

## AKTIVITAS PENDIDIKAN ENJINIRING BERJENJANG UNTUK ANAK

**Stefanus Kuswargono**

Yayasan iSee, Jalan Aru No: 793, RT 04, RW 07, Pinggirejo, Wates,  
Magelang Utara, Kota Magelang, Indonesia  
korespondensi: [stefkawe.terangi@gmail.com](mailto:stefkawe.terangi@gmail.com)

### Abstrak

Integrasi **STEM** (Science, Technology, Engineering, and Mathematics) telah ditetapkan PBB (Perserikatan Bangsa Bangsa) sebagai prioritas utama promosi pendidikan berkualitas dalam SDGs (Sustainable Development Goals). Makalah ini fokus untuk riset penerapan STEM, pada domain pendidikan injiniring (PE) berjenjang SD – SMP, di MTs Al Barokah Robotika, September 2022–Desember 2023. PE bertujuan melatih menemukan kebaruan pada produk teknologi baru dengan cara menerapkan sains, matematika, humaniora demi kebaikan hidup manusia. PE lebih membangun pendidikan teknologi, bukan melulu teknologi pendidikan. Menggunakan metode “Tinkering for Learning (TfL)” – “3D Mechanical Puzzle” dalam dinamika –imajiniring –materianiring –dimensioniring –mosieniring –gadgetiring. Dengan proses desain injiniring (DE) untuk sintesis metakognitif, dan pengalaman interaksi praktik injiniring (PIPE) untuk sinestetik sensomotorik. Riset secara holistik meningkatkan peran anak sebagai: –user –tester –informant –design partner, –animator teknologi. Juga untuk menilai kemanjurannya guna menyemai para calon injinir yang mampu berpikir rasional, bekerja rasional, sikap budi mandraguna. Hasilnya: 1) Anak mampu berpikir injiniring, bekerja injiniring dalam perbedaan tim; 2) Anak siap menjadi injinir. Juga membuka ruang kreativitas baru dalam budaya membuat teknologi sebagai diskusi lanjutan, mendobrak budaya konsumsi teknologi.

**Kata kunci:** DE, PE, pendidikan teknologi, PIPE, teknologi pendidikan

## *TIERED ENGINEERING EDUCATIONAL ACTIVITIES FOR CHILDREN*

**Stefanus Kuswargono\***

*iSee Foundation, Indonesia*

\*correspondence: [stefkawe.terangi@gmail.com](mailto:stefkawe.terangi@gmail.com)

### *Abstract*

*STEM integration has been designated by the UN as a main priority for promoting quality education in the SDGs. This paper focuses on research for the application of STEM, in the domain of engineering education (EE) at elementary – middle school levels, at MTs Al Barokah Robotika, September 2022–December 2023. EE aims to train to discover novelty in new technological products by applying science, mathematics, humanities for the sake of goodness of human life. EE builds more on technology education, not just educational technology. Using the "Tinkering for Learning" method – "3D Mechanical Puzzle" in dynamics – imagineering – materianeering – dimensioneering – motioneering – gadgeteering. With engineering design (ED) processes for metacognitive synthesis, and engineering practice interaction experiences (EPIE) for sensorimotor synesthesia. Holistic research increases the role of children as: – user – tester – informant – design partner, – technology animator. Also to assess its efficacy in cultivating prospective engineers who are able to think rationally, work rationally, budi mandraguna's attitude. The results: 1) Children are able to think engineering, work engineering in different teams; 2) Children are ready to become engineers. It also opens up*

*new creative space in the culture of making technology a further discussion, breaking the culture of technology consumption.*

**Keywords:** *ED, educational technology, EE, EPIE, technology education*

## **Pendahuluan**

### **Latar belakang**

Pendekatan **STEM** terintegrasi telah ditetapkan **PBB** sebagai 4 kerangka utama untuk prioritas pendidikan berkualitas di antara 17 tujuan dan 169 target inisiatif **SDGs** lainnya (Jamali et al., (2022); Nguyen et al., (2020)). Diluncurkan pada tahun 2015 untuk mempromosikan peran pendidikan berkualitas di masa depan. Integrasi **STEM**, terutama bidang *sains, teknologi, dan matematika* telah banyak dikaji kalangan pendidikan Indonesia, namun bidang *enjiniring*, masih terabaikan keberadaannya. Ada kesalahan *persepsi awal tentang enjiniring* di kalangan pendidikan **SD – SMP** untuk segera diperbaiki, bahwa *enjiniring itu sulit*. Mengingat di kancah global, **PE** gencar dikaji penerapannya. **PE** menjadi salah satu pilar penting yang menjanjikan untuk menggelar pembangunan berkelanjutan guna meningkatkan kualitas pendidikan. Masalah ini akan menjadi perhatian penulis, dengan makalah ini untuk mengkaji aktivitas **PE** dalam arus aliran aplikatifnya.

Apa yang harus kita lakukan sekarang, memanfaatkan bidang *enjiniring* untuk menata pendidikan kita agar menjadi lebih baik?

### **Membangkitkan inovasi “team teaching” untuk penerapan PE**

Para guru mengkritisi kurikulum karena muatan tematik memaksanya untuk mengajarkan pelajaran secara holistik. Mereka perlu mengintegrasikan semua mapel ke dalam 1 pelajaran untuk mencapai kompetensi inti kepada siswanya. “*Padahal, jawaban atas metodologi apa yang terbaik untuk mencapai tujuan kurikulum belum banyak kita pelajari?*” (Suwarna, 2019). Sontak penulis mikir terinspirasi pengalaman sendiri sewaktu bekerja di industri yang sudah terbiasa dengan *enjiniring*. Untuk disemai ke dalam integrasi **STEM** memberi kerangka konstruksi lintas disiplin ilmu yang membutuhkan “*team teaching*”. Padu bersama dalam kesetaraan antar peran guru mapel di dalamnya berbagi tugas membangun sinergi menggerakkan kinerjanya.

Penerapan integrasi **STEM**, sebagai cara belajar mengalirkan konsep akademik yang ketat digabungkan dengan masalah dunia nyata (Samsudin et al., 2020). Pendidikan **STEM** memberi manfaat belajar siswa karena dapat meng-eksplorasi kreativitas untuk memecahkan suatu masalah melalui beberapa disiplin ilmu (Suratno et al., 2020). Utamanya pusingan sentral gerak *ilmu enjiniring*. Selaras dengan inisiatif **SDGs**, prioritas integrasi **STEM** sungguh signifikan untuk memperbaiki *persepsi tentang enjiniring*. Tonggak penting dalam menciptakan warga negara yang dibutuhkan di era kini, karena abad 21 adalah *abad enjiniring*, keniscayaan untuk dikembangkan oleh para guru.

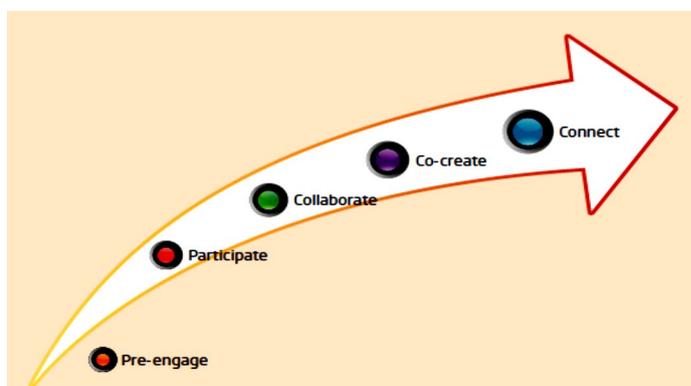
Penulis sebagai *enjinir praktisi, pegiat PE* terlibat di beberapa aktivitas sosial dalam forum “*sesrawungan*” dan komunitas “*seni budaya*”, untuk melakukan publikasi penerapan **PE**. Bekerja sama dengan *yayasan Al Barokah*, yang mendukung dana untuk menggarap riset ini. Bidang *enjiniring* menggambarkan dasar-dasar pengembangan anak-anak dalam mengenal kemajuan kecanggihan teknologi, mengharuskan lebih fokus pada *penelitian secara kualitatif* akan peran pentingnya. Pengembangan profesional **PE** diperlukan untuk langkah membangun asumsi bahwa, kepemimpinan dibutuhkan untuk tujuan kans perubahan yang efektif dan bermanfaat serta responsif. Kebutuhan perbaikan *persepsi tentang enjiniring* jadi penekanan dengan berkreasi bersama dalam “*team teaching*” agar dapat dicapai. Memperbaiki *persepsi tentang enjiniring* secara mandiri menggunakan –kan rasa ingin tahu *pedagogisnya*,

sekaligus guru menemukan kembali cara menanggapi nilai–nilai dan filosofi *kegiatan belajar mengajarnya (KBM)* untuk mempengaruhi keberhasilan dalam praktik kelas. Mendefinisikan *PE* sendiri untuk menciptakan sesuatu yang baru, dari metode atau proses *enjiniring*. *KBM enjiniring* menjadi medan pendekatan yang berisiko dan berani untuk diambil dalam iklim pengembangan pendidikan saat ini. Selama riset yang menantang ini, *upaya intelektual* penulis disertai spirit kerja keras bereksperimen membangun budaya perubahan integrasi **STEM** dengan pendekatan baru dalam gugusan optimisme *ilmiah KBM PE* dapat terwujud nyata.

*KBM PE* yang dirancang untuk penelitian secara kualitatif ini dalam lintasan pengembangan kepemimpinan penulis yang berperan sebagai figur “*caregiver*” (*pengasuh*) (Simpson et al., 2021) dalam model pengembangan 5 tahap dengan istilah ToPD (*Trajectory of Professional Development*) (Bianchi, 2018). Aspek yang harus dilalui seorang guru atas keterlibatannya dalam penerapan *PE*, diilustrasikan pada gambar 1 dan tabel 1.

Inkubasi yang dirancang penulis dengan *trajektori “TfL” (pembelajaran mengutak–atik)* menggunakan *metafora “3D Mechanical Puzzle”* persiapan –“*pre–engage*” ke fase –“*participate*” dan –“*co–creation*” *DE* pada tingkat kolaborasi dan kreasi *mekanisme – imajiniring –materianiring –dimensioniring –mosieniring –gadgetiring*. Tumbuh menyemai –“*collaborate*” terus mengalir ke fase *PIPE*. Hingga –“*connect*” terhubung ke sepanjang lintasan bergerak ke atas menuju guru dalam perannya menjadi pemimpin dan pemberi imbas *PE*. Bersamaan dengan riset, penulis juga melatih *para volunteer* dengan target membangun “*team teaching*”, terdiri dari 1 orang *sosiolog*, 1 orang *praktisi IT*, dan 5 mahasiswa dari *UNTIDAR*, 2 orang *prodi matematika*, 3 orang *prodi teknik mesin*, 1 orang dari *UNY prodi kurikulum*, dan 1 orang dari *UNS prodi arsitektur* yang dilatih dalam aliran aktivitas ToPD. *Para volunteer* dihadapkan pada pengembangan profesional yang dirancang memasuki kreasi bersama dalam arus ToPD. Ditawari kesempatan tidak hanya untuk menanggapi reformasi *persepsi tentang enjiniring* orang lain, tetapi untuk mendefinisikan *elan profesionalitas* mereka sendiri sebelum menyebarkannya kepada orang lain. Mereka telah tertantang merangkai kegigihan menjadi pencipta pengetahuan membangun *persepsi tentang enjiniring* gegap memasuki tonggak pembelajaran baru *KBM PE*.

Figur penulis yang harus melakukan *metamorfosis diri* sebagai “*caregiver*” untuk mengembangkan peran majemuk guru dalam mengasuh anak melalui *PE*. Peran ini dapat menavigasi distribusi *persepsi tentang enjiniring* dalam membingkai optimalisasi konstruksi struktural dan fungsional “*team teaching*”. Mengingat peran ini lebih menekankan *memorabilia*, daripada *memorisasi* dalam *banking systems*.



