

# PHYSICAL COMPUTING:IMPLEMENTASI COMPUTATIONAL THINKING MELALUI INTEGRASI STEM DI SEKOLAH MENENGAH ATAS PADA PROGRAM IEEE PRE-UNIVERSITY

Andi Susilo<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Dosen Program Studi Teknologi Informasi, Universitas Darma Persada

\*Koresponden : [andi\\_susilo@ft.unsada.ac.id](mailto:andi_susilo@ft.unsada.ac.id)

## ABSTRAK

Hasil survei PISA tahun 2018 terhadap siswa-siswa sekolah Indonesia berumur 15 tahun menunjukkan skor yang rendah dalam membaca, matematika, dan sains di bawah rata-rata skor OECD yang akan berdampak permasalahan kompetensi global sumber daya manusia di masa depan. Kerangka kerja konseptual pembelajaran STEM terintegrasi dapat menjadi solusi dalam meningkatkan daya saing global. Taksonomi computational thinking dengan empat kategori utama dan proses dan dimensi physical computing berbasis proyek perlu dikombinasikan sebagai subjek dengan program IEEE Pre-University. Hasil studi ini diharapkan dapat diterapkan pada tingkat sekolah menengah atas dan vokasi sebagai praktik terbaik

**Kata kunci:** Physical Computing, STEM, Computational Thinking, Pre-University

## ABSTRACT

The results of the 2018 PISA survey of 15-year-old Indonesian school students showed low scores in reading, math, and science below the OECD average score which will have an impact on global human resource competency issues in the future. An integrated STEM learning conceptual framework can be a solution in increasing global competitiveness. A computational thinking taxonomy with four main categories and process and project-based dimensions of physical computing needs to be combined as a subject with the IEEE Pre-University program. The results of this study are expected to be applied at the senior high school and vocational levels as best practice

**Keywords:** Physical Computing, STEM, Computational Thinking, Pre-University

## 1. PENDAHULUAN

Hasil survei (gambar 1) terhadap siswa-siswa Indonesia berumur 15 tahun yang berpartisipasi dalam PISA (*Programme for International Student Assessment*) di dalam laporan tahun 2018 (Markus, 2019) menemukan bahwa

- Siswa-siswa Indonesia memiliki skor rata-rata lebih rendah dibandingkan dengan rata-rata skor dari OECD (*Organization for Economic Co-operation and Development*) mencakup kemampuan membaca skor 371 (rata-rata OECD: 487), kemampuan matematika skor 379 (rata-rata OECD: 489), dan kemampuan sains skor 396 (rata-rata OECD: 489).
- Dibandingkan dengan rata-rata OECD, terdapat proporsi yang lebih kecil dari siswa-siswa Indonesia mencapai level keahlian tertinggi (level 5 atau 6) dalam setidaknya satu mata pelajaran, pada saat yang sama proporsi yang lebih kecil dari siswa-siswa mencapai level keahlian minimum (level 2 atau lebih tinggi) dalam setidaknya satu mata pelajaran.



Gambar 1 Kinerja dalam bidang matematika, sains, dan membaca dari OECD (Markus, 2019)

Laporan OECD juga mendeskripsikan iklim sekolah di Indonesia sebagai berikut

- 25% siswa-siswa di Indonesia (rata-rata OECD: 26%) di hampir setiap pelajaran guru membutuhkan waktu yang lama untuk menenangkan siswa-siswa yang membuat kegaduhan di kelas sehingga mendapatkan skor 28 poin lebih rendah dalam kemampuan membaca dibandingkan dengan siswa-siswa yang dilaporkan tidak pernah membuat kegaduhan atau hanya terjadi pada beberapa pelajaran saja, berdasarkan status sosial-ekonomi.
- Selama periode dua minggu sebelum tes PISA, 21% siswa membolos selama satu hari dan 52% siswa datang terlambat ke sekolah. Sekolah yang berkualitas akan mudah dalam menerapkan iklim kedisiplinan dan siswa juga mendapatkan dukungan emosional yang kuat dari orang tua sehingga kemungkinan siswa membolos sangat kecil.
- 88% siswa di Indonesia (rata-rata OECD: 74%) menyatakan sangat setuju bahwa guru mereka memperlihatkan antusiasme di dalam mengajar. Di banyak negara, siswa-siswa yang mendapatkan skor tinggi dalam membaca mereka merasakan guru mereka lebih antusias, terutama ketika guru mereka tertarik dengan mata pelajaran tersebut.

