam konteks Pengajaran dan Pemudahcaraan (Malaysia Education Blueprint 2013)

PEMANTAPAN PDPC STEM DI MALAYSIA

STEM dalam konteks pengajaran dan pembelajaran terdiri daripada tiga cabang iaitu bidang pembelajaran, pakej mata pelajaran serta pendekatan pengajaran dan pembelajaran (Malaysia Education Blueprint (2013) seperti dalam Rajah 1. Bagi merealisasikan ketiga-tiga cabang ini, penggunaan teknologi dilihat sebagai entiti penting yang dapat menarik minat murid dalam pendidikan STEM.

Usaha memantapkan PdPc STEM untuk menarik lebih ramai murid menceburi bidang STEM di peringkat sekolah dengan aktiviti yang mencabar minda melalui inkuiri Pembelajaran Berasaskan Masalah dan Pembelajaran Berasaskan Projek (PjBL) yang lebih bersifat praktikal juga dijalankan. Penggunaan teknologi merupakan komponen penting dalam menjayakan PjBL dalam pendidikan STEM bersepadu. Kerajaan Malaysia melalui Kementerian Pendidikan Malaysia (KPM) telah menekankan penggunaan

teknologi di kalangan guru untuk meningkatkan minat murid semasa penyampaian PdPc. Ini dapat kita lihat melalui kaedah pencerapan guru dalam penggunaan borang penskoran Standard 4 Standard Kualiti Pendidikan Malaysia Gelombang 2 (SKPMg2) iaitu Pembelajaran dan Pemudahcaraan (PdPc) yang menitikberatkan penggunaan teknologi semasa penyampaian PdPc. PAK 21 juga mengintegrasikan konsep atau komponen STEM untuk memahami masalah dan menyelesaikannya dengan cara kreatif dan inovatif.

Pendekatan ini digabungkan dalam mata pelajaran yang mengandungi tajuk yang sesuai menggunakan pendekatan Reka Bentuk Kejuruteraan. Contohnya ialah seperti penggunaan konteks pembelajaran yang bermakna dan berkait dengan kehidupan sebenar murid. Potensi murid dapat dicabar dengan menggunakan pendekatan Rekabentuk Kejuruteraan (*Engineering design*) bagi membentuk pemikiran kritis dan kreatif melalui aktiviti

rekabentuk berbantuan teknologi yang berkaitan. Menurut kajian Jayarajah et al. (2014), penerapan unsur kejuruteraan dalam PdPc mampu membina minat murid terhadap sains kerana kejuruteraan menyediakan platform kepada murid untuk mengaitkan sains dengan pengalaman harian. Selaras dengan itu, KPM telah mengintegrasikan kejuruteraan dalam kurikulum menengah rendah dengan menggubal DSKP mata pelajaran RBT Tingkatan 2 dan 3 melalui tema aplikasi teknologi menggantikan mata pelajaran KHB yang telah diperkenalkan semenjak tahun 1990 seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 4.

Faktor guru juga perlu dititikberatkan memandangkan guru-guru RBT mempunyai latar belakang bidang akademik yang berbeza (Stohlmann et al. 2012). Penting bagi sekolah untuk memberikan sokongan, masa serta menyediakan kursus yang sesuai untuk memastikan guru yang mengajar mata pelajaran RBT memperolehi pengetahuan dan kemahiran yang lengkap bagi memastikan PdPc STEM terutama dalam matapelajaran RBT disampaikan dengan baik.

TEKNOLOGI YANG DIGUNAKAN SEBAGAI ALAT BANTU MENGAJAR (ABM)

MIKROPENGAWAL (PERKAKASAN)

Mikropengawal merupakan satu peranti kawalan dalam satu cip. Peranti kawalan ini terdiri daripada CPU (*Central Processing Unit*), RAM (*Random Access Memory*), ROM (*Read Only Memory*) dan Port (*Input/Output*). Kebanyakan mikropengawal hanya memerlukan kuasa yang rendah kerana kebanyakan peralatan yang menggunakan mikropengawal sebagai peranti kawalan adalah hanya menggunakan kuasa bateri. Di antara peralatan elektrik dan elektronik yang menggunakan mikropengawal ialah telefon mudah alih, kamera, penggera keselamatan serta mesin basuh. Terdapat beberapa jenis mikropengawal yang digunakan dalam pembelajaran mikropengawal di Malaysia seperti Arduino, Raspberry Pi dan Magnetcode.

