

**PEMBELAJARAN PROYEK *RENEWABLE ENERGY* BERBASIS STEM-
ESD SDGs *CLIMATE ACTION* TERHADAP KETERAMPILAN
REKAYASA DAN AKSI SISWA SMA**

SKRIPSI

*Disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam memperoleh gelar Sarjana
Pendidikan Biologi*



Disusun oleh:
Fitri Kurniawati
2108958

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN BIOLOGI
FAKULTAS PENDIDIKAN MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN
ALAM
UNIVERSITAS PENDIDIKAN INDONESIA
BANDUNG
2025**

**PEMBELAJARAN PROYEK *RENEWABLE ENERGY* BERBASIS STEM-
ESD SDGs *CLIMATE ACTION* TERHADAP KETERAMPILAN
REKAYASA DAN AKSI SISWA SMA**

Oleh

Fitri Kurniawati

Skripsi yang diajukan untuk memperoleh gelar

Sarjana Pendidikan Biologi pada Program Studi Pendidikan Biologi

©Fitri Kurniawati

Universitas Pendidikan Indonesia 2025

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

Skripsi ini tidak boleh diperbanyak seluruhnya atau sebagian, dengan dicetak ulang, difotocopy, atau dengan cara lainnya tanpa izin dari penulis.

LEMBAR PENGESAHAN
PEMBELAJARAN PROYEK *RENEWABLE ENERGY* BERBASIS STEM-ESD
TERKAIT *CLIMATE ACTION* TERHADAP KETERAMPILAN REKAYASA DAN
AKSI SISWA SMA

FITRI KURNIAWATI

NIM 2108958

Disetujui dan disahkan oleh:

Pembimbing I,



Dr. Hj. Siti-Srivati M.Si.

NIP. 196409281989012001

Pembimbing II,

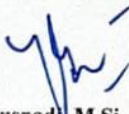


Dr. Rini Solihat, M.Si.

NIP. 197902132001122001

Mengetahui,

Ketua Program Studi Pendidikan Biologi



Dr. Kusnadi M.Si.

NIP. 196805091994031001

PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Fitri Kurniawati

NIM : 2108958

Program Studi : Pendidikan Biologi

Judul Karya : Pembelajaran Proyek Renewable Energy Berbasis STEM-ESD
SDGs Climate Action Terhadap Keterampilan Rekayasa dan Aksi Siswa SMA

Dengan ini saya menyatakan bahwa karya tulis ini merupakan hasil kerja saya sendiri. Saya menjamin bahwa seluruh isi karya ini, baik sebagian maupun keseluruhan, bukan merupakan plagiarisme dari karya orang lain, kecuali pada bagian yang telah dinyatakan dan disebutkan sumbernya dengan jelas.

Jika di kemudian hari ditemukan pelanggaran terhadap etika akademik atau unsur plagiarisme. Saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku di Universitas Pendidikan Indonesia.

Bandung, 04 Agustus 2025.

Yang membuat pernyataan,

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Fitri Kurniawati' with a stylized flourish at the end.

Fitri Kurniawati

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmaanirrahiim.

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah Subhanahu Wa Ta'ala atas segala berkah dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi berjudul “Pembelajaran Proyek *Renewable Energy* Berbasis STEM-ESD SDGs *Climate Action* Terhadap Keterampilan Rekayasa dan Aksi Siswa SMA” ini dengan baik dan tepat waktu. Salawat dan salam semoga senantiasa tercurah kepada Nabi Muhammad SAW, keluarganya, sahabatnya, serta kepada kita semua sebagai umatnya di akhir zaman.

Penulisan skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk meraih gelar sarjana Pendidikan Biologi, dan penulis berusaha menyelesaikannya dengan menikmati setiap tahap prosesnya. Penulis telah mengalami berbagai suka dan duka selama proses ini, dan kini mempersembahkan hasil penelitian serta analisis mengenai dampak model pembelajaran proyek berbasis STEM dalam mencapai tujuan pembangunan berkelanjutan, khususnya terkait aksi iklim, terhadap keterampilan rekayasa dan tindakan atau aksi siswa di tingkat sekolah menengah atas.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini tidak sempurna karena masih banyak hal yang perlu diperbaiki. Oleh karena itu, penulis sangat terbuka terhadap masukan dan saran yang membangun, yang diharapkan dapat menjadi pelajaran berharga untuk perbaikan di masa mendatang. Penulis berharap skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca dan memperkaya pengetahuan, terutama dalam bidang pembelajaran tentang perubahan iklim dan terkait topik lainnya. Selain itu, penulis berharap karya ini dapat berkontribusi dalam menciptakan generasi masa depan yang kreatif dan memiliki kesadaran berkelanjutan untuk menghadapi tantangan yang akan datang.

Bandung, 04 Agustus 2025



Fitri Kurniawati

UCAPAN TERIMA KASIH

Alhamdulillahirabbilaalamiin

Sekali lagi, puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah Subhanahu Wa Ta'ala atas segala berkah dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi berjudul “Pembelajaran Proyek *Renewable Energy* Berbasis STEM-ESD SDGs Climate Action Terhadap Keterampilan Rekayasa dan Aksi Siswa SMA”. Dalam proses penyusunan, penulis mendapat banyak hambatan, kendala, rintangan, dan hal yang tak terduga. Namun atas seizin Allah SWT yang memberikan kekuatan dan kesabaran, penulis telah melewati seluruh prosesnya. Untuk itu, izinkan penulis untuk menyampaikan terima kasih dan apresiasi kepada berbagai pihak yang telah menjadi perantara-Nya dalam membantu penulis melewati segala prosesnya. Ucapan terima kasih dan apresiasi penulis ucapkan kepada:

1. Ibu Dr. Hj. Siti Sriyati, M.Si, selaku dosen pembimbing pertama. Terima kasih sudah selalu meluangkan waktu berharga nya untuk memberikan arahan, bimbingan, solusi, motivasi, semangat dan dukungan kepada penulis untuk melewati proses penyusunan skripsi ini hingga selesai.
2. Ibu Dr. Rini Solihat, M.Si, selaku Sekretaris Program Studi Pendidikan Biologi sekaligus dosen pembimbing kedua. Terima kasih sudah bersedia mendengarkan keluhan penulis selama penulisan, memberikan arahan, solusi, dorongan motivasi, semangat, dan nasihat yang selalu menenangkan dalam menghadapi situasi yang tidak terduga.
3. Bapak Prof. Dr. Phil. H. Ari Widodo, M.Ed selaku tim dosen penelitian yang sudah bersedia meluangkan waktu ditengah kesibukannya dalam memberikan kritik, saran, bimbingan dan solusi sehingga penulis mendapatkan pembelajaran yang sangat berharga.
4. Ibu Dr. Yanti Hamdiyati, M.Si selaku Dosen Pembimbing Akademik yang selalu membimbing, mengingatkan, memberikan informasi, bantuan, arahan, nasihat dan semangat selama empat tahun menjalani perkuliahan sehingga penulis dapat menjalani perkuliahan dengan lancar dan menyelesaikan skripsi tepat waktu.