PISA dibentuk oleh OECD yang fokus menilai kinerja siswa dalam bidang kemampuan membaca, matematika, dan sains, karena bidang-bidang tersebut mendukung keberlanjutan Pendidikan siswa. PISA juga menghimpun informasi yang bernilai dari motivasi dan sikap siswa dan secara formal juga menilai kemampuan pemecahan masalah kolaboratif dan kompetensi global ("PISA - OECD," 2019). (Nugroho et al., 2021) menyatakan bahwa Pendidikan STEM (*Science, Technology, Engineering, and Mathematics*) dapat menjadi solusi dari permasalahan kualitas daya saing sumber daya manusia. Pendidikan STEM sesuai dalam membentuk dan mengembangkan aspek-aspek

pengetahuan (*cognitive*), aspek-aspek sikap (*affective*), dan aspek-aspek keahlian (*psychomotor*) sehingga pencapaian operasional kurikulum 2013 dapat dioptimalkan. Siswa-siswa yang akan melanjutkan studi ke jenjang yang lebih tinggi seperti universitas memerlukan kinerja yang cukup dalam bidang membaca, matematika, dan sains sebagai cakupan dalam Pendidikan STEM.

Studi ini fokus kepada rencana implementasi pendidikan STEM di tingkat sekolah menengah atas dan sekolah menengah kejuruan (vokasi) melalui *Computational Thinking* dan *Physical Computing* yang dikolaborasikan dengan program IEEE Pre-University. Rencana implementasi pendidikan STEM juga mempertimbangkan keselarasan dengan kurikulum yang berlaku.

## 2. KAJIAN LITERATUR

(Kennedy and Odell, 2014) mengindikasikan program pendidikan dan kurikulum STEM yang berkualitas tinggi:

- Menyertakan kurikulum dan instruksi matematika dan sains yang ketat;
- Mengintegrasikan teknologi dan rekayasa ke dalam kurikulum sains dan matematika;
- Mempromosikan desain teknik dan pemecahan masalah yaitu proses mengidentifikasi masalah, solusi dari inovasi, prototipe, evaluasi, desain ulang;
- Mempromosikan keingintahuan yaitu proses mengajukan pertanyaan dan melakukan investigasi sebagai cara untuk mengembangkan pemahaman yang mendalam tentang alam dan dunia yang dirancang;
- Mengembangkan bahan yang sesuai situasi kelas dan mencakup pendekatan pembelajaran kolaboratif;
- Memberikan peluang mengkoneksikan guru-guru dan siswa-siswa dalam edukasi STEM dengan komunitas dan tenaga kerja profesional STEM yang lebih luas;
- Memberikan siswa sudut pandang interdisipliner, multikultural, dan multiperspektif untuk menunjukkan bahwa STEM melampaui batas-batas nasional memberikan siswa perspektif global;
- Menggunakan teknologi yang sesuai seperti pemodelan, simulasi, dan pembelajaran jarak jauh untuk meningkatkan pengalaman belajar dan investigasi Pendidikan STEM;
- Menyajikan pengalaman belajar formal dan informal;
- Menyajikan keseimbangan STEM dengan menawarkan konteks yang relevan untuk pembelajaran dan mengintegrasikan pengetahuan konten inti STEM melalui strategi misalnya pembelajaran berbasis proyek.

