

**DESAIN DIDAKTIS *PROJECT BASED LEARNING*
BERMUATAN *EDUCATION FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT*
PADA TOPIK PEMANFAATAN LIMBAH KULIT BUAH DAN UMBI
SEBAGAI PEWARNA MAKANAN UNTUK MENUMBUHKAN LITERASI
SAINS MAHASISWA**

TESIS

Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Syarat Memperoleh Gelar Magister
Pendidikan Kimia



Oleh:
Anis Muyassaroh
NIM 2217175

**PROGRAM STUDI MAGISTER PENDIDIKAN KIMIA
FAKULTAS PENDIDIKAN MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS PENDIDIKAN INDONESIA**

2025

DESAIN DIDAKTIS *PROJECT BASED LEARNING*
BERMUATAN *EDUCATION FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT*
PADA TOPIK PEMANFAATAN LIMBAH KULIT BUAH DAN UMBI
SEBAGAI PEWARNA MAKANAN UNTUK MENUMBUHKAN LITERASI
SAINS MAHASISWA

Oleh
Anis Muyassaroh
NIM 2217175

Sebuah tesis yang diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Pendidikan Program Studi Pendidikan Kimia
Fakultas Pendidikan dan Ilmu Pengetahuan Alam

©Anis Muyassaroh 2025
Universitas Pendidikan Indonesia
Januari 2025

Hak cipta dilindungi Undang-undang
Tesis ini tidak boleh diperbanyak seluruhnya atau sebagian dengan cetak ulang,
difotocopy atau cara lainnya tanpa seizin penulis.

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

ANIS MUYASSAROH

**DESAIN DIDAKTIS *PROJECT BASED LEARNING*
BERMUATAN *EDUCATION FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT*
PADA TOPIK PEMANFAATAN LIMBAH KULIT BUAH DAN UMBI
SEBAGAI PEWARNA MAKANAN
UNTUK MENUMBUHKAN LITERASI SAINS MAHASISWA**

Disetujui dan disahkan oleh:

Pembimbing 1,



Dr. rer. nat. Asep Supriatna, M.Si.
NIP. 196605021990031005

Pembimbing 2, *ace wijan Tangap 2*



Dr. Hernani, M.Si.
NIP. 196711091991012001

Penguji 1,



Dr. Sri Mulyani, M.Si.
NIP. 196111151986012001

Penguji 2,



Dr. H. Wiji, M.Si.
NIP. 197204302001121001

Mengetahui,

Ketua Program Studi Magister Pendidikan Kimia,



Dr. Wiji, M.Si.
NIP. 197204302001121001

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis yang berjudul "*Desain Didaktis Project Based Learning Bermuatan Education for Sustainable Development* pada Topik Pemanfaatan Limbah Kulit Buah dan Umbi Sebagai Pewarna Makanan untuk Menumbuhkan Literasi Sains Mahasiswa" ini beserta seluruh isinya adalah benar-benar karya saya sendiri. Saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan dengan cara-cara yang tidak sesuai dengan etika ilmu yang berlaku dalam masyarakat keilmuan. Atas pernyataan ini, saya siap menanggung resiko/sanksi apabila di kemudian hari ditemukan adanya pelanggaran etika keilmuan atau ada klaim dari pihak lain terhadap keaslian karya ini.

Bandung, Januari 2025

Anis Muyassaroh

NIM. 2217175

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan desain *project based learning* bermuatan ESD pada topik pemanfaatan limbah kulit buah buah dan umbi sebagai pewarna makanan beserta perangkatnya yang tervalidasi untuk menumbuhkan literasi sains mahasiswa. Metode penelitian *Mixed Method* dengan desain *Exploratory* digunakan pada penelitian ini, dengan partisipan 27 mahasiswa di salah satu program studi Pendidikan Kimia, Universitas Negeri di Kota Bandung. Instrumen penelitian meliputi pedoman wawancara hambatan belajar, Lembar Kerja Mahasiswa (LKM), rekaman audio-video, dan soal tes literasi sains. Data kualitatif pada penelitian ini berupa hasil analisis hambatan belajar mahasiswa, hasil validasi, serta hasil implementasi desain didaktis yang dikembangkan, sedangkan data kuantitatif diperoleh dari hasil jawaban soal literasi sains mahasiswa. Dalam penelitian ini, hambatan belajar mahasiswa dikelompokkan dalam 12 tema. Hasil validasi ahli menunjukkan bahwa diperlukan beberapa penyempurnaan situasi didaktis dan antisipasi pendidik pada desain didaktik, pertanyaan pada lembar kerja mahasiswa, dan soal literasi sains. Hasil implementasi desain berhasil menumbuhkan literasi sains mahasiswa melalui tiga aspek utama: pengetahuan konten, seperti memahami kandungan senyawa dalam kulit buah dan umbi; kompetensi, seperti menjelaskan fenomena ilmiah dan menyusun rencana proyek; serta identitas sains, yang tercermin dari sikap positif terhadap diskusi, presentasi, dan penghargaan terhadap perspektif ilmiah. Meskipun, beberapa mahasiswa masih kesulitan memahami gugus kromofor dan menggunakan alat seperti *centrifuge*. Hasil tes literasi sains menunjukkan rata-rata capaian pada kategori baik dengan nilai 70,5 untuk semua domain literasi.

