

**Pengembangan E-LKPD Berbasis STEM Berbantuan Python
Materi Pemanasan Global untuk Melatih Kemampuan
Sustainability Awareness Siswa SMA**

TESIS

Oleh

Lita Luciana

NIM : 06052682327010

Program Studi Magister Pendidikan Fisika



**FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
TAHUN 2025**

**PENGEMBANGAN E-LKPD BERBASIS STEM BERBANTUAN
PYTHON MATERI PEMANASAN GLOBAL UNTUK
MENINGKATKAN SUSTAINABILITY AWARENES SISWA SMA**

TESIS

Oleh:

Lita Luciana

NIM : 06052682327010

Program Studi Magister Pendidikan Fisika

Mengesahkan

Pembimbing 1

Dr. Leni Marlina, S.Pd., M.Si
NIP. 197708052001122001

Pembimbing 2

Apit Fataurohman, S.Pd., M.Si., Ph.D
NIP. 197706272000121002

Mengetahui

Koordinator Program Studi Magister Pendidikan Fisika

Prof. Dr. Ida Sriyanti, S.Pd., M.Si
NIP. 197811082001122002



**PENGEMBANGAN E-LKPD BERBASIS STEM BERBANTUAN
PYTHON MATERI PEMANASAN GLOBAL UNTUK
MENINGKATKAN SUSTAINABILITY AWARENES SISWA SMA**

TESIS

Oleh :

Lita Luciana

NIM : 06052682327010

Program Studi Magister Pendidikan Fisika

Telah disajikam dan Lulus pada

Hari : Jumat

Tanggal : 18 Juli 2025

Mengesahkan

Pembimbing 1

Dr. Leni Marlina, S.Pd., M.Si
NIP. 197708052001122001

Pembimbing 2

Apit Fathurohman, S.Pd., M.Si., Ph.D
NIP. 197706272000121002

Mengetahui

Koordinator Program Studi Magister Pendidikan Fisika



Prof. Dr. Ida Sriyanti, S.Pd., M.Si
NIP. 197811082001122002

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Lita Luciana

NIM : 06052682327010

Program Studi: Magister Pendidikan Fisika

menyatakan dengan sungguh-sungguh bahwa tesis yang berjudul "Pengembangan E-LKPD berbasis Problem Based Learning dengan Penggunaan Membran Nanofiber untuk Meningkatkan Keterampilan Berpikir Kritis Siswa SMP" ini adalah benar-benar karya saya sendiri dan saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan dengan cara yang tidak sesuai dengan etika keilmuan yang berlaku sesuai dengan Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Republik Nomor 17 tahun 2010 tentang Pencegahan dan Penanggulangan Plagiat di Indonesia Perguruan Tinggi. Apabila di kemudian hari, ada pelanggaran yang ditemukan dalam tesis ini dan/atau ada pengaduan dari pihak lain terhadap keaslian karya ini, saya bersedia menanggung sanksi yang dijatuhkan kepada saya.

Demikianlah pernyataan ini dibuat dengan sungguh-sungguh tanpa pemaksaan dari pihak manapun.

Palembang, Juli 2025

Yang membuat pernyataan



Lita Luciana

NIM 06052682327010

PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah Subhanahu Wa Ta'ala karena atas rahmat, taufik, danHi dayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul "*Pengembangan E-LKPD STEM Berbantuan Python Materi Pemanasan Global untuk Meningkatkan Keterampilan Sustainability Awareness Siswa SMA/MA*" sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Pendidikan Fisika di Program Pascasarjana FKIP Universitas Sriwijaya. Tesis ini merupakan hasil dari perjalanan panjang, pengalaman, dan usaha penulis dalam mengeksplorasi serta mengembangkan pendidikan fisika, khususnya dalam penerapan Modul Elektronik (*E-Modul*). Penulis menyadari bahwa pencapaian ini tidak terlepas dari dukungan dan bimbingan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada Ibu Dr. Leni Marlina, S.Pd., M.Si. dan Bapak Apit Fathurohman S.Pd.M.Si,Ph.D sebagai dosen pembimbing yang telah memberikan arahan dan dukungan penuh selama proses penelitian ini. Terima kasih kepadapenguji Bapak Dr. Ketang Wiyono, M.Pd dan Dr. Hamdi Akhsan M.Si yang telah meluangkan waktu untuk membaca dan memberikan saran yang membangun.ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Bapak Dr. Hartono, M.A. selaku Dekan FKIP Universitas Sriwijaya, Bapak Dr.Ismet, S.Pd., M.Si selaku wakil Dekan III, Bapak Dr. Ketang Wiyono, M.Pd. selaku Ketua Jurusan Pendidikan MIPA, Ibu Prof. Dr. Ida Sriyanti, S.Pd., M.Si. selaku Koordinator Program Studi Magister Pendidikan Fisika, serta seluruh dosen dan staf Program Studi Magister Pendidikan Fisika, FKIP Universitas Sriwijaya atas bimbingan dan dukungan yang telah diberikan. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepadaBapak Drs. Taufik, selaku Kepala MAN 1 Bangka beserta dewan guru, staf, dan peserta didik yang telah berkontribusi dalam proses penelitian ini.

Penghargaan yang mendalam disampaikan kepada orangtua, mertua, suami, anak- anak, serta seluruh saudara yang telah memberikan dukungan yang luar biasa, baik secara moral maupun material, sehingga penulis dapat menyelesaikan pendidikan Magister ini. Penulis juga ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang berkontribusi dalam keberhasilan penyelesaian tesis ini, baik secara langsung maupun tidak langsung. Diharapkan tesis ini dapat memberikan sumbangsih yang positif bagi pengembangan ilmu pendidikan fisika dan menjadi referensi yang berguna bagi para pembaca. Di akhir kata, penulis mohon maaf atas segala kekurangan yang mungkin terdapat dalam penulisan tesis ini, dan berharap agar karya ini dapat memberikan inspirasi serta manfaat yang luas. Terima kasih.

Persembahan



Assalammu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh. Alhamdulillahrabibil'alamiin, saya senantiasa mengucapkan puji dan syukur kepada Allah Subhanahu Wa Ta'ala atas izin-Nya, Saya ingin menyampaikan rasa terima kasih yang mendalam kepada:

1. Suami tercinta, Ready Sastra, terima kasih atas doa dan dukungan yang tak pernah surut. Kehadiranmu adalah penguat dalam setiap langkah perjuanganku, terutama di masa-masa sulit menjelang Ujian Tesis. Bersamamu, segala tantangan terasa lebih ringan qodarullah tibalah datang masa yang penuh haru-biru ini dengan penuh kebahagiaan menyelesaikan pendidikan megister ini.
2. Anak-anak sholih dan sholihahku tercinta, Kazzayara Pradyta Sastra dan Ardra Izdihar Javier, pelita dalam setiap langkah bunda. Terima kasih telah dengan sabar menanti di tengah rindu yang tertahan, memberi kekuatan lewat senyum dan pelukan hangat. Kalian adalah anugerah terindah, titipan Ilahi yang mewarnai hari-hari ayah dan bunda dengan cinta yang tak terhingga. Dalam tiap doaku, terselip harapan agar kelak kalian tumbuh menjadi cahaya bagi dunia, sebagaimana kalian telah menjadi cahaya di hati bunda.
3. Untuk saudara-saudaraku tercinta, Erika Septiana, Erwinda Pramita, Frans Setiawan, dan orang tua kami serta oma Ummi Kalsum dan opa Sopianito, serta mertua kami Umar Hasyim sekeluarga terima kasih atas setiap doa dan dukungan yang tak henti mengalir. Kalian adalah pelita dalam sunyi, penguat hati saat langkah terasa berat. Kehangatan kasih kalian telah menjadi bagian dari perjalanan ini hingga akhirnya kutuntaskan dengan penuh syukur.
4. kepada Ibu Dr. Leni Marlina, S.Pd., M.Si. dan Bapak Apit Fathurohman S.Pd.M.Si,Ph.D sebagai dosen pembimbing yang telah memberikan arahan dan dukungan penuh selama proses penelitian ini. yang telah memberikan banyak motivasi serta meluangkan waktu untuk membimbing saya dengan sepuh hati, sehingga proses ini dapat diselesaikan dengan sangat baik.
5. Untuk adik-adik seangkatan yang setia menemani langkah ini, terima kasih atas kehangatan dan bantuan tulus kalian, terutama Ina, Dariah, listiyorini

dan Sania, yang hadir saat tubuh ini rapuh dan semangat hampir padam. Doa terbaik kuuntai, semoga setiap kebaikan kalian menjadi cahaya keberkahan yang menyinari jalan hidup ke depan, seluas langit dan sepanjang usia.