### Kerangka kerja konseptual pembelajaran STEM

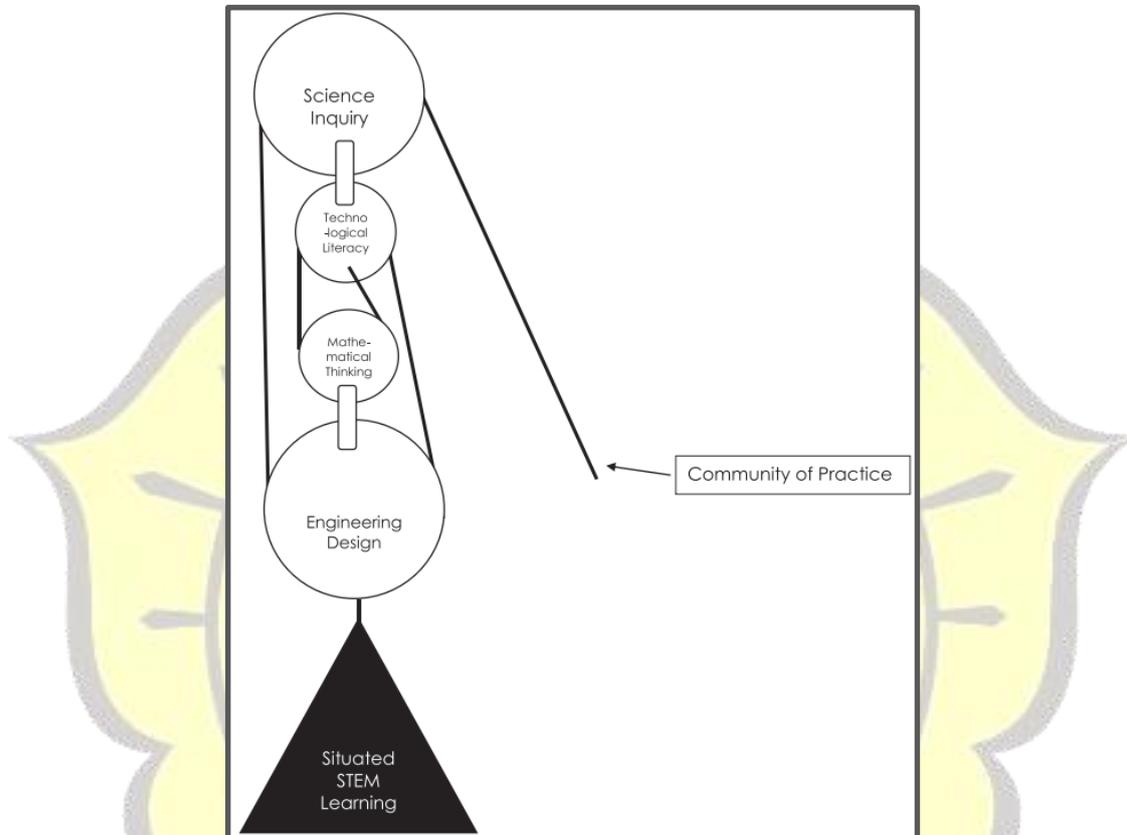
(Kelley and Knowles, 2016) mengajukan sebuah kerangka kerja konseptual pembelajaran STEM yang relevan untuk tingkat sekolah menengah atas.

Gambar 2 memperlihatkan sistem empat katrol yang memungkinkan secara mekanis mengangkat beban dalam hal ini bebannya adalah pembelajaran STEM (*Situated STEM Learning*). Ilustrasi tersebut mengkoneksikan situasi pembelajaran, desain Teknik, penelitian ilmiah, literasi teknologi, dan berpikir secara matematis.

#### Katrol 1: *engineering design*

Pendekatan *engineering design* dalam menyediakan pendidikan STEM merupakan titik awal yang ideal untuk memasukan praktik rekayasa ke kurikulum sekolah menengah.

Elemen analitis dari proses *engineering design* memungkinkan siswa menggunakan pengetahuan matematika dan sains dalam membuat dan melakukan percobaan yang akan menginformasikan siswa tentang fungsi dan kinerja dari solusi potensial sebuah desain sebelum prototipe akhir dibangun. Pendekatan ini juga memungkinkan siswa membangun desain berdasarkan pengalaman mereka sendiri dan memberikan kesempatan melakukan eksplorasi dengan ilmu baru dan pengetahuan matematika melalui analisis desain dan penyelidikan ilmiah.



Gambar 2 Kerangka kerja konseptual pembelajaran STEM (Kelley and Knowles, 2016)

### **Katrol 2: science inquiry**

*Science inquiry* mempersiapkan siswa untuk berpikir dan bertindak seperti ilmuwan, mengajukan pertanyaan, membuat hipotesa, dan melakukan penelitian menggunakan praktik standar. Siswa dapat memegang kendali pada pembelajaran mereka sendiri ketika memperoleh peluang mengkonstruksikan pertanyaan-pertanyaan mereka sendiri kepada topik yang sedang mereka teliti.