Kata kunci: Literasi Sains, Desain Didaktis, *Project Based Learning*, *Education for Sustainable Development*, Kulit Buah dan Umbi, Pewarna alami

ABSTRACT

This study aims to produce a project-based learning design with ESD content on the topic of utilising fruit peel and tuber waste as food colouring and its validated tools to foster students' science literacy. Mixed Method research method with Exploratory design was used in this study, with participants of 27 students in one of the Chemistry Education study programmes, State University in Bandung City. The research instruments included interview guidelines for learning barriers, Student Worksheets (LKM), audio-video recordings, and science literacy test questions. Qualitative data in this study are the results of the analysis of student learning barriers, validation results, and the results of the implementation of the didactical design developed, while quantitative data are obtained from the answers to student science literacy questions. In this study, student learning barriers were grouped into 12 themes. The results of expert validation showed that some refinement of the didactical situation and educator anticipation was needed in the didactic design, questions on student worksheets, and science literacy questions. The results of the design implementation successfully fostered students' science literacy through three main aspects: content knowledge, such as understanding the content of compounds in fruit peels and tubers; competence, such as explaining scientific phenomena and developing project plans; and science identity, which is reflected in positive attitudes towards discussions, presentations, and respect for scientific perspectives. Although, some students still have difficulty understanding chromophore groups and using tools such as a centrifuge. The science literacy test results showed an average achievement in the good category with a score of 70.5 for all literacy domains.

Keywords: Science Literacy, Didactical Design, Project Based Learning, Education for Sustainable Development, Fruit and Tuber Peels, Natural Dyes

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur senantiasa penulis panjatkan kehadiran Allah Yang Maha Kuasa, karena atas rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan tesis dengan judul –*Desain Didaktis Project Based Learning Bermuatan Education for Sustainable Development* pada Topik Pemanfaatan Limbah Kulit Buah dan Umbi sebagai Pewarna Makanan untuk Menumbuhkan Literasi Sains Mahasiswa”. Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Magister Pendidikan pada Program Studi Magister Pendidikan Kimia, Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam.

Selama penyusunan tesisi ini, penulis telah berusaha dengan segenap kemampuan yang ada, namun sebagaimana peribahasa *Tak Ada Gading yang Tak Retak*, penulis menyadari bahwa penelitian ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan berbagai kritik dan saran yang bersifat membangun demi penyempurnaan penulisan tesis ini. Penulis berharap semoga tesis ini bermanfaat bagi kita semua dan berkontribusi dalam memajukan pendidikan kimia di Indonesia.

Penulis,
Anis Muyassaroh

UCAPAN TERIMA KASIH

Alhamdulillahirabbilamin, rasa syukur yang tiada terhingga, berkat karunia Allah yang maha kuasa, penulis dapat menyelesaikan tesis dengan judul –Desain Didaktis *Project Based Learning* Bermuatan *Education for Sustainable Development* pada Topik Pemanfaatan Limbah Kulit Buah dan Umbi sebagai Pewarna Makanan untuk Menumbuhkan Literasi Sains Mahasiswa” tepat pada waktunya. Penulisan tesis ini merupakan perjalanan panjang yang penuh tantangan, namun dengan dukungan dari berbagai pihak, akhirnya dapat terwujud. Oleh karena itu, Pada kesempatan ini penulis ingin menyatakan dengan penuh hormat ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr.rer.nat. Asep Supriatna, M.Si., selaku Dosen Pembimbing I yang telah membimbing, memberi saran, pemikiran, doa serta memotivasi penulis dalam penyusunan tesis ini.
2. Ibu Dr. Hernani, M.Si., selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan arahan, bimbingan, saran, pemikiran, doa, serta motivasi kepada penulis selama masa kuliah dan dalam pembuatan tesis ini.
3. Bapak dan Ibu Staf Kementerian Agama Republik Indonesia dan Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP) yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk mendapatkan beasiswa dalam menyelesaikan pendidikan magister.
4. Bapak Atep, M.Pd., selaku validator yang telah membantu penulis dalam memvalidasi instrumen penelitian.
5. Ibu Dr. Sri Mulyani, M.Si. selaku penguji 1 pada sidang 1 dan 2, yang telah memberikan saran dan perbaikan demi penyempurnaan penulisan tesis ini.
6. Bapak Dr. Wiji, M.Si., selaku ketua program studi magister pendidikan kimia, FPMIPA Universitas Pendidikan Indonesia yang telah memberikan arahan dan informasi layanan dalam urusan administrasi, sekaligus memberikan saran dan perbaikan untuk penyempurnaan tesis ini ketika menjadi penguji 2 pada sidang 1 dan 2.
7. Seluruh bapak dan ibu dosen program studi magister pendidikan kimia FPMIPA Universitas Pendidikan Indonesia yang telah memberikan

pengetahuan, pendidikan, dan pengalamannya selama penulis menempuh perkuliahan.