**Gambar 1** – Sebuah model lintasan pengembangan profesionalitas kepemimpinan guru

*(ToPD – Trajectory of Professional Development)*Tabel 1. Kategori peran guru sebagai *caregiver* dalam *team teaching*

<b>Peran</b>	<b>Deskripsi</b>
Kolaborator	: Pengalaman berbagi belajar – berlatih bersama membahas/ diskusi/mendengarkan proses <i>imajiniring</i> ( <i>sains</i> ), penggunaan <i>materianiring</i> ( <i>fisika, kimia</i> ) yang sedang berlangsung. Pengasuh mungkin atau tidak mungkin lebih banyak tahu tentang <i>DE</i> dan bisa tentang <i>PIPE</i> daripada anak. Keseimbangan kekuatan.
Guru	: Mengajarkan <i>imajiniring</i> dan menginstruksikan anak untuk latihan <i>gadgetiring</i> melakukan sesuatu. Pengasuh memiliki lebih banyak pengetahuan tentang <i>DE</i> dan keterampilan dalam <i>PIPE</i> daripada anak. Menularkan keahlian kepada anak.
Perantara Sosial	: <i>Andragogi</i> mendorong dan memediasi interaksi sosial anak dengan <i>tokoh, enjinir</i> di masyarakat dalam suasana arus komunikasi massa ( <i>misal: UMKM kreatif</i> ).
Kolaborator Paralel:	Berbagi pengalaman belajar <i>DE</i> tetapi dalam arti bahwa mereka menyumbangkan ide secara paralel satu sama lain seperti menuliskan solusi secara individu atau mengerjakan dua bagian proyek proses <i>dimensioniring</i> ( <i>matematika, seni, humaniora</i> ), <i>mosieniring</i> ( <i>fisika mekanika, humaniora</i> ) menuju tujuan yang sama.
Fasilitator/ Penyedia:	Mendukung penempatan anak sebagai <i>lead engineer</i> . Memberikan uluran tangan. Memfasilitasi waktu anak untuk belajar dan latihan memberi arahan kepada teman 1 tim sebagai lawan <i>caregiver</i> memberikan arahan kepada anak sebagai manajer proyek. Mendengarkan anak dan mencatat.
Perantara Belajar	: Mendorong komunikasi dengan orang lain ( <i>misalnya, pengasuh, enjinir, peneliti</i> ) menggunakan sumber informasi lainnya. Mencari peluang belajar untuk anak demi membangun jaringan dengan para pakar ilmu, ahli di industri, baik mencari secara <i>luring</i> maupun <i>daring</i> di Internet.
Penyedia Sumber Daya/Material	: Mencari menyediakan sumber daya <i>imajiniring, materianiring, gadgetiring</i> anak untuk mendukung proyek.
Manajer proyek	: Memastikan bahwa setiap anggota tim mengetahui dan menjalankan perannya berproses <i>imajiniring, materianiring, dimensioniring, mosieniring, gadgetiring</i> , merasa diberdayakan, didukung perannya dalam <i>DE</i> dan <i>PIPE</i> . Mengetahui kemampuan fisik, psikis anak untuk bertindak berdasarkan keyakinan bahwa peran tersebut akan dilakukan. Mendorong kemajuan proyek berdasarkan <i>sinergi</i> dan <i>kinerja</i> organisasi.

Enjinir :	Kualitas	Memastikan bahwa proses <i>imajiniring-gadgetiring</i> dilakukan dengan benar menggunakan alat, bahan, urutan operasi yang tepat sesuai <i>desain teknis</i> dan <i>artistik</i> .
Enjinir Utama :		Pengasuh adalah orang yang memegang kendali baik secara langsung maupun tidak langsung. Sekalipun adanya keterbatasan akses ke sumber daya, materi, ide, dll.
Pengamat :		Bukan bagian dari interaksi secara langsung melalui bentuk-bentuk keterlibatan verbal, melainkan jadi figur pasif pengamat, pendengar yang diam. Jelas bahwa perhatian diarahkan pada interaksi bahasa tubuh, misalnya: <i>anggukan kepala, gerak bahu</i> .
Orang luar :		Bukan bagian dari interaksi, tetapi duduk/berdiri di pinggiran (secara harfiah atau kiasan). <i>Andragogi</i> berjalan, sekalipun figur orang tua mungkin melakukan sesuatu yang sama sekali berbeda sambil duduk ketika diskusi <i>DE</i> , dan berdiri ketika proses <i>PIPE</i> berjalan untuk berada di dekatnya.

Dengan pola *–trajektori –metafora –mekanisme* pembelajaran *PE* seperti gambar 1 dikutip untuk diterapkan penulis, ditawarkan kepada pengurus yayasan *Al Barokah*. Dalam upaya membawa *enjiniring* lebih bersifat *sadar sosial* dan *inklusif* (Kramer, 2022) dapat memberi gambaran kepada para guru *MTs Al Barokah Robotika* dalam keterlibatannya memajukan *PE*. Dalam kasus terbaik telah ditunjukkan bahwa, seorang guru dituntut merangkul perkembangan *persepsi tentang enjiniring* mereka sendiri di sepanjang lintasan *ToPD*. *KBM PE* dapat berkembang membantu penyempurnaan pengambilan risiko eksperimen dengan konteks sekolah, yang didukung yayasan, untuk praktik reflektif pendekatan pembelajaran dengan sukses mencapai hasil positif belajar *PE*. Tahap-tahap “*penting*” ini memandu refleksi tentang pengembangan profesional para guru untuk mendukung tawaran “*pengembangan yang tepat, untuk guru yang tepat, pada waktu yang tepat, dan konteks yang tepat*”.

Bagan gambar 1 di atas menavigasi aliran proses *PE* yang berpuncak pada peran sentral guru dalam *persepsi tentang enjiniring* dengan memahami keunikan disiplin *enjiniring* meracik memanfaatkan *sains, matematika, dan humaniora*. Adanya *faktor-faktor* yang dapat membentuk sinergi untuk membangun kinerja lintas disiplinnya dalam integrasi *STEM*.

### ***Membangklai inovasi “derajat ilmiah enjiniring” keluar dari saintifik***

Menanggapi pengantar dari *Seminar Nasional “Pendidikan Masa Depan” USDB*, dalam konsep *MULTIVERSITAS* menjadi jawaban atas kegelisahan penulis selama ini dari *ide-ide* tentang *makhluk UFO (Unidentified Flying Object)*. Yang tidak akan dapat kita temukan misterinya dari penjelasan secara *saintifik ortodoks*. Adem penulis membaca pengantar itu, membuka ruang baru kreativitas di luar konsep *UNIVERSITAS* yang sangat kental hegemoni *saintifik*. *Multiversitas* akan membawa kepada keyakinan baru adanya kebenaran lain di luar *sains*. Dalam konteks makalah ini, penulis mengulik kebenaran lain terkait *persepsi tentang enjiniring* dari beberapa teks *filosof enjiniring* pada rangkaian seminar “*Philosophy of Engineering Volume 1 of the Proceedings of a Series of Seminars Held at The Royal Academy of Engineering*”, yang memberi ruang akan adanya kebenaran *enjiniring spesifik*. Sekalipun tidak menutup nalar, bahwa *kebenaran khas enjinirisifik (enjiniring spesifik)* tetap akan

bersinerji dengan *saintifik*. Namun *enjinirisifik* masih memerlukan kerja keras *para enjinir* untuk membangun otonominya di luar *saintifik*.

Romo Sastrapratedja menyatakan “*Sains adalah Seperangkat Bahasa atau Peta Untuk Memahami Secara Kritis Realitas Yang Kompleks*”. Penulis merenung –kan terus refleksi ini atas kerumitan baik realitas IPA maupun IPS kontemporer. Realitas yang terang benderang untuk diterapkan ke dalam dinamika *PE*.

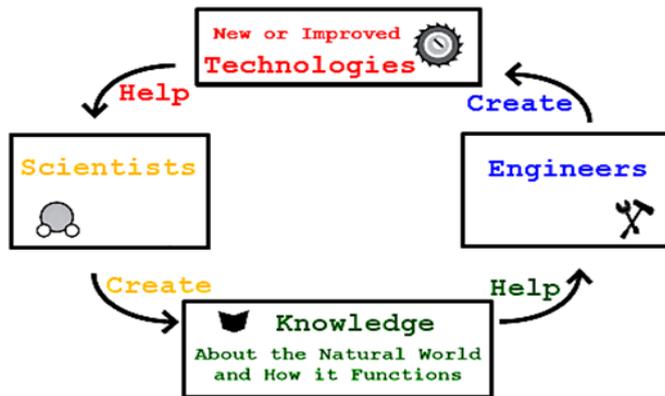
Realitas itu kemudian penulis sandingkan dengan definisi *enjiniring* dari Turnbull (*Royal Academy of Engineering, (2010)*): “*enjiniring* adalah ilmu yang memerlukan pemahaman proses penerapan untuk menyusun desain, membuat, membangun, menjalankan, berkelanjutan, mendaur ulang (*recycle*), menghentikan pemakaian (*retire*), segala sesuatu konten yang signifikan secara teknis untuk menetapkan tujuan; konsep, model produk, peralatan, proses, sistem, serta teknologi”. Tampak menjadi cakrawala *multiversitas* rona *enjiniring*.

Konseptualisasi definisi di atas, dikontekstualisasi kelayakan unsur–unsur *tujuan pedagogis*, dan penerapan *cara PE* ke dalam pendidikan Indonesia. Oleh penulis didefinisikan menjadi: “*PE* adalah *rangkaian proses dengan tujuan untuk belajar dan berlatih menemukan kebaruan pada sistem, proses, atau produk teknologi baru dengan cara–cara menerapkan sains, matematika, dan humaniora demi kehidupan manusia yang lebih baik*”. Menjadi pemantik *upaya intelektual* yang realistis.

Dari navigasi teks–teks *filsafat enjiniring* untuk membangun otonomi derajat ilmiah *enjiniring*, penulis menemukan perbedaannya dalam *persepsi tentang enjiniring*, yaitu pada –*cara* dan –*tujuan* yang berkebalikan. Proses *saintifik*, mutlak penggunaan –*cara* untuk menentukan –*tujuan* dari pencarian kebenaran *sains*. Dalam proses *enjinirisifik* kebalikannya, –*tujuan* memberi opsi –*cara* harus ditempuh untuk pencarian solusi masalah *enjiniring* yang terbaik. Dengan faktor keunikan disiplinnya dapat membentuk sinergi untuk saling membangun kinerja lintas disiplinnya. *Enjinirisifik* menjelmakan debut gugusan *mekanisme motorik* menalar [men]tubuhkan *kecerdasan* dalam mengilmiahkan *keterampilan*.

Tabel 2. Alur ilmiah Sains dan Alur ilmiah enjiniring

<i>Sains</i>	<i>Enjiniring</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Observasi</i> untuk merumuskan suatu pertanyaan <i>hipotesis</i>.</li> <li>• Melakukan <i>brainstorming</i> mengenai opsi <i>hipotesis</i> dan pilih satu.</li> <li>• <i>Riset</i> eksperimen untuk menguji <i>hipotesis</i>.</li> <li>• Melakukan bagaimana menjawab <i>hipotesis</i>, prediksi, dari eksperimen untuk mendukung atau menyangkal <i>hipotesis</i>.</li> <li>• Modifikasi <i>hipotesis</i> berdasarkan hasil.</li> <li>• Menarik kesimpulan untuk menjelaskan <i>hipotesis</i>.</li> <li>• Mengkomunikasikan temuan secara lisan dan tertulis.</li> <li>• <i>Observasi</i> keberlanjutan pertanyaan baru.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Memahami <i>analisis</i> suatu masalah.</li> <li>• Melakukan <i>brainwriting</i> mengenai <i>analisis</i> opsi solusi dan pilih satu.</li> <li>• Riset bagaimana solusi untuk <i>sintesis</i> menyelesaikan masalah <i>DE</i>.</li> <li>• Proses <i>PIPE</i> membuat dan menguji prototipe.</li> <li>• Merevisi <i>DE</i> solusi berdasarkan hasil pengujian terbaik.</li> <li>• <i>Phronesis</i> menyelesaikan <i>DE</i> dan membuat gambar kerja.</li> <li>• Mengkomunikasikan <i>DE</i> dalam kata–kata dan gambar.</li> <li>• <i>Analisis</i> keberlanjutan masalah baru.</li> </ul>



Gambar 2. Keterkaitan antara saintis – enjinir, (Smith, 2008)

**Meningkatkan penerapan PE dengan meningkatkan peran anak dalam KBM**

Dengan proses DE untuk sintesis metakognitif, dan PIPE untuk sinestetik sensomotorik. Riset secara holistik meningkatkan persepsi tentang enjiniring ke dalam peran anak sebagai: –user –tester –informant –design partner (Druin, 1999), –animator teknologi. Juga untuk menilai kemajuannya guna menyemai para calon enjinir yang mampu berpikir rasional, bekerja rasional, dan sikap budi mandraguna.

Titik pokok inilah yang harus kita perbuat untuk anak-anak Indonesia, reaksi akal sehat dalam persepsi tentang enjiniring, agar semuanya bermakna. Nilai-nilai PE anak bisa membangun kebajikan dalam upaya menyerderhanakan dari kompleksitasnya namun tetap tidak dangkal (“dumbing down”) demi cita-cita kita semua mengejar kecanggihan. Menjadi pemikiran ke dalam pandangan dari penerapan PE ke pemodelan sistem industri enjiniring, sistem sosio-teknis, dan sosio-kultural.