### **Katrol 3: technological literacy**

Menurut (Barak, 2012) di dalam (Kelley and Knowles, 2016) seorang teknokrat memiliki peran yang lebih besar dibandingkan dengan insinyur karena harus terlibat juga dalam pemecahan masalah dan pengembangan produk baru mencakup aspek ekonomi, sosial, budaya, dan lingkungan sesuai kebutuhan masyarakat. Baik teknologi dan rekayasa (teknik) memiliki kaitan yang erat sehingga harus diajarkan secara serempak dengan

Pendidikan teknologi dan guru mengajarkan sebagai sebuah mata pelajaran tersendiri misalnya *Engineering Technology Education* (ETE).

#### **Katrol 4: *mathematical thinking***

Studi yang dilakukan oleh (Tillman et al. 2014) di dalam (Kelley and Knowles, 2016) memperlihatkan bahwa siswa-siswa akan lebih termotivasi dan memiliki kinerja yang lebih baik pada penilaian yang mengandung muatan matematika saat guru menggunakan pendekatan Pendidikan STEM terintegrasi. Studi terbaru juga menunjukkan bahwa siswa-siswa memperoleh performa lebih baik pada penilaian *post-test* dengan materi yang mengandung muatan matematika dan adanya kenaikan skor sikap pada STEM ketika mereka terlibat dalam aktivitas yang mencakup desain rekayasa solusi prototipe menggunakan teknologi pencetakan 3D.

#### **Tali Katrol: *community of practice***

Konsep pembelajaran sebagai sebuah aktivitas tidak hanya memperkuat konteks pembelajaran, tetapi juga aspek sosial dari pembelajaran. Pendidikan STEM yang terintegrasi dapat membuat sebuah platform ideal yang dicampurkan dengan teori-teori pembelajaran tambahan dengan menyediakan sebuah komunitas praktis (*community of practice*) melalui wacana sosial. *community of practice* menyediakan peluang untuk melibatkan komunitas ahli lokal sebagai rekanan STEM misalnya ilmuwan, insinyur, dan teknokrat yang dapat membantu untuk fokus belajar dalam konteks penerapan STEM di aplikasi yang nyata terlepas dari pendekatan pedagogik.

#### **Computational Thinking**

NGSS (*Next Generation Science Standards*) menyatakan penggunaan matematika dan *computational thinking* (NGSS States, 2013):

*“Although there are differences in how mathematics and computational thinking are applied in science and in engineering, mathematics often brings these two fields together by enabling engineers to apply the mathematical form of scientific theories and by enabling scientists to use powerful information technologies designed by engineers. Both kinds of professionals can thereby accomplish investigations and analyses and build complex models, which might otherwise be out of the question.”* (NRC Framework, 2012, p. 65)

Siswa-siswa diharapkan menggunakan matematika untuk merepresentasikan variabel-variabel fisik dan relasinya, dan juga untuk membuat prediksi secara kuantitatif. Aplikasi lain dari matematika di dalam *science* dan *engineering* mencakup logika, geometri, dan di tingkat yang lebih tinggi yaitu kalkulus. Alat bantu digital dan komputer dapat meningkatkan potensi matematika dengan mengotomasi perhitungan, memperkirakan solusi-solusi kepada masalah-masalah yang tidak dapat dihitung secara tepat, menganalisa ketersediaan data yang besar untuk mengidentifikasi arti pola-pola di dalamnya. Siswa-siswa juga diharapkan menggunakan laboratorium yang dikoneksikan ke komputer untuk melakukan pengamatan, pengukuran, perekaman, pemrosesan data. Siswa-siswa juga diharapkan melibatkan *computational thinking* mencakup strategi-strategi dalam mengorganisasikan dan mencari data, menyusun algoritma, menggunakan

dan mengembangkan simulasi kepada sistem yang ada di alam dan sistem yang dirancang.