8. Seluruh mahasiswa Pendidikan kimia Universitas Pendidikan Indonesia yang telah bersedia menjadi subjek penelitian dan membantu penulis dalam melaksanakan penelitian.
9. Kedua orang tua, kakek, nenek, saudara dan semua keluarga yang selalu memberikan cinta, doa dan dukungan kepada saya selama ini.
10. Seluruh teman-teman seperjuangan di program studi magister pendidikan kimia, FPMIPA Universitas Pendidikan Indonesia angkatan 2023 atas segala kerjasama dan semangatnya selama perkuliahan dan proses penyusunan tesis ini.
11. Semua pihak yang telah membantu dalam proses penyusunan tesis yang tidak bisa dituliskan satu persatu

Akhir kata, semoga dengan bantuan yang diberikan kepada penulis mendapat balasan pahala disisi Allah SWT. Penulis menyadari bahwa karya ilmiah penulis ini masih banyak memiliki kekurangan, sehingga penulis sangat mengharapkan kritik, saran yang membangun untuk menyempurnakan tesis ini dan dapat bermanfaat ke depannya. Amin ya rabbal alamin.

Bandung, Januari 2025

Penulis

DAFTAR ISI

PERNYATAAN	i
ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	iv
UCAPAN TERIMAKASIH	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Permasalahan.....	6
1.3 Tujuan Penelitian.....	6
1.4 Pembatasan Masalah	7
1.5 Manfaat Penelitian.....	7
1.6 Sistematika Penulisan.....	7
BAB II KAJIAN PUSTAKA	9
2.1 Desain Didaktis	9
2.2 Pembelajaran Berbasis Proyek (PjBL)	12
2.3 <i>Education for Sustainable Development</i> (ESD).....	15
2.4 ESD pada pembelajaran kimia	16
2.5 Literasi Sains	20
2.5.1 Aspek pengetahuan.....	21
2.5.2 Aspek Kompetensi.....	22
2.5.3 Aspek identitas sains	22
2.6 Pewarna makanan dari Kulit Buah dan Umbi.....	22
2.7 Ekstraksi Pewarna Makanan dari Kulit Buah dan Umbi.....	29
BAB III METODE PENELITIAN	36
3.1 Desain Penelitian.....	36
3.2 Prosedur Penelitian.....	37
3.3 Subjek Penelitian.....	41
3.4 Instrumen dan data penelitian	41
3.5 Teknik analisis data.....	42
3.5.1 Data Kualitatif	42

3.5.2 Data Kuantitatif.....	45
BAB IV TEMUAN DAN PEMBAHASAN	47
4.1 Hambatan Belajar Mahasiswa pada Topik Pemanfaatan Kulit Buah dan Umbi sebagai Pewarna Makanan	47
4.1.1 Hambatan yang Berasal dari Pengalaman Mahasiswa dalam Mempelajari Proses Ekstraksi dan Cara Kerja Spektrofotometer UV-Vis....	48
4.1.2 Pemahaman Mahasiswa tentang Spektrofotometer UV-Vis	51
4.1.3 Pemahaman Mahasiswa terhadap Ekstraksi	53
4.1.4 Pendapat Mahasiswa tentang Penyalahgunaan Pewarna Sintetis.....	56
4.1.5 Dampak Negatif Limbah Kulit Buah dan Umbi.....	58
4.1.6 Pendapat Mahasiswa tentang Pentingnya Pewarna Alami	60
4.1.7 Memilih Bahan Pewarna Alami	63
4.1.8 Solusi Kreatif Pengurangan Limbah Kulit Buah dan Umbi	65
4.1.9 Memahami Aspek ESD pada Konteks Pembelajaran Topik Pewarna dari Kulit Buah dan Umbi.....	67
4.1.10 Pelarut yang Dapat Digunakan untuk Ekstraksi Pigmen Kulit Buah dan Umbi serta Aman Dikonsumsi	70
4.1.11 Strategi Mahasiswa dalam Mengatasi Hambatan Pembelajaran.....	72
4.1.12 Saran Mahasiswa agar Pembelajaran lebih mudah dipahami	75
4.1.13 Hambatan Belajar yang Teridentifikasi	77
4.2 Desain Pembelajaran PjBL Menggunakan Pendekatan ESD pada Topik Pemanfaatan Kulit Buah dan Umbi sebagai Pewarna Makanan	78
4.2.1 Tujuan Pembelajaran sebagai Landasan Mengembangkan Desain Pembelajaran.....	79
4.2.2 Peta Sekuensi	95
4.2.3 Optimasi Pemanfaatan Kulit Buah dan Umbi sebagai Pewarna Makanan	100
4.2.4 Desain Didaktis PjBL pada Topik Pemanfaatan Kulit Buah sebagai Pewarna Makanan Menggunakan Pendekatan ESD untuk Mengembangkan Literasi Sains Mahasiswa.....	106
4.2.5 Validasi Ahli terhadap Desain Pembelajaran Topik Pemanfaatan Kulit Buah sebagai Pewarna Makanan	113
4.3 Hasil Analisis Implementasi Desain Didaktis yang Dikembangkan.....	118
4.3.1. Hasil Implementasi pada Tahap Merancang.....	119
4.3.2. Hasil Implementasi pada Tahap Melaksanakan.....	126

4.3.3. Hasil Implementasi pada Tahap Mengkomunikasikan.....	129
4.4. Analisis Capaian Kemampuan Literasi Sains Mahasiswa	132
4.4.1 Kemampuan Literasi Sains Mahasiswa pada Domain Pengetahuan ..	134
4.4.2 Kemampuan Literasi Sains Mahasiswa pada Domain Kompetensi ...	138
4.4.3 Kemampuan Literasi Sains Mahasiswa pada Domain Identitas Sains	140
BAB V SIMPULAN, IMPLIKASI DAN REKOMENDASI	145
5.1 Simpulan.....	145
5.2 Implikasi.....	147
DAFTAR PUSTAKA	142
LAMPIRAN	148