Tabel 3. Peran anak dalam Alur aliran enjinirisifik

Peran Anak	Dinamika Peran
User :	Menggunakan interaksi teknologi versi alat konvensional dan aplikasi berbasis komputer dalam sintesis metakognitif untuk belajar membangun kemampuan berpikir rasional.  Memfasilitasi anak-anak menyuarakan pendapat mereka ketika harus memutuskan teknologi apa yang harus ada di sekolah atau di rumah.
Tester :	Menguji interaksi teknologi versi conventional thinking melatih kemampuan bekerja rasional.  Mendukung anak-anak dengan cara yang berguna, efektif, bermakna bagi kebutuhannya.
Informant :	Menggunakan interaksi teknologi konvensional untuk mengasah sikap budi mandraguna dapat berdampak pada teknologi sejak awal proses DE.

Anak–anak bisa sangat jujur dalam umpan balik dan komentar mereka tentang teknologi, banyak dari apa yang mereka katakan perlu ditafsirkan dalam konteks pengalaman konkret oleh *para enjinir*.

*Design partner*

:

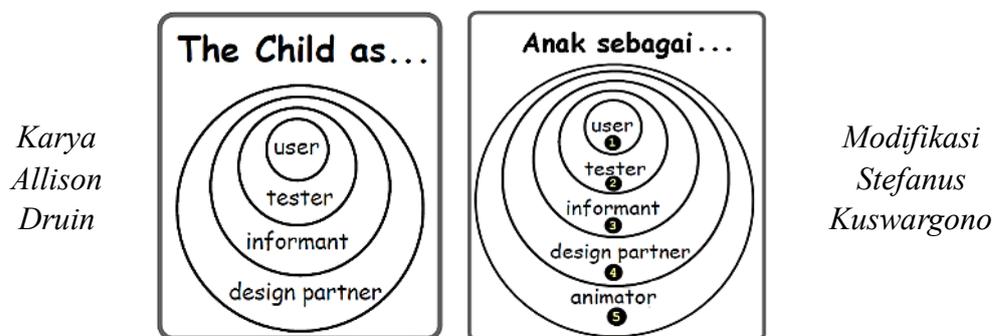
Proses *DE* dimulai bersama *caregiver* dengan *TfL* membongkar, mengukur, menggambar sket tangan bentuk struktur dan fungsional dari komponen *3D Mechanical Puzzle*.

Dari proses *DE* ke *PIPE* membuat – menguji prototipe, *berpikir rasional, bekerja rasional, sikap budi mandraguna*.

*Animator*

:

Anak mulai mampu mengembangkan interaksi pemanfaatan teknologi dan menggerakkan eksplorasi teknologi ke dalam dunia nyata.



**Gambar 3.** Lingkaran peningkatan peran anak dalam proses belajar – berlatih *enjiniring*

### Tujuan

Kurangnya pengenalan anak–anak SD – SMP kepada dunia nyata lewat *PE*, karena adanya kesalahan *persepsi tentang enjiniring* menjadi pokok riset ini. Peran penting *PE* bagi Indonesia akan dikembangkan penulis bekerja sama dengan *yayasan Al Barokah*. Dengan 3 langkah utama solusi perbaikan *persepsi tentang enjiniring* menjadi jalan terang publikasi yang telah digambarkan, yaitu: 1) *Menjaring para volunteer* untuk dilatih menjadi *figur “caregiver”* dalam *dinamika struktural dan fungsional “team teaching”*; 2) *Membangkitkan “enjinirisifik”*, untuk membangun inovasi *derajat ilmiah enjiniring* yang semakin penting perannya di abad 21 dalam susunan pendidikan untuk anak; 3) *Membangkitkan profil peran anak sebagai pembelajar PE*. Rangkaian penjelasannya menggambarkan fenomena *persepsi tentang enjiniring* dalam transformasi bidang *enjiniring* hingga kini di tingkat global, penulis sarikan ke dalam perencanaan riset di *MTs Al Barokah Robotika*. Dengan harapan membawa optimisme baru revolusi pendidikan SD–SMP selanjutnya demi kecemerlangan [ter]Indonesiakan –nya *PE Anak*. Diikuti juga jalinan *respondensi di kalangan pendidikan*, kerja sama dengan *dunia industri*, dan *birokrasi pemerintah*, serta publikasi ke *forum sesrawungan dan komunitas seni budaya* di sekitar *Jateng–DIY* menjadi langkah strategis pengembangan *PE* yang sudah tampak titik cerahnya. Penulis akan sebarkan kepada para guru demi *enjiniring* yang lebih *bersifat sosial dan inklusif* dapat tumbuh subur.

## Metode

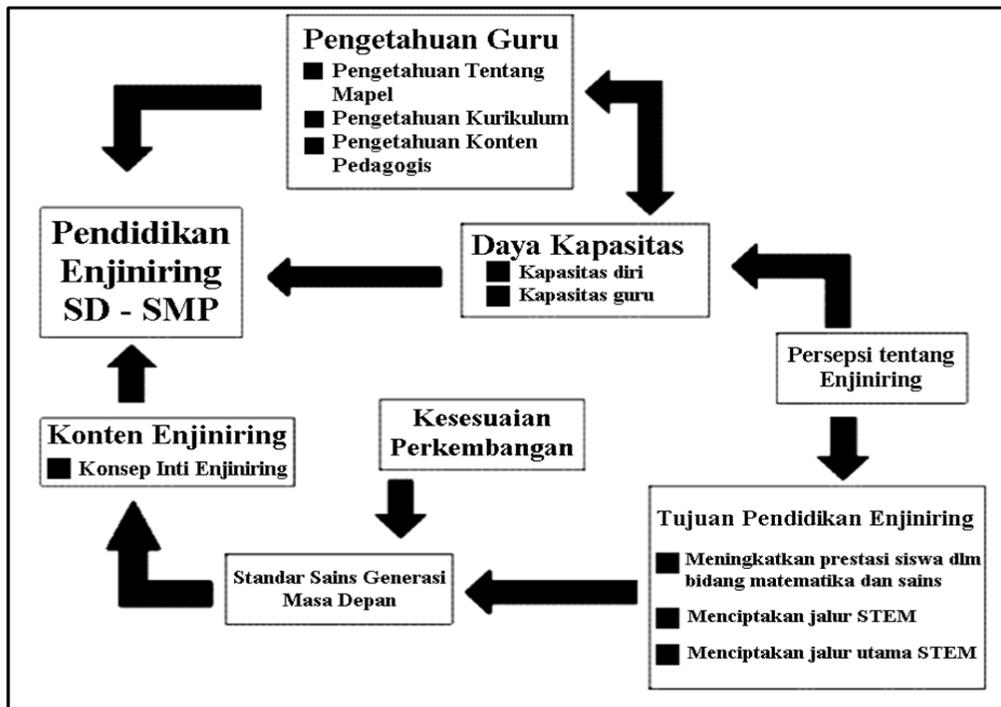
### *Analisis data penerapan PE di MTs Al Barokah Robotika*

Dimulai dari penulis (*latar belakang keahlian bidang enjiniring*) sebagai *caregiver* dalam peran “*Manajer Projek –Enjinir Utama –Kolaborator*” untuk melakukan tata kelola kegiatan riset ini.

Berdasarkan hasil wawancara dan *assesment* ke sekolah (*9 orang: kepek dan para guru*) selama 3 kali pertemuan (*1 kali pertemuan durasi 120 menit*) oleh Yayasan iSee bersama penulis diperoleh data–data sebagai berikut: 1) Kontribusi riset untuk memberi wawasan *enjiniring* di lingkungan *MTs Al Barokah Robotika* dengan *daya tarik jenama (branding) robotika* sebagai keunggulan *model KBM* untuk layanan *pendidikan MTs berbasis teknologi* bagi masyarakat; 2) Kontribusi riset untuk membantu menyusun struktur *keunggulan Kurikulum Robotika* menjadi sumber belajar bagi peserta didik sebagai *KBM* di lingkungan *MTs Al Barokah Robotika*; 3) Kontribusi yang harus dilakukan untuk mengoptimalkan dari beberapa insiatif pengembangan *robotika* secara serius baik yang datang dari *internal* yayasan maupun *eksternal MTs Al Barokah Robotika*.

Bagaimana ketiga hasil *assesment* dibingkai dalam dinamika *–homo scientia –homo practicus –homo luden* melalui “*TfL*” untuk anak?

Dari hasil *assesment* kemudian diproyeksikan terhadap standar proses *KBM PE* seperti skema gambar 4 (*Hammack, 2018*). Penulis menyusun *ATP (Alur dan Tujuan Pembelajaran) PE* untuk dinamika riset di *MTs Al Barokah Robotika* dengan sasaran pencapaian 2 komponen, untuk peserta didik (*lihat abstrak*) menjadi 6 indikator: 1) *Mampu melakukan cara berpikir enjiniring*; 2) *Mampu melakukan cara bekerja enjiniring*; 3) *Siap berlatih menjadi enjinir*; 4) *Bisa menerima perbedaan*; 5) *Bisa meningkatkan belajar hubungan antar pribadi untuk membangun tim kerja*; 6) *Bisa meningkatkan hubungan dengan lingkungannya*. Kemudian 6 indikator ini dibandingkan dengan tujuan *Profil Pelajar Pancasila Kurikulum Merdeka* pada dimensi: *keberagaman, kerja sama (bergotong–royong), kreatif, mandiri, dan bernalar kritis* yang dijalin ke dalam integrasi **STEM** difokuskan pada *persepsi awal enjiniring*.

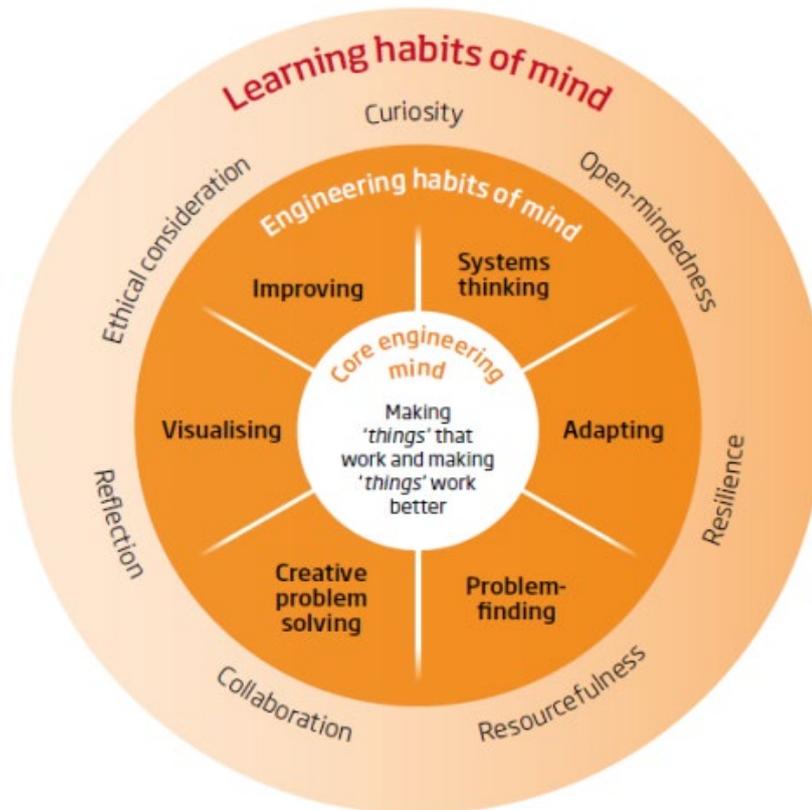


**Gambar 4 – Flowchart** faktor-faktor yang memengaruhi cara pengajaran enjiniring jenjang SD – SMP (Hammack, 2018)

Riset secara kualitatif menilai kemampuan penerapan *tujuan PE* untuk meningkatkan prestasi siswa dalam bidang *matematika* dan *sains* didasari dengan *persepsi tentang enjiniring* penting diperkenalkan kepada sistem pendidikan Indonesia. Peran guru sebagai *caregiver* yang menguasai pengetahuan *PE* dengan *daya kapasitas*, *persepsi tentang enjiniring* dan memahami *konsep inti enjiniring* untuk membangun kesesuaian perkembangan *standar sains* generasi masa depan layak segera dibangun.

Iklim tren global terus meningkat, walau analisis data masih banyak pertanyaan belum terjawab tentang *PE anak* agar diajarkan di Indonesia. Mendukung *PE* ke depan, sangat penting bagi kita untuk segera memulainya. Mungkin para pembuat kebijakan bertanya: bagaimana *konsep enjiniring*, ilmiah keterampilannya, dengan *EHoM* (*Engineering Habits of Mind*) yang harus diperkenalkan ke dalam kurikulum SD–SMP Indonesia. Setidaknya ada 3 strategi penerapan (Katehi, 2009), menjadi pilihan untuk implementasinya ke dalam konteks membangun “*niche equator*” (*ekosistem katulistiwa*):

- Pertama, strategi *infus ad hoc*, untuk pengenalan, ide dan kegiatan *enjiniring* ke dalam kurikulum *sains*, *matematika*, dan *teknologi*.
- Kedua, strategi *mapel enjiniring* yang berdiri sendiri, yang akan diterapkan dalam riset ini untuk mengisi *mapel robotika* yang sudah terjadwalkan di *MTs Al Barokah Robotika*.
- Ketiga, strategi penerapan terintegrasi penuh *STEM*, yaitu, menggunakan *konsep akademis Sains*, *Matematika*, *Teknologi*, dan *keterampilan enjiniring* sebagai sentral jejaring untuk meningkatkan hubungan alami antar *mapel*.