Palembang, Juli 2025

Penulis

Lita Luciana

NIM. 06052682327010

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
SURAT PERNYATAAN.....	Error! Bookmark not defined.
PRAKATA	iv
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL.....	xi
ABSTRAK	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	6
1.3 Tujuan Penelitian	7
1.4 Manfaat Penelitian	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	8
2.1 Bahan Ajar	8
2.1.1 Definisi Bahan Ajar.....	8
2.1.2 Jenis-jenis bahan ajar	8
2.1.3 Fungsi Bahan Ajar.....	9
2.2. LKPD (lembar kerja peserta didik)	10
2.3. E-LKPD (Elektronik Lembar Kerja Peserta Didik).....	11
2.4. Pembelajaran Berbasis STEM.....	13
2.5. Pemanasan Global.....	13

2.6 ESD (Education for Sustainable Development) dan SDGs (Sustainable Development Goals).....	14
2.7 Environmental Sustainability Awareness	15
2.8 Teknologi Python (Jupyter Notebook).....	15
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	18
3.1 Metode Penelitian.....	18
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian	18
3.3 Prosedur Penelitian.....	18
3.3.1 Tahap Perencanaan.....	18
3.3.2 Tahap Pengembangan	19
3.3. 3 Tahap Evaluasi	20
3.4 Teknik pengumpulan Data	22
3.4.1 Instrumen Kelayakan Bahan Ajar	23
3.4.2 Instrument Sustainability awareness Siswa	25
3.5 Teknik Analisis Data.....	25
3.5.1 Analisis Data Lembar Validasi	25
3.5.2 Analisis Kepraktisan E-LKPD	27
3.5.3 Analisis Keefektifan E-LKPD.....	27
3.5.4 Analisis data Sustainability awareness Siswa	28
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	29
4.1 HASIL PENELITIAN.....	29
4.1.1 Tahap Perencanaan.....	29
4.1.2 Tahap Pengembangan	32
4.1.3 Tahap Evaluasi.....	32
4.1.4 Hasil Uji Produk.....	37
4.1.5 Hasil Uji Efektivitas.....	39
4.1.6 Hasil Analisis Kemampuan Sustainability Awareness Siswa.....	40

4.2 Pembahasan.....	41
BAB V PENUTUP.....	45
5.1 KESIMPULAN	45
5.2 SARAN	45
DAFTAR PUSTAKA	47
LAMPIRAN.....	57

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 2 Mind map pemanasan global.....	14
Gambar 3. 1 Model Pengembangan Produk Rowntree.....	20
Gambar 3. 2 Alur Evaluasi Tessmer.....	21
Gambar 3. 3 Prosedur Penelitian Pengembangan E-LKPD STEM Berbantuan Python (Pemanasan Global) Rowntree dan Tessmer	22
Gambar 4. 2 Mean Data Pretest	37
Gambar 4. 3 Tabel Variances Data Pretest	38
Gambar 4. 4 Tabel Mean Data Posttest.....	38
Gambar 4. 5 Tabel Variances Data Posttest.....	38
Gambar 4. 6 Tabel Mean Pretest-Posttest Kemampuan Sustainability Awareness Siswa	40
Gambar 4. 7 Tabel Korelasi Pretest-Posttest Kemampuan Sustainability Awareness siswa.....	40

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbedaan LKPD dan E-LKPD.....	12
Tabel 2. 2 Analisis materi.....	16
Tabel 3. 1 Teknik pengumpulan data dan instrument.....	22
Tabel 3. 2 Kisi-Kisi Validasi Pakar Terhadap Kelayakan E-LKPD.....	23
Tabel 3. 3 Kisi kisi Validasi Pakar Terhadap Kesesuaian Komponen Utama ESD	23
Tabel 3. 4 Kisi-Kisi Validasi Pakar Terhadap Aspek Media	24
Tabel 3. 5 Kisi-Kisi Intrumen Tanggapan Peserta Didik	24
Tabel 3. 6 Kisi-Kisi Sustainability awareness	25
Tabel 3. 7 Kriteria Penskoran Skala Guttman.....	26
Tabel 3. 8 Kriteria Persentase skor Validasi E-Modul	26
Tabel 3. 9 Kategori Hasil Evaluasi One to One dan Small Group.....	27
Tabel 3. 10 Klasifikasi Gain.....	28
Tabel 3. 11 Presentase Sustainability Awareness	28
Tabel 3. 12 Level Kesadaran berkelanjutan	28
Tabel 4. 1 Validasi Ahli aspek Media.....	33
Tabel 4. 2 Validasi Ahli Aspek Isi.....	33
Tabel 4. 3 Hasil Validasi Ahli Desain.....	33
Tabel 4. 4 Hasil Validasi Ahli Kebahasaan	34
Tabel 4. 5 One-to-One Evaluation	35
Tabel 4. 6 Komentar dan saran Evaluasi One-to-One.....	36
Tabel 4. 7 Small Gorup Evaluation.....	36
Tabel 4. 8 Komentar dan saran evaluasi small group.....	37
Tabel 4. 9 Hasil Rata-rata Pretest dan posttest kelas eksperimen dan kontrol	39
Tabel 4. 10 Analisis N-Gain Kelas Ekesperimen dan Kontrol.....	39

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan E-LKPD (Elektronik Lembar Kerja Peserta Didik) berbasis pendekatan STEM (Science, Technology, Engineering, and Mathematics) dengan bantuan Python pada materi pemanasan global untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis dan *sustainability awareness* siswa SMA. Latar belakang penelitian ini berangkat dari pentingnya integrasi pendidikan berbasis teknologi dan nilai keberlanjutan dalam Kurikulum Merdeka yang menekankan penguatan profil pelajar Pancasila. Penelitian ini menggunakan model pengembangan Rowntree yang mencakup tahap perencanaan, pengembangan, dan evaluasi, serta evaluasi formatif Tessmer (self-evaluation, expert review, one-to-one evaluation, small group, dan field test). Instrumen penelitian meliputi lembar validasi, angket kepraktisan, dan tes efektivitas. Validasi oleh para ahli menunjukkan bahwa E-LKPD yang dikembangkan dinilai sangat valid (rerata 93,83%). Kepraktisan berdasarkan evaluasi one-to-one dan small group mencapai kategori "sangat praktis" (rata-rata 98,61%). Efektivitas produk diuji melalui uji pretest dan posttest, dengan hasil N-Gain sebesar 0,61 (kategori sedang). Selain itu, terjadi peningkatan signifikan dalam *sustainability awareness* siswa dari 67,61 menjadi 89,16 dengan korelasi positif dan signifikan antara skor pretest dan posttest. Hasil ini menunjukkan bahwa E-LKPD berbasis STEM berbantuan Python efektif dalam melatih kemampuan berpikir kritis dan kesadaran keberlanjutan siswa, serta berpotensi menjadi media pembelajaran inovatif yang relevan dengan isu-isu global seperti perubahan iklim.