DAFTAR TABEL

Tabel	Judul	Halaman
2.1	Deskripsi Aspek Literasi Sains PISA 2023.....	21
2.2	Beberapa Contoh Komponen Pelarut Eutektik (Wu <i>et al.</i> , 2022).....	33
3.1	Instrumen dan Data Penelitian	41
3.2	Kategori pertanyaan dan nomor pertanyaan pada lembar pedoman wawancara	43
3.3	Kisi-kisi Soal Literasi Sains	44
3.4	Kategori Penilaian Kemampuan Literasi Sains.....	46
4.1	Pemetaan Sub-Capaian Mata Kuliah, Aspek SDGs, Indikator Literasi Sains, dan Tujuan Pembelajaran.....	80
4.2	Analisis Konten pada Peta Sekuenssi	96
4.3	Hasil Uji Absorbansi	101
4.4	Hasil Validasi Desain Didaktis	113
4.5	Hasil Validasi Lembar Kerja Mahasiswa (LKM)	115
4.6	Hasil Validasi Intrumen Literasi Sains	116
4.7	Kemampuan Literasi Sains Mahasiswa Secara Keseluruhan.....	132
4.8	Hasil Tes Domain Pengetahuan pada setiap Indikator.....	135
4.9	Hasil Tes Domain Kompetensi pada Setiap Indikator	138
4.10	Hasil Tes Domain Identitas Sains pada setiap Indikator.....	141

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Judul	Halaman
2.1	Segitiga didaktis	9
2.2	Metapedadidaktik dilihat dari sisi ADP, HD, dan HP	11
2.3	Model elips ESD dalam pendidikan kimia	17
2.4	Klasifikasi Pigmen alami	24
2.5	Struktur Antosianin	25
2.6	Struktur Betalain	26
2.7	Struktur karotenoid	27
2.8	Struktur Klorofil.....	28
2.9	Diagram Representasi Teori Titik Eutektik Campuran.....	34
2.10	Skema Diagram Fasa Pelarut Eutektik K ₂ CO ₃	34
2.11	(a) Skema ilustrasi pembentukan NADES asam laktat-glukosa (b) Skema ilustrasi pembentukan NADES asam oleat-menthol	35
3.1	Rancangan Metode Campuran Sekuensial Eksploratori	36
3.2	Bentuk Desain <i>One-Shot Case Study</i>	37
3.3	Bagan Alur Penelitian	40
4.1	Hambatan yang Berasal dari Pengalaman Mahasiswa dalam Mempelajari Proses Ekstraksi dan Cara Kerja Spektrofotometer UV-Vis	49
4.2	<i>Project map</i> Tema 1: Pengalaman Mahasiswa dalam Mempelajari Proses Ekstraksi dan Cara Kerja Spektrometer UV-Vis	50
4.3	Pemahaman Mahasiswa tentang Spektrofotometer UV-Vis.....	51
4.4	<i>Project map</i> Tema 2: Pemahaman Mahasiswa tentang Spektrofotometer UV- Vis	52
4.5	Pemahaman Mahasiswa terhadap Ekstraksi.....	54
4.6	<i>Project map</i> Tema 3: Pemahaman mahasiswa tentang materi ekstraksi	55
4.7	Pendapat Mahasiswa tentang Bahaya Penyalahgunaan Pewarna Sintetis	56
4.8	<i>Project map</i> Tema 4: Pendapat Mahasiswa Tentang Bahaya Penyalahgunaan Pewarna Sintetis	57
4.9	Dampak Negatif Limbah Kulit Buah dan Umbi	59
4.10	<i>Project map</i> Tema 5: Dampak Negatif Limbah Kulit Buah dan Umbi	60
4.11	Pendapat Mahasiswa tentang Pentingnya Pewarna Alami.....	61
4.12	<i>Project map</i> Tema 6: Pendapat Mahasiswa tentang Pentingnya Pewarna Alami.....	62
4.13	Memilih Bahan Pewarna Alami	63
4.14	<i>Project map</i> Tema 7: Memilih bahan pewarna alami	64
4.15	Solusi Kreatif Pengurangan Limbah Kulit Buah dan Umbi.....	65
4.16	<i>Project map</i> Tema 8: Solusi kreatif pengurangan limbah kulit buah dan umbi	66
4.17	Memahami Aspek ESD pada Konteks Pembelajaran Topik Pewarna dari Kulit Buah dan Umbi	68