5. Bapak dan Ibu Dosen Penguji yang sudah memberikan saran, masukan, rekomendasi, serta motivasi bagi penulis agar skripsi ini dapat lebih baik lagi.
6. Bapak Dr. Kusnadi, M.Si, selaku Ketua Program Studi Pendidikan Biologi yang telah mendukung penulis dengan memberikan fasilitas perkuliahan sehingga penulis dapat melaksanakan perkuliahan dengan baik.
7. Bapak dan Ibu Dosen Pendidikan Biologi yang telah mendidik, memberikan ilmu yang berharga dan bermanfaat, serta motivasi kepada penulis selama empat tahun perkuliahan dalam konten biologi, pendidikan, dan ilmu kehidupan yang luar biasa.
8. Ibu Ecin, S.Pd selaku Guru Biologi di SMA Negeri 19 Bandung yang telah membantu dan memberikan kemudahan kepada penulis dalam melakukan penelitian. Serta kepada staff sekolah dan guru lainnya yang telah menerima penulis dengan baik ketika melakukan penelitian di sekolah.
9. Siswa dan siswa hebat kelas X-H dan X-I yang telah bersedia menjadi sampel pada penelitian ini. Terima kasih atas kerja sama, waktu, tenaga, dan antusiasnya untuk mengikuti pembelajaran dengan baik dari awal hingga akhir.
10. Teman-teman tim payung penelitian STEM-ESD, terima kasih atas segala bantuan, motivasi, dan telah sama-sama berproses dan berjuang dalam menyelesaikan skripsi ini dari awal hingga akhir yaitu: Qisthina Hunafa, Nurani Yasvika, Eva Sulistiyanti, Ihat Solihat, Alya Syahrianida, Chairani Azzahra, terutama Astri Afifah Rohana dan Lu'Lu Luthiyah yang sudah kebersamaan dan membantu penulis ketika proses pengambilan data penelitian, serta Ailsya Machira Berliani, Siti Nuraisyah PS, dan Shiva Aulia Sari yang telah kebersamaan, saling mendukung, memberikan informasi, dan semangat dari awal proses skripsi.
11. Teh Ayudya Fitriani, S.Pd, kakak tingkat yang selalu memberikan dukungan, semangat, arahan dan bantuan kepada penulis selama masa perkuliahan. Penulis sangat beruntung dipertemukan dengan kakak tingkat yang sangat baik. Semoga Allah selalu memudahkan segala urusan dan menjaga teteh.
12. Teman-teman DPK 21 : Salma Fitriani, Salma Setia Nurhaliza, Ratu Dewi Hendriantika, Ok Muhammad Abthal Al-Wafi. Terima kasih atas

kebersamaannya dalam melewati suka duka berbagai program kerja yang luar biasa.

13. Teman dekat penulis yaitu Alkiss Rezky Ronalika, terima kasih atas segala dukungan, bantuan, motivasi dan semangatnya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
14. Sahabat penulis yaitu Nurul Rahmawati, terima kasih telah kebersamaai penulis selama perkuliahan, memberikan saran, dukungan, dan semangat. Semoga dilancarkan dan dipermudah segala urusannya.
15. Sahabat penulis selama masa sekolah hingga saat ini : Ai Suci Yunia, Fivit Siti Nafisah, Putri Febrianti, Asri Lestari, Minarti, dan Anisa Sopiana. Terima kasih atas dukungan dan kebersamaannya selama ini. Semoga tapi silaturahmi kita tetap terjaga.
16. Teman-teman kelas Pendidikan Biologi A 2021 (Sobat Rodi) yang telah menemani penulis selama perkuliahan.

Terakhir, penulis persembahkan paragraf spesial ini untuk mereka yang menjadi salah satu alasan penulis dalam menyelesaikan studi. Orang tua yang penulis cintai : Ibu Teti Rohaeti dan Bapak Unang Sobarna. Terima kasih telah mengizinkan dan mewujudkan mimpi anak perempuan terakhirnya ini untuk menjelajahi tempat impiannya. Terima kasih untuk segala doa yang selalu dipanjatkan setiap harinya, kerja keras, kasih sayang, dukungan, motivasi yang selalu diberikan tiada henti. Terima kasih selalu meyakinkan dan menguatkan penulis ketika mengalami kendala dan mendengarkan keluh kesahnya. Penulis bangga dan bersyukur memiliki orang tua yang memiliki pemikiran terbuka dan selalu mendukung mimpi anaknya. Terima kasih sudah bertahan dan tetap berjuang ditengah banyaknya kendala dan hal tak terduga selama penulis menyelesaikan studi. Semoga Allah senantiasa melindungi, memberikan kesehatan, kemudahan, dan umur yang panjang untuk Mamah dan Bapak. Selanjutnya, kakak-kakak yang penulis sayangi : A Dadang Rusmana, A Yudi Kusnadi, dan Teh Devi Rahmawati. Terima kasih sudah ikut mendukung dan mendoakan adik terakhirnya ini dalam menempuh pendidikan. Semoga Allah selalu menjaga kalian semua. Hidup lebih lama ya.