Matematika dan *computational thinking* didefinisikan oleh (NGSS States, 2013) untuk kelas 6-8 pada K-5 terutama mengidentifikasi pola-pola pada data yang berukuran besar dan menggunakan konsep matematika untuk mendukung penjelasan dan argumen sebagai berikut:

- Menggunakan alat bantu digital (misalnya komputer) untuk menganalisa data yang berukuran sangat besar yang diterapkan dalam melihat pola dan tren;
- Menggunakan representasi matematika untuk mendeskripsikan dan atau mendukung kesimpulan ilmiah dan mendesain solusinya;
- Membuat algoritma untuk memecahkan masalah;
- Menerapkan konsep-konsep dan atau proses-proses matematika (misalnya rasio, tarif, persentase, operasi dasar, dan aljabar sederhana) kepada pertanyaan-pertanyaan dan permasalahan-permasalahan ilmiah dan rekayasa;
- Menggunakan alat bantu digital dan atau konsep-konsep dan argumen-argumen matematika untuk menguji dan membandingkan solusi-solusi yang diajukan kepada permasalahan desain rekayasa.

### **IEEE Pre-University education**

Organisasi IEEE terdepan dalam pendidikan teknik dan teknologi, menyediakan sumber daya untuk *pre-university*, universitas, dan pendidikan profesional berkelanjutan. IEEE menawarkan program pendidikan dan pengakuan STEM dan universitas yang inovatif untuk siswa dan guru, memfasilitasi akreditasi program teknik di tingkat universitas, dan menawarkan pendidikan profesional berkelanjutan yang berkelanjutan untuk praktisi dan fakultas teknik melalui platform seperti IEEE *Learning Network* (ILN).

IEEE dan IEEE EAB (*Educational Activities Board*) membentuk IEEE *Pre-University education* berkomitmen untuk menyediakan sumber daya pendidikan tingkat *pre-university* yang berkualitas bagi guru, orang tua, siswa, sukarelawan IEEE, dan masyarakat umum seperti TryEngineering dan STEM Portal. (EAB-IEEE, 2022)

### **3. METODOLOGI**

(Weintrop et al., 2016) mengembangkan taksonomi *computational thinking* di dalam matematika dan sains (lihat gambar 3). Taksonomi ini terdiri dari empat kategori utama yaitu *data practices*, *modeling and simulation practices*, *computational problem solving practices*, and *systems thinking practices*. Kategori masing-masing dibagi lagi menjadi lima sampai tujuh penerapan praktis. Meskipun kategori diilustrasikan terpisah, secara praktis antar kategori sangat berkaitan dan saling ketergantungan.

Data Practices	Modeling & Simulation Practices	Computational Problem Solving Practices	Systems Thinking Practices
Collecting Data	Using Computational Models to Understand a Concept	Preparing Problems for Computational Solutions	Investigating a Complex System as a Whole
Creating Data	Using Computational Models to Find and Test Solutions	Programming	Understanding the Relationships within a System
Manipulating Data	Assessing Computational Models	Choosing Effective Computational Tools	Thinking in Levels
Analyzing Data	Designing Computational Models	Assessing Different Approaches/Solutions to a Problem	Communicating Information about a System
Visualizing Data	Constructing Computational Models	Developing Modular Computational Solutions	Defining Systems and Managing Complexity
		Creating Computational Abstractions	
		Troubleshooting and Debugging	