4.18 <i>Project map</i> Tema 9: Memahami Aspek ESD pada Konteks Pembelajaran Topik Pewarna dari Kulit Buah dan Umbi.....	69
4.19 Pelarut yang dapat Digunakan untuk Ekstraksi Pigmen Kulit Buah dan Umbi serta Aman Dikonsumsi.....	70
4.20 <i>Project map</i> Tema 10: Pelarut dapat digunakan untuk melarutkan zat warna alami dari kulit buah dan umbi	71
4.21 Strategi Mahasiswa dalam Mengatasi Hambatan Pembelajaran.....	73
4.22 <i>Project map</i> Tema 11: Strategi Mahasiswa dalam Mengatasi Hambatan Pembelajaran.....	74
4.23 Saran Mahasiswa agar Pembelajaran lebih mudah dipahami	75
4.24 <i>Project map</i> Tema 12: Saran Mahasiswa agar Pembelajaran lebih mudah dipahami.....	76
4.25 Peta sekuensi	99
4.26 Desain Didaktis pada Tahap Orientasi	109
4.27 Desain Didaktis pada Tahap Merancang.....	109
4.28 Desain Didaktis pada Tahap Melaksanakan	111
4.29 Desain Didaktis pada Tahap Mengkomunikasikan.....	112
4.30 Jawaban Mahasiswa pada LKM Pertanyaan Mendasar	120
4.31 Jawaban Mahasiswa pada LKM Pertanyaan Mendasar	121
4.32 Jawaban Mahasiswa pada LKM kegiatan inti.....	122
4.33 Hasil Rancangan Proyek Mahasiswa	124
4.34 Hasil Monitoring Proyek Mahasiswa.....	126
4.35 Hasil Rancangan Proyek Mahasiswa	127
4.36 Hasil Data Pengamatan Mahasiswa	129
4.37 Hasil Kemampuan Literasi Sains Mahasiswa pada setiap Aspek.....	133
4.38 Kemampuan Literasi Sains Mahasiswa pada Domain Pengetahuan.....	137
4.39 Grafik Aspek Kompetensi.....	140
4.40 Grafik Aspek Identitas Sains.....	143

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Judul	Halaman
1.	Peta Sekuensi	151
2.	Lembar Validasi Desain Didaktis	152
3.	Lembar Validasi Lembar Kerja Mahasiswa	185
4.	Lembar Validasi Tes Literasi Sains	192
5.	Form wawancara hambatan belajar	224
6.	Rekapan hasil literasi sains	227
7.	Dokumentasi Penelitian	229
8.	Riwayat Hidup Penulis	230

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Momani, F. N. N. (2016). Assessing the Development of Scientific Literacy among Undergraduates College of Education. *Journal of Studies in Education*, 6(2), 199. <https://doi.org/10.5296/jse.v6i2.9405>
- Al-Rumaihi, A., McKay, G., Mackey, H. R., & Al-Ansari, T. (2020). Environmental impact assessment of food waste management using two composting techniques. *Sustainability (Switzerland)*, 12(4). <https://doi.org/10.3390/su12041595>
- Almulla, M. A. (2020). The Effectiveness of the Project-Based Learning (PBL) Approach as a Way to Engage Students in Learning. *SAGE Open*, 10(3). <https://doi.org/10.1177/2158244020938702>
- Andriyani, R., Shimizu, K., & Widiyatmoko, A. (2019). The effectiveness of Project-based Learning on students' science process skills: A literature review. *Journal of Physics: Conference Series*, 1321(3). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1321/3/032121>
- Awa, Y. A. (2023). *the Role of Literacy in Developing Critical Thinking Ability in Digital Era*. 353–360.
- Benucci, I., Lombardelli, C., Mazzocchi, C., & Esti, M. (2022). Natural colorants from vegetable food waste: Recovery, regulatory aspects, and stability—A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 21(3), 2715–2737. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12951>
- Boaz, A., Biri, D., & Mckevitt, C. (2020). Rethinking the relationship between science and society. *Health Expectations*, 19(3), 592–601. <https://doi.org/10.1111/hex.12295>
- Bösch, S., Lenoir, D., & Scheringer, M. (2003). Sustainable chemistry: Starting points and prospects. *Naturwissenschaften*, 90(3), 93–102. <https://doi.org/10.1007/s00114-002-0397-9>
- Bramwell-Lalor, S., Kelly, K., Ferguson, T., Hordatt Gentles, C., & Roofe, C. (2020). Project-based Learning for Environmental Sustainability Action. *Southern African Journal of Environmental Education*, 36, 57–72. <https://doi.org/10.4314/sajee.v36i1.10>
- Brea, R. J., Hernández, A., Criado, A., & Mosquera, J. (2024). Deciphering the Concept of Solubility by Strategically Using the Counterion Effect in Charged Molecules. *Journal of Chemical Education*, 101(8), 3390–3395. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.4c00057>
- Bui, H. T. M., Bui, T., & Pham, B. T. (2024). The role of higher education in achieving sustainable development goals: An evaluation of motivation and capacity of Vietnamese institutions. *International Journal of Management Education*, 22(3), 101088. <https://doi.org/10.1016/j.ijme.2024.101088>
- Burmeister, M., & Eilks, I. (2012). An example of learning about plastics and their evaluation as a contribution to Education for Sustainable Development in secondary school chemistry teaching. *Chemistry Education Research and Practice*, 13(2), 93–102. <https://doi.org/10.1039/c1rp90067f>
- Burmeister, M., Rauch, F., & Eilks, I. (2012). Education for Sustainable Development (ESD) and chemistry education. *Chemistry Education Research and Practice*, 13(2), 59–68. <https://doi.org/10.1039/c1rp90060a>
- Cerna, S. C., Fuster-guillén, D., Castro, A. S., Wálter, H., Leyva, M., Victor, T.,