ABSTRAK

Pembelajaran Proyek *Renewable Energy* Berbasis STEM-ESD SDGs Climate Action Terhadap Keterampilan Rekayasa dan Aksi Siswa SMA

Fitri Kurniawati

2108958

Emisi gas rumah kaca terus menerus meningkat akibat penggunaan bahan bakar fosil yang berlebih mengakibatkan perubahan iklim. Sebagai upaya untuk mewujudkan SDGs *climate action* diperlukan adanya pengembangan keterampilan rekayasa dan aksi siswa di SMA agar terlibat dalam mencegah dan mengatasi permasalahan perubahan iklim salah satunya dengan membuat alat teknologi energi terbarukan. Pembelajaran proyek *renewable energy* berbasis STEM-ESD merupakan suatu pembelajaran yang erat kaitannya dengan pemecahan masalah nyata di lingkungan sekitar dengan solusi berupa produk teknologi yang dapat mendukung keterampilan rekayasa dan aksi siswa. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat keterampilan rekayasa dan peningkatan aksi siswa setelah melakukan pembelajaran proyek *renewable energy* berbasis STEM-ESD SDGs *climate action*. Metode dan desain penelitian yang digunakan adalah pre-eksperimental *One Group Pre-test Post-test* dengan teknik pengambilan sampel *convenience sampling*. Penelitian ini dilakukan kepada 70 siswa kelas X SMA di Kota Bandung. Instrumen penelitian menggunakan instrumen keterampilan rekayasa berupa rubrik penilaian EDP (*Engineering Design Process*) dan instrumen aksi berupa kuesioner pernyataan yang merujuk pada ESD *Learning Goals*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pembelajaran proyek *renewable energy* berbasis STEM-ESD *climate action* dapat melihat capaian keterampilan rekayasa siswa yang berada pada tingkat lanjut dan aksi siswa tidak mengalami peningkatan berdasarkan skor N-Gain.

Kata kunci: Pembelajaran proyek *renewable energy* berbasis STEM-ESD, Keterampilan Rekayasa, Aksi, Perubahan Iklim

ABSTRACT

STEM-ESD SDGs Climate Action-Based Renewable Energy Project Learning on Engineering Skills and Student Action in High School

Fitri Kurniawati

2108958

Greenhouse gas emissions continue to rise due to excessive use of fossil fuels, leading to climate change. In order to achieve the SDGs climate action, it is necessary to develop engineering skills and student action in high schools so that they can be involved in preventing and overcoming climate change issues, one of which is by creating renewable energy technology tools. STEM-ESD-based renewable energy project learning is a form of education closely tied to solving real-world problems in the surrounding environment, with solutions in the form of technological products that support students' engineering skills and actions. This study aims to determine the level of engineering skills and increased student action after participating in STEM-ESD-based renewable energy project learning aligned with SDGs climate action. The research method and design used was a pre-experimental One Group Pre-test Post-test with convenience sampling. The study was conducted on 70 tenth-grade high school students in Bandung City. The research instruments included an engineering skills assessment rubric (EDP) and an action questionnaire based on ESD Learning Goals. The results show that STEM-ESD climate action-based renewable energy project learning can improve students' advanced engineering skills, but there was no improvement in student action based on N-Gain scores.

Keywords: *STEM-ESD-based renewable energy project learning, Engineering Skills, Action, Climate Change*

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
UCAPAN TERIMA KASIH	ii
ABSTRAK	v
<i>ABSTRACT</i>	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	8
1.3 Tujuan Penelitian.....	8
1.4 Manfaat Penelitian.....	8
1.5 Batasan Penelitian	9
1.6 Asumsi Penelitian	9
1.7 Hipotesis Penelitian.....	9
1.8 Struktur Organisasi Skripsi.....	10
BAB II.....	12
KAJIAN PUSTAKA	12
2.1 Pembelajaran Proyek <i>Renewable Energy</i> Berbasis STEM-ESD SDGs <i>Climate Action</i>	12
2.2 Keterampilan Rekayasa	17
2.3 Aksi Siswa	23
BAB III	30
METODE PENELITIAN.....	30
3.1 Metode Penelitian.....	30
3.1.1 Metode Penelitian	30
3.1.2 Desain Penelitian	30
3.2 Populasi dan Sampel	31
3.3 Definisi Operasional.....	31
3.4 Instrumen Penelitian.....	32

3.4.1 Rubrik Instrumen Keterampilan Rekayasa	33
3.4.2 Rubrik Instrumen Aksi.....	37
3.4.3 Instrumen Tambahan.....	57
3.5 Prosedur Penelitian.....	57
3.5.1 Tahap Pra Pelaksanaan.....	58
3.5.2 Tahap Pelaksanaan	58
3.5.3 Tahap Pasca Pelaksanaan	65
3.6 Pengolahan dan Analisis.....	66
3.6.1 Analisis Data Keterampilan Rekayasa Siswa	66
3.6.2 Analisis Data Aksi Siswa	66
3.7 Alur Penelitian.....	67
.....	68
.....	68
BAB IV	69
HASIL DAN PEMBAHASAN	69
4.1 Keterampilan Rekayasa Siswa Pada Pembelajaran <i>Proyek Renewable Energy</i> Berbasis STEM-ESD SDGs <i>Climate Action</i>	69
4.1.1 Mengidentifikasi Masalah.....	81
4.1.2 Menyebutkan dampak yang timbul akibat permasalahan perubahan iklim.....	89
4.1.3 Merumuskan rencana penanggulangan berupa teknologi energi terbarukan untuk mengatasi permasalahan perubahan iklim.....	92
4.1.4 Menganalisis kekurangan alat yang sudah.....	95
4.1.5 Menentukan ukuran alat.....	101
4.1.6 Menentukan bentuk prototipe alat yang efisien dan fungsional	105
4.1.7 Menentukan bahan yang terjangkau, ramah lingkungan, dan mudah ditemukan untuk membuat prototipe alat	108
4.1.8 Menentukan cara kerja alat yang optimal sesuai dengan fungsinya ...	110
4.1.9 Memperkirakan biaya untuk membuat alat	111
4.1.10 Memilih solusi dengan mempertimbangkan nilai kegunaan	112
4.1.11 Memilih solusi dengan mempertimbangkan nilai originalitas.....	114
4.1.12 Membuat desain prototipe alat.....	116
4.1.13 Membuat prototipe alat berdasarkan desain yang telah dibuat.....	120
4.1.14 Uji coba prototipe alat.....	122
4.1.15 Presentasi dan Pelaporan	123

4.1.16 Kesesuaian <i>Timeline</i> Kegiatan dan Ketepatan Waktu Pengumpulan Laporan	125
4.2 Aksi Siswa dalam Mencegah dan Mengatasi Perubahan Iklim.....	126
4.2.1 Tindakan Masa Lalu, Masa Sekarang, dan Masa Depan	134
4.2.2 Capaian Kompetensi	138
BAB V	141
SIMPULAN DAN SARAN	141
5.1 Simpulan.....	141
5.2 Saran	141
DAFTAR PUSTAKA	142
LAMPIRAN.....	151