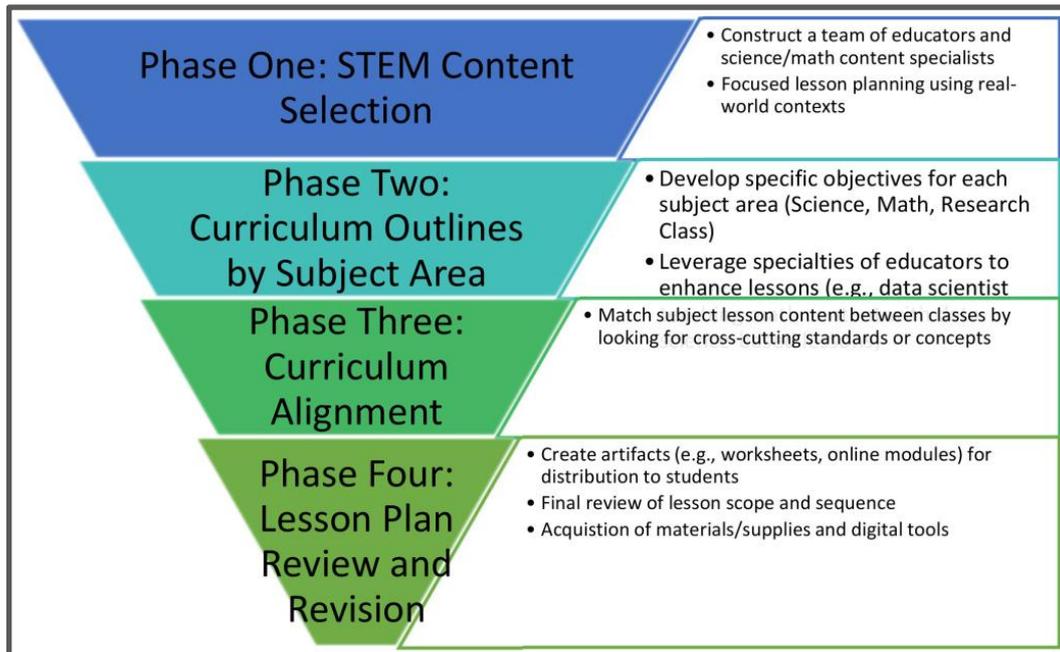
Gambar 3 Taksonomi *Computational Thinking* (Weintrop, Beheshti, Horn, Orton, Jona, Trouille, and Wilensky, 2016)

Studi ini mengadaptasikan taksonomi *computational thinking* dari (Weintrop et al., 2016) dan fase perencanaan pembelajaran dari (Gilchrist et al., 2021).

#### 4. IMPLEMENTASI

Gambar 4 mengilustrasikan empat fase perencanaan pembelajaran STEM. Fase pertama fokus kepada seleksi konten STEM yaitu *physical computing*. Inisiatif yang diarahkan mendukung program IEEE Pre-University. Aktivitas selanjutnya mengkonstruksikan tim guru dan spesialis konten matematika dan sains. Perencanaan pembelajaran sebagai alternatif mengadopsi dari IEEE Tryengineering dalam konteks pemecahan masalah di masyarakat.

Fase kedua adalah mendesain kurikulum. Tim guru dan instruktur IEEE Pre-University menyediakan area-area subyek. Diskusi fokus kepada tujuan spesifik dari aktivitas yang diajukan, keselarasan antara aktivitas dan tema, dan cakupan aktivitas. Instruktur IEEE Pre-University mengajukan konten dan aktivitas yang akan memperkenalkan siswa kepada *physical computing*, sensor, development board, dan perangkat lunak IDE.



Gambar 4 Fase perencanaan pembelajaran STEM (Gilchrist, Alexander, Green, Sanders, Hooker, and Reif, 2021)

Fase ketiga adalah penyelarasan kurikulum. Pertemuan diadakan antara guru dan instruktur untuk menjawab cakupan kurikulum yang dikaitkan dengan *science, technology, engineering, dan mathematics*. Materi pembelajaran perlu diselaraskan dengan standard dan konsep.

Fase keempat melaksanakan kajian terhadap pelajaran dan aktivitas. Pada fase ini guru dan instruktur menguji pelajaran dan seluruh aktivitas, meminta umpan balik, dan melakukan revisi dan dilanjutkan dengan kajian final sampai seluruh pelajaran dan aktivitas dinilai telah mencukupi.

### **Physical computing dari perspektif pendidikan ilmu komputer**

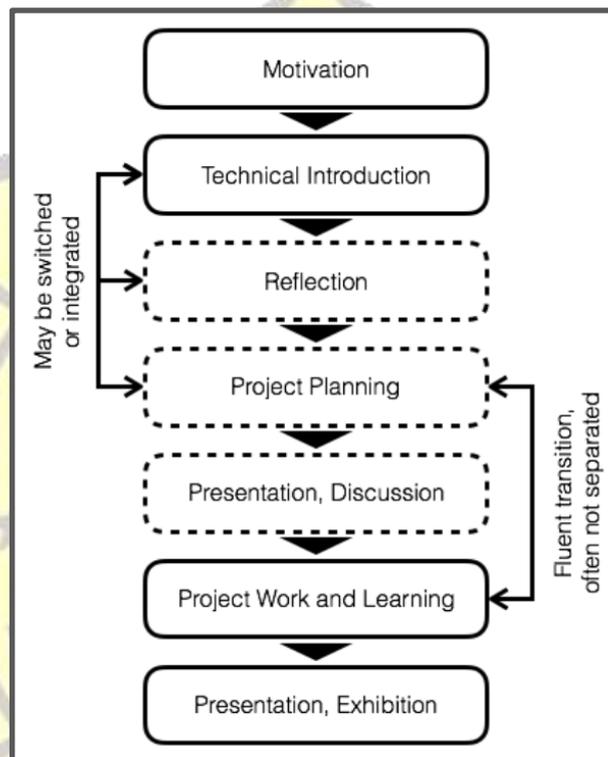
Dalam penerapan di sekolah (Przybylla and Romeike, 2017) mendefinisikan *physical computing* sebagai desain kreatif dan realisasi dari sistem-sistem atau objek-objek interaktif nyata yang diprogram. Media berkomunikasi dengan lingkungan menggunakan sensor dan aktuator.