Sewaktu penyampaian PdPc tajuk mikropengawal mata pelajaran RBT Tingkatan 2 dan Tingkatan 3, wujud konflik penggunaan papan pembangunan mikropengawal. Sesetengah guru merujuk terus kepada buku Teks RBT yang mana perkakasan yang digunakan adalah aplikasi Magnetcode yang menggunakan bod litar mikropengawal yang dinamakan 'carrot board'. Magnetcode adalah aplikasi pengawal menggunakan kawalan telefon pintar. Versi pertama magnetcode hanya boleh digunakan sekiranya telefon pintar berfungsi. Versi kedua iaitu menggunakan

'carrot board 7' dan modul 'bluetooth' membolehkan ianya berfungsi tanpa menggunakan telefon pintar kerana data masukan boleh dimuat naik ke dalam 'carrot board 7'. Ada juga guru yang menggunakan papan pembangunan mikropengawal seperti Arduino Uno sebagai BBM dalam PdPc. Teknologi mikropengawal Arduino adalah teknologi yang agak lama tetapi ianya masih digunakan secara meluas sebagai perkakasan pembelajaran asas mikropengawal.

PENKODAN (BAHASA PENGATURCARAAN)

Literasi zaman digital seperti kemahiran menulis pengaturcaraan di kalangan murid perlu untuk memastikan murid dapat memaksimumkan penggunaan teknologi dalam pembelajaran abad ke-21 (Husin et al. 2016). Pembelajaran bahasa pengaturcaraan di kalangan murid sekolah menengah rendah adalah terhad kepada murid yang mengambil kelas yang menawarkan mata pelajaran Asas Sains Komputer (ASK). Murid hanya belajar bahasa pengaturcaraan mudah seperti C di peringkat asas sahaja. Penggunaan program *Scratch* juga digunapakai dalam PdPc bagi bahasa pengaturcaraan untuk mata pelajaran ASK untuk murid tahap 2 sekolah rendah yang berumur 10 hingga 12 tahun. Murid tidak diberi pendedahan penggunaan bahasa pengaturcaraan sebagai bahasa pemrograman mikropengawal kerana proses pembelajaran berasaskan projek tidak diaplikasikan dalam mata pelajaran ASK. Mereka pula hanya boleh memilih sama ada mengambil mata pelajaran Asas Sains Komputer atau Reka Bentuk Teknologi (RBT) di peringkat menengah rendah. Kesimpulannya tajuk mikropengawal hanya di ajar dalam mata pelajaran RBT dan bahasa pengaturcaraan di ajar dalam mata pelajaran ASK secara berasingan. Murid kurang mendapat pendedahan tentang bahasa pengaturcaraan seperti Python dan C++ yang boleh dipelajari daripada sumber terbuka (*open source*). Keperluan mempelajari bahasa pengaturcaraan di peringkat sekolah rendah dapat dipenuhi dengan memperkenalkan asas bahasa pengaturcaraan melalui mata pelajaran Teknologi Maklumat dan Komunikasi (TMK) sewaktu murid di tahap dua.

PENGUNAAN TEKNOLOGI DALAM PDPC STEM

Teknologi merupakan satu konsep yang luas dan mempunyai lebih daripada satu takrifan. Menurut Kamus Dewan Edisi Empat, teknologi merujuk kepada:

1. Aktiviti atau kajian yang menggunakan pengetahuan sains untuk tujuan praktis dalam industri, pertanian, perubatan, perniagaan, sains gunaan dan lain-lain.

JADUAL 4. Tema Aplikasi Teknologi bagi mata pelajaran RBT Tingkatan 2 dan 3

Tingkatan 2	Tingkatan 3
BAB 2 - APLIKASI TEKNOLOGI	BAB 1 - APLIKASI TEKNOLOGI
2.1 Teknologi Pembuatan	1.1 Reka Bentuk Mekatronik
2.2 Reka Bentuk Mekanikal	
2.3 Reka Bentuk Elektrik	
2.4 Reka Bentuk Elektronik	

2. Kaedah atau proses menangani sesuatu masalah teknikal.

Teknologi masa kini yang dimaksudkan dalam PdPc STEM ialah penggunaan perkakasan, perisian, internet, telefon mudah alih, komponen elektronik, papan litar elektronik, model robotik dan sebagainya.