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Model Pembelajaran Proyek STEM.....	13
Tabel 2. 2 <i>Learning Objectives</i> SDGs 13 “ <i>Climate Action</i> ”	24
Tabel 3. 1 Desain Penelitian One Group Pre-test Post-test Design.....	30
Tabel 3. 2 Instrumen Penelitian Pembelajaran Proyek STEM-ESD Climate Action	33
Tabel 3. 3 Kisi-Kisi Instrumen Penilaian Keterampilan Rekayasa Siswa	34
Tabel 3. 4 Kisi-kisi Instrumen Aksi Siswa dalam Pembelajaran Proyek Renewable Energy terkait Climate Action Sebelum Uji Validitas dan Reliabilitas.....	39
Tabel 3. 5 Hasil Uji Validitas dan Reliabilitas Instrumen Indikator Tindakan Tiap Masa SDGs Climate Action Tahap Pertama	42
Tabel 3. 6 Hasil Uji Validitas dan Reliabilitas Instrumen Indikator Capaian Kompetensi SDGs Climate Action Tahap Pertama.....	46
Tabel 3. 7 Hasil Uji Validitas dan Reliabilitas Instrumen Indikator Tindakan Tiap Masa SDGs Climate Action Tahap Kedua	48
Tabel 3. 8 Hasil Uji Validitas dan Reliabilitas Instrumen Indikator Capaian Kompetensi SDGs Climate Action Tahap Kedua	52
Tabel 3. 9 Kisi-kisi Instrumen Aksi Siswa dalam Pembelajaran Proyek Renewable Energy SDGs Climate Action Sebelum Uji Validitas dan Reliabilitas	55
Tabel 3. 10 Kisi-Kisi Pertanyaan Wawancara.....	57
Tabel 3. 11 Tahapan Pembelajaran Pertemuan 1	59
Tabel 3. 12 Tahapan Pembelajaran Pertemuan 2.....	62
Tabel 3. 13 Tahapan Pembelajaran Pertemuan 3.....	64
Tabel 3. 14 Kategori Tingkat Keterampilan Rekayasa.....	66
Tabel 3. 15 Perolehan Nilai Uji N-Gain.....	67
Tabel 4. 1 Rata-Rata Nilai Keterampilan Rekayasa Siswa Setiap Kelompok Berdasarkan Rubrik Penilaian Kinerja Engineering Design Process.....	71
4. 2 Prototipe Alat Energi Terbarukan yang Dibuat Oleh Siswa.....	72
Tabel 4. 3 Hasil Analisis Statistik Deskriptif Aksi Siswa	127

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Alur Penelitian.....	68
Gambar 4. 1 Skor Identifikasi Masalah	82
Gambar 4. 2 a) Jawaban Kelompok 2 Hasil Observasi Secara Langsung Terkait Permasalahan Lingkungan yang Menyebabkan Perubahan Iklim, b) Dokumentasi tempat observasi.....	84
Gambar 4. 3 Jawaban Siswa Kelompok 7 Berdasarkan Hasil Observasi di Lingkungan Sekolah Terkait Permasalahan Lingkungan yang Menyebabkan Perubahan Iklim	86
Gambar 4. 4 Jawaban Siswa Kelompok 7 Berdasarkan Studi Literatur Terkait Permasalahan Lingkungan yang Menyebabkan Perubahan Iklim	88
Gambar 4. 5 Skor Identifikasi Dampak Permasalahan	90
Gambar 4. 6 Jawaban Siswa Kelompok 8 Berdasarkan Studi Literatur Terkait Dampak Permasalahan Lingkungan yang Menyebabkan Perubahan Iklim Terhadap Aspek Ekonomi, Sosial, dan Lingkungan	91
Gambar 4. 7 Skor Merumuskan Rencana Penanggulangan	93
Gambar 4. 8 a) Rencana Penanggulangan Kelompok 11, dan b) Rencana Penanggulangan Kelompok 6	94
Gambar 4. 9 Skor Menganalisis Kekurangan Alat Sebelumnya	95
Gambar 4. 10 a) Jawaban Siswa Kelompok 4 dan b) Jawaban Siswa Kelompok 6 Dalam Menganalisis Kekurangan Alat dan Solusi untuk Mengoptimalkannya (kebaruan atau inovasi)	98
Gambar 4. 11 Jawaban Siswa Kelompok 9 Dalam Menganalisis Kekurangan Alat dan Solusi untuk Mengoptimalkannya (kebaruan atau inovasi)	99
Gambar 4. 12 Skor Menentukan Ukuran Prototipe Alat.....	102
Gambar 4. 13 a) Alat Energi Air Kelompok 2 dan b) Alat Energi Angin Kelompok 10.....	103
Gambar 4. 14 a) Alat Kelompok 1 yaitu Kincir Air dan b) Alat Kelompok 6 yaitu Kompor Tenaga Surya.....	104
Gambar 4. 15 Skor Menentukan Bentuk Prototipe Alat	106
Gambar 4. 16 Prototipe Alat Kelompok 5 (Kipas Angin Tenaga Surya)	107
Gambar 4. 17 Skor Menentukan Bahan yang akan Digunakan	108
Gambar 4. 18 Skor Menentukan Cara Kerja Prototipe Alat	110
Gambar 4. 19 Skor Memperkirakan Biaya	111
Gambar 4. 20 Skor Mempertimbangkan Nilai Kegunaan.....	113
Gambar 4. 21 Skor Mempertimbangkan Nilai Originalitas	114
Gambar 4. 22 Desain Kelompok 12 yang tidak memiliki kebaruan	115
Gambar 4. 23 Skor Membuat Desain Prototipe Alat.....	117
Gambar 4. 24 a) Desain Alat Kelompok 6 dan b) Penjabaran Desain Alat Kelompok 4.....	119
Gambar 4. 25 Skor Membuat Prototipe Alat Berdasarkan Desain.....	121
Gambar 4. 26 Skor Uji Coba Prototipe Alat	122
Gambar 4. 27 Skor Presentasi dan Pelaporan	124
Gambar 4. 28 Skor Kesesuaian Timeline Kegiatan dan Ketepatan Waktu Pengumpulan Laporan	125
Gambar 4. 29 Nilai N-Gain Siswa	128

Gambar 4. 30 Perubahan aksi siswa berdasarkan tindakan masa lalu ke masa sekarang hingga ke masa depan	131
Gambar 4. 31 Rata-Rata Nilai Aksi Tindakan Masa Lalu, Masa Sekarang, dan Masa Depan Siswa Dalam Upaya Mencegah dan Mengatasi Perubahan Iklim .	135
Gambar 4. 32 Rata-Rata Nilai Capaian Kompetensi Aksi Siswa Dengan Maksimal Nilai 4.....	139