**Gambar 5 :** Engineering Habits of Mind (EHoM), (Bianchi, 2018)

**Strategi penerapan PE sebagai Mapel Berdiri Sendiri**

PE yang berdiri sendiri menjadi fokus riset di MTs Al Barokah Robotika sebagai perluasan mapel robotika yang sudah terjadwalkan. Gambaran utuhnya penerapan PE yang disetel menjembatani konstruksi interdisiplinernya diperoleh penulis dari pengalaman sewaktu bekerja di industri, dan pada waktu menjadi guru SMK prodi teknik pemesinan. Serta dari pengalaman membawa *enjiniring* ke tengah masyarakat agar bersifat lebih sadar sosial dan inklusif. Serangkaian pengalaman dikontekstualisasikan ke Kurikulum Merdeka terhadap PE dalam integrasi 3 mapel sains, teknologi, dan matematika untuk capaian kompetensi inti siswa.

Dari analisis Kurikulum Merdeka pada dimensi profil pelajar: keberagaman, kerja sama (*bergotong-royong*), kreatif, mandiri, dan bernalar kritis bisa dijalin ke dalam mapel PE dari integrasi STEM. Pemahaman dan penerapan dalam kehidupan sehari-hari, pengembangan diri sesuai Fase D, ATP – Kelas 7 Semester I dan II, karakteristik pelajaran IPA: dengan capaian belajar mampu melakukan pengukuran dan memanfaatkan ragam gerak – gaya (*force*), usaha dan energi, pesawat sederhana. Karakteristik pelajaran IPS: sumber daya alam –aneka tambang mineral untuk memenuhi kebutuhan hidup manusia. Karakteristik pelajaran Teknologi Informatika: soal sistem komputer dapat dimanfaatkan dalam kehidupan. Karakteristik pelajaran Matematika: pengenalan bentuk geometri persegi panjang, persegi, jajaran genjang, belah ketupat, layang-layang, dan trapesium. Berbagai aspek yang anak temui untuk menyelesaikan tantangan yang dihadapi dari karakteristik IPA, IPS, Matematika, Teknologi tersebut sangat relevan dikonstruksi secara interdisipliner konteks PE bisa menjadi proses analisis data yang layak lewat dinamika “TfL” dalam “3D Mechanical Puzzle”.

Tim yayasan iSee: Penulis sebagai *caregiver* didampingi oleh 3 orang *volunteer*, semua laki-laki: 1 orang sosiolog, 1 orang praktisi IT, 1 orang bergelar sarjana matematika. Siswa berjumlah 11 anak, 6 perempuan dan 5 laki-laki, memiliki latar belakang keluarga sederhana dari desa. Semua disiapkan untuk riset kualitatif *PE* dalam perluasan mapel *robotika* yang sudah terjadwalkan di *MTs Al Barokah Robotika* dengan strategi belajar dan berlatih mapel *PE* yang berdiri sendiri.

### **Metode Tfl dalam kerangka DE dan PIPE**

Pelaksanaannya dengan metode “*Tfl*” (Bianchi, 2018) menggunakan alat peraga “*3D Mechanical Puzzle*” karya dari Yayasan iSee untuk mengembangkan kemampuan diri anak dalam dinamika *–imajiniring –materianiring –dimensioniring –mosieniring –gadgetiring*. Dengan kegiatan utamanya *DE* dan *PIPE*. Belajar *DE* akan memberi tantangan “*Tfl*” bagi anak pada kemampuan pikir *sintesis metakognitif*, (*memberdayakan guru sains dan matematika*). Berlatih kegiatan *PIPE* akan memberi tantangan baru meningkatkan kemampuan daya tahan tubuh dan kegigihan guna membangun *sinestetik sensomotorik* diri anak (*digarap oleh guru teknologi dan guru enjiniring*). Dinamikanya secara holistik memberi ruang fitrah anak sebagai “*Children are born as engineers*” (Cunningham, 2009), prosesnya akan meningkatkan peran dalam merdeka belajar dan latihan kreatif sebagai: *–user –tester –informant –design partner teknologi* (Druin, 1999), dan tambahan dari penulis dengan peran anak sebagai *–animator teknologi*.

Proses *KBM PE* untuk meningkatkan peran anak, pada tiap-tiap perannya senantiasa ditinjau proses analisis datanya menggunakan 5 pokok masalah: 1) Konteks penelusuran *Rasionalisme Akademis*, 2) *Metode–metode* yang digunakan memandu, 3) *Dampak dari peran anak pada enjiniring*, 4) *Beberapa tantangan anak pada tiap perannya*, 5) *Beberapa kekuatan anak dalam perannya pada enjiniring*. Hingga seluruh potensi anak dapat diungkap dengan lebih akurat arah bimbingannya, untuk menampakkan keunggulan metode “*Tfl*” sebagai nilai-nilai keunikan *PE* yang niscaya kita butuhkan.

*Pembelajaran mengutak–atik* adalah menjelajahi melalui mengutak–atik, mencoba–coba, memainkan, membongkar, membuat gambar sket, dengan beragam hal telah disediakan dalam mengejar kreativitas dan produktif untuk *membuat, memperbaiki, dan meningkatkan*. Dengan *pembelajaran cascades* yaitu, dimulai dengan proses menjelaskan pengetahuan dan informasi diteruskan secara berturut–turut pada rangkaian mengalirkan tahapan suatu proses kreatif, masing–masing memicu untuk memulai proses berikutnya.

### **Hasil dan Pembahasan**

#### **Membahas DE dan PIPE**

Kegiatan *PE*, diawali dengan pembagian kelompok di kelas. Kelompok diberi nama *Tim Kerja* bertujuan memberi makna semangat kerja sama tim dalam dinamika *enjiniring*. *Tim Kerja 1*–beranggota 4 anak perempuan semua; *Tim Kerja 2* –beranggota 2 perempuan, 2 laki–laki; *Tim Kerja 3* –semuanya laki–laki. *Caregiver* diperankan oleh *guru humaniora*. Jadwal pelajaran tiap hari *Senin* dan *Rabu* dengan durasi per tatap muka selama 120 menit, dimulai jam 13.00 ÷ 15.00.

Tabel 4. Rencana Pembelajaran *PE* dari Siklus *DE ÷ PIPE*

No.	Pertemuan	Kegiatan	Tujuan
1.	Ke 1 ÷ 2	Latihan bermain peran sebagai <i>user teknologi</i> .	• Latihan proses kreatif dari tahap <i>EHoM – imajiniring (sains)</i> ,

No. Pertemuan	Kegiatan	Tujuan
		<i>teknologi, matematika, humaniora).</i>
2. Ke 3 ÷ 5	Latihan menyusun cerita tentang teknologi dengan tema berbeda di tiap tim kerja sebagai <i>user teknologi</i> .	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Latihan presentasi tim kerja.</li> <li>• Latihan proses kreatif dari tahap <b>EHoM</b> – <i>imajiniring</i>.</li> <li>• Latihan presentasi tim kerja.</li> </ul>
3. Ke 6 ÷ 7	Latihan penggunaan aneka alat ukur biasa ÷ presisi, dan alat–alat tangan konvensional sebagai <i>user teknologi</i> .	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Latihan proses kreatif dari tahap <b>EHoM</b> – <i>imajiniring</i> – <i>materianiring</i> – <i>dimensioniring</i>.</li> <li>• Latihan presentasi tim kerja.</li> </ul>
4. Ke 8 ÷ 9	<i>TfL</i> menggunakan <i>3D Mechanical Puzzle</i> sebagai <i>tester</i> dan <i>informan teknologi</i> .	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Latihan proses kreatif <i>trajektori–metafora–mekanisme</i> pada sistem <i>3D Mechanical Puzzle</i> – <b>STEM</b> (<i>sains, teknologi, matematika, humaniora</i>).</li> <li>• Latihan penggunaan alat–alat tangan kunci pas, obeng.</li> <li>• Latihan presentasi tim kerja.</li> </ul>
5. Ke 10 ÷ 11	<i>TfL</i> mengukur komponen bagian dari <i>3D Mechanical Puzzle</i> sebagai <i>tester</i> dan <i>informan teknologi</i> .	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menggambar sket tangan 2D–3D ortogonal.</li> <li>• Latihan mengukur komponen dan membuat sket gambar secara manual aneka bentuk geometri dari tiap komponen bagian menggunakan alat ukur <i>mistar baja, bevel protractor, jangka sorong</i>.</li> <li>• Latihan presentasi tim kerja.</li> </ul>
6. Ke 12 ÷ 14	<i>TfL</i> – <i>DE</i> mendesain <i>3D Mechanical Puzzle</i> model lain sebagai <i>informan</i> dan <i>desain partner teknologi</i> .	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Latihan proses kreatif mendesain <i>3D Mechanical Puzzle</i> – dengan ukuran, model lain (<i>imajiniring</i> – <i>materianiring</i> – <i>dimensioniring</i>).</li> <li>• Menggambar secara manual dan diskusi tim kerja untuk menentukan desain pilihan.</li> <li>• Latihan presentasi tim kerja.</li> </ul>
7. Ke 15 ÷ 16	<i>TfL</i> – <i>sintesis metakognisi DE</i> ( <i>imajiniring</i> – <i>materianiring</i> – <i>dimensioniring</i> ) mendesain <i>3D Mechanical Puzzle</i> model lain sebagai	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Latihan proses kreatif mendesain <i>3D Mechanical Puzzle</i> – dengan ukuran, model lain (<i>sains</i> – <i>teknologi</i> – <i>matematika</i>).</li> <li>• Menggambar secara manual dan diskusi tim kerja untuk menentukan desain pilihan.</li> <li>• Latihan presentasi tim kerja.</li> </ul>

No. Pertemuan	Kegiatan	Tujuan
	<i>informan dan desain partner teknologi.</i>	
8. Ke 17 ÷ 18	<i>TfL – sinestetik sensomotorik dalam PIPE (mosieniring – gadgetiring – dimensioniring) membuat komponen bagian dari 3D Mechanical Puzzle hasil desainnya – desain partner dan animator teknologi.</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proses kreatif latihan <i>sinestetik sensomotorik</i> aneka gerak tubuh dalam <i>gerakan terbimbing – gerakan terbiasa</i>.</li> <li>• Menggambar berbagai ukuran komponen bagian.</li> <li>• Memotong komponen dengan beberapa alat potong tangan secara bertahap.</li> <li>• Latihan mengukur memeriksa komponen bagian karyanya.</li> </ul>
9. Ke 19 ÷ 26	<i>TfL – sinestetik sensomotorik dalam PIPE (mosieniring – gadgetiring – dimensioniring) membuat komponen bagian dari 3D Mechanical Puzzle hasil desainnya – desain partner dan animator teknologi.</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proses kreatif latihan <i>sinestetik sensomotorik</i> aneka gerak tubuh dalam <i>gerakan terbiasa – gerakan lincah</i>.</li> <li>• Menggambar berbagai ukuran komponen bagian.</li> <li>• Memotong komponen dengan beberapa alat potong tangan secara bertahap.</li> <li>• Latihan mengukur memeriksa komponen bagian karyanya.</li> </ul>
10. Ke 27 ÷ 28	<i>TfL – sinestetik sensomotorik dalam PIPE (mosieniring – gadgetiring – dimensioniring) membuat komponen bagian dari 3D Mechanical Puzzle hasil desainnya – desain partner dan animator teknologi.</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proses kreatif latihan <i>sinestetik sensomotorik</i> aneka gerak tubuh dalam <i>gerakan lincah – gerakan variasi – gerakan inisiasi</i>.</li> <li>• Merakit berbagai komponen bagian.</li> <li>• Merevisi desain <i>3D Mechanical Puzzle</i> hasil karyanya.</li> <li>• Latihan presentasi tim kerja prototipe karyanya.</li> </ul>
11. Ke 29 ÷ 33	<i>TfL – integrasi STEM ke dalam sintesis metakognisi DE dan sinestetik sensomotorik – PIPE – dalam perannya sebagai desain partner dan animator teknologi dalam kesatuan conventional thinking – computational thinking.</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proses kreatif memindahkan sket gambar desain secara manual dipindahkan ke gambar desain berbantuan aplikasi komputer <i>Mikrosoft Word</i>.</li> <li>• Menggambar desain berbantuan aplikasi komputer <i>Sketch Up</i>.</li> </ul>

No. Pertemuan	Kegiatan	Tujuan
12. Ke 34 ÷ 36	Siklus berulang untuk eksplorasi <i>TfL</i> mendesain <i>3D Mechanical Puzzle</i> model lain menggunakan penggerak komponen mekanikal jenis lain –nya.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eksplorasi kreativitas bidang mekanikal enjiniring.</li> <li>• Menggambar desain berbantuan aplikasi komputer <i>Sketch Up</i>.</li> </ul>

**Membahas DE dalam Dinamika Sintesis Metakognisi**

Kelas yang telah dibagi menjadi 3 *tim kerja* untuk KBM dengan metode “*TfL*” menggunakan media *3D Mechanical Puzzle* Burung Elang berpenggerak komponen mekanikal *cam (nok bubungan)*. Media ini berisi konten *sains*: penerapan *pesawat sederhana tuas pengungkit* untuk gerak putar kontinyu yang diubah menjadi gerak lurus berulang naik – turun. Tema Burung Elang dipilih sebagai persoalan lingkungan hidup, karena terancam kepunahan. Sifatnya yang dapat memberi nilai moral pada kehidupan manusia (*muatan humaniora*). Konten *matematika*: struktur aneka bentuk geometri komponen bagian dalam konstruksi membangun konfigurasi sistem gerak. Konten *teknologi*: *komponen mekanikal cam (prinsip tuas pengungkit), follower cam, poros penggerak, mur – baut (prinsip bidang miring), mur cakar, mur nanas* dari aneka bahan logam.