PENGUNAAN TEKNOLOGI DALAM PDPC STEM DI PERINGKAT GLOBAL

Di Amerika Syarikat, pada awal 90an semasa STEM mula diperkenalkan, pembelajaran berasaskan projek dan pendidikan STEM bersepadu telah dicadangkan untuk mengatasi kekurangan minat di kalangan murid untuk melanjutkan pelajaran dalam bidang STEM, (Dolmans et al. (2005)). Setelah kaedah pembelajaran berasaskan projek mula diaplikasikan di sekolah-sekolah, kajian menunjukkan keberkesanan pembelajaran berasaskan projek di mana wujud peningkatan minat murid serta pemahaman terhadap STEM dalam pembangunan kemahiran murid dan juga dalam penyelesaian masalah, (Dolmans et al. (2005)). Menurut Sahin (2015) *Harmony Public School* (HPS) di Amerika Syarikat juga menggunakan pendekatan yang sama iaitu pembelajaran berasaskan projek dalam pendidikan STEM. Pendekatan ini dinamakan 'STEM Student on Stages' (SOS™) dan telah mendapat geran pendidikan yang ditawarkan oleh Kementerian Pelajaran Amerika Syarikat (U.S. Department of Education). HPS mendasarkan peningkatan minat murid terhadap pengetahuan dan minat terhadap Pendidikan STEM serta melahirkan minat dan motivasi murid (Sahin, 2015). Di HPS, kurikulum yang disediakan lengkap merangkumi:

1. BBM yang telah dibangunkan dan tersedia untuk kegunaan guru.
2. Murid menyiapkan satu projek berasaskan pembelajaran berasaskan projek (PjBL) yang selaras bagi semua mata pelajaran teras.
3. Guru menghadiri kursus latihan dalam perkhidmatan yang diadakan dengan lebih kerap dan selaras untuk semua negeri untuk meningkatkan profesionalisme serta pengetahuan guru terhadap mata pelajaran yang diajar.

Dalam mata pelajaran Kejuruteraan dan Sains Komputer, murid menjalankan projek menggunakan mikropengawal jenis Arduino Uno. Di akhir projek, murid perlu menyediakan laporan serta persembahan projek dalam bentuk brosur berserta 'QR code' dan juga video tentang projek yang telah dijalankan.

Di Jepun, murid menengah rendah iaitu seawal umur 9 tahun telah diperkenalkan dengan mata pelajaran asas robotik dalam tajuk 'Teknologi' iaitu salah satu cabang dalam mata pelajaran 'Teknologi dan Ekonomi Rumah Tangga' Kanemune et al. (2017). Murid perlu membeli bahan pembelajaran untuk pemrograman robot asas seperti robot

pengesan garisan. Robot ini dikawal oleh mikropengawal seperti Arduino Uno. Murid memprogram robot asas tersebut menggunakan blok program seperti *Scratch* dan *Dolittle*. Kanemune & Kuno (2014) menyatakan bahawa *Dolittle* adalah bahasa pengaturcaraan berorientasikan objek yang dibangunkan oleh sekumpulan pensyarah universiti di Jepun.

Pendidikan STEM di Australia pula telah diwartakan pada 11 Disember 2015 iaitu melalui National STEM School Education Strategy 2016-2026 oleh Majlis Pendidikan Australia (*Australian Education Council*). Majlis Pendidikan Australia menjalankan pelbagai program di peringkat kebangsaan, negeri mahupun daerah seperti *Australian School Innovation in Science, Technology and Mathematics (ASISTM)* dan Minggu Sains Nasional (*National Science Week*) dalam usaha untuk menggalakkan pengajaran STEM yang inovatif di kalangan guru-guru (Thomas & Watters, 2015). Terdapat juga kelas STEM musim panas yang disertai oleh murid yang layak dan terpilih. Di sepanjang kelas berlangsung, murid berpeluang untuk belajar asas robotik dan mikropengawal. Guru-guru juga dapat meningkatkan kemahiran penyampaian PdP yang melibatkan aktiviti STEM.