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Surat Izin Penelitian.....	151
Lampiran 2. Surat Keterangan Balasan melakukan Penelitian	152
Lampiran 3. Uji Validitas dan Reliabilitas Aksi Siswa (Tahap I).....	153
Lampiran 4. Uji Validitas dan Reliabilitas Aksi Siswa (Tahap II)	161
Lampiran 5. Modul Pembelajaran.....	172
Lampiran 6. Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD)	186
Lampiran 7. Contoh Jawaban Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD).....	193
Lampiran 8. Hasil Penilaian Keterampilan Rekayasa Siswa Setiap Kelompok .	199
Lampiran 9. Tabulasi Skor Aksi Siswa	202
Lampiran 10. Analisis Uji N-Gain	210
Lampiran 11. Nilai N-Gain Tiap Siswa.....	210
Lampiran 12. Kategori Aksi Siswa (Tiap Tindakan Masa).....	212
Lampiran 13. Instrumen Wawancara	214
Lampiran 14. Dokumentasi Kegiatan Siswa.....	215
Lampiran 15. Google Formulir <i>Pretest</i> , <i>Posttest</i> , dan Capaian Kompetensi	216

DAFTAR PUSTAKA

- Abdurrahman, A., Maulina, H., Nurulsari, N., Sukamto, I., Umam, A. N., & Mulyana, K. M. (2023). Impacts of integrating engineering design process into STEM makerspace on renewable energy unit to foster students' system thinking skills. *Heliyon*, 9(4). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e15100>
- Afiansyah, A. R. (2024). Pengaruh Pembelajaran Proyek STEM-ESD Untuk Mencapai Poin SDGs Climate Action Terhadap Kreativitas dan Aksi Siswa. *Repository UPI*.
- Akbar, S. S. A., Nurapidah, Tunny, C. A., & Nasharuddin. (2025). Pengembangan Media Kincir Angin Berbasis Baterai sebagai Alat Peraga Pembelajaran Energi dan Perubahannya. *Hikamatzu Journal Of Multidisiplin, Universitas Muhammadiyah Makassar*, 2(1).
- Al-Ghussain, L. (2019). Global warming: review on driving forces and mitigation. In *Environmental Progress and Sustainable Energy* (Vol. 38, Issue 1, pp. 13–21). John Wiley and Sons Inc. <https://doi.org/10.1002/ep.13041>
- Almers, E. (2013). Pathways to action competence for sustainability - Six themes. *Journal of Environmental Education*, 44(2), 116–127. <https://doi.org/10.1080/00958964.2012.719939>
- Archer, M. (n.d.). *Going beyond the one-off: How can STEM engagement programmes with young people have real lasting impact? Manuscript in preparation for Research for All*. <https://orcid.org/0000-0002-8816-3909>
- Ari Widodo. (2021). *Pembelajaran Ilmu Pengetahuan Alam Dasar-Dasar untuk Praktik*. UPI Press.
- Arnocky, S., Milfont, T. L., & Nicol, J. R. (2014). Time Perspective and Sustainable Behavior: Evidence for the Distinction Between Consideration of Immediate and Future Consequences. *Environment and Behavior*, 46(5), 556–582. <https://doi.org/10.1177/0013916512474987>
- Atman, C. J., Adams, R. S., Cardella, M. E., Turns, J., Mosborg, S., & Saleem, J. (2007). Engineering design processes: A comparison of students and expert practitioners. *Journal of Engineering Education*, 96(4), 359–379. <https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2007.tb00945.x>
- Axelithioti, P., Fisher, R. S., Ferranti, E. J. S., Foss, H. J., & Quinn, A. D. (2023). What Are We Teaching Engineers about Climate Change? Presenting the MACC Evaluation of Climate Change Education. *Education Sciences*, 13(2). <https://doi.org/10.3390/educsci13020153>
- Azzahra, A. (2024). Pengaruh Pembelajaran Proyek STEM-ESD Terkait Climate Action Terhadap Kreativitas dan Aksi Siswa. *Repository UPI*.
- Bagiati, A., & Evangelou, D. (2016). Practicing engineering while building with blocks: identifying engineering thinking. *European Early Childhood*

- Education Research Journal*, 24(1), 67–85.
<https://doi.org/10.1080/1350293X.2015.1120521>
- Becker, K., & Park, K. (n.d.). Effects of integrative approaches among science, technology, engineering, and mathematics (STEM) subjects on students' learning: A preliminary meta-analysis. In *Journal of STEM Education* (Vol. 12).
- Beers, S. Z. (2011). *What are the skills students will need in the 21 st century?*
- Bostan Sarioğlu, A., & Özkaya, Ö. Ş. (2023). Web Integrated STEM Learning: Effects on Students' Academic Achievement, Creativity and Metacognitive Awareness. *J.Sci.Learn.* 2023, 6(3), 315–326.
<https://doi.org/10.17509/jsl.v6i3.56477>
- Brophy, S., Klein, S., Portsmore, M., & Rogers, C. (2008). Advancing engineering education in P-12 classrooms. *Journal of Engineering Education*, 97(3), 369–387. <https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2008.tb00985.x>
- Carfagni, M., Fiorineschi, L., Furferi, R., Governi, L., & Rotini, F. (2020). Usefulness of prototypes in conceptual design: students' view. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing*, 14(4), 1305–1319.
<https://doi.org/10.1007/s12008-020-00697-2>
- Clabaugh Howell, K., & Holt, E. A. (2023). Student reasonings and cognitive biases in climate change predictions. *Science Education*.
<https://doi.org/10.1002/sce.21826>
- Corral-Verdugo, V., Fraijo-Sing, B., & Pinheiro, J. Q. (2006). Sustainable Behavior and Time Perspective: Present, Past, and Future Orientations and Their Relationship with Water Conservation Behavior. In *Revista Interamericana de Psicología/Interamerican Journal of Psychology-2006* (Vol. 40, Issue 2).
- Crismond, D. P., & Adams, R. S. (2012). The informed design teaching and learning matrix. *Journal of Engineering Education*, 101(4), 738–797.
<https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2012.tb01127.x>
- Cross, Nigel. (2000). *Engineering design methods : strategies for product design*. Wiley.
- David Creswell, J. (2023). *Research Design : Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches* (Sixth edition). SAGE.
- Daya, C., Surya, T., Cadangan, S., Pondok, L., Di, P., Buo, T., Syafii, P. S., Adrianti, A., Nasir, M., & Yunus, S. (2022). Rekayasa dan Penerapan Teknologi. *Jurnal Andalas*, 2(1), 12–15. <http://jarpet.ft.unand.ac.id/>
- Deiningner, M., Daly, S. R., Sienko, K. H., & Lee, J. C. (2017). Novice designers' use of prototypes in engineering design. *Design Studies*, 51, 25–65.
<https://doi.org/10.1016/j.destud.2017.04.002>