**Gambar 6 :** komponen mekanikal



**Gambar 7 :** “3D Mechanical Puzzle” Burung Elang

*KBM*: berlangsung sesuai urutan Tabel 4. Rencana Pembelajaran PE dari Siklus DE ÷ PIPE. Prinsip DE dalam PE dengan pengajaran *enjiniring terbalik* adalah sebagai strategi *prototyping* (Lauff et al., 2017), bagian proses desain yang paling penting dan paling tidak dieksplorasi secara formal. *Prototyping* menjadi bentuk latihan tanggungjawab anak-anak atas desain yang telah dirancangnya harus terwujud. Siswa, sebagai *desainer pemula* (Lauff et al., 2018), sering memiliki persepsi sempit tentang *prototipe*, karenanya membutuhkan bimbingan saat membuat *prototipe Mechanical Engineering* dengan segala sumber dayanya. Penulis membuktikan bahwa, DE dalam PE dengan pengajaran *enjiniring terbalik – strategi*

*prototyping* menjadi langkah penting untuk meningkatkan kualitas pendidikan Indonesia yang belum pernah terjadi sebelumnya di jenjang SMP. Terutama untuk mengenalkan anak-anak tentang proses desain sebagai *dinamika sintesis metakognisi* harus melihat banyak contoh yang sudah ada menjadi acuan kreativitasnya.

*Dinamika sintesis metakognisi* dalam *PE* diarahkan untuk *merencanakan* dan *memeriksa* aktivitas anak-anak mulai pada tugas-tugas sederhana, kemudian dapat membantu pada tugas-tugas yang sulit (Rathore, 2015). Selama pemecahan pada masalah tugas *enjiniring terbalik* awalnya siswa menunjukkan keterbatasan *metakognisi* untuk tugas-tugas yang sulit dengan mengkompensasi kemampuan primitifnya. Dalam *prototipe* contoh yang ada sebagai kumpulan seperangkat keterampilan umum multidimensi untuk anak-anak, bukanlah keterampilan khusus domain. Keterampilan yang secara empiris berbeda dari kecerdasan umum, *metakognitif* adalah alat yang memberdayakan anak. *DE* dapat menunjuk-anak-anak *mengendalikan cara belajar, cara mengatur pekerjaan, dan cara merefleksikannya*. *Prototipe* mendorong proses imajinasi belajar mengambil tanggung jawab, dan menunjukkan bahwa proses aktif *PE* mengurangi selubung sebagian “*misteri*” yang ada dalam diri anak. Pembelajaran *enjiniring terbalik* tidak “*terjadi*” begitu saja, anak diberi waktu cukup di kelas dengan *mengutak-atik prototipe* yang sama dalam durasi yang cukup. Keterampilan pengaturan diri dalam *perencanaan, pemantauan dan evaluasi* sangat penting bagi siswa manakala mereka ingin mengalami pembelajaran secara holistik yang dimaksud-kan dalam siklus pembelajaran *PE*. Hingga anak dalam konstruksi *EHoM* mampu memahami *metakognisi berpikir enjiniring*.

### **Membahas PIPE dalam Dinamika Sinestetik Sensomotorik**

*Caregiver* diperankan oleh *guru enjiniring* dan *teknologi* bersama *guru BK*. Perancangan penggunaan produk *3D Mechanical Puzzle* dalam konstruksi *EHoM* dapat meningkatkan *fisiologi indrawi* aliran *dinamika sinestetik sensomotorik* anak-anak secara signifikan berinteraksi dengan wujud nyata alat mainan (Curwen, 2023). Menggunakan terapan *konstruksi kombinasi teknologi – sains – matematika* dalam bentuk mainan fisik, lebih menarik perhatian anak-anak dapat membimbing latihan menghasilkan kemampuan jasmani yang handal bagi anak mendukung kemampuan berpikir aktif. Proses kreatif pengajaran *PE* terutama latihan pengerjaan *prototipe* bergerak dalam “*budaya membuat*” dengan “*tradisi presisi*”. Bertujuan mendidik *pengindraan sentuhan haptik* dalam *persepsi sensorik individual* untuk mendeteksi komposisi masukan kontak fisik (Günther, 2022) terhadap *sensasi suhu, deformasi, tekanan, nyeri, usapan, dan rangsangan taktil* lainnya. Melatihkan *PIPE* untuk anak, setiap gerakan tubuhnya melakukan *pengindraan* kualitas kombinasi kesadarannya dalam *sinestetik sensomotorik*. Konfigurasi latihan –*gerak terbimbing –gerak terbiasa –gerak lincah –gerak variasi –gerak inisiasi* sensasi *PE* akan membawa kualitas posisi gerakan tubuh anak masuk ke dalam *tradisi presisi*.

“*Tradisi presisi*” dalam pengajaran *PE* mutlak dibutuhkan untuk mem-bangun aneka *produk teknologi* yang akan menjadi penanda keunggulannya. Pada *gambar 5* di depan terkait *EHoM*, nilai *presisi* sebagai “*inti pemikiran enjiniring*” (*core engineering mind*) supaya produk yang dibuat dapat bekerja dengan lebih baik (*making things that work and making things work better*). Tentu dengan menciptakan bidang *enjiniring* yang lebih *sadar sosial dan inklusif* (Kramer, 2022), asumsi inti tentang *ilmu enjiniring* dan cara mengetahuinya harus diper-luas. Dengan mengutamakan pendidikan anak-anak yang lebih sehat, untuk kesejahteraan masyarakat abad 21. Penulis mafhum, umumnya kualitas *SDM Indonesia* masih lemah untuk bekerja dalam kecanggihan bidang *enjiniring* di “*niche equator*” (*kawasan hanya dengan 2 musim, hujan – kemarau*).

Fondasi pencapaian kualitas yang handal dapat dijangkau dengan meningkat –kan kemampuan *indrawi SDM Indonesia* dalam *sinestetik sensomotorik* daya kreativitas untuk merasakan aneka macam kualitas produk secara akurat. *Budaya enjiniring* harus didukung kemampuan jasmani yang handal. Akurasi *sinestetik sensomotorik* menjadi keniscayaan preoritas utama pendidikan, karena kemampuan tubuh kita saat ini rata–rata tidak mampu bekerja dalam “*tradisi presisi*”. Pengajaran *PE* dikembangkan dengan melibatkan *pendidikan panca indra* untuk mengorganisasi *sinestetik sensomotorik* keselarasan kesatuan indrawi. Dalam perluasannya untuk mengelola –*pengindraan suhu (thermoception)*; – *pengindraan kesadaran tubuh (proprioception)*; –*pengindraan rasa sakit (nocieption)*; –*pengindraan keseimbangan (equilibrioception)*, (Günther, 2022).

Membongkar pasang *3D Mechanical Puzzle* menggunakan alat–alat tangan (*gadgetiring*) menjadi pengalaman dunia nyata yang baru bagi anak di sekolah. Mengukur, buat sket gambar komponennya adalah pengalaman *dimensioniring* bagi anak–anak memahami bentuk–bentuk geometri, satuan ukuran ISO yang digunakan di bidang *enjiniring*. Mengukur menggunakan alat ukur *mistar baja, bevel protractor (alat ukur sudut)*, dan alat ukur presisi: *jangka sorong*. Memahami struktur konstruksi *DE* menggunakan gambar 2D – 3D ortogonal.

Proses kreatifnya menghasilkan *DE* karya anak secara mandiri dengan urutan *KBM* sesuai *tabel 4* dalam mengembangkan *3D Mechanical Puzzle* Burung Elang sebagai pemantik konteks pengajaran *enjiniring terbalik*, (Li, 2022):

1. *Tim Kerja 1 – DE – 3D Mechanical Puzzle Balerina.*
2. *Tim Kerja 2 – DE – 3D Mechanical Puzzle Kapal Layar.*
3. *Tim Kerja 3 – DE – 3D Mechanical Puzzle Komedi Putar Kuda.*

Dengan membedah komponen dari struktur produk, membantu siswa memahami bagaimana komponen berfungsi bekerja dalam sistem *3D Mechanical Puzzle*. Kemudian siswa menerapkan *konsep ilmiah enjiniring* dengan mendesain ulang, proses pembelajaran membangun produk karya sendiri untuk menyelesaikan tantangan desain inovasi mikro dengan menggunakan alat dan bahan untuk mendesain. Membekali siswa dengan bahan desain konvensional, seperti: kertas, pensil, lem, mur baut, mur cakram, mur nanas, kayu. Serta alat–alat konvensional (*perkakas tangan*): *meja kerja, ragum, gunting, kunci pas, obeng, gergaji potong, gergaji profil, mesin bor, tatar (kikir kayu), pisau cutter, palu.*



**Gambar 8 :** *Tim Kerja 1 – 3D Mechanical Puzzle Balerina*



**Gambar 9 :** *Tim Kerja 2 – 3D Mechanical Puzzle Kapal Layar*



**Gambar 10 :** *Tim Kerja 3 – 3D Mechanical Puzzle Komedi Putar*

Sistem *PE* secara berjenjang, akan melatih siswa–siswi memulai mengurai kerumitan *enjiniring* dalam latihan dasar–dasar membuat produk teknologi *3D Mechanical Puzzle*. Penulis menguji, bagaimana dan mengapa “*pembelajaran mengutak–atik*” bisa menjadi saluran untuk menginspirasi anak–anak bekerja dengan cara yang menyenangkan, eksperimental, praktis, kaya pengalaman. Penulis mafhum penggunaan istilah *mengutak–atik* dapat menyebabkan kesalahpahaman potensial di kalangan para guru yang mungkin menerima pendapat umum bahwa *mengutak–atik* adalah tindakan eksplorasi atau sebaliknya kegiatan tanpa tujuan, sedangkan kegiatan yang diidentifikasi dalam makalah ini lebih terstruktur dan bijaksana.

Proses *mengutak–atik* dalam lingkungan pendidikan disajikan sebagai pengajaran yang produktif, sebagai konsep yang memungkinkan menjembatani guru untuk mengeksplorasi bagaimana *mengutak–atik* yang gesit, namun terarah dapat mendorong *etos enjiniring*. “*Pembelajaran mengutak–atik*” dimaknai sebagai sarana *KBM* yang secara jelas mewakili kegiatan *mengutak–atik* untuk dipromosikan dalam penelitian ini yang memiliki tujuan dan dampak bagi pikiran. Dalam cakrawala *EHoM*, *mengutak–atik* dilakukan dengan sangat praktis dan pragmatis ditafsirkan dan dicontohkan melalui aktivitas pekerjaan guru bersama murid. Ketika merancang kurikulum untuk mengintegrasikan keterampilan tersebut harus memberi peluang memahami lebih mendalam tentang bagaimana *para enjinir* berpikir dan bekerja lebih baik dalam melengkapi pekerjaannya. Peta *EHoM* memberikan konsistensi dalam bahasa bagi para guru untuk mengembangkannya dan merefleksikan metode pembelajaran dan kemajuan anak berkembang dalam berpikir seperti *para enjinir*.