Kata kunci: *E-LKPD, STEM, Python, Pemanasan Global, Sustainability Awareness, Pendidikan Berkelanjutan.*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pengembangan kurikulum di Indonesia telah menjadi proses berkelanjutan yang bertujuan untuk meningkatkan kualitas pendidikan dan mempersiapkan siswa untuk masa depan. Namun, perubahan model kurikulum yang terus menerus menjadi tantangan bagi guru dan siswa, menyebabkan kebingungan dan menghambat efektivitas pendidikan. Untuk mengatasi tantangan tersebut, Kurikulum Merdeka diperkenalkan sebagai terobosan baru dalam pengembangan kurikulum. Kurikulum merdeka merupakan suatu sistem pembelajaran yang fleksibel, dalam artian menyesuaikan dengan situasi pembelajaran, menitik beratkan pada muatan esensial dan penguatan profil pelajar Pancasila sebagai pedoman pengembangan keterampilan dan kepribadian siswa akan sangat diperlukan. Kurikulum Merdeka mengorientasikan proses pembelajaran berdasarkan pengembangan profil siswa Pancasila yang terdiri dari enam dimensi keimanan, ketaqwaan kepada Tuhan Yang Maha Esa, akhlak mulia, kemandirian, kerjasama, keberagaman global, berpikir kritis, dan kreatif (Kemendikbudristek, 2022).

Kegiatan pembelajaran proyek meliputi Suara Demokrasi, Kewirausahaan, Kearifan Lokal, Pola Hidup Berkelanjutan, Binneka Tunggar Ika, Rekayasa dan Teknologi untuk Membangun NKRI dan Membangkitkan Jiwa dan Raganya, yang mencakup beragam tema besar (Rizky Satria et al., 2022). Perubahan-perubahan tersebut diperlukan untuk mengikuti perkembangan kebutuhan masyarakat. Karena inisiatif “Kurikulum Merdeka” terus memasukkan prinsip-prinsip STEM, maka penting untuk menekankan tidak hanya aspek teknis dan ilmiah tetapi juga nilai-nilai moral dan etika (Sury et al., 2022). Profil pelajar Pancasila dalam "Kurikulum Merdeka" menekankan pentingnya membangun karakter yang kuat dan kesadaran akan tanggung jawab sosial (Al-Hassawi et al., 2020)..

Pemanasan global merupakan ancaman serius bagi masa depan umat manusia. Mengingat urgensi permasalahan ini, sudah seharusnya kesadaran akan perlindungan lingkungan dan pembangunan berkelanjutan (*sustainability*) menjadi bagian penting dari pendidikan (Vasconcelos & Orion, 2021). pemanasan global dan perubahan iklim merupakan hal yang nyata, dan hal ini sangat penting bagi mereka. Dengan mengintegrasikan prinsip keberlanjutan dan kepedulian terhadap Pendidikan institusi untuk memasukkan topik-topik ini ke dalam kurikulum lingkungan hidup ke dalam kurikulum merdeka, siswa dapat mengembangkan pemahaman komprehensif tentang faktor-faktor tersebut yang berkontribusi terhadap pemanasan global dan dampaknya terhadap lingkungan dan Masyarakat (Gamage et al., 2022).

Kesadaran akan keberlanjutan (*sustainability awareness*) muncul dari keprihatinan global terhadap kerusakan lingkungan dan ketidaksetaraan sosial yang semakin meningkat. Eksploitasi sumber daya alam yang berlebihan, polusi, perubahan iklim, kemiskinan, dan kesenjangan sosial adalah beberapa contoh masalah yang mengancam keberlanjutan planet ini (Glavič, 2020). *Sustainability awareness* berarti: (1) Memahami keterkaitan antara manusia dan lingkungan. (2) Bertanggung jawab atas dampak tersebut. (3) Berpikir jangka panjang (Leichenko & O'Brien, 2020).

SDGs (Sustainable Development Goals) atau Tujuan Pembangunan Berkelanjutan adalah serangkaian tujuan global yang disepakati oleh negara-negara anggota Perserikatan Bangsa-Bangsa (PBB) untuk mengatasi berbagai tantangan pembangunan yang dihadapi dunia. SDGs terdiri dari 17 tujuan utama yang dirancang untuk mencapai kesejahteraan sosial, ekonomi, dan lingkungan bagi semua orang di seluruh dunia pada tahun 2030 (Tunji-Olayeni et al., 2021). ESD mendorong pemikiran kritis, kesadaran lingkungan, dan tindakan yang bertanggung jawab di berbagai tingkat, mulai dari lokal hingga global (Khoiri et al., 2023). *Sustainability awareness* adalah fondasi penting untuk mencapai SDGs dan merupakan tujuan utama dari ESD.

Berpikir kritis melibatkan kemampuan untuk menganalisis informasi secara mendalam, mempertanyakan asumsi, mengevaluasi bukti, dan membuat kesimpulan yang logis (Marlina et al., 2018). Pendidikan berbasis STEM dapat secara efektif meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa dengan mendorong mereka terlibat aktif dalam penyelidikan ilmiah, analisis data, pemecahan masalah, dan pengembangan solusi (Fathurohman et al., 2023). Selain itu, integrasi aspek teknologi, teknik, dan matematika dalam pembelajaran STEM juga membantu siswa mengembangkan kemampuan berpikir logis, analitis, dan kreatif yang diperlukan untuk memecahkan masalah kompleks. Dengan belajar melalui metode penyelidikan, eksperimentasi, dan pemodelan, siswa dapat melatih keterampilan mengidentifikasi masalah, mengumpulkan dan menganalisis data, serta mengembangkan solusi inovatif (Ekamilasari. 2021).

Di era digital yang serba cepat ini, alat pendidikan yang inovatif menjadi sangat penting dalam menyampaikan materi ajar dengan cara yang menarik dan efektif. Python muncul sebagai salah satu alat terdepan yang mendukung pendekatan pembelajaran interaktif, terutama dalam bidang ilmu komputer dan analisis data (Lonsky et al., 2023). Python menyajikan lingkungan komputasi berbasis web yang memfasilitasi pembuatan dan berbagi dokumen yang mengandung kode langsung, persamaan, visualisasi, dan teks naratif (Castilla & Peña, 2023). Dengan fitur ini, Python tidak hanya menjadi alat yang dinamis untuk kegiatan penelitian dan pengembangan profesional, tetapi juga alat pembelajaran yang sangat bernilai di lingkungan akademis.

Kemampuan Python untuk mengintegrasikan penjelasan naratif dengan blok kode yang dapat dijalankan secara real-time memungkinkan konsep-konsep abstrak dalam STEM menjadi lebih konkrit dan dapat dimengerti (Yang et al., 2023). Siswa mendapatkan manfaat dengan dapat bereksperimen langsung dengan kode, melihat hasilnya segera, dan melakukan penyesuaian yang diperlukan untuk meningkatkan pemahaman mereka. Fitur ini sangat berguna dalam konsep pembelajaran yang memerlukan simulasi komputasi, seperti dalam studi matematika terapan, fisika, serta ilmu data (Rohmah, 2018).

Penekanan pada literasi digital juga menjadi hal yang penting dalam menghadapi era digital saat ini. Selain itu, penelitian sebelumnya yang telah memanfaatkan Python (Lonsky et al., 2023) perlu diperluas cakupannya agar dapat secara spesifik mengkaji pengembangan bahan ajar berbasis STEM dan dampaknya pada peningkatan kesadaran sustainability siswa SMA. Dengan demikian, pengembangan e-LKPD STEM ini akan memberikan kontribusi yang signifikan dalam melatih *sustainability Awareness* serta pemahaman siswa SMA tentang isu pemanasan global, sehingga mereka dapat menjadi agen perubahan yang peduli terhadap lingkungan dan masyarakat di masa depan.

Beberapa penelitian terkait yang dapat digunakan sebagai referensi dalam pengembangan tesis ini meliputi:

1. Penelitian tentang Integrasi STEM dalam Pendidikan: Integrasi Python-Jupyter Notebook dalam pendidikan STEM telah terbukti menjadi alat yang berharga baik untuk penelitian maupun pengembangan profesional. Kemampuannya untuk mengintegrasikan penjelasan naratif dengan blok kode yang dapat dieksekusi secara real-time memungkinkan konsep abstrak dalam STEM menjadi lebih konkrit dan mudah dipahami (Johnson et al., 2020). Siswa mendapat manfaat dari kemampuan bereksperimen secara langsung dengan kode, melihat hasil langsung, dan membuat penyesuaian yang diperlukan untuk meningkatkan pemahaman mereka. Fitur ini sangat berguna dalam mempelajari konsep yang memerlukan simulasi komputasi, seperti matematika terapan, fisika, dan ilmu data.
2. Penelitian tentang Kesadaran Keberlanjutan Lingkungan: Studi yang mengeksplorasi hubungan antara kesadaran keberlanjutan lingkungan dan perilaku belanja hijau serta bagaimana meningkatkan kesadaran tersebut untuk mempromosikan perilaku yang ramah lingkungan di masyarakat (Park & Lin, 2020).
3. Penelitian tentang Penggunaan Teknologi dalam Pendidikan: Studi-studi yang membahas tentang bagaimana alat digital seperti Jupyter Notebook

dapat digunakan sebagai alat pembelajaran yang mendukung pengajaran konsep ilmiah dan pemrograman (Castilla & Peña, 2023).

