

**INOVASI PRAKTIKUM BIOKIMIA BIOENERGI ALTERNATIF
DARI MAKROALGA UNTUK MENINGKATKAN
KETERAMPILAN BERPIKIR KRITIS DAN KREATIF
MAHASISWA**

DISERTASI

Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Syarat untuk Memperoleh Gelar Doktor
Pendidikan Ilmu Pengetahuan Alam



Oleh

Semuel Unwakoly
NIM. 2104919

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

2025

**INOVASI PRAKTIKUM BOKIMIA BIOENERGI ALTERNATIF DARI
MAKROALGA UNTUK MENINGKATKAN KETERAMPILAN
BERPIKIR KRITIS DAN KREATIF MAHASISWA**

Oleh

Semuel Unwakoly

S