- Disley. (2013). *Sustainable development goals for people and planet*. www.cbd.int/sp/
- Dorie, B. L., Cardella, M., & Svarovsky, G. N. (2014). *Purdue e-Pubs Capturing the Design Thinking of Young Children Interacting with a Parent*. <http://docs.lib.purdue.edu/enegs/52>
- Dym, C. L., Agogino, A. M., Eris, O., Frey, D. D., & Leifer, L. J. (2005). Engineering design thinking, teaching, and learning. *Journal of Engineering Education*, 94(1), 103–120. <https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2005.tb00832.x>
- Elisabeth Irma Novianti Davidi, E. S. K. S. (2021). Integrasi Pendekatan STEM (Science, Technology, Enggeenering and Mathematic) Untuk Peningkatan Keterampilan Berpikir Kritis Siswa Sekolah Dasar. *Jurnal Pendidikan Dan Kebudayaan, Vol. 11 No. 1*.
- English, L. D., & King, D. T. (2015). STEM learning through engineering design: fourth-grade students' investigations in aerospace. *International Journal of STEM Education*, 2(1). <https://doi.org/10.1186/s40594-015-0027-7>
- Fadillah, Z. I. (2024). Pentingnya Pendidikan STEM (Sains, Teknologi, Rekayasa, dan Matematika) di Abad-21. *JSE: Journal Sains and Education*, 2(1).
- Fernandez, T., Jacobson, M., & Coulter, W. H. (2022). *Engineering Students' Performance of Prototyping: Process, Purpose, and Perception in the Design Classroom**.
- Fitri Nuraeni, & Zhaza Nabila Zahra. (2021). PROYEK DESAIN REKAYASA DALAM PEMBELAJARAN IPA UNTUK MENINGKATKAN COLLABORATIVE PROBLEM SOLVING DAN PEMAHAMAN KONSEP. *LENSA (Lentera Sains): Jurnal Pendidikan IPA*, 11(2), 47–59. <https://doi.org/10.24929/lensa.v11i2.162>
- Fitriyani, A. (2024). Pengaruh Pembelajaran Proyek STEM-ESD Terkait SDGs-6 (Clean Water and Sanitation) Terhadap Kreativitas dan Aksi Siswa. *Repository UPI*.
- Fuso Nerini, F., Sovacool, B., Hughes, N., Cozzi, L., Cosgrave, E., Howells, M., Tavoni, M., Tomei, J., Zerriffi, H., & Milligan, B. (2019). Connecting climate action with other Sustainable Development Goals. In *Nature Sustainability* (Vol. 2, Issue 8, pp. 674–680). Nature Publishing Group. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0334-y>
- Habibaturrohman, Z. (2024). Pengaruh Pembelajaran PjBL-STEM Terintegrasi ESD Pada Climate Action Goal Terhadap Keterampilan Berpikir Kreatif dan Sustainability Consciousness Siswa. *Repository UPI*.
- Hadjichambis, A. C., & Paraskeva-Hadjichambi, D. (2020). Environmental citizenship questionnaire (ECQ): The development and validation of an

- evaluation instrument for secondary school students. *Sustainability (Switzerland)*, 12(3). <https://doi.org/10.3390/SU12030821>
- Hake, R. R. (1999). Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 66(1), 64–74. <https://doi.org/10.1119/1.18809>
- Hanif, S., Wijaya, A. F. C., & Winarno, N. (2019). Enhancing Students' Creativity through STEM Project-Based Learning. *Journal of Science Learning*, 2(2), 50. <https://doi.org/10.17509/jsl.v2i2.13271>
- Hermawan, A., Riyanto, C. A., & Wijaya, A. F. (2023). Pengembangan Produk dengan Menerapkan Bahan Ramah Lingkungan (Produk Hijau). *JIMT*, 5(1). <https://doi.org/10.31933/jimt.v5i1>
- IOWA. (2024). Innovative approaches to STEM teaching: Preparing the next generation. *University Of IOWA Education*.
- IPCC. (2021). *Climate Change 2021 : The Physical Science Basis*. IPCC Sixth Assessment Report.
- Kelley, T. R., & Knowles, J. G. (2016). A conceptual framework for integrated STEM education. In *International Journal of STEM Education* (Vol. 3, Issue 1). Springer. <https://doi.org/10.1186/s40594-016-0046-z>
- Kemdikbud. (2024). *PENDIDIKAN PERUBAHAN IKLIM*.
- Kemdikbudristek. (2024). *Pendidikan Perubahan Iklim*.
- Kuppuswamy, R., & Mhakure, D. (2020). Project-based learning in an engineering-design course - Developing mechanical- engineering graduates for the world of work. *Procedia CIRP*, 91, 565–570. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.02.215>
- Kurz, T., Gardner, B., Verplanken, B., & Abraham, C. (2015). Habitual behaviors or patterns of practice? Explaining and changing repetitive climate-relevant actions. In *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change* (Vol. 6, Issue 1, pp. 113–128). Wiley-Blackwell. <https://doi.org/10.1002/wcc.327>
- Kusumawardhani, I. D., & Gernowo, R. (2015). ANALISIS PERUBAHAN IKLIM BERBAGAI VARIABILITAS CURAH HUJAN DAN EMISI GAS METANA (CH₄) DENGAN METODE GRID ANALYSIS AND DISPLAY SYSTEM (GrADS) DI KABUPATEN SEMARANG. In *Youngster Physics Journal* (Vol. 4, Issue 1).
- Leonard, S. H., & Marquardt, M. J. (2010). The evidence for the effectiveness of action learning. In *Action Learning: Research and Practice* (Vol. 7, Issue 2, pp. 121–136). <https://doi.org/10.1080/14767333.2010.488323>

Leontinus, G., & Siringoringo, R. (n.d.). *PROGRAM DALAM PELAKSANAAN TUJUAN PEMBANGUNAN BERKELANJUTAN (SDGs) DALAM HAL MASALAH PERUBAHAN IKLIM DI INDONESIA*.