- & Ramírez, C. (2021). Scientific literacy : a key part of school contexts. *Revisto Tempos E Espacos Em Educação*, Vol. 14(May), 1–10.
- Chen, M., Jeronen, E., & Wang, A. (2020). What lies behind teaching and learning green chemistry to promote sustainability education? A literature review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(21), 1–24. <https://doi.org/10.3390/ijerph17217876>
- CLYDESDALE, F. M. (2020). Color Perception and Food Quality. *Journal of Food Quality*, 14(1), 61–74. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4557.1991.tb00047.x>
- Correia, P. R. M., Xavier do Valle, B., Dazzani, M., & Infante-Malachias, M. E. (2010). The importance of scientific literacy in fostering education for sustainability: Theoretical considerations and preliminary findings from a Brazilian experience. *Journal of Cleaner Production*, 18(7), 678–685. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2009.09.011>
- Corres, A., Rieckmann, M., Espasa, A., & Ruiz-Mallén, I. (2020). Educator competences in sustainability education: A systematic review of frameworks. *Sustainability (Switzerland)*, 12(23), 1–24. <https://doi.org/10.3390/su12239858>
- Corvers, R., Wiek, A., Kraker, J. De, & Lang, D. J. (2020). *Problem-Based and Project-Based Learning for Sustainable Development*. February 2018. <https://doi.org/10.1007/978-94-017-7242-6>
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2018). Research Design Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches. In *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches*.
- Darmawan, E., Sukmawati, I., & Damayanti, B. A. (2023). The effect of the project-based learning (PjBL) on concept understanding and environmental care attitudes. *JPBIO (Jurnal Pendidikan Biologi)*, 8(2), 196–205. <https://doi.org/10.31932/jpbio.v8i2.2413>
- Ekselsa, R. A., Purwianingsih, W., Anggraeni, S., & Wicaksono, A. G. C. (2023). Developing system thinking skills through project-based learning loaded with education for sustainable development. *JPBI (Jurnal Pendidikan Biologi Indonesia)*, 9(1), 62–73. <https://doi.org/10.22219/jpbi.v9i1.24261>
- Fadhilah, F., Husin, M., & Raddhin, R. F. (2023). The Effectiveness of Project-Based Learning (PjBL) on Learning Outcomes: A Meta-Analysis Using JASP. *JIPF (Jurnal Ilmu Pendidikan Fisika)*, 8(3), 327. <https://doi.org/10.26737/jipf.v8i3.3701>
- Ferreira, P. (2010). SOLUBILITY OF ORGANIC COMPOUNDS OTHER. *New Scientist*, 207(2767), i.
- Fischer, D., King, J., Rieckmann, M., Barth, M., Büssing, A., Hemmer, I., & Lindau-Bank, D. (2022). Teacher Education for Sustainable Development: A Review of an Emerging Research Field. *Journal of Teacher Education*, 73(5), 509–524. <https://doi.org/10.1177/00224871221105784>
- Freitas, A. M. M., Rossi, B. C., Pereira, S. G., Dos Santos, M. R., Dos Santos, C. A. M., & Pereira, M. A. C. (2019). Project-Based Learning as a Tool for Sounding Perception and Developing Socio-Emotional Skills in 4th-Grade Students. *Creative Education*, 10(07), 1444–1455. <https://doi.org/10.4236/ce.2019.107106>
- Hassani, M., & Najjari, M. (2020). Opportunity Inequality in Accessing Higher

- Education and Presentation of Equity Promotion Model to Achieve Sustainable Development: A Case Study of West Azerbaijan Province in Iran. *Journal of Teacher Education for Sustainability*, 22(1), 124–139. <https://doi.org/10.2478/jtes-2020-0010>
- Herranen, J., Yavuzkaya, M., & Sjöström, J. (2021). Embedding chemistry education into environmental and sustainability education: Development of a didaktik model based on an eco-reflexive approach. *Sustainability (Switzerland)*, 13(4), 1–15. <https://doi.org/10.3390/su13041746>
- Hikmawanti, N. P. E., Ramadon, D., Jantan, I., & Mun'im, A. (2021). Natural deep eutectic solvents (Nades): Phytochemical extraction performance enhancer for pharmaceutical and nutraceutical product development. *Plants*, 10(10). <https://doi.org/10.3390/plants10102091>
- Hugerat, M. (2020). Incorporating Sustainability into Chemistry Education by Teaching through Project-Based Learning [Chapter]. *ACS Symposium Series*, 1344, 79–96. <https://doi.org/10.1021/bk-2020-1344.ch007>
- Imara, K., & Altinay, F. (2021). Integrating education for sustainable development competencies in teacher education. *Sustainability (Switzerland)*, 13(22). <https://doi.org/10.3390/su132212555>
- Istyadji, M. (2023). Conception of scientific literacy in the development of scientific literacy assessment tools: a systematic theoretical review. *Journal of Turkish Science Education*. <https://www.tused.org/index.php/tused/article/view/1718>
- Jayaningtyas, N. H. D., Nurhaeni, I. D. A., & Haryanti, R. H. (2019). *Education for Sustainable Development in Internationalization Era: Improving qualities of lecturers through exchange programme*. 343(Icas), 25–27. <https://doi.org/10.2991/icas-19.2019.6>
- Jegstad, K M, & Sinnes, A. T. (2015). Chemistry Teaching for the Future: A model for secondary chemistry education for sustainable development. *International Journal of Science Education*, 37(4), 655–683. <https://doi.org/10.1080/09500693.2014.1003988>
- Jegstad, Kirsti Marie, & Sinnes, A. T. (2015). Chemistry Teaching for the Future: A model for secondary chemistry education for sustainable development. *International Journal of Science Education*, 37(4), 655–683. <https://doi.org/10.1080/09500693.2014.1003988>
- John D Bradley. (2005). *CHEMISTRY EDUCATION FOR DEVELOPMENT*. May, 17–19.
- Kahar, M. S., Susilo, Abdullah, D., & Oktaviany, V. (2022). The effectiveness of the integrated inquiry guided model stem on students scientific literacy abilities. *International Journal of Nonlinear Analysis and Applications*, 13(1), 1667–1672. <https://doi.org/10.22075/IJNAA.2022.5782>
- Kemendikbud. (2014). Materi Pelatihan Implementasi Kurikulum 2013 Tahun 2014. *Badan Pengembangan Sumber Daya Manusia Pendidikan Dan Kebudayaan Dan Penjaminan Mutu Pendidikan*, 197.
- Kemendikbud. (2020). Kerangka Kualifikasi Nasional Indonesia (KKNI). *Jakarta: Kementerian Pendidikan Dan Kebudayaan*, 1–23.
- Khan, M. F., Rashid, R. Bin, Mian, M. Y., Rahman, M. S., & Rashid, M. A. (2016). Effects of Solvent Polarity on Solvation Free Energy, Dipole Moment, Polarizability, Hyperpolarizability and Molecular Properties of