Profil guru sebagai *caregiver* keniscayaan di abad 21 era *enjiniring* menjadi pilar utama aktivitas *PE* berjenjang untuk anak dengan metode “*TfL*” – “*3D Mechanical Puzzle*” dinamika *enjinirisifik*: –*imajiniring* –*materianiring* –*dimensioniring* –*mosieniring* –*gadgetiring*. Dengan proses *DE* untuk *sintesis metakognitif*, dan *PIPE* untuk *sinestetik sensomotorik* menjadi tantangan pembuka jalan baru pendidikan di Indonesia. Riset secara holistik meningkatkan peran anak sebagai: –*user* –*tester* –*informant* –*design partner*, –*animator teknologi*. Terbukti manjur menyemai *para calon enjinir* yang mampu *berpikir rasional, bekerja rasional, sikap Budi Mandraguna*, dalam 6 indikator: 1) *Mampu melakukan cara berpikir enjiniring*; 2) *Mampu melakukan cara bekerja enjiniring*; 3) *Siap berlatih menjadi enjinir*; 4) *Bisa menerima perbedaan*; 5) *Bisa meningkatkan belajar hubungan antar pribadi untuk membangun tim kerja*; 6) *Bisa meningkatkan hubungan dengan lingkungannya*. Juga membuka ruang kreativitas baru dalam *budaya membuat teknologi, mendobrak budaya konsumsi teknologi*.

Dunia nyata kemajuan teknologi canggih dari hasil *karya proses enjiniring* hendaknya menjadi tonggak *kesadaran 3L (Lifelong Learning)* para guru *SD–SMP* penuh percaya diri menerapkan *konstruksi interdisiplin* konteks *PE*. Memadukan berbagai aspek yang anak temui untuk menyelesaikan tantangan yang dihadapi sesuai karakteristik pelajaran: *IPA, IPS, Matematika, Teknologi* dari *Profil Pelajar Pancasila Kurikulum Merdeka*. Percaya diri melakukan penerapan *nilai–nilai, makna, dan kebajikan PE* dengan memperhatikan hasil dari penulis berikut ini:

### ***Pengembangan belajar berpikir secara enjiniring***

*Caregiver* diperankan oleh *para guru STEM* bersama *guru BK*. Pengajaran *PE* hadir dengan gagasan untuk mampu mengubah keyakinan kecerdasan setiap individu selaras dengan pola pikir berkembang dapat muncul sebagai solusi untuk *motivasi prestasi, ketekunan, kegigihan* di sekolah dan dalam kehidupan sehari–hari. Penulis yakin, kecerdasan individu pada kenyataannya, bersifat kontekstual dinamis, kecerdasan tidak dapat dipahami tanpa pertimbangan budaya (*Sternberg, 2004*). Disinilah budaya kreatif dibangun untuk mengembangkan habit anak bisa *berpikir secara enjiniring*.

Bagaimana *PE* diterapkan secara berjenjang kepada anak–anak Indonesia? Butuh pemikiran bagaimana interaksi *STEM* dapat menghasilkan secara bersama–sama aneka *karya warisan intelektual*. Karya yang sangat penting direalisasikan guru untuk memikirkan peningkatannya, bermanfaat, menarik untuk dilakukan. Karakterisasi abstrak *STEM* dengan keberadaannya di banyak lingkungan (*IPS – IPA*), akan menghasilkan banyak argumen merupakan indikasi betapa pentingnya *STEM*. Khususnya domain *enjiniring*, adalah *konstruksi intelektual* yang sangat mampu diisi menjadi *spesifik ilmiah enjiniring*.

Sekarang pertanyaan *metodologis* mulai membayangi bidang *enjiniring*, lihat prakarsa “*The Royal Academy of Engineering’s Philosophy of Engineering*”. Saat kita mulai memikirkan *metode enjiniring* sebagai abstrak metodologinya, disinilah peran sangat penting para filsuf dapat membantu memainkannya. *Perspektif filsafat, logis*, dari *ilmiah sains* dapat secara mudah diterapkan ke *enjiniring* untuk menyediakan ruang lingkup analisis pedagogi *KBM*, sudah saatnya anak belajar *berpikir secara enjiniring* untuk memenuhi tantangan dunia nyata.

*PE* harus peka terhadap *konteks sosial* Indonesia dari rancangan kita tentang *niche equator*, bagaimana membangunnya? Tentu konseptualisasi integrasi *STEM*, dengan preoritas domain *enjiniring* yang belum pernah dipikirkan kajian–nya lebih lanjut di jenjang *SD–SMP*. Saat ini pengembangan domain *pendidikan sains, teknologi, matematika* kemajuannya masih

dominan pada penerapan *teknologi pendidikan*. Mengurangi durasi anak-anak kontak dengan produk elektronik. Kemudian penerapan *PE* akan diarahkan tidak hanya sampai pada *teknologi pendidikan*, tapi lebih memfasilitasi *pendidikan teknologi*. **EHoM** untuk menjadi keunggulan SDM Indonesia di abad 21, antara lain: *ilmu menulis dan komunikasi, ilmu sosial, pemikiran kreatif, dan pemikiran empatik*.

### **Pengembangan latihan bekerja secara *enjiniring***

*Caregiver* diperankan oleh *para enjinir (eksternal)*, yang perlu dijaring pihak sekolah untuk menjalin bekerja sama dengan *guru sains, teknologi, dan matematika*. Untuk memperbaiki *persepsi tentang enjiniring*, bahwa itu sulit. Inilah titik awal membuka sisi lain dari fakta *enjiniring* yang para guru perlu ketahui. Para guru SD – SMP sering kali memiliki pemahaman terbatas tentang *enjiniring* sebagai profesi, mereka berada dalam satu keyakinan sentral penilaian bahwa *enjiniring itu sulit*, harus didukung dengan kemampuan *matematika dan sains*, yang tinggi. Seperti halnya narasi lain oleh masyarakat, terdapat kesenjangan antara persepsi masyarakat tentang *enjiniring* sebagai profesi dan realitas pekerjaan *enjiniring*. Kemampuan *matematika dan sains* memang penting, kita melihat hal itu sambil mengabaikan karakteristik utama *enjiniring* lainnya (*Dringenberg et al., 2019*), seperti *kreativitas, kerja sama tim, analisis, komunikasi, kepemimpinan*. Dalam konteks *PE*, segera digarap dengan serius, kualitas kelima faktor tersebut unik di bidang *enjiniring* dibutuhkan untuk membangun *produk teknologi*.

Daya *indrawi haptik* merupakan faktor penting dalam pengajaran *PE* untuk membuat *prototipe produk teknologi* menjadi nyata. *Determinasi akurasi daya indrawi haptik* membuat pengalaman *fisiologis* dapat merasakan *sensasi gerak kerja*. Selain *rangsangan vibrotaktil* dari *mekanoresepsi*, basis *tekanan, suhu* yang dirasakan oleh *termosepsi, posisi gerak tubuh* yang dirasakan oleh *proprioesepsi*, merupakan bagian dari *sistem somatosensori* (*Günther, 2022*). Akibatnya, untuk mendapatkan pengalaman *daya indrawi haptik* yang lengkap, perlu memper-timbangkan konteks lebih luas dari sistem *somatosensori* lengkap sebagai keunggulan *pendidikan panca indra* dalam “*tradisi presisi*” *PE*. Tujuan menghasilkan *pengindraan sentuhan haptik* sebagai komposisi masukan dalam persepsi sensorik individual untuk mendeteksi kontak fisik terhadap *sensasi suhu, deformasi, tekanan, nyeri, usapan, dan rangsangan taktil* lainnya. Dengan *konfigurasi pengindraan* kombinasi kualitas kesadaran setiap posisi gerakan tubuh dalam *sinestetik sensomotorik*.

Tentu peran penulis selalu terlibat dalam pengasuhan secara berbeda dengan efektivitas ketelitian kepada *para calon enjinir* masa depan yang mampu *berpikir rasional, bekerja rasional* handal, mumpuni punya sikap *budi mandraguna*. Memang domain *enjiniring* terlambat muncul dalam kancah keilmuan, orang lebih mengenal produk hasil karyanya dibanding penemunya. Hingga keberadaan *enjiniring* di bawah hegemoni domain *sains*. Kita mungkin tak akan dapat mengenali pencetusnya, tokoh-tokoh seperti *Frank Whittle (penemu mesin jet)*, *Presper Eckert (penemu komputer digital serba guna)*, *Martin Cooper (penemu alat komunikasi nirkabel)*, sekalipun mesin jet, komputer, dan telepon seluler telah mengubah dunia tempat kita tinggal.

Anak diajari tentang penerapan *keterampilan proses enjiniring* dengan pedoman kerja K3: –keselamatan kerja, –kebersihan, –keselamatan alat kerja, –keselamatan benda kerja. Anak juga diajari tentang konsep kewirausahaan usia dini tentang: – biaya produksi, – konsep efektif dan efisien. *PIPE* adalah tahap pekerjaan mewujudkan *DE* menjadi *prototipe* produk. Dari gambar *desain* diterjemahkan menjadi benda nyata, anak-anak melakukan kerja dalam “*pusat pusran imajinasi*” belajar – berlatih *enjiniring*, untuk menggladi kemampuan

tubuhnya sanggup menghasilkan *prototipe*. Kecermatan mengubah material untuk memiliki kualitas bentuk dan ukurannya. Kehati-hatian melihat gambar *desain* yang tampak, agar mengikuti semua detail *desainnya* ke dalam ketelitian *sensasi gerak* dengan akurasi kepekaan *panca indranya* memandu reaksi tubuh untuk membentuk “*tradisi presisi*” menggambarkan kerja visualisasi bendanya.

Gigih menemukan hubungan keseluruhan bagian mata rantai dalam susunan rantai *enjiniring* menerapkan rasa ingin tahu untuk mengumpulkan fakta material melalui daya tangkap nalar. Secara teliti menghubungkan antara kesadaran dalam imajinasi, lewat permainan ketidakmenentuan penerapan *sains* dan *enjiniring* dengan kegigihan, memiliki durasi kekuatan rasa ingin tahu dalam latihan menemukan *teknologi*. Dalam *ruang membuat (making room)*, penulis selalu mendorong anak-anak untuk saling membangun kebersamaan dalam keragaman kemampuan yang rata-rata tidak sama, tetap berjalan penuh semangat kemerdekaan dalam perbedaan. Gotong royong dalam kerja sama, komunikasi diskusi, koordinasi kepemimpinan, dan belajar sekitar lingkungan hidup. Keuntungan Alat Mainan “*3D Mechanical Puzzle*” sebagai *Media Belajar Dasar-Dasar Robotika di Lingkungan MTs Al Barokah Robotika* adalah untuk mencapai pemahaman utuh pada konsep inti *Robotika*.

### ***Siap berlatih menjadi enjinir***

*Keterampilan* adalah gerakan dengan mulus di antara kedua sudut pandang untuk dapat melihat *perspektif pengalaman* dapat dihargai, dan dapat dipahami dari *perspektif fisik*. Untaian teks adalah untuk berargumentasi, berpikir, membaca jurnal artikel-artikel, dll. kita hanya ingin mengatakan bahwa kemungkinan-kemungkinan tersebut belum cukup. Kita butuh segala suatu yang lain; yaitu *keterampilan* yang tidak dapat diperoleh secara konseptual semata. Tentang perluasan *enjiniring* dan *masalah sosialnya*, penulis pikir adalah literatur yang perlu dikembangkan. Setelah anak mengenal *PE*, tercatat 64% – 7 anak dari jumlah 11 anak dengan rasa percaya diri tinggi berani bersuara sekitar aneka persoalan *enjiniring* dan *siap menjadi enjinir*. Juga meningkatkan keberanian anak untuk uji nyali mengeksekusi kerja nyata *DE* rancangannya, ke dalam proses *PIPE* menjadi bentuk prototipe *3D Mechanical Puzzle* inovasinya. Riset ini mampu membuka ruang-ruang baru kreativitas *KBM domain enjiniring* untuk anak-anak secara berjenjang dalam *mentalitas “budaya membuat”* karya teknologi sebagai diskusi lanjutan, untuk mendobrak kenyamanan *mentalitas “budaya konsumsi”* teknologi.

Pokok permasalahan yang dihadapi pendidikan jenjang SMP di Indonesia adalah peningkatan kualitas pendidikannya jumbuh memberi fondasi dalam membangun *SDM* berwawasan warisan luhur nilai-nilai budaya yang mumpuni memiliki *sikap budi mandraguna (wasis, nisita, rigen, digdaya, waskita)*, sehingga mampu memberi andil tumbuh kembangnya Indonesia. Dari *tabel 5*, data *BPS (2022)* tanpa melihat latar belakang pendidikan *SDM* yang telah bekerja di lapangan kerja *enjiniring* sebesar 58,68%, jika *PE* diperluas dapat meningkatkan kemampuan *SDM* dengan *okupasi sebesar 64% (rasio minat anak MTs Al Barokah Robotika)*. Terlebih pengembangan *okupasi enjiniring* khususnya bidang *enjiniring* yang melatih *SDM* untuk menjadi *enjinir* pembuat produk-produk berbasis teknologi, yaitu pada domain: *Industrial Engineering (13,77%)*, *Mechanical Engineering-transportasi (4,21%)*, *Computer Engineering (0,81%)= 18,79%* menjadi 64%, peningkatan *SDM* yang lebih signifikan lagi bagi Indonesia untuk menjadi negara maju.