Letcher, T. M. (2021). Global warming-a complex situation. In *Climate Change: Observed Impacts on Planet Earth, Third Edition* (pp. 3–17). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821575-3.00001-3>

Liao, S. M., Sandberg, A., & Roache, R. (2012). Human Engineering and Climate Change. *Ethics, Policy and Environment*, 15(2), 206–221. <https://doi.org/10.1080/21550085.2012.685574>

Lin, K. Y., Wu, Y. T., Hsu, Y. T., & Williams, P. J. (2021). Effects of infusing the engineering design process into STEM project-based learning to develop preservice technology teachers' engineering design thinking. *International Journal of STEM Education*, 8(1). <https://doi.org/10.1186/s40594-020-00258-9>

Lou, S. J., Liu, Y. H., Shih, R. C., & Tseng, K. H. (2011). The senior high school students' learning behavioral model of STEM in PBL. *International Journal of Technology and Design Education*, 21(2), 161–183. <https://doi.org/10.1007/s10798-010-9112-x>

Manolis, E. N., & Manoli, E. N. (2021). Raising awareness of the Sustainable Development Goals through Ecological Projects in Higher Education. *Journal of Cleaner Production*, 279. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123614>

Maros Framita, R., Taufik, M., Tri Purnawinata, D., Kurniawan, I., Yulastuti, W., & Emiyati. (2024). *Implementasi Education Of Sustainable Development (ESD) Dalam Pengolahan Limbah Organik Menjadi Kompos* (Vol. 5, Issue 3).

Maya Sari, A., Absa, M., Mahya Dewi, U., & Taufiq Hidayat, A. (2023). Uji Performa Prototipe Kompur Surya Tipe Oven Setengah Silinder. *Journal Of Social Science Research*, 3, 3972–3981.

Mei Hermawan, B., Suwoto, G., Dewantoro Herlambang, Y., Fikral Adiba, A., Hartanto, J., Ma, R., Elhas, rivan, Amelia Jurusan Teknik Mesin, R. R., & Negeri Semarang Jl Soedarto, P. H. (2021). Studi Eksperimen Karakteristik Kinerja Kincir Air sebagai Pembangkit Listrik Skala Mikrohidro. In *Jurnal Rekayasa Mesin* (Vol. 16, Issue 3). <https://jurnal.polines.ac.id/index.php/rekayasa>

Moore, T. J., Mathis, C. A., Guzey, S. S., Glancy, A. W., & Siverling, E. A. (2014). *STEM Integration in the Middle Grades: A Case Study of Teacher Implementation*. IEEE. 10.1109/FIE.2014.7044312

Moote, J., Archer, L., DeWitt, J., & MacLeod, E. (2020). Comparing students' engineering and science aspirations from age 10 to 16: Investigating the role of gender, ethnicity, cultural capital, and attitudinal factors. *Journal of Engineering Education*, 109(1), 34–51. <https://doi.org/10.1002/jee.20302>

- Nichols, K., Musofer, R., & Haynes, M. (2022). How to promote STEM competencies through design. *Frontiers in Education*, 7. <https://doi.org/10.3389/feduc.2022.982035>
- Noviarini, C., Rahman, A., Wayan Koko Suryawan, I., Septiariva, I. Y., & Suhardono, S. (2022). Global Warming Potential from Public Transportation Activities During COVID-19 Pandemic in Jakarta, Indonesia. *International Journal of Safety and Security Engineering*, 12(2), 223–227. <https://doi.org/10.18280/ijssse.120211>
- Nurbayani, D., Hindriana, A. F., & Sulistyono, S. (2023). Pembelajaran Berbasis Proyek Terintegrasi STEM (PjBL-STEM) Meningkatkan Keterampilan Rekayasa dan Sikap Kewirausahaan. *Quagga: Jurnal Pendidikan Dan Biologi*, 15(1), 54–64. <https://doi.org/10.25134/quagga.v15i1.6469>
- Olsson, D., Gericke, N., & Pauw, J. B. (2022). *Students' Action Competence for Sustainability and the Effectiveness of Sustainability Education*. 11. <https://doi.org/10.3390/environsciproc2022014011>
- Permatasari, K. T., Apriyani, E., Fitriyana, Z. N., Studi, P., Matematika, P., Matematika, F., Ilmu, D., & Alam, P. (2021). Jalan Nangka Raya No. 58 C, RT. 5/RW. 5, Tanjung Barat. *Universitas Indraprasta PGRI Jakarta TB. Simatupang*, 9(2), 83–88. <https://doi.org/10.21831/jpms.v9i1.25823>
- Purbaningrum, D. (2020). PENGGUNAAN ALAT PERAGA SEDERHANA BERBASIS STEM DALAM PEMBELAJARAN SAINS PADA SD/MI. *Pendidikan Dasar Dan Keguruan*, 5(2). <http://journal.iaimsinjai.ac.id/index.php/JPKD>
- Ramanathan, V., Allison, J., Auffhammer, M., Auston, D., Barnosky, A. D., Chiang, L., Collins, W. D., Davis, S. J., Forman, F., Hecht, S. B., Kammen, D. M., Lin Lawell, C.-Y. C., Matlock, T., Press, D., Rotman, D., Samuels, S., Solomon, G., Victor, D., Washom, B., & Christensen, J. (2016). Chapter 1. Bending the Curve: Ten Scalable Solutions for Carbon Neutrality and Climate Stability. *Collabra*, 2(1). <https://doi.org/10.1525/collabra.55>
- Redman, E. F., & Larson, K. L. (2011). *Educating for Sustainability: Competencies & Practices for Transformative Action*. <https://www.researchgate.net/publication/228620687>
- Rightor, E. G. (2011). Using by-product CO₂ while reducing emissions. *Energy Procedia*, 4, 2356–2360. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2011.02.127>
- Ripple, W. J., Wolf, C., Newsome, T. M., Barnard, P., & Moomaw, W. R. (2020). *World Scientists' Warning of a Climate Emergency SCIENTIST SIGNATORIES FROM 153 COUNTRIES (LIST IN SUPPLEMENTAL FILE S1)* (Vol. 70, Issue 1). <https://academic.oup.com/bioscience>
- Rismawati, DAP, F., & Rachman, M. A. (2023). Pengaruh Pendidikan Keberlanjutan dan Perubahan Sikap Lingkungan terhadap Tindakan