- Metronidazole. *Bangladesh Pharmaceutical Journal*, 19(1), 9–14. <https://doi.org/10.3329/bpj.v19i1.29229>
- Khoo, H. E., Azlan, A., Tang, S. T., & Lim, S. M. (2017). Anthocyanidins and anthocyanins: Colored pigments as food, pharmaceutical ingredients, and the potential health benefits. *Food and Nutrition Research*, 61(1), 0–21. <https://doi.org/10.1080/16546628.2017.1361779>
- Lau, K. Q., Sabran, M. R., & Shafie, S. R. (2021). Utilization of Vegetable and Fruit By-products as Functional Ingredient and Food. *Frontiers in Nutrition*, 8(June), 1–12. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.661693>
- Linawati., Noer, A., & S, L. A. (2021). Analisis Level Literasi Laboratorium Kimia Peserta Didik Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) di Masa Pandemi COVID-19. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian Dan Pengabdian, "Penelitian Dan Pengabdian Inovatif Pada Masa Pandemi Covid-19,"* 1(1), 108. <http://prosiding.rcipublisher.org/index.php/prosiding/article/view/125>
- Magalhães, D., Gonçalves, R., Rodrigues, C. V., Rocha, H. R., Pintado, M., & Coelho, M. C. (2024). Natural Pigments Recovery from Food By-Products: Health Benefits towards the Food Industry. *Foods*, 13(14). <https://doi.org/10.3390/foods13142276>
- Malone, K. (2008). An evidence based review on the role of Learning. *Report Commissioned by Farming and Countryside Education for UK Department Children, School and Families, Wollongong, Australia, October.*
- Martins, N., Roriz, C. L., Morales, P., Barros, L., & Ferreira, I. C. F. R. (2016). Food colorants: Challenges, opportunities and current desires of agro-industries to ensure consumer expectations and regulatory practices. *Trends in Food Science and Technology*, 52, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.03.009>
- Miller, J. D. (2004). Public understanding of, and attitudes toward, scientific research: What we know and what we need to know. *Public Understanding of Science*, 13(3), 273–294. <https://doi.org/10.1177/0963662504044908>
- Mudzakir, A., Hernani, H., Yuliani, G., & Mustikasari, D. (2020). Science, Engineering, and Technology of Dye Sensitized Solar Cells: a Didactical Design Based on Technochemistry Education. *JTK (Jurnal Tadris Kimiya)*, 5(2), 131–143. <https://doi.org/10.15575/jtk.v5i2.6741>
- Novais, C., Molina, A. K., Abreu, R. M. V., Santo-Buelga, C., Ferreira, I. C. F. R., Pereira, C., & Barros, L. (2022). Natural Food Colorants and Preservatives: A Review, a Demand, and a Challenge. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 70(9), 2789–2805. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.1c07533>
- Nuha, D. N., Febriana, B. W., & Merdekawati, K. (2020). Implementation of Project Based Learning (PjBL) Learning Model Through Wall Magazine Towards Learning Achievement and Collaborative Skills. *International Journal of Chemistry Education Research*, 4(April), 37–41. <https://doi.org/10.20885/ijcer.vol4.iss1.art6>
- OECD. (2023). *PISA 2025 Science Framework (First Draft)*. May, 1–93.
- Okayanti, G. A. M., & Semara Putra, D. K. N. (2021). Contextual Teaching And Learning Assisted With School Environmental Media Affect The Science Knowledge Competency Of Grade IV Elementary School. *Journal of*