4. Penelitian tentang E-LKPD dan Pembelajaran Digital: Penelitian yang mengevaluasi pengembangan dan penerapan e-LKPD dalam pendidikan, khususnya yang berfokus pada topik-topik seperti pemanasan global dan pembangunan berkelanjutan (Usparianti L et al., 2023).
5. Penelitian tentang Penilaian Keterampilan Berpikir Kritis: Artikel yang mengkaji cara-cara penilaian keterampilan berpikir kritis siswa, termasuk pengembangan instrumen tes dan analisis efektivitasnya dalam reformasi Pendidikan (Azmi et al., 2022).
6. Penelitian tentang Pendidikan untuk Pembangunan Berkelanjutan: Studi yang menjelaskan konsep ESD, bagaimana itu diintegrasikan dalam kurikulum, dan dampaknya pada peningkatan literasi keberlanjutan siswa (Zidny et al., 2021).
7. Penelitian tentang E-LKPD Terintegrasi STEM : Studi-studi sebelumnya tentang E-LKPD dan pendidikan STEM mengungkapkan pentingnya pengembangan bahan ajar yang interaktif, visual, dan berbasis teknologi untuk meningkatkan keterlibatan dan pemahaman siswa. Misalnya, penelitian oleh Kusuma dkk (Muslim et al., 2020) menunjukkan bahwa penggunaan E-LKPD berbasis web dapat meningkatkan motivasi dan hasil belajar siswa . Selain itu, penelitian oleh Ketang dkk menemukan bahwa pembelajaran fisika menggunakan bahan ajar elektronik dengan pendekatan STEM dapat meningkatkan keterampilan komunikasi dan kolaborasi siswa (Wiyono, 2015)(Rolipa et al., 2023)(Sury et al., 2022) . Sementara itu, studi yang dilakukan Ahmad dan Iksan menunjukkan bahwa E-LKPD dengan bantuan aplikasi Edmodo dapat meningkatkan motivasi belajar sains siswa juga menunjukkan hasil yang positif (Ahmad & Iksan, 2021).
8. Penelitian tentang penggunaan python dalam pembelajaran: Studi-studi sebelumnya tentang penggunaan Python dalam pembelajaran menunjukkan berbagai manfaat dalam konteks pendidikan. Misalnya, penggunaan

Python-Jupyter Notebook bisa memperkaya pengalaman belajar dengan menyediakan alat-alat untuk visualisasi data interaktif dan simulasi konsep-konsep ilmiah, yang terbukti bermanfaat dalam membantu memfasilitasi pemahaman konsep dan meningkatkan keterlibatan siswa (Castilla & Peña, 2023). Penelitian yang menjelaskan penerapan set program komputer Python yang diimplementasikan dalam bentuk Jupyter Notebook untuk kursus digital signal processing, yang juga berkontribusi pada pengembangan metodologi pengajaran inovatif (Zúñiga-López & Avilés-Cruz, 2020). Penelitian lainnya yang tidak secara spesifik disebutkan dalam sumber, tetapi mungkin mencakup studi yang menilai efektivitas pembelajaran berbasis Jupyter Notebook dalam ilmu data, analisis statistik, atau dalam kursus pemrograman khususnya yang terkait dengan Python (Pedregosa et al., 2011).

Berdasarkan ulasan penelitian sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa penggunaan E-LKPD STEM berbantuan Python memiliki potensi yang besar untuk memfasilitasi pembelajaran yang lebih menarik, interaktif dan bermakna bagi siswa SMA. Namun, masih sedikit penelitian yang secara eksplisit mengeksplorasi aplikasi Python dalam konteks pengembangan bahan ajar elektronik STEM untuk meningkatkan kesadaran berkelanjutan siswa. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan E-LKPD STEM berbantuan Python pada topik pemanasan global dan menilai dampak penggunaannya terhadap keterampilan berpikir kritis dan kesadaran keberlanjutan siswa SMA.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan dibahas berdasarkan latar belakang tersebut adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana mengembangkan E-LKPD STEM Berbantuan Python pada Materi Pemanasan Global untuk Meningkatkan Keterampilan Berpikir kritis dan Sustainability Awareness Siswa SMA yang valid?

2. Bagaimana mengembangkan E-LKPD STEM Berbantuan Python pada Materi Pemanasan Global untuk kemampuan Sustainability Awareness Siswa SMA yang praktis?
3. Bagaimana mengembangkan E-LKPD STEM Berbantuan Python pada Materi Pemanasan Global untuk Meningkatkan kemampuan Sustainability Awareness Siswa SMA yang efektif?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Untuk menghasilkan E-LKPD STEM Berbantuan Python pada Materi Pemanasan Global untuk Meningkatkan kemampuan Sustainability Awareness Siswa SMA yang valid.
2. Untuk menghasilkan E-LKPD STEM Berbantuan Python pada Materi Pemanasan Global untuk Meningkatkan kemampuan Sustainability Awareness Siswa SMA yang praktis.
3. Untuk menghasilkan E-LKPD STEM Berbantuan Python pada Materi Pemanasan Global untuk Meningkatkan kemampuan Sustainability Awareness Siswa SMA yang efektif.

1.4 Manfaat Penelitian

Dari hasil penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat untuk:

1. Peserta Didik
Mampu membantu untuk memudahkan pembelajaran yang diberikan oleh guru kepada peserta didik untuk memahami materi Pemanasan Global.
2. Guru
Mampu memudahkan guru untuk menjelaskan materi Pemanasan global berbasis STEM yang diberikan kepada peserta didik.
3. Sekolah
Mampu menyediakan E-LKPD yang valid dan praktis dalam membantu memecahkan masalah pada pembelajaran agar dapat meningkatkan kualitas pembelajaran
4. Peneliti

Mampu menambah ilmu pengetahuan dan keterampilan mengembangkan E-LKPD yang jauh lebih baik dan inovatif.