- Berkelanjutan Mahasiswa. *Journal of Culture Accounting and Auditing*, Vol 2 (2), 69–78. <http://journal.umg.ac.id/index.php/jcaa>
- Rosidin, U., & Suyatna, A. (2017). Teachers and Students Knowledge about Global Warming: a Study in Smoke Disaster Area of Indonesia. *International Journal Of Environmental & Science Education*, 12(4), 777–785.
- Rukoyah, S. O. (2020). Pembelajaran Berbasis STEM Untuk Membangun Keterampilan Rekayasa dan Kemampuan Engineering Productivity Siswa. *Universitas Pendidikan Indonesia*.
- Saleem, A., & Dare, P. S. (2023). Unmasking the Action-Oriented ESD Approach to Acting Environmentally Friendly. *Sustainability (Switzerland)*, 15(2). <https://doi.org/10.3390/su15021675>
- Sánchez Estrada, O. E., Urbina Pérez, M. G., & Pérez González, K. G. (2020, October 1). *Reflections on the creative process, analysis of strategic models for the development of creative thinking in the Industrial Designer*. <https://doi.org/10.4995/inn2019.2019.10210>
- Sandall, B. K., Sandall, D. L., & Walton, A. L. J. (2018). Educators' Perceptions of Integrated STEM: A Phenomenological Study. *Journal of STEM Teacher Education*, 53(1). <https://doi.org/10.30707/JSTE53.1Sandall>
- Saputra, I. D., Mulyani, L. S., & Nurwalifah, W. A. (2023). Implementasi Pembelajaran Berbasis STEAM (Science, Technology, Engineering, Art, Mathemathycs) Dalam Pembuatan Alat Penyaring Udara Terhadap Keterampilan Rekayasa Siswa Pada Materi Pencemaran Udara. *PETIK: Jurnal Pendidikan Teknologi Informasi Dan Komunikasi, Institut Pendidikan Indonesia Garut*, 9. <https://doi.org/https://doi.org/10.31980/jpetik.v9i2.3142>
- Sass, W., Boeve-de Pauw, J., Olsson, D., Gericke, N., De Maeyer, S., & Van Petegem, P. (2020). Redefining action competence: The case of sustainable development. *Journal of Environmental Education*, 51(4), 292–305. <https://doi.org/10.1080/00958964.2020.1765132>
- Selby, D., & Kagawa, F. (2010). Runaway Climate Change as Challenge to the 'Closing Circle' of Education for Sustainable Development. *Journal of Education for Sustainable Development*, 4(1), 37–50. <https://doi.org/10.1177/097340820900400111>
- Shurui, J., Wang, J., Shi, L., & Ma, Z. (2019). Impact of energy consumption and air pollution on economic growth - An empirical study based on dynamic spatial durbin model. *Energy Procedia*, 158, 4011–4016. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.01.839>
- Subramaniam, R. C., Morphew, J. W., Rebello, C. M., & Rebello, N. S. (2025). Presenting STEM ways of a thinking framework for engineering design-based physics problems. *Physical Review Physics Education Research*, 21(1). <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.21.010122>

- Sunardi, A. H. , A. C. D. T. I. (2021). OPTIMALISASI PEMANFAATAN SHM (SOLAR HOME SYSTEM) SEBAGAI PEMBANGKIT ENERGI LISTRIKRAMAH LINGKUNGAN. *Jurnal Teknik Energi*, Vol.17(No.2).
- Sung-Hee Jin. (2015). A Performance-Based Evaluation Rubric for Assessing and Enhancing Engineering Design Skills in Introductory Engineering Design Courses A Performance-Based Evaluation Rubric for Assessing and Enhancing Engineering Design Skills in Introductory Engineering Design Courses* KI-IL SONG**, DO HYOUNG SHIN and SOOBONG SHIN. In *Article in International Journal of Engineering Education*. <https://www.researchgate.net/publication/282929432>
- Susilawati, Hasbey, H., & Permana, A. H. (2023). *Alat Peraga Pembangkit Listrik Tenaga Surya Dilengkapi LKPD Berbasis STEAM Solar Power Educational Kit with STEAM-Based Learning Modules* (Issue 1). <https://ejournal.ummuba.ac.id/index.php/SNKP/hm>
- Tseng, K. H., Chang, C. C., Lou, S. J., & Chen, W. P. (2013). Attitudes towards science, technology, engineering and mathematics (STEM) in a project-based learning (PjBL) environment. *International Journal of Technology and Design Education*, 23(1), 87–102. <https://doi.org/10.1007/s10798-011-9160-x>
- UNESCO. (2017). *Education for sustainable development goals: learning objectives*. UNESCO.
- Wang, H.-H., Moore, T. J., Roehrig, G. H., Wang, H., Moore, T. J., & Roehrig, G. H. (2019). STEM Integration: Teacher Perceptions and Practice. *Journal of Pre-College Engineering Education Research (J-PEER)*, 1(2). <https://doi.org/10.5703/1288284314636>
- Wardoyo. (2022). PENGEMBANGAN MINIATUR PLTA BERBASIS (SCIENCE, TECHNOLOGY, ENGINEERING, AND MATHEMATICS) PADA MATERI SUMBER ENERGI ALTERNATIF UNTUK MENINGKATKAN MOTIVASI DAN HASIL BELAJAR SISWA KELAS IV. *Universitas PGRI Semarang*.
- Xi, J., & McLean, S. (2025). Beyond Technical Skills: The Value of Perspective-Taking in STEM Education. *CBE Life Sciences Education*, 24(2). <https://doi.org/10.1187/cbe.22-05-0089>
- Zaskia, A. M. Y. (2024). *INVESTIGATING THE EFFECT OF STEM-ESD BASED LEARNING ON RENEWABLE ENERGY PROJECT TOWARDS STUDENTS' SUSTAINABILITY ACTION AND CREATIVITY*.
- Zuhaida, A., Imaduddin, M., & Septiyanto, A. (2023). PROGRAM PENDAMPINGAN STEM PROJECT-BASED LEARNING BERBASIS RECYCLABLE MATERIALS PADA PEMBELAJARAN IPA. *JMM (Jurnal Masyarakat Mandiri)*, 7(3), 2385. <https://doi.org/10.31764/jmm.v7i3.14603>

Zuliana, O. :, Pratiwi, E., Pramesti, S. A., Musta'inatur Rosidah, D., & Surabaya, U. N. (2022). Jurnal Penelitian Pendidikan Matematika dan Sains. In *JPPMS* (Vol. 6, Issue 2). <http://journal.unesa.ac.id/index.php/jppms/>