Proses dalam konteks *physical computing* menekankan kepada desain yang dikaitkan kepada aspek-aspek *physical computing*. (Rusk et al., 2008) menunjukkan keberhasilan memperluas partisipan dalam memperkenalkan teknologi robot. Terdapat empat strategi yang terbukti berhasil menarik beragam partisipan yaitu fokus kepada tema, mengkombinasikan seni dan rekayasa, melengkapi *storytelling*, dan menyelenggarakan pameran dibandingkan perlombaan. Proses workshop memiliki struktur berikut:

1. **Setup:** panitia workshop mempersiapkan peralatan dan material
2. **Introduction and inspiration:** tema workshop, contoh proyek, dan memperkenalkan dasar-dasar pemrograman proyek

3. **Creating:** partisipan melakukan brainstorming ide-ide, mengeksplorasi materi, membentuk kelompok, dan merealisasikan proyek; instruktur workshop memberikan petunjuk dalam merangkai dan memprogram robot
4. **Sharing and Reflection:** Proyek dipresentasikan dan didokumentasikan; partisipan merefleksikan pengalaman mereka; masalah-masalah yang mereka harus selesaikan dan solusi-solusi yang mereka temukan.

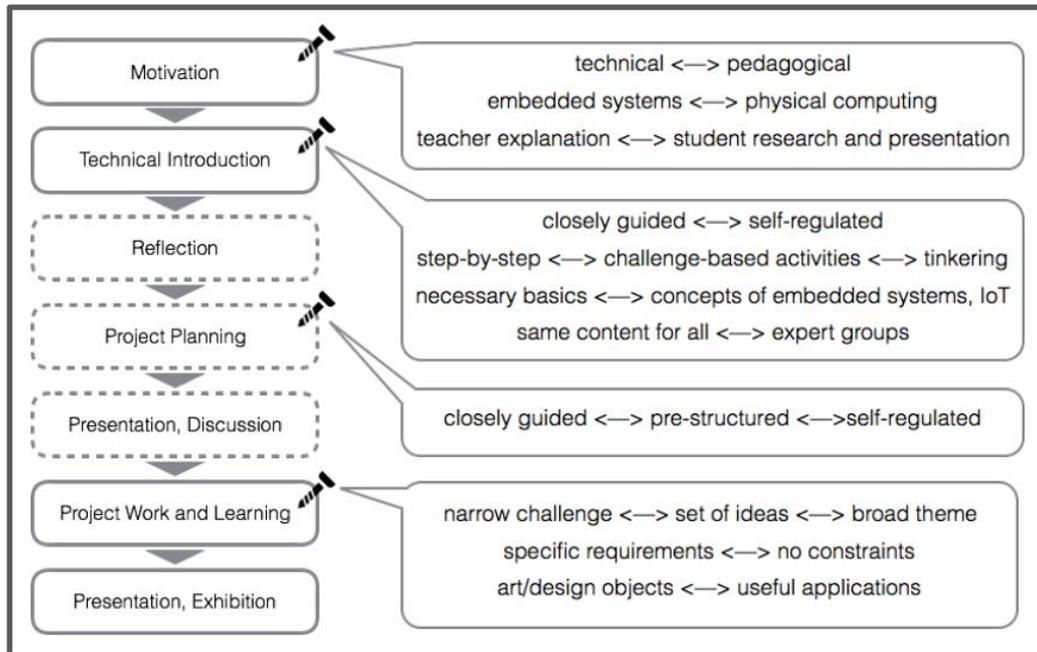
(Przybylla and Romeike, 2017) merangkum dan mengilustrasikan proses yang khas pada proyek-proyek *physical computing* yang diselenggarakan di sekolah (gambar 5) dan dimensi-dimensi pengaturan proyek-proyek (gambar 6).