PENGUNAAN TEKNOLOGI DALAM PDPC STEM DI MALAYSIA

Berdasarkan DSKP mata pelajaran RBT yang mengandungi tajuk reka bentuk elektronik dalam tema aplikasi teknologi, murid perlu mencapai beberapa standard pembelajaran yang telah digariskan oleh KPM (2016). Oleh itu, penggunaan teknologi adalah sangat relevan bagi mencapai standard yang digariskan ini. Setakat ini, belum ada teknologi atau perkakasan tertentu yang telah ditetapkan dalam DSKP untuk digunakan sebagai BBM bagi tajuk ini. Jika merujuk kepada Buku Teks RBT Tingkatan 2 contohnya, terdapat percanggahan beberapa maklumat dengan DSKP RBT yang boleh mengelirukan guru. Sekiranya guru dibekalkan dengan modul pembelajaran yang lengkap, guru dapat memaksimumkan penggunaan waktu PdPc dengan menyelia murid secara lebih efektif. Penyampaian kandungan pelajaran juga akan lebih selaras di seluruh negara.

Sehubungan itu, beberapa agensi kerajaan dan swasta telah menyahut cabaran KPM menerusi PPPM 2013 – 2025 dalam gelombang ke 2 iaitu menarik minat dan kesedaran masyarakat dalam STEM melalui kempen dan kerjasama. Institut Pengajian Tinggi Awam (IPTA) telah membangunkan beberapa modul STEM serta bahan bacaan STEM demi menyahut Pelan Hala Tuju Modal Insan Sains dan Teknologi Malaysia Tahun 2020 serta Transformasi Negara 2050 (TN50). Di antaranya ialah modul-modul yang telah dibangunkan oleh Universiti Kebangsaan Malaysia (UKM), Universiti Malaysia Terengganu (UMT) dan Universiti Pendidikan Sultan Idris (UPSI) (Rujuk Jadual 5 di bawah).

Modul-modul ini belum digunakan secara meluas di sekolah-sekolah seluruh negara serta belum digunakan

sebagai salah satu rujukan kurikulum sekolah secara rasmi oleh Bahagian Pembangunan Kurikulum (BPK).

Malaysian Digital Economy Corporation (MDEC) dengan sokongan penuh Kementerian Pendidikan Malaysia (KPM) mewujudkan inisiatif #mydigitalmaker untuk membina bakat generasi muda dan mempersiapkan mereka untuk kerjaya digital pada masa hadapan. Inisiatif ini menyediakan pelbagai platform khas untuk mengasah kemahiran pengkodan, pembangunan aplikasi, percetakan 3D, robotik, pengaturcaraan dan menganalisis data. Oleh itu, kreativiti dan kebolehan menyelesaikan masalah dalam kalangan generasi masa hadapan dapat diberi pengukuhan.

Jika dilihat dari sudut mata pelajaran RBT Tingkatan 2 dan Tingkatan 3 dalam tajuk elektronik dan mekatronik, pembangunan modul berkaitan tajuk ini amat terhad. Sebagai contoh, Modul Bitara STEM UKM hanya menerangkan operasi asas mikropengawal dalam submodul Komunikasi Tanpa Wayar Pintar. Modul Pembelajaran Arduino Uno yang agak lengkap dibangunkan oleh UPSI tetapi modul ini juga belum digunakan secara meluas di kalangan guru RBT. Selain daripada itu, Modul STEM^{PLUS}UMT yang terbahagi kepada 6 submodel juga telah dibangunkan, dan Modul Kejuruteraan (Engineering) merupakan salah satu daripada submodel tersebut.