DAFTAR PUSTAKA

- A Suryansyah, S., Kastolani, W., & Somantri, L. (2021). *Scientific Thinking Skills In Solving Global Warming Problems. Iop Conference Series: Earth And Environmental Science*, 683(1), 012025. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/683/1/012025>
- Afrianti, S., Novita, N., Ginting, F. W., Syafrizal, S., & Zahara, S. R. (2022). *Development Of Stem-Based Lkpd With Guided Inquiry Design To Improve Student's Science Process Skills. Radiasi : Jurnal Berkala Pendidikan Fisika*, 15(2), 99–108. <https://doi.org/10.37729/Radiasi.V15i2.2289>
- Ahmad, N. F., & Iksan, Z. H. (2021). *Edmodo-Based Science Module Development On Students' Mastery Of Science Process Skills : Need Analysis*. 2609–2623. <https://doi.org/10.4236/Ce.2021.1211195>
- Akhsan, H., Sudirman, S., Syuhendri, S., Ariska, M., Laras Sapitri, C., & Mindia Vanessa Pratiwi, S. (2022). *Pelatihan Pembuatan Lkpd Berbasis Projek Untuk Topik Pemanasan Global Dan Perubahan Iklim Untuk Guru Fisika Mgmp Kabupaten Ogan Ilir. Jurnal Pendidikan Dan Pengabdian Masyarakat*, 5(4), 328–332. <https://doi.org/10.29303/Jppm.V5i4.4065>
- Al-Hassawi, F. Y., Al-Zaghul, I. A.-R., & Al-Jassim, F. A. (2020). The Effect Of A Project- Based Program To Develop The Of Critical And Creative Thinking Skills. *People: International Journal Of Social Sciences*, 6(1), 306–323. <https://doi.org/10.20319/Pijss.2020.61.306323>
- Al-Hunaiyyan, A., Al-Sharhan, S., Alhajri, R., & Bimba, A. (2021). An Integrated Implementation Framework For An Efficient Transformation To Online Education. *International Journal Of Advanced Computer Science And Applications*, 12(4), 52–61. <https://doi.org/10.14569/Ijacs.2021.0120408>
- Amran, Jasin, I., Perkasa, M., Satriawan, M., & Irwansyah, M. (2019). *Pengembangan Model Pembelajaran Karakter Esd Untuk Meningkatkan Sikap Abad 21 Siswa Sma. Seminar Nasional Taman Siswa Bima, 2013*, 366–373.
- Athifah, D., & Syafriani. (2020). *Development Of Physics Student's Worksheet Based On Inquiry Training Model To Improve Students Creative Thinking Ability. Journal Of Physics: Conference Series*, 1481(1), 012101. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1481/1/012101>
- Aubrecht, K. B. (2018). *Teaching Relevant Climate Change Topics In Undergraduate Chemistry Courses: Motivations, Student Misconceptions, And Resources. Current Opinion In Green And Sustainable Chemistry*, 13, 44–49. <https://doi.org/10.1016/J.Cogsc.2018.03.008>
- Azmi, Z. L., Marlina, L., Fathurohman, A., Putri, R., Zulkardi, Z., Sari, D., Gustiningsih, T., Rawani, D., Lisnani, L., Sari, A., & Septimiranti, D. (2022). *Study Of Critical Thinking Skills For Junior High School Students In The Era Industrial Revolution 4.0. Jipfri (Jurnal Inovasi Pendidikan Fisika Dan Riset Ilmiah)*, 6(1), 19–23. <https://doi.org/10.30599/Jipfri.V6i1.1255>
- Bala, J. . Monik. (2023). *Scope And Challenges Of Multimedia In Education Sector*.

- 5(3), 1–6.
- Barclay, I. (1992). *The New Product Development Process: Part 2. Improving The Process Of New Product Development*. *R&D Management*, 22(4), 307–318. <https://doi.org/10.1111/J.1467-9310.1992.Tb01202.X>
- Baynes, K. (2020). *Tujuan Pembangunan Berkelanjutan*. Nasa. <https://www.earthdata.nasa.gov/learn/backgrounders/sdg>
- Bertrand, M. G., & Namukasa, I. K. (2020). *Steam Education : Student Learning And Transferable Skills*. 13(1), 43–56. <https://doi.org/10.1108/Jrit-01-2020-0003>
- Bezerra, L. L., Correia, A. N., De Lima-Neto, P., & Monteiro, N. De K. V. (2024). *Analysis Of Temperature Effect In The Co2 Absorption Using A Deep Eutectic Solvent: An In Silico Approach*. *Journal Of Molecular Graphics And Modelling*, 126, 108649. <https://doi.org/10.1016/J.Jmgm.2023.108649>
- Bush, D. (2017). *Student Climate Change Education: The Role Of Scientific Technologies In Improving Public Geoscience Understandings*. January, 295.
- Buturlina, O., Dovhal, S., Hryhorov, H., Lysokolenko, T., & Palahuta, V. (2021). *Stem Education In Ukraine In The Context Of Sustainable Development*. *European Journal Of Sustainable Development*, 10(1), 323–338. <https://doi.org/10.14207/Ejsd.2021.V10n1p323>
- Castilla, R., & Peña, M. (2023). *Jupyter Notebooks For The Study Of Advanced Topics In Fluid Mechanics*. *Computer Applications In Engineering Education*, 31(4), 1001–1013. <https://doi.org/10.1002/Cae.22619>
- Çavdar, O. (2023). *Investigation Of Secondary School Students' Knowledge Levels About Global Warming In Terms Of Various Variables*. *Educational Policy Analysis And Strategic Research*, 18(3), 336–358. <https://doi.org/10.29329/Epasr.2023.600.16>
- Cervenec, J., Fox, J., Peggau, K., Wilson, A. B., Li, B., Hu, D., Chang, R., Wong, J., & Bossley, C. (2022). *Interactive Data Visualizations Of Earth's Atmosphere: Effects On Student Engagement And Perceived Learning*. *Journal Of Geoscience Education*, 70(4), 517–529. <https://doi.org/10.1080/10899995.2022.2038963>
- Clarke, A., Castillo Cifuentes, V., & Ordonez-Ponce, E. (2023). *Partnership Structure And Partner Outcomes: A Comparative Study Of Large Community Sustainability Cross-Sector Partnerships In Montreal, Barcelona And Gwangju*. *Sustainability*, 15(20), 14734. <https://doi.org/10.3390/Su152014734>
- Cortázar, C., Nussbaum, M., Harcha, J., Alvares, D., López, F., Goñi, J., & Cabezas, V. (2021). *Promoting Critical Thinking In An Online, Project-Based Course*. *Computers In Human Behavior*, 119(October 2020). <https://doi.org/10.1016/J.Chb.2021.106705>
- Cubero, S. N. (2015). *A Fun And Effective Self-Learning Approach To Teaching Microcontrollers And Mobile Robotics*. *International Journal Of Electrical Engineering & Education*, 52(4), 298–319. <https://doi.org/10.1177/0020720915585798>

- Daniels, C., Niemczyk, E. K., & De Beer, Z. L. (2023). Part 2 International Education Issues Challenges Associated With Implementation Of Sustainability-Oriented Principles And Practices: Lessons Learnt From South African Universities. *Bulgarian Comparative Education Society Conference*, 21, 298–300. Isbn 978-619-7326-13-0 (Online), Isbn 978-619-7326-14-7 (Print)
- De Souza, W. M., & Weaver, S. C. (2024). Effects Of Climate Change And Human Activities On Vector-Borne Diseases. *Nature Reviews Microbiology*. <https://doi.org/10.1038/S41579-024-01026-0>
- Derek, R. (2006). *Assessing Students: Howshallwe Knowthem?* Library Of Congress Catalogmg-In-Publication Data.
- Durmus, E., & Kinaci, M. Kubra. (2021). Opinions Of Social Studies Teacher Education Students.Pdf. *Review Of International Geographical Education*, 11(2), 482–501. <https://doi.org/10.33403/rigeo.825516>:
- Dwi Indriani, F., Apit Fathurohman, & Nurlaila, N. (2023). Peningkatan Kemampuan Numerasi Melalui Model Project Based Learning Pada Mata Pelajaran Matematika Kelas 2 Di Sdn 148 Palembang. *Jemari (Jurnal Edukasi Madrasah Ibtidaiyah)*, 5(2), 56–63. <https://doi.org/10.30599/Jemari.V5i2.2455>
- Dwyer, C. P., Hogan, M. J., & Stewart, I. (2014). An Integrated Critical Thinking Framework For The 21st Century. *Thinking Skills And Creativity*, 12, 43–52. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/J.Tsc.2013.12.004>
- Eguchi, A. (2015). Educational Robotics To Promote 21st Century Skills And Technological Understanding Among Underprivileged Undergraduate Students. *2015 Ieee Integrated Stem Education Conference*, 76–82. <https://doi.org/10.1109/Isecon.2015.7119949>
- Ekamilasari. (2021). *Pengembangan E-Module Pemanasan Global Berbasis Education For Sustainable Development Untuk Meningkatkan Keterampilan Berpikir Kritis Dan Sustainability Awareness Siswa Halaman Pengesahan Tesis Ekamilasari Pengembangan E-Module Pemanasan Global Berbasis E.*
- Enăchescu, V. (2019). Management Of Educational Potential Through Extracurricular Activities. *The Review Of International Comparative Management*, 20(3), 317–322. <https://doi.org/10.24818/Rmci.2019.3.317>
- Fathurohman, A. (2021). Jurnal Informatika Dan Teknologi Komputer Machine Learning Untuk Pendidikan: Mengapa Dan Bagaimana. *Jurnal Informatika Dan Teknologi Komputer (Jitek)*, 1(3), 57–62. <https://journal.amikveteran.ac.id/index.php/jitek/article/view/306>
- Fathurohman, A., Oklilas, A. F., Marlina, L., Kurdiati, L. A., Susiloningsih, E., Azhar, A., & Samsuryadi, S. (2023). Effectiveness Of Using The Mobile Learning App For Stem-Based High School Physics Materials As Indonesian Student Learning Resources On Learning Outcomes. *Jurnal Penelitian Pendidikan Ipa*, 9(3), 1018–1023. <https://doi.org/10.29303/Jppipa.V9i3.2991>
- Furqoniyah, Q., Subiki, S., & Maryani, M. (2022). *Pengembangan Lkpd Berbasis Stem (Science, Technology, Engineering, And Mathematics) Dalam*