Gambar 5 Proses khas dari proyek-proyek *physical computing* di sekolah (Przybylla and Romeike, 2017)

Garis putus-putus mengindikasikan frekuensi pemunculan proses yang rendah. Dimensi-dimensi pengaturan pada proyek-proyek *physical computing* diperlukan ketika proses diorganisasikan secara berbeda bergantung kepada kebutuhan individu dan situasi yang berbeda, mengidentifikasi komponen-komponen yang harus ada pada seluruh implementasinya.

Bagian “adjustment screws” memungkinkan guru-guru dapat mengubah urutan untuk mengadaptasikan proses yang mereka butuhkan. Misalnya bagaimana struktur aktivitas pembelajarannya atau bagaimana menyediakan materi pembelajaran yang cocok.



Gambar 6 Dimensi-dimensi pengaturan pada proyek-proyek *physical computing* di sekolah (Przybylla and Romeike, 2017)

## 5. KESIMPULAN

Studi ini menghasilkan desain dari fase perencanaan sampai rencana implementasi integrasi STEM yang sesuai diterapkan pada tingkat sekolah menengah atas dan vokasi. Pembelajaran fokus kepada *physical computing* dan mengadaptasikan taksonomi *computational thinking* di dalam matematika dan sains yang dikordinasikan dengan program IEEE Pre-University dalam mempersiapkan siswa melaksanakan studi lanjut ke universitas dan kemampuan bersaing dalam kompetisi global.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Gilchrist, P.O., Alexander, A.B., Green, A.J., Sanders, F.E., Hooker, A.Q., Reif, D.M., 2021, ***Development of a pandemic awareness stem outreach curriculum: Utilizing a computational thinking taxonomy framework***, Educ Sci (Basel) 11. <https://doi.org/10.3390/educsci11030109>
2. EAB-IEEE, 2022, ***IEEE Pre-University Education [WWW Document]***. URL <https://www.ieee.org/education/preuniversity/index.html> (accessed 1.29.22).
3. Kelley, T.R., Knowles, J.G., 2016, ***A Conceptual Framework for Integrated STEM Education***, Int J STEM Educ. <https://doi.org/10.1186/s40594-016-0046-z>
4. Kennedy, T.J., Odell, M.R.L., 2014, ***Engaging Students In STEM Education***, Science Education International 25, 246–258.
5. Markus, S., 2019, ***Indonesia: The Programme for International Student Assessment (PISA)***, Results from PISA 2018.
6. NGSS States, 2013, ***APPENDIX F– Science and Engineering Practices in the NGSS***, Washington DC.
7. Nugroho, O.F., Permanasari, A., Firman, H., Riandi, R., 2021, ***The Importance of Stem Based Education in Indonesia Curriculum. Pedagonal*** : Jurnal Ilmiah Pendidikan 5, 56–61. <https://doi.org/10.33751/pedagonal.v5i2.3779>

8. PISA - OECD [WWW Document], 2019, **URL** <https://www.oecd.org/pisa/> (accessed 1.26.22).
9. Przybylla, M., Romeike, R., 2017, ***The Nature Of Physical Computing In Schools Findings From Three Years Of Practical Experience***, in: ACM International Conference Proceeding Series. Association for Computing Machinery, pp. 98–107. <https://doi.org/10.1145/3141880.3141889>
10. Rusk, N., Resnick, M., Berg, R., Pezalla-Granlund, M., 2008, ***New Pathways into Robotics: Strategies for Broadening Participation***, J Sci Educ Technol 1–10.
11. Weintrop, D., Beheshti, E., Horn, M., Orton, K., Kemi, J., Trouille, L., Wilensky, U., 2016, ***Defining Computational Thinking for Mathematics and Science Classrooms***, J Sci Educ Technol 127–147. <https://doi.org/10.1007/s10956-015-9581-5>