Kesedaran dan minat murid terhadap tajuk elektronik yang melibatkan penggunaan mikropengawal bertambah dengan wujudnya kelas robotik yang dijalankan secara kelas berbayar. Promosi kelas robotik ini biasanya diadakan secara meluas di sekolah-sekolah terutama kepada murid sekolah rendah dan murid menengah rendah. Terdapat juga syarikat persendirian yang mendapat sokongan daripada universiti awam seperti UTM, iaitu syarikat Drabot yang telah mengadakan bengkel pengenalan Arduino Uno secara percuma kepada murid sekolah. Syarikat Drabot juga telah menghasilkan modul pembelajaran Arduino Uno yang lengkap termasuk kit pembelajaran yang merangkumi perkakasan, komponen input, output serta manual pengguna yang merangkumi litar bergambar, contoh aturcara, video hasil pemasangan projek dan lain-lain yang disertakan bersama kit melalui *Google Drive*.

PERBINCANGAN DAN ANALISA

Analisa perbandingan penggunaan teknologi dalam penyampaian pelajaran mikropengawal di sekolah-sekolah kerajaan di Malaysia, Amerika Syarikat, Jepun dan Australia ditunjukkan dalam Jadual 6.

Merujuk kepada Jadual 6, Pendekatan pembelajaran berasaskan projek adalah sesuai





dalam menyampaikan kandungan pelajaran mikropengawal untuk murid menengah rendah yang berumur 14 dan 15 tahun. Di Jepun, Amerika Syarikat dan Australia bahasa pengaturcaraan mula diajar pada peringkat umur 10 hingga 12 tahun. Asas pengaturcaraan mudah perlu diajar semasa di sekolah rendah supaya murid dapat mengaplikasikan pengetahuan sedia ada semasa di sekolah

rendah dalam pembelajaran mikropengawal di peringkat menengah rendah pula.

Penggunaan teknologi dalam penyampaian PdPc pula dilihat amat relevan kerana murid lebih cenderung belajar melalui aktiviti berbanding sekadar mendengar dan mencatat nota. Rajah 2 pula menunjukkan perkembangan pembelajaran elektronik dan juga asas pengaturcaraan bagi murid tahap dua sekolah rendah serta murid menengah rendah di Malaysia. Berdasarkan kepada Rajah 2, dapat dilihat bahawa murid belajar tentang asas komponen elektronik serta asas pengaturcaraan daripada kategori visual menggunakan grafik dan blok iaitu *Scratch* melalui dua matapelajaran yang berbeza iaitu dalam mata pelajaran Reka Bentuk dan Teknologi (RBT) serta mata pelajaran Teknologi Maklumat dan Komunikasi (TMK) semasa di sekolah rendah. Di peringkat menengah rendah pula, mata pelajaran Reka Bentuk Dan Teknologi serta Asas Sains Komputer (ASK) merupakan kesinambungan matapelajaran tersebut semasa di sekolah rendah. Dua mata pelajaran ini dijadikan sebagai mata pelajaran elektif di mana murid hanya boleh memilih salah satu mata pelajaran sama ada RBT atau ASK. Terdapat sesetengah sekolah tidak menawarkan mata pelajaran ASK kerana kurang kemudahan makmal komputer serta guru opsyen yang boleh mengajar mata pelajaran tersebut. Keadaan ini menjadikan murid kurang kemahiran dalam menulis pengaturcaraan dalam bentuk bahasa pengaturcaraan seperti C, C++ atau Python sekiranya murid belajar mata pelajaran RBT sebagai mata pelajaran elektif tingkatan 1 hingga tingkatan 3. Murid yang belajar ASK hanya belajar menulis aturcara dan tidak dapat mengaplikasikan pengetahuan tersebut menggunakan mikropengawal sebagai perkakasan elektronik untuk melihat hasil pelaksanaan aturcara.

Maka dapat disimpulkan tiada kesinambungan pembelajaran bahasa pengaturcaraan di peringkat sekolah rendah di Malaysia dengan topik reka bentuk elektronik iaitu tajuk mikropengawal di peringkat menengah rendah (Tingkatan 2 dan 3). Melalui mata pelajaran RBT Tahun 6, murid belajar asas pengaturcaraan melalui aplikasi *Scratch* iaitu bahasa pengaturcaraan mudah menggunakan blok pengaturcaraan. Manakala di peringkat menengah rendah, murid didedahkan dengan penggunaan Arduino Uno yang menggunakan bahasa pengaturcaraan C atau C++. Di sesetengah sekolah menengah pula, guru –guru RBT menggunakan Magnetcode sebagai BBM untuk mata pelajaran RBT Tingkatan 2 dan 3. Magnetcode hanya menggunakan pseudokod dan bukannya bahasa pengaturcaraan seperti C++ atau Python. Kesinambungan pengetahuan murid akan menjadi lebih terhad kerana di peringkat yang lebih tinggi seperti di kolej dan universiti, pelajar akan didedahkan dengan penggunaan Arduino Uno atau Raspberry Pi yang digunakan dalam bidang kejuruteraan elektronik. Walaubagaimanapun, terdapat syarikat komponen digital dan juga akademi pembelajaran robotik yang menawarkan kelas bahasa pengaturcaraan serta penggunaan mikropengawal secara kelas berbayar. Keadaan