- Pembelajaran Fisika Pemanasan Global Di Sma. Jurnal Inovasi Dan Pembelajaran Fisika*, 9(1), 76–84. <https://doi.org/10.36706/Jipf.V9i1.15539>
- Gall, M. D., Gall, J. P., & Borg, W. R. (2007). *Educational Research: An Introduction*. Pearson/Allyn & Bacon. <https://books.google.co.id/books?id=L9jfqgaacaaj>
- Gamage, K. A. A., Ekanayake, S. Y., & Dehideniya, S. C. P. (2022). Embedding Sustainability In Learning And Teaching: Lessons Learned And Moving Forward—Approaches In Stem Higher Education Programmes. *Education Sciences*, 12(3), 225. <https://doi.org/10.3390/Educsci12030225>
- Glavič, P. (2020). Identifying Key Issues Of Education For Sustainable Development. *Sustainability (Switzerland)*, 12(16). <https://doi.org/10.3390/Su12166500>
- Goga, C. I., & Serban, I. (2018). Methods Used In The Educational Process: A Theoretical And Empirical Perspective. *International Journal Of Academic Research In Business And Social Sciences*, 8(4), 416–430. <https://doi.org/10.6007/Ijarbss/V8-I4/4023>
- Graner, M., Mißler-Behr, M., & Mißler-Behr, M. (2014). Method Application In New Product Development And The Impact On Cross-Functional Collaboration And New Product Success. *International Journal Of Innovation Management*, 18(01), 1450002. <https://doi.org/10.1142/S1363919614500029>
- Habibah, M., & Irawan, F. A. (2023). Tingkat Kesadaran Lingkungan Siswa Dalam Menghadapi Pemanasan Global Dalam Kegiatan Literasi Bumiku Program Kampus Mengajar 4. *Jurnal Pendidikan Geosfer*, 8(1), 2–6. <https://doi.org/10.24815/Jpg.V8i1.29167>
- Hamdani, H., Yanto, D. T. P., & Maulana, R. (2019). Validitas Modul Tutorial Gambar Teknik Dan Listrik Dengan Autocad. *Invotek: Jurnal Inovasi Vokasional Dan Teknologi*, 19(2), 83–92. <https://doi.org/10.24036/Invotek.V19i2.491>
- Hillmayr, D., Ziernwald, L., Reinhold, F., Hofer, S. I., & Reiss, K. M. (2020). The Potential Of Digital Tools To Enhance Mathematics And Science Learning In Secondary Schools: A Context-Specific Meta-Analysis. *Computers And Education*, 153(September 2018), 103897. <https://doi.org/10.1016/J.Compedu.2020.103897>
- Hilser, H., Cox, E., Moreau, C., Hiraldo, L., Draiby, A., Winks, L., Andrews, M. G., & Walworth, N. G. (2024). Localized Governance Of Carbon Dioxide Removal In Small Island Developing States. *Environmental Development*, 49, 1–17. <https://doi.org/10.1016/J.Envdev.2023.100942>
- Hunter, R. H., & Jordan, R. C. (2019). The Tela: A New Tool For Assessing Educator Environmental Literacy. *Interdisciplinary Journal Of Environmental And Science Education*, 15(1), 1–9. <https://doi.org/10.29333/Ijese/6286>
- Intergovernmental Panel On Climate Change (Ipcc). (2023). Weather And Climate Extreme Events In A Changing Climate. In I. P. On C. C. (Ipcc) (Ed.), *Climate Change 2021 – The Physical Science Basis: Working Group I Contribution To The Sixth Assessment Report Of The Intergovernmental Panel On Climate*

- Change* (Pp. 1513–1766). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.013>
- Jeong, H., & Hmelo-Silver, C. E. (2016). Seven Affordances Of Computer-Supported Collaborative Learning: How To Support Collaborative Learning? How Can Technologies Help? *Educational Psychologist*, 51(2), 247–265. <https://doi.org/10.1080/00461520.2016.1158654>
- Johnson, C. C., Mohr-Schroeder, M. J., Moore, T. J., & English, L. D. (2020). *Handbook Of Research*.
- Jones, N. (2017). How Machine Learning Could Help To Improve Climate Forecasts. *Nature*, 548(7668), 379. <https://doi.org/10.1038/548379a>
- Kemendikbudristek. (2022). Dimensi, Elemen, Dan Subelemen Profil Pelajar Pancasila Pada Kurikulum Merdeka. *Kemendikbudristek*, 1–37.
- Khan, K., Salami, B. A., Iqbal, M., & Amin, M. N. (2022). *Compressive Strength Estimation Of Fly Ash / Slag Based Green*. 15(3722).
- Khoiri, N., Roshayanti, F., & Widarti, R. (2023). Integration Of Steam And Esd: Improving The Understanding Of Fluid Concepts And Creativity. *Journal Of Education And E-Learning Research*, 10(3), 578–584. <https://doi.org/10.20448/Jeelr.V10i3.4987>
- Khotami, M. H., Marlina, L., & Wiyono, K. (2023). The Needs Analysis Of The Electronic Student Worksheets (E-Lkpd) Based On Discovery Learning For The Topic Of Traveling Waves In High School. *Jurnal Pendidikan Fisika Dan Teknologi*, 9(1), 163–170. <https://doi.org/10.29303/Jpft.V9i1.5223>
- Kleespies, M. W., & Dierkes, P. W. (2022). The Importance Of The Sustainable Development Goals To Students Of Environmental And Sustainability Studies—A Global Survey In 41 Countries. *Humanities And Social Sciences Communications*, 9(1), 1–9. <https://doi.org/10.1057/S41599-022-01242-0>
- Komisi Nasional Indonesia Untuk Unesco. (2014). Pendidikan Untuk Pembangunan Berkelanjutan (Education For Sustainable Development) Di Indonesia. In *Kementrian Pendidikan Dan Kebudayaan* (Issue 9). Arxiv:1011.1669v3
- Koutsoyiannis, D. (2020). *Atmospheric Temperature And Co 2: Hen-Or-Egg Causality ?*
- Krejci, S. E., Ramroop-Butts, S., Torres, H. N., & Isokpehi, R. D. (2020). Visual Literacy Intervention For Improving Undergraduate Student Critical Thinking Of Global Sustainability Issues. *Sustainability*, 12(23), 10209. <https://doi.org/10.3390/Su122310209>
- Kricsfalussy, V., George, C., & Reed, M. G. (2018). Integrating Problem- And Project-Based Learning Opportunities: Assessing Outcomes Of A Field Course In Environment And Sustainability. *Environmental Education Research*, 24(4), 593–610. <https://doi.org/10.1080/13504622.2016.1269874>
- Kurnia, N. D., Chandra, A. F., & Tarigan, D. E. (2020). Pengembangan Instrumen Sustainability Awareness Dalam Materi Alat-Alat Optik Pada Siswa Sekolah Menengah Atas. *Wapfi (Wahana Pendidikan Fisika)*, 5(2), 16–23. <https://doi.org/10.17509/Wapfi.V5i2.26345>
- Leichenko, R., & O'brien, K. (2020). Teaching Climate Change In The