- Education Technology*, 4(4), 531. <https://doi.org/10.23887/jet.v4i4.27110>
- Ozcan, A., & Arman Kandirmaz, E. (2020). Natural ink production and printability studies for smart food packaging. *Color Research and Application*, 45(3), 495–502. <https://doi.org/10.1002/col.22488>
- Paristiowati, M., Rahmawati, Y., Fitriani, E., Satrio, J. A., & Hasibuan, N. A. P. (2022). Developing Preservice Chemistry Teachers' Engagement with Sustainability Education through an Online, Project-Based Learning Summer Course Program. *Sustainability (Switzerland)*, 14(3). <https://doi.org/10.3390/su14031783>
- Petrescu, D. C., Vermeir, I., & Petrescu-Mag, R. M. (2020). Consumer understanding of food quality, healthiness, and environmental impact: A cross-national perspective. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(1). <https://doi.org/10.3390/ijerph17010169>
- Piao, X., & Managi, S. (2023). The international role of education in sustainable lifestyles and economic development. *Scientific Reports*, 13(1), 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-35173-w>
- Prasetya, A. T., Cahyono, E., & Sudarmin, Haryani, S. (2022). Chemical Practicum Learning Project-Based Instrument Analysis to Develop Students' New Literacy Skills. *Proceedings of the 6th International Conference on Science, Education and Technology (ISET 2020)*, 574(Iset 2020), 726–732. <https://doi.org/10.2991/assehr.k.211125.138>
- Pratiwi*, A. J., Hernani, H., & Anwar, B. (2023). Education for Sustainable Development Oriented Didactic Design in A Bioplastic Context in Overcoming Barriers to Learning and Developing Attitude and Environmental Awareness. *Jurnal IPA & Pembelajaran IPA*, 7(1), 40–55. <https://doi.org/10.24815/jipi.v7i1.29199>
- Rachmawati, U., Pradita, L. E., Ulyan, M., & Sotlikova, R. (2024). The Implementation of Project-Based Learning in Higher Education: A Case Study in the Indonesian Context. *Journal of Languages and Language Teaching*, 12(1), 475. <https://doi.org/10.33394/jollt.v12i1.8976>
- Rediani, N. N. (2024). *THE IMPACT OF PROJECT-BASED LEARNING ON STUDENT'S SCIENTIFIC LITERACY AND AUTONOMY*. 5(1), 67–78.
- Riyanti, D. (2023). *The implementation of Project-based Learning in higher education : Students and lecturers ' perspectives*. 6(2), 162–171.
- Rodriguez-Amaya, D. B. (2016). Natural food pigments and colorants. *Current Opinion in Food Science*, 7, 20–26. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2015.08.004>
- Rohmaniyah, N., & Asih, S. W. (2024). Project-based learning design in secondary schools: enhancing students' collaborative and creative skills. *International Journal of Post Axial: Futuristic Teaching and Learning*, 2(4), 274–287.
- Santoso, P. H. (2019). Integration of Ocean Literacy into Physics Learning. *Omega: Jurnal Fisika Dan Pendidikan Fisika*, 5(1), 1. <https://doi.org/10.31758/omegajphysphyseduc.v5i1.1>
- Sarker, A., Ahmmmed, R., Ahsan, S. M., Rana, J., Ghosh, M. K., & Nandi, R. (2023). A comprehensive review of food waste valorization for the sustainable management of global food waste. *Sustainable Food Technology*, 2(1), 48–69. <https://doi.org/10.1039/d3fb00156c>

- Sharma, M., Usmani, Z., Gupta, V. K., & Bhat, R. (2021). Valorization of fruits and vegetable wastes and by-products to produce natural pigments. *Critical Reviews in Biotechnology*, 41(4), 535–563. <https://doi.org/10.1080/07388551.2021.1873240>
- Shwartz, Y., Ben-Zvi, R., & Hofstein, A. (2006). The use of scientific literacy taxonomy for assessing the development of chemical literacy among high-school students. *Chemistry Education Research and Practice*, 7(4), 203–225. <https://doi.org/10.1039/B6RP90011A>
- Sigurdson, G. T., Tang, P., & Giusti, M. M. (2017). Natural Colorants: Food Colorants from Natural Sources. *Annual Review of Food Science and Technology*, 8, 261–280. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-030216-025923>
- Suandi Sidauruk, Anggraeni, M. E., Agtri Wulandari, Omry Susanto Siregar, & Hernita Andriani. (2023). Analysis of Chemical Literacy of Prospective Teacher Students. *BALANGA: Jurnal Pendidikan Teknologi Dan Kejuruan*, 11(1), 32–38. <https://doi.org/10.37304/balanga.v11i1.10026>
- Sumarni, W., Wardani, S., Sudarmin, S., & Gupitasari, D. N. (2016). Project based learning (PBL) to improve psychomotoric skills: A classroom action research. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 5(2), 157–163. <https://doi.org/10.15294/jpii.v5i2.4402>
- UNESCO. (2017). Education for Sustainable Development Goals: learning objectives. In *Education for Sustainable Development Goals: learning objectives*. <https://doi.org/10.54675/cgba9153>
- Vega, E. N., Ciudad-Mulero, M., Fernández-Ruiz, V., Barros, L., & Morales, P. (2023). Natural Sources of Food Colorants as Potential Substitutes for Artificial Additives. *Foods*, 12(22), 1–41. <https://doi.org/10.3390/foods12224102>
- Wahyuningsih, S., Wulandari, L., Wartono, M. W., Munawaroh, H., & Ramelan, A. H. (2017). The Effect of pH and Color Stability of Anthocyanin on Food Colorant. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 193(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/193/1/012047>
- Yavuzkaya, M., Clucas, P., & Sjöström, J. (2022). ChemoKnowings as Part of 21st Century Bildung and Subject Didaktik. *Frontiers in Education*, 7(May). <https://doi.org/10.3389/feduc.2022.869156>