Tabel 5: Lapangan Pekerjaan di Bidang Enjiniring (Sumber : BPS, 2022)

No.	Lapangan Pekerjaan Utama	Persentase
1.	Pertanian, Kehutanan dan Perikanan <i>Agricultural Engineering</i>	29%
2.	Pertambangan <i>Mining and Petroleum Engineering</i>	1%
3.	Industri Pengolahan <i>Industrial Engineering</i>	13,77%
4.	Pengadaan Listrik, Gas, Uap/Air Panas dan Udara Dingin <i>Electrical and Mining Engineering</i>	0,23%
5.	Pengadaan Air, Pengelolaan Sampah dan Daur Ulang, Pembuangan dan Pembersihan Limbah dan Sampah <i>Environmental Engineering</i>	0,39%
6.	Konstruksi <i>Mechanical Engineering</i>	6,04%
7.	Informasi dan Komunikasi <i>Computer Engineering</i>	0,81%
8.	Real Estat <i>Civil Engineering</i>	0,33%
9.	Jasa Kesehatan dan Kegiatan Sosial <i>Biomedical Engineering</i>	1,76%
10.	Transportasi dan Pergudangan <i>Mechanical, Civil, Environmental Engineering</i>	4,21%
<b>TOTAL SDM Bekerja di bidang Enjiniring</b>		<b>58,68%</b>
<b>TOTAL ANGKATAN KERJA – 135.611.895</b>		

*TfL* telah membuka ruang baru di sekolah yaitu: *ruang membuat (making room)* untuk perluasan *enjiniring* dan *masalah sosialnya*, *PE* memendekkan jarak *abstraksi anak* sampai puncak perannya sebagai *animator teknologi* dalam *enjinirisifik* mendekatkan mereka ke dunia nyata *pendidikan teknologi*. Memperoleh konsep kesadaran yang benar dari *team teaching* dalam meng-organisasi, tata kelola, dan tata edukasi *PE* masalah *TfL* anak memperoleh keterampilan dalam “*budaya membuat*” dengan “*tradisi presisi*”:

*PE anak* – dari ranah *Mechanical Engineering* – dapat dimanfaatkan untuk dasar-dasar pelajaran dalam pendidikan teknologi. *Mechanical Engineering* sebagai salah satu cabang *enjiniring* yang tertua, terluas, dan terbesar. Selalu dipakai untuk memberi fondasi di semua negara yang telah berhasil tumbuh berkembang menjadi negara maju. Sehingga *Mechanical Engineering*, menurut para ahli menjadi “*lambang kecerdasan manusia*” (*Brilliant Typified*).

Membawa anak siap menjadi *enjinir* abad 21 dengan keterampilan “*budaya membuat*” etos “*tradisi presisi*”, kelak anak-anak meningkat kreativitasnya sebagai produsen membuat produk-produk teknologi.

### ***Bisa menerima perbedaan***

Pengembangan *PE* abad 21 untuk bidang *enjiniring* yang *lebih sadar sosial* dan *inklusif* mendobrak *hierarki epistemik enjiniring* (Kramer, 2022) yang terbatas melanggengkan *eksklusi secara politis (enjinir cerdas dari budaya laki-laki kulit putih)* telah berubah arah. Kini *PE* anak adalah proses belajar – berlatih *keterampilan proses enjiniring* secara berjenjang meningkatkan kreativitasnya sebagai produsen dalam kemampuan membuat produk-produk teknologi bagi semua ras baik *kulit kuning (Asia Timur)*, *kulit merah (Asia Tenggara)*, maupun *kulit hitam (Afrika)*. *PE* lebih terbuka untuk semua kalangan baik *laki-laki, perempuan* dari *IPA* maupun *IPS* bisa terlibat di dalamnya. Sekolah kita umum-nya, saat ini masih menerapkan model *teknologi pendidikan*, belajar sebatas sebagai *konsumen teknologi*, yaitu dengan memanfaatkan aneka produk teknologi untuk proses KBMnya. Saatnya membuka diri untuk lebih berlatih *pendidikan teknologi (enjiniring)*, berlatih membuat produk teknologi dalam peradaban “*budaya membuat*”. Diperlukan lebih banyak riset *PE* yang berpusat pada konteks praktik *enjiniring* untuk semua, yang dapat membantu menjembatani kesenjangan antara sekolah dan praktik dunia nyata (Stevens et al., 2014).

Luasnya keragaman bidang kerja *teknologi* berkembang, kini menjadi peluang kerja yang luas pula bagi perempuan yang populasinya lebih besar dibanding laki-laki. Namun fakta ini, dalam dunia *pendidikan teknologi* di jenjang SD – SMP masih mendapat perhatian yang sangat kecil prioritasnya. Maka penulis sadar, mulai melatih sejak anak-anak di *MTs Al Barokah Robotika* membina para kader *laki-laki, perempuan* untuk *mlethék-mletik* kelak sebagai *enjinir* masa depan.

### ***Bisa Meningkatkan Belajar Hubungan Antar Pribadi untuk Membangun Tim Kerja***

Dengan dinamika *tim kerja, caregiver* membimbing masing-masing anak membiasakan diri bekerja sama dalam *tim* untuk belajar *menulis, komunikasi ala enjiniring*, bertanggung jawab penuh *empatik* atas tugas yang diberikan, *bersosialisasi* memahami gaya kerja teman-teman, *hubungan antar pribadi* dalam *pemikiran kreatif*. *Pendidikan teknologi sistem PE*, memanfaatkan aneka produk teknologi digunakan dalam proses KBM – berlatih membuat produk-produk teknologi. Manfaat yang diperoleh dari inovasi *3D Mechanical Puzzle* dalam proses *PE*, sebagai latihan siswa-siswi untuk aktivitas *DE – PIPE*, membangun keseimbangan kepribadian anak-anak dalam meluaskan kecerdasan berpikirnya, cakap tangkas keterampilan tubuhnya. Sehingga bermanfaat *membangun tim kerja* yang kuat dan handal.

Manfaat dari tahap *DE* untuk pribadi anak adalah belajar: –*imajiniring* merupakan tahap *proses kreatif enjiniring*; –*materianiring* yaitu *proses enjiniring material*; –*dimensioniring* yaitu *proses enjiniring* tentang ukuran-ukuran; –*mosieniring* yaitu *proses enjiniring* tentang aneka gerakan-gerakan; –*gadgetiring* yaitu *proses enjiniring* langkah *sintesis* pemanfaatan aneka alat (*computational thinking dan conventional thinking*).

Manfaat dari tahap *PIPE* untuk pribadi anak adalah berlatih: –*pendidikan panca indra*, untuk membangun *sinestetik* keselarasan kesatuan di antara fungsi organ-organ indrawi. *Pendidikan panca indra* dibutuhkan untuk mengisi “*tradisi presisi*” konstruksi ruang-ruang imajinasi lengkap dari benda-benda sedikit demi sedikit sebagai hasil dari pengalaman yang akan diadopsi tubuh sebagai pusat *keterampilan proses enjiniring*. Para ahli juga telah mempelajari tentang *pendidikan panca indra* di masa kanak-kanak, dengan adanya tubuh yang bergerak maka *mekanisme proses kreatif* mudah dipahami. Tubuh kita adalah alat tindakan yang didukung dengan konstruksi kecerdasan dalam kekuatan tindakan-nya untuk menggarap benda-benda, dengan melihat keseimbangan hubungan antara tubuh dan pikiran. *Tim kerja*

yang solid terdiri dari anak–anak kuat, mumpuni sehingga dapat diandalkan dalam setiap pekerjaan.

### ***Bisa meningkatkan hubungan dengan lingkungannya***

Orang tua Indonesia saat ini dihadapkan dengan perkembangan kemajuan teknologi, salah satu tantangan terbesarnya adalah bagaimana dan seberapa banyak mengurangi jumlah waktu yang dihabiskan anak–anak dengan perangkat elektronik seperti ponsel, tablet, video game, televisi, dan komputer. Masalah ini bukan hanya untuk remaja jenjang SMP, anak SD telah mulai menggunakan dan tertarik pada ponsel. Bahkan kini bayi – balita telah terpapar menatap layar ponsel. Seiring bertambahnya usia, terpaparnya anak–anak dalam penggunaan produk elektronik dini sering kali menjadi konsumsi waktu layar yang konstan. Kerugian fisik dan mental dari produk elektronik untuk anak–anak jelas, mudah menyebabkan keterbelakangan bahasa anak–anak, kesulitan tidur, kehilangan penglihatan dan *efek fisiologis* lainnya. Tetapi juga dapat menyebabkan anak–anak mengalami gangguan *hiperaktif, kecemasan* dan efek *psikologis* lainnya. Pada saat yang sama, penggunaan perangkat elektronik dengan layar sering kali berarti hiburan pasif. Bahkan ketika anak–anak menggunakan perangkat elektronik untuk tujuan pendidikan (*seperti membaca, melakukan penelitian atau bermain game matematika*), mereka masih hanya menerima informasi, bukan berpikir, menciptakan atau membayangkannya. Jadi kita sebagai orang tua juga mencoba mencari sesuatu, guna mengalihkan perhatian, menenangkan anak untuk menghasilkan kemampuan berpikir aktif, melatih daya *sensomotoriknya*.

Keberadaan *Robotika* di kalangan pendidikan Indonesia sudah relatif lama, namun dampaknya bagi pendidikan anak–anak umumnya belumlah signifikan. Program belajar *Robotika* masih bersifat eksklusif kalangan keluarga yang secara ekonomi tergolong mampu, karena fasilitas pelajaran *Robotika* yang mahal, tentu keluarga kurang mampu ekonominya akan kesulitan mengaksesnya. Konsep inti *Robotika* pada dasarnya adalah *MEKANOTRIKA*, pengajarannya saat ini masih banyak mengabaikan sisi *mekanikalnya*, selalu diajarkan dengan mengarusutamakan sisi *elektronikanya* saja yang sulit dipahami anak–anak umumnya. Sehingga *KBM Robotika* belum bisa menjangkau komunitas lebih luas. Dengan adanya ide pengembangan alat mainan “*3D Mechanical Puzzle*” sebagai media belajar dasar–dasar pengenalan aneka konsep *Robotika* dapat menjadi harapan baru bagi kemajuan *pendidikan teknologi* anak–anak Indonesia umumnya. Sebagai kontribusi untuk menyusun kurikulum *Robotika*.



**Gambar 11 :** “*3D Mechanical Puzzle*”

Riset di *MTs Al Barokah Robotika* membuktikan *3D Mechanical Puzzle* dapat menjadi “*pintu masuk*” masalah *pokok* untuk membuka ruang–ruang kreativitas baru guna membangun *pendidikan teknologi (enjiniring)* anak–anak secara meluas di Indonesia. Ide inovasi berasal dari aneka komponen *Robotika* yang sudah tersedia dari produk pabrikan yang dipakai dalam

*KBM* kurang optimal melatih proses keterampilan anak secara menyeluruh dari *spektrum PE*. Ide inovasi dimaksudkan untuk melengkapi tahap–tahap pelajaran yang selama ini telah digarap di dalam *Robotika* yaitu: hanya sebatas –*merancang*, dan –*merakit* saja. Selanjutnya inovasi pengembangan *3D Mechanical Puzzle*, akan menambah tahap–tahap latihan pelajaran yaitu: –*merancang*, –*membuat komponen* sendiri, –*merakit* secara mandiri karya anak. Dengan menggunakan aneka bahan yang mampu digarap sesuai kemampuan anak. Menjadi kontribusi untuk memberi wawasan *enjiniring* dengan *daya tarik jenama robotika* sebagai keunggulan *model KBM* untuk layanan *pendidikan teknologi* bagi masyarakat.

Tahap penting ide inovasinya adalah banyak memberi waktu cukup kepada siswa–siswi, untuk diberi kesempatan pada langkah–langkah membuat *komponen 3D Mechanical Puzzle*. Tahap ini akan mengubah bobot tantangan proses untuk –*merancang* yang lebih lengkap langkah–langkahnya. Jika tahap –*merancang* pada *Robotika* lebih ditekankan menyusun konfigurasi gerak *Robotiknya* sesuai modul yang telah tersedia. Sedangkan tahap –*merancang* pada *3D Mechanical Puzzle* lebih dikembangkan lagi mulai dari kerja dasar secara mandiri dalam *DE* dengan dinamika lengkap *STEM*. Mulai dari perencanaan *bentuk* dan *ukuran komponen mekanikal*, sampai dengan perhitungan cara–cara membuatnya dalam dinamika *PIPE*. Menjadi kontribusi yang harus dilakukan untuk mengoptimalkan insiatif pengembangan *robotika* secara serius.