- Anthropocene: An Integrative Approach. *Anthropocene*, 30, 100241. <https://doi.org/10.1016/j.ancene.2020.100241>
- Lonsky, M., Lang, M., Holt, S., Pathak, S. A., Klauser, R., Lo, T.-H., Beg, M., Hoffmann, A., & Fangohr, H. (2023). *Developing Computational Skills Through Simulation Based Problem-Solving In Science*. 1–16. <http://arxiv.org/abs/2303.01784>
- Magdalena, I., Sundari, T., Nurkamilah, S., Ayu Amalia, D., & Muhammadiyah Tangerang, U. (2020). Analisis Bahan Ajar. *Jurnal Pendidikan Dan Ilmu Sosial*, 2(2), 311–326.
- Mahat, H., Hashim, M., Saleh, Y., Nayan, N., & Norkhaidi, S. B. (2020). Transformation Of Education For Sustainable Development Through Low Carbon Schools Community Program. *Journal Of Turkish Science Education*, 17(3), 429–442. <https://doi.org/10.36681/tused.2020.37>
- Margot, K. C., & Kettler, T. (2019). Teachers' Perception Of Stem Integration And Education: A Systematic Literature Review. *International Journal Of Stem Education*, 6(1). <https://doi.org/10.1186/s40594-018-0151-2>
- Marlina, L., Liliyasi, Tjasyono, B., & Hendayana, S. (2018). Improving The Critical Thinking Skills Of Junior High School Students On Earth And Space Science (Ess) Materials. *Journal Of Physics: Conference Series*, 1013(1), 12063. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1013/1/012063>
- Marlina, L., Meiwandari, M., Sriyanti, I., & Jauhari, J. (2021). Developing Student Worksheet Of Natural Science For The Eighth-Grade Junior High School Students Based On Critical Thinking Skills. *Journal Of Physics: Conference Series*, 1796(1), 012089. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1796/1/012089>
- Miarsyah, M., Vivanti, D., Fadrikal, R., & Suprpto, M. (2019). Effectiveness Lekers Mulia (Student Worksheet Based On Multimedia) And The Level Of Knowledge On The Attitude Of Environmental Responsibility. *Journal Of Physics: Conference Series*, 1317(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1317/1/012187>
- Mosca, O., Manunza, A., Manca, S., Vivanet, G., & Fornara, F. (2024). Digital Technologies For Behavioral Change In Sustainability Domains: A Systematic Mapping Review. *Frontiers In Psychology*, 14. <https://doi.org/10.20431/2349-0381.1003011>
- Murniati, M., Fathurrohman, A., & Letari, Y. (2022). Development Of Stem-Based Digital Handouts For Nuclear Physics Introduction Courses During The Covid-19 Pandemic. *Jurnal Penelitian Pendidikan Ipa*, 8(2), 627–632. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v8i2.1389>
- Muslim, S., Fathoni, A., Kusumawati, N., & Rahmadyanti, E. (2020). Critical Study Of Stem-Based Learning In Order To Develop Century Skills 21. *Journal Of Physics: Conference Series*, 1569(2), 22020. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1569/2/022020>
- Namakau Monde, P., Muchanga, M., & Mweemba, L. (2023). Strategic Environmental Education Framework For Sustainable Ecosystems Management In Lusaka District, Zambia. *International Journal Of Humanities, Social Sciences And Education*, 10(3), 110–117.

- <https://doi.org/10.20431/2349-0381.1003011>
- Nanquail, L. M., Hassan Sawalmeh, M., Glenn Domingo, A., & Paolo Tanjente, M. Y. (2022). *British Journal Of Teacher Education And Pedagogy Trends, Issues, And Challenges On Early Childhood Programs: Shaping Sustainable Future For Children*. 14–18. <https://doi.org/10.32996/Bjtep>
- Novianto, N. K., Masykuri, M., & Sukarmin, S. (2018). Pengembangan Modul Pembelajaran Fisika Berbasis Proyek (Project Based Learning) Pada Materi Fluida Statis Untuk Meningkatkan Kreativitas Belajar Siswa Kelas X Sma/ Ma. *Inkuiri: Jurnal Pendidikan Ipa*, 7(1), 81. <https://doi.org/10.20961/Inkuiri.V7i1.19792>
- Objectives, E. (2001). *A Model Of Learning Objectives*. 1–3. <https://www.celt.iastate.edu/instructional-strategies/effective-teaching-practices/revised-blooms-taxonomy/>
- Padhra, A., & Tolouei, E. (2023). Embedding Climate Change Education Into Higher-Education Programmes. *Nature Climate Change*, 13(11), 1154–1157. <https://doi.org/10.1038/S41558-023-01847-6>
- Park, H. J., & Lin, L. M. (2020). Exploring Attitude–Behavior Gap In Sustainable Consumption: Comparison Of Recycled And Upcycled Fashion Products. *Journal Of Business Research*, 117, 623–628. <https://doi.org/10.1016/J.Jbusres.2018.08.025>
- Parry, S., & Metzger, E. (2023). Barriers To Learning For Sustainability: A Teacher Perspective. *Sustainable Earth Reviews*, 6(1), 2. <https://doi.org/10.1186/S42055-022-00050-3>
- Pearce, J. M., & Russill, C. (2005). Interdisciplinary Environmental Education: Communicating And Applying Energy Efficiency For Sustainability. *Applied Environmental Education & Communication*, 4(1), 65–72. <https://doi.org/10.1080/15330150590911412>
- Pedregosa, F., Varoquaux, G., Gramfort, A., Michel, V., Thirion, B., Grisel, O., Blondel, M., Prettenhofer, P., Weiss, R., Dubourg, V., Vanderplas, J., Passos, A., Cournapeau, D., Brucher, M., Perrot, M., & Duchesnay, É. (2011). Scikit-Learn: Machine Learning In Python. *Journal Of Machine Learning Research*, 12, 2825–2830.
- Perwitasari, S. I., Hariyono, E., & Susantini, E. (2023). Implementation Of Esd (Education For Sustainable Development) In Climate Change Learning: A Literature Review. *Ijorer: International Journal Of Recent Educational Research*, 4(4), 399–415. <https://doi.org/10.46245/Ijorer.V4i4.317>
- Petrin Sayers, E. L., Craig, C. A., Gilbertz, S., Feng, S., Karam, R. T., & Bohman, A. (2020). Advancing Stem-Based Business Sustainability: Mending The Curricular Gap. *Management Teaching Review*, 5(1), 82–93. <https://doi.org/10.1177/2379298119852313>
- Pradana, G. A., Darsono, & Rufaidah, E. (2018). Development Of E-Learning Lkpd Schoology Improving Critical Thinking Ability And Learning Outcome Of History. *Jurnal Studi Sosial*, 6(1), 13–25.
- Purnamasari, I., Khasanah, I., & Wahyuni, S. (2020). Digital Literacy For Children Based On Steam In Family Education. *Journal Of Physics: Conference Series*,