JADUAL 5. Modul-modul STEM yang telah dibangunkan oleh institusi-institusi kerajaan dan swasta

Modul	Penerangan
 <p>Modul Bitara STEM – Universiti Kebangsaan Malaysia (UKM)</p> <p>Modul STEM PLUSUMT – Universiti Malaysia Terengganu (UMT)</p>	<p>Modul Bitara STEMTM telah digunakan dalam Program Pembangunan Profesionalisme jangka pendek yang menasaskan peningkatan kebolehan guru STEM atau fasilitator untuk mengajar Pendidikan STEM Bersepadu di samping meningkatkan kecekapan mereka dalam mengendalikan PdPc STEM</p>
 <p>Modul Pembelajaran Arduino Uno – Universiti Pendidikan Sultan Idris (UPSI)</p>	<p>Modul STEMPLUS UMT dihasilkan oleh para pensyarah UMT yang terdiri daripada enam (6) modul iaitu Modul Sains, Modul Teknologi, Modul Kejuruteraan (Engineering), Modul Matematik, Modul English dan Modul Sains Kelautan dan Sumber Akuatik. Modul STEMPLUS UMT telah digunakan secara menyeluruh di sembilan buah sekolah angkat STEM UMT melalui Program Meteor Mentee pada tahun 2017.</p> <p>Modul ini ditulis berdasarkan Dokumen Standard Kurikulum dan Pentaksiran (DSKP) untuk mata pelajaran Reka Bentuk dn Teknologi Tingkatan dua. Modul ini menyediakan guru dengan pengetahuan dan kemahiran mengajar tajuk elektronik yang terkandung dalam DSKP RBT Tingkatan Dua.</p>
 <p>Seronoknya Belajar Scratch – Prof. Madya Dr. Hafizah Husain (UKM)</p>	<p>Kemahiran menulis aturcara memerlukan kemahiran komputasi, berfikir secara logik dan kemahiran untuk mencari penyelesaian kepada masalah. Scratch tidak hanya terhad kepada kanak-kanak. Para remaja boleh menggunakan Scratch untuk menghasilkan atur cara yang lebih kompleks. Ia juga boleh digunakan untuk berantara muka dengan papan pembangunan berasaskan mikropengawal.</p>
 <p>Modul PdPc Mekantronik (Arduino) – ASCO EduTech</p>	<p>Modul ini disediakan oleh ASCO EduTech berdasarkan Dokumen Standard Kurikulum dan Pentaksiran (DSKP) untuk mata pelajaran Reka Bentuk dn Teknologi Tingkatan tiga. Modul ini menyediakan guru dengan pengetahuan dan kemahiran mengajar tajuk mekatronik yang terkandung dalam DSKP RBT Tingkatan Tiga.</p>



Inovasi melalui Arduino – Prof. Madya Dr. Hafizah Husain (UKM)

Seiring dengan perkembangan ilmu sains dan teknologi pada era ini, pelbagai inovasi telah muncul bagi memudahkan kita menangani permasalahan di sekeliling. Namun begitu, pengetahuan tentang asas teknologi pintar perlu diketahui agar dapat dipraktikkan dengan baik untuk kepentingan bersama. Oleh itu, hasil gabungan idea dan kesungguhan para penulis telah membawa para pembaca amnya dan para pelajar khususnya untuk lebih mengenali tentang pengaturcaraan Arduino IDE.