*Robotika* adalah bagian dari *electrical and computer engineering*, yang akan terus berkembang di *era digital*. Namun, untuk optimalisasi keberadaannya tetap membutuhkan peran *mechanical engineering* guna menopang kemajuannya menjangkau keragaman pengembangan bidang–bidang *enjiniring* lainnya dalam *kredensial baru* agar manusia tetap bekerja. Dalam hubungannya dengan *evolusi kreatif teknologi* berlatih membuat aneka produk *teknologi kreatif* di *era i.5.0 (human center)*, kesadaran manusia agar tidak digantikan oleh *Robot*.

Penulis mafhum, *pendidikan sains* dengan praktik *model teknologi pendidikan* yang selama ini telah dipelajari belum mampu membawa kemajuan signifikan bagi Indonesia untuk kemandirian bangsa menjadi produsen produk–produk teknologi. Maka kita perlu menempuh jalan lain yaitu *pendidikan teknologi*, sistem *PE* untuk membuka ruang–ruang baru guna mendalami kreativitas teknologi telah terbukti ampuh diterapkan di negara–negara raksasa teknologi Asia.

*Analisis – sintesis – phronesis* – adalah dimensi etis – teknis *PE* terkait “kapasitas yang dipupuk untuk membuat penilaian cerdas dan handal dalam semua situasi kompleks yang ditanganinya”, serta “kemampuan mengenali situasi, menangani masalah secara memadai dan tepat” (*Dunne, 2005*). Dunia kreativitas “*3D Mechanical Puzzle*” ke depan sangat potensial untuk dikembangkan sebagai media belajar anak–anak Indonesia di bidang *pendidikan teknologi*. Sebagai usaha menguasai *kecakapan dan ketangkasan keterampilan proses enjiniring* untuk memberi *fondasi SDM* masa depan Indonesia yang mumpuni memiliki *budi mandraguna*. Peran perempuan Indonesia sungguh sangat dibutuhkan untuk membangun kemampuan *keterampilan proses enjiniring* yang masih terbuka luas dengan peran strategisnya dalam komunitas berbasis keluarga. Mengingat ekonomi masyarakat kita, *UMKM – UKM* keluarga berbasis bidang *enjiniring* masih sangat rendah. Dalam keragaman di keluarga, kami yakin sebagai anak–anak Indonesia yang selalu berusaha belajar dan berlatih *kecakapan dan ketangkasan enjiniring* agar menjadi *enjinir* mumpuni di masa depan dapat berjalan dengan baik. Selaras dengan *Profil Pelajar Pancasila Kurikulum Merdeka*.

### **Kesimpulan**

Keterbatasan data riset tentang penerapan *PE* di Indonesia sebagai konstruksi interdisiplinartitas tidak mengurangi optimisme penulis, untuk terus giat melakukan publikasi *budaya enjiniring* dengan mengenalkan **EHoM** kepada *kalangan pendidikan, dunia industri, dan pemerintah* di sekitar Jateng–DIY. Ada 3 langkah jalan telah ditempuh oleh penulis dalam mewujudkan upaya publikasi tersebut, **pertama**: mengenalkan *PE* kepada *para guru SD–SMP, dan civitas akademika*. Sejak tahun 2011÷ sekarang, tercatat ada 136 responden *guru SD–SMP, dan 9 civitas akademika* telah penulis kenalkan konsep *PE*. Semua responden memberi tanggapan senada, konsep *PE* sangat “*menarik*”. Testimoni yang diperoleh penulis, antara lain: 1 siswa *SDK St. Maria Magelang*, masuk salah satu finalis *Junior Scientist Award (JSA) 2011*, dengan judul karya “*3D Mechanical Puzzle Mencerdaskan*”. Tahun 2022÷2023, mengajar *PE* di *Pondok Pesantren Selamat*, melakukan riset penerapan *PE* di *MTs Al Barokah Robotika*. Tahun 2022, penulis menjadi “*Praktisi Mengajar*” *Program Kampus Merdeka MSIB BATCH 3 (20 jam)* di *PT. Stechoq Robotika Indonesia* – materi “*Engineering Education*”. Tahun 2023, penulis menjadi *narsum* tema mengenal “*budaya enjiniring*” untuk pembekalan para mahasiswa baru *Fakultas Teknik Mesin, UNTIDAR*. **Kedua**: sejak 2015 bekerja sama dengan *dunia industri, PT. YPTI* menyusun 5 buku pegangan “*Mengenal Enjiniring*” program magang untuk siswa – guru SMK, juga untuk mengembangkan *3D Mechanical Puzzle*. **Ketiga**: menjalin hubungan dengan *birokrasi pemerintah*. Tahun 2012, penulis dipercaya menjadi inisiator *Pengembangan Program Enjiniring bagi Masyarakat untuk Karang Taruna se–Kota Magelang (program 40 jam)*, anggaran dari *DPRD Kota Magelang*. Tahun 2023, *narsum: Sesrawungan Orang Muda Lintas Agama*, dalam Tema Mengenal “*Budaya Enjiniring*”, anggaran dari Dinas *KESBANGPOL Kota Magelang*. Selain itu, penulis bersama *para volunteer mahasiswa lintas disiplin ilmu se Magelang Raya* membangun “*Forum Sesrawungan*” untuk mengenalkan “*Budaya Enjiniring*”. Serangkaian strategi publikasi *PE* tersebut terus berlanjut diskusi pengembangannya sampai sekarang. Tujuan utamanya sinkronisasi inisiatif *SDGs* untuk merdeka belajar: 1) Menyasar para guru memperbaiki *persepsi tentang enjiniring* dengan “*TfL*” – “*3D Mechanical Puzzle*”, signifikan membangun rasa percaya diri guru untuk membawa *PE* masuk ke kelasnya; 2) Membingkai nalar untuk mendorong kalangan *birokrasi pemerintah* memahami arti penting *enjiniring* lebih *sadar sosial* dan *inklusif* mengatasi masalah penerapannya ke dunia nyata membangun masyarakat terkait hubungan *sosial–ilmiah sains–teknis* bagi warga negara masa depan melek huruf dalam bidang *enjiniring*. Mendorong *birokrasi pemerintah* untuk memutuskan kebijakan publik, mulai dari *PERDA, PERGUB, hingga PERMEN* tentang *PE*.

### **Daftar Pustaka**

- BPS (Badan Pusat Statistik Indonesia), (2022). *Data tentang Angkatan Kerja, Pasar Tenaga Kerja, Lapangan Kerja* (bps.go.id diunduh 31 Mei 2022)
- Bianchi, L., Chippindall, J., (October 2018). *Learning to Teach Engineering in the Primary and KS3 Classroom*. A Report for the Royal Academy of Engineering. ISBN: 978-1-909327-41-2. Available to download from: [www.raeng.org.uk/tinkering](http://www.raeng.org.uk/tinkering)
- Cunningham, C. (2009). *Engineering is Elementary. The Bridge: Linking Engineering and Society*. Retrieved from <http://www.nae.edu/TheBridge>
- Curwen, C., Timmers, R., Schiavio, A., (2023). “*Action, Emotion, and Music-Colour Synaesthesia: an Examination of Sensorimotor and Emotional Responses in Synaesthetes and Non-Synaesthetes*”. The University of Sheffield, UK. University of York, UK. Psychological Research, 88 (2). pp. 348-362. ISSN 0340-0727. <https://doi.org/10.1007/s00426-023-01856-2>.
- Dringenberg, E., Secules, S., Kramer, A.P.E., (2019). *Studying Smartness in Engineering Culture: An Interdisciplinary Dialogue*. Conference Paper ASEE– June 2019. Paper ID

- #24665 <https://www.researchgate.net/publication/342752495>. DOI: 10.18260/1-2--33272
- Druin, A., (1999). *The Role of Children in the Design of New Technology*. University of Maryland. Institute for Advanced Computer Studies, Human-Computer Interaction Lab, College of Education, Human Development Department [allisond@umiacs.umd.edu](mailto:allisond@umiacs.umd.edu)
- Dunne, J. (2005). “*An Intricate Fabric: Understanding the Rationality of Practice*”. *Pedagogy, Culture and Society*. DOI:[10.1080/14681360500200234](https://doi.org/10.1080/14681360500200234)
- Günther, S., (2022). *Somatosensory Interaction Investigating Mechanoreception, Thermoception, and Proprioception for On-Body Haptic Feedback*. Dissertation. Published under CC BY-NC-ND 4.0 International. <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>.
- Hammack, R. J., (2016). *Elementary Teachers’ Perceptions of Engineering, Engineering Design, and Their Abilities to Teach Engineering: A Mixed Methods Study*. Dissertation Doctoral, Provided by Shareok repository.
- Jamali, S. M., Ebrahim, N. A. & Jamali, F., (2022). *The Role of STEM Education in Improving the Quality of Education: a Bibliometric Study*. *International Journal of Technology and Design Education*, 32(3), 1-22. <https://doi.org/10.1007/s10798-022-09762-1>
- Katehi, L., Pearson, G., and Feder, M., (2009) *Engineering in K-12 Education: Understanding the Status and Improving the Prospects*. ISBN 978-0-309-13778-2. This PDF is available from The National Academies Press at [http://www.nap.edu/catalog.php?record\\_id=12635](http://www.nap.edu/catalog.php?record_id=12635)
- Kramer, A. K., (2022). “*Thinking Like an Engineer: Interrogating the Epistemic Hierarchy of a Professional Engineering Community of Practice*”. Dissertation Presented in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree Doctor of Philosophy in the Graduate School of The Ohio State University.
- Lauff, C., Kotys-Schwartz, D., and Rentschler, M. E., (2017), “*Perceptions of Prototypes: Pilot Study Comparing Students and Professionals*,” ASME Paper No. DETC2017-68117.
- Lauff, C., Kotys-Schwartz, D., and Rentschler, M. E., (2018). *What is a Prototype? What are the Roles of Prototypes in Companies?* Article in *Journal of Mechanical Design*. February 2018, DOI: 10.1115/1.4039340
- Li, T., and Zhan, Z., (2022). *A Systematic Review on Design Thinking Integrated Learning in K-12. Education*. *Appl. Sci.* 2022, 12, 8077. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. <https://doi.org/10.3390/app12168077>
- Nguyen, T. P. L., Nguyen, T. H., & Tran, T. K. (2020). *STEM Education in Secondary Schools: Teachers’ Perspective Towards Sustainable Development* [Article]. *Sustainability (Switzerland)*, 12(21), 1-16, Article 8865. <https://doi.org/10.3390/su12218865>
- Rathore, M.K., and Sonawat, R., (2015). *Meta-cognition: A Predictor of Learning Outcome. Department of Human Development SNTD Women’s University, Juhu Campus Santacruz (west), Mumbai – 400049 Mobile No. 9619718849 [manjurathore23@gmail.com](mailto:manjurathore23@gmail.com). The Indian Journal of Social Work*, 76(4): 559-572.
- Royal Academy of Engineering, (2010). *Philosophy of Engineering Volume 1 of the Proceedings of a Series of Seminars Held at The Royal Academy of Engineering*. ISBN 1-903496-38-1. Published by The Royal Academy of Engineering 3 Carlton House Terrace London. Copies of this report are available online at: Registered Charity Number: 293074 [www.raeng.org.uk/philosophyofengineering](http://www.raeng.org.uk/philosophyofengineering)
- Samsudin, M. A., Md Zain, A. N., Jamali, S. M., & Ale Ebrahim, N., (2017). *Physics Achievement in STEM Project-Based Learning: A Gender Study*. *International Postgraduate Conference on Research in Education (IPCoRE 2017)*.

- Simpson, A., Adam, V. Maltese, Peter, N. K., Yang, J., (2021). *Caregivers' Multiple Roles in Supporting Their Child Through an Engineering Design Project (Fundamental)*. ASEE virtual meeting, Paper ID #32581
- Smith, A., (2008). *Technology Engineering. Welcome to the Designed World. Courtesy of the MIT News Office. Copyright © 2008 Museum of Science, Boston.*
- Sternberg, R. J., (2004). "Culture and Intelligence". *American Psychologist*, Vol. 59, No. 5, 325–338. DOI: [10.1037/0003-066X.59.5.325](https://doi.org/10.1037/0003-066X.59.5.325)
- Stevens, R., Johri, A., O'connor, K., & Olds, B. (2014). *Professional Engineering Work. Cambridge Handbook of Engineering Education Research*. See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/272482401>
- Suratno, S., Wahono, B., Chang, C. Y., Retnowati, A., & Yushardi, Y. (2020). *Exploring a Direct Relationship between Students' Problem-Solving Abilities and Academic Achievement: A STEM Education at a Coffee Plantation Area* [Article]. *Journal of Turkish Science Education*, 17(2), 211-224. <https://doi.org/10.36681/tused.2020.22>
- Suwarma I R, and Kumano Y. (2019). "Implementation of STEM Education in Indonesia: Teachers' Perception of STEM Integration into Curriculum". *Journal of Physics: Conference Series* 1280 052052.