- 1464(1), 12032. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1464/1/012032>
- Rahman, B., Abdurrahman, A., Maulina, H., Sukanto, I., Nurulsari, N., & Putri, R. D. (2020). Reducing The Impact Of Global Warming Through School Based Management Framework: Engaging Students' Participation In Daily Life Integrated Curriculum. *Journal Of Physics: Conference Series*, 1572(1), 12056. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1572/1/012056>
- Rizky Satria, P. A., Sekar, W. K., & Harjatanaya, T. Y. (2022). Projek Penguatan. In *Projek Penguatan Profil Pelajar Pancasila*.
- Röber, N., Böttinger, M., & Stevens, B. (2021). Visualization Of Climate Science Simulation Data. *Ieee Computer Graphics And Applications*, 41(1), 42–48. <https://doi.org/10.1109/Mcg.2020.3043987>
- Rohmah, F. (2018). Pengembangan Lkpd Berbasis Sets. *Bmc Microbiology*, 17(1), 1–14. <https://doi.org/10.1016/J.Biotechadv.2018.09.003> <http://dx.doi.org/10.1016/J.Bbamem.2015.10.011> <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27100488> <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26126908> <http://dx.doi.org/10.1016/J.Cbpa.2017.03.014> <https://doi.org/>
- Rolipa, R., Wiyono, K., Sudirman, S., Fathurohman, A., & Marlina, L. (2023). An Analysis Of Learning Styles On Renewable Energy Material In Independent Curriculum For Differentiation Learning. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika*, 7(2), 328. <https://doi.org/10.20527/Jipf.V7i2.9250>
- Ruiz-Sarmiento, J. R., Baltanas, S. F., & Gonzalez-Jimenez, J. (2021). Jupyter Notebooks In Undergraduate Mobile Robotics Courses: Educational Tool And Case Study. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(3), 1–21. <https://doi.org/10.3390/App11030917>
- Rule, A., Birmingham, A., Zuniga, C., Altintas, I., Huang, S.-C., Knight, R., Moshiri, N., Nguyen, M. H., Rosenthal, S. B., Pérez, F., & Rose, P. W. (2018). *Ten Simple Rules For Reproducible Research In Jupyter Notebooks*. 1. <http://arxiv.org/abs/1810.08055>
- Sá, M. J., & Serpa, S. (2022). Higher Education As A Promoter Of Soft Skills In A Sustainable Society 5.0. *Journal Of Curriculum And Teaching*, 11(4), 1. <https://doi.org/10.5430/Jct.V11n4p1>
- Sinaga, H., & Anas, N. (2022). Development Of Student Worksheets Based On Critical Thinking Biotechnology Materials For Third Grade (Ix Class) Of Junior High School. *Jurnal Pembelajaran Dan Biologi Nukleus*, 8(2), 355–363. <https://doi.org/10.36987/Jpbn.V8i2.2761>
- Sippel, M., Shaw, C., & Marshall, G. (2022). Ten Key Principles: How To Communicate Climate Change For Effective Public Engagement. In *Ssrn Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/Ssrn.4151465>
- Sondhi, S. S., Chawla, U., & Iqbal, H. (2023). Relationship Between Social Cause, Environment Conservation And Environmental Attitude, Towards Promoting Green Purchasing Behavior. *Serbian Journal Of Management*, 18(1), 27–43. <https://doi.org/10.5937/Sjm18-36157>
- Spalding, M. D., Mcivor, A. L., Beck, M. W., Koch, E. W., Möller, I., Reed, D. J., Rubinoff, P., Spencer, T., Tolhurst, T. J., Wamsley, T. V., Van Wesenbeeck,

- B. K., Wolanski, E., & Woodroffe, C. D. (2014). Coastal Ecosystems: A Critical Element Of Risk Reduction. *Conservation Letters*, 7(3), 293–301. <https://doi.org/10.1111/Conl.12074>
- Steiner, N. S., Bowman, J., Campbell, K., Chierici, M., Eronen-Rasimus, E., Falardeau, M., Flores, H., Fransson, A., Herr, H., Insley, S. J., Kauko, H. M., Lannuzel, D., Loseto, L., Lynnes, A., Majewski, A., Meiners, K. M., Miller, L. A., Michel, L. N., Moreau, S., ... Wongpan, P. (2021). Climate Change Impacts On Sea-Ice Ecosystems And Associated Ecosystem Services. *Elementa*, 9(1), 1–55. <https://doi.org/10.1525/Elementa.2021.00007>
- Sujarwanto, E., Madlazim, & Sanjaya, I. G. M. (2021). A Conceptual Framework Of Stem Education Based On The Indonesian Curriculum. *Journal Of Physics: Conference Series*, 1760(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1760/1/012022>
- Sury, K., Wiyono, K., & Siahaan, S. M. (2022). Effectiveness Of Using E-Learning At Stem-Based Physics Learning To Improve Communication Skills Of High School Students. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika*, 6(3), 539. <https://doi.org/10.20527/Jipf.V6i3.5781>
- Susilowati, E., Miriam, S., Suyidno, S., Sholahuddin, A., & Winarno, N. (2020). Integration Of Learning Science, Technology, Engineering, And Mathematics (Stem) In The Wetland Environment Area To Increase Students' Creativity. *Journal Of Physics: Conference Series*, 1491(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1491/1/012047>
- Sutchenkov, A. A., & Tikhonov, A. I. (2020). Active Investigation And Publishing Of Calculation Web Based Applications For Studying Process. *Journal Of Physics: Conference Series*, 1691(1), 12096. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1691/1/012096>
- Tunji-Olayeni, P. F., Adegboye, F., Oluwatobi, A., Adeyemi, G., Olagunju, O., Okoro, A., & Osabuohien, E. S. (2021). Accelerating Progress On Sustainable Development Goals: Assessing Secondary School Students' Knowledge Of Climate Change Actions. *Iop Conference Series: Earth And Environmental Science*, 665(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/665/1/012041>
- Urban, M. J., Marker, E., & Falvo, D. A. (2012). *An Interdisciplinary Exploration Of The Climate Change Issue And Implications For Teaching Stem Through Inquiry* (Issue 523, Pp. 523–550). <https://doi.org/10.4018/978-1-4666-0068-3.Ch019>
- Usparianti L, Y., Marlina, L., & Wiyono, K. (2023). Analysis Of Physics E-Lkpd Needs Based On Problem-Based Learning To Improve Students' Critical Thinking Skills. *Jurnal Pendidikan Fisika Dan Teknologi*, 9(1), 177–184. <https://doi.org/10.29303/Jpft.V9i1.5093>
- Van Susteren, L. (2018). The Psychological Impacts Of The Climate Crisis: A Call To Action. *Bjpsych International*, 15(2), 25–26. <https://doi.org/10.1192/Bji.2017.40>
- Vasconcelos, C., & Orion, N. (2021). Earth Science Education As A Key Component Of Education For Sustainability. *Sustainability (Switzerland)*, 13(3), 1–11. <https://doi.org/10.3390/Su13031316>

- Waskom, M. (2021). Seaborn: Statistical Data Visualization. *Journal Of Open Source Software*, 6(60), 3021. <https://doi.org/10.21105/joss.03021>
- Widya, Rifandi, R., & Laila Rahmi, Y. (2019). Stem Education To Fulfil The 21st Century Demand: A Literature Review. *Journal Of Physics: Conference Series*, 1317(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1317/1/012208>
- Wiyono, K. (2015). Pengembangan Model Pembelajaran Fisika Berbasis Ict Pada Implementasi Kurikulum 2013. *Jurnal Inovasi Dan Pembelajaran Fisika*, 2, 123–131.
- Xu, T. L., De Barbaro, K., Abney, D. H., & Cox, R. F. A. (2020). Finding Structure In Time: Visualizing And Analyzing Behavioral Time Series. *Frontiers In Psychology*, 11(July), 1–19. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.01457>
- Yang, J., Prabhakar, A., Narasimhan, K., & Yao, S. (2023). Intercode: Standardizing And Benchmarking Interactive Coding With Execution Feedback. *Advances In Neural Information Processing Systems*, 36(Neurips), 1–29.
- Yunansah, H., & Herlambang, Y. T. (2017). Pendidikan Berbasis Ekopedagogik Dalam Menumbuhkan Kesadaran Ekologis Dan Mengembangkan Karakter Siswa Sekolah Dasar. *Eduhumaniora | Jurnal Pendidikan Dasar Kampus Cibiru*, 9(1), 27. <https://doi.org/10.17509/Eh.V9i1.6153>
- Zamora-Polo, F., Sánchez-Martín, J., Corrales-Serrano, M., & Espejo-Antúnez, L. (2019). What Do University Students Know About Sustainable Development Goals? A Realistic Approach To The Reception Of This Un Program Amongst The Youth Population. *Sustainability (Switzerland)*, 11(13), 1–19. <https://doi.org/10.3390/Su11133533>
- Zidny, R., Laraswati, A. N., & Eilks, I. (2021). A Case Study On Students' Application Of Chemical Concepts And Use Of Arguments In Teaching On The Sustainability-Oriented Chemistry Issue Of Pesticides Use Under Inclusion Of Different Scientific Worldviews. *Eurasia Journal Of Mathematics, Science And Technology Education*, 17(7), Em1981. <https://doi.org/10.29333/Ejmste/10979>
- Zúñiga-López, A., & Avilés-Cruz, C. (2020). Digital Signal Processing Course On Jupyter–Python Notebook For Electronics Undergraduates. *Computer Applications In Engineering Education*, 28(5), 1045–1057. <https://doi.org/10.1002/Cae.22277>