RAJAH 2. Perkembangan Pembelajaran Elektronik dan Pengaturcaraan Murid Sekolah Rendah dan Menengah di Malaysia

ini hanya memberi peluang kepada golongan masyarakat yang mampu sahaja.

KESIMPULAN

Kemahiran penggunaan teknologi yang sesuai juga dapat memaksimumkan kefahaman murid terhadap kandungan pelajaran terutama dalam mengintegrasikan STEM dalam pembelajaran. Pengetahuan pembelajaran masa kini juga boleh digunapakai dan dikaitkan dengan pembelajaran masa hadapan. Kesan serta keperluan untuk mengintegrasikan STEM dalam pembelajaran hanya dapat diketahui melalui pelaksanaannya secara bersepadu dan meluas di peringkat sekolah. Pelan Hala Tuju Modal Insan Sains dan Teknologi Malaysia Tahun 2020 serta Transformasi Negara 2050 (TN50) menyarankan pembangunkan modul STEM serta memperbanyakkan bahan bacaan STEM. Penggunaan modul yang lengkap boleh membantu para guru mencapai PdPc berkesan bagi tajuk mikropengawal dalam mata pelajaran RBT berikutan masa pembelajaran yang terhad. Penyampaian PdPc menggunakan modul juga dapat membantu murid untuk lebih memahami tentang mikropengawal. Murid juga akan dapat belajar menggunakan pendekatan PjBL. Melalui

kepelbagaian penggunaan teknologi, konsep Pembelajaran Abad ke 21 (PAK 21) dapat diaplikasikan. Semasa penyampaian PdPc, murid akan dapat berfikir secara kreatif dan kritis yang selaras dengan kaedah pembelajaran PAK 21.

JADUAL 6. Perbandingan penggunaan teknologi dalam pengajaran mikropengawal di Malaysia dan peringkat global

		Umur	Teknologi yang digunakan	Aktiviti yang dijalankan
Sumber Rujukan Utama	Dokumen Standard Kurikulum dan Pentaksiran (DSKP) mata pelajaran Reka Bentuk dan Teknologi	14- 15 tahun	Hanya menyatakan mikropengawal secara umum tanpa menentukan jenis mikropengawal yang perlu digunakan semasa PdPc	<ul style="list-style-type: none"> • Menyatakan maksud mikropengawal (microcontroller) dan pemprosesmikro (microprocessor). • Menjelaskan bahagian- bahagian yang terdapat dalam mikropengawal (microcontroller). • Menghasilkan lakaran reka bentuk litar elektronik. • Membina litar simulasi yang berfungsi dengan perisian khas. • Membuat penyambungan litar input dan litar output kepada mikropengawal • Menulis pengaturcaraan mudah berdasarkan penyambungan litar input dan litar output. • Membuat pengujian dan penilaian kefungsiian litar elektronik. • Mencadangkan penambahbaikan ke atas reka bentuk litar elektronik. • (KPM 2017)
	Malaysia	14 – 15 tahun	<ul style="list-style-type: none"> • Arduino Uno • CarrotBoard (Magnetcode) 	<ul style="list-style-type: none"> • Murid belajar asas mikropengawal. • Magnetcode hanya mendedahkan murid kepada penggunaan pseudokod • Penggunaan Arduino mendedahkan murid dengan mikropengawal dari sumber terbuka
	Amerika Syarikat	12 – 14 tahun	<ul style="list-style-type: none"> • Arduino Uno • Arduino Lily Pad 	<ul style="list-style-type: none"> • Murid menjalankan projek menggunakan Arduino seperti system nombor binari. • Pembelajaran bahasa pengaturcaraan diajar sewaktu K12 iaitu lingkungan umur 10-12 tahun.
	Jepun	12 – 14 tahun	<ul style="list-style-type: none"> • Arduino Uno 	<ul style="list-style-type: none"> • Murid belajar asas robotik menggunakan kit robotik. Bahasa pengaturcaraan diajar kepada murid pada peringkat umur 10 dan 11 tahun. (Kanemune et al., 2017)
	Australia	12 – 15 tahun	<ul style="list-style-type: none"> • Arduino Uno • Raspberry Pi mulai tahun 2021 	<ul style="list-style-type: none"> • Murid belajar asas robotik dan mikropengawal. Murid juga didedahkan dengan bahasa pengaturcaraan ketika berumur 10 dan 11 tahun. (Blackley & Howell, 2019)

PENGISYTIHARAN KEPENTINGAN BERSAING

Tiada.

RUJUKAN

Ahmad Zanzali, N.A & Daud, N.D. 2010. Penggunaan Bahan

Bantu Mengajar di Kalangan Guru Pelatih Yang Mengajar Mata Pelajaran Matematik. Fakulti Pendidikan. Universiti Teknologi Malaysia.

Blackley, S. & Howell, J. 2019. The next chapter in the STEM education narrative: Using robotics to support programming and coding. *Australian Journal of Teacher Education* 44(4): 51–64.

Dolmans, D. H. J. M., Grave, W. De, Wolfhagen, I. H. A. P. & Vleuten, C. P. M. Van Der. 2005. current perspectives Problem-based learning : Future challenges for educational practice and research 732–741.

Husin, W. N. F. W., Arsad, N. M., Othman, O., Halim, L., Rasul, M. S., Osman, K. & Iksan, Z. 2016. Fostering students' 21st century skills through Project Oriented Problem Based Learning (POPBL) in integrated STEM education program. *Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching* 17(1): 1–19.

Ismail, D. 2017. Teknologi informasi dan komunikasi sebagai media. *Jurnal Pendidikan Teknologi Informatika*.

Jayarajah, K., Saat, R. M., Amnah, R. & Rauf, A. 2014. A Review of Science, Technology, Engineering & Mathematics (STEM) Education Research from 1999 – 2013 : A Malaysian Perspective 10(3): 155–163.

Johnson, C. C., Peters-Burton, E. E. & Moore, T. J. 2016. *STEM Road Map : A Framework for Integrated STEM Education.* New York.

Kanemune, S. & Kuno, Y. 2014. Dolittle : An object-oriented language for K12 education (May): 144–153.

Kanemune, S., Shirai, S. & Tani, S. 2017. Informatics and programming education at primary and secondary schools in Japan. *Olympiads in Informatics* 11(1): 143–150.

- Kementerian Pendidikan Malaysia, B. P. dan P. D. 2019. Jumlah pelajar mengambil kejuruteraan dan matematik (STEM) Semakin Merosot (2): 1–12.
- Ketua Pengarah Pelajaran Malaysia. 2016. Surat Pekeliling Ikhtisas KPM Bil. 9 Tahun 2016.
- Klaus Schwab. 2017. The Fourth Industrial Revolution.
- Koehler, C., Binns, I. C., & Bloom, M. A. 2015. The emergence of STEM. STEM road map: A framework for integrated STEM education, hlm. 13-22.
- KPM. 2016. KSSM Reka Bentuk dan Teknologi. Dokumen standard kurikulum dan pentaksiran Tingkatan 2 46.
- KPM. 2017. DSKP Reka Bentuk dan Teknologi Tingkatan 2. *Kurikulum Standard Sekolah Menengah*.
- Makhbul, Z. K. M. 2018. 5 komponen tangani cabaran Industri 4.0. *Berita Harian*, 4 Januari.
- Malaysia Education Blueprint. 2013. Malaysia education blueprint 2013 - 2025. *Education* 27(1): 1–268.
- Marrero, M. E., Gunning, A. M. & Germain-Williams, T. 2014. What is STEM Education? Why is STEM Education Perspectives on the “STEM 1(4): 1–6.
- Meng, C. C., Idris, N. & Eu, L. K. 2014. Secondary Students’ perceptions of assessments in Science, Technology, Engineering and Mathematics (STEM). *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education* 10(3) (August 2015): 219–227.
- Sahin, A. 2015. STEM Students on the Stage (SOS): Promoting student voice and choice in STEM education through an interdisciplinary , standards-focused , project based learning approach (September): 24–33.
- Stohlmann, M., Moore, T. & Roehrig, G. 2012. Considerations for teaching integrated STEM education. *Journal of Pre-College Engineering Education Research* 2(1): 28–34.
- Thomas, B. & Watters, J. J. 2015. Perspectives on Australian, Indian and Malaysian approaches to STEM education. *International Journal of Educational Development* 45: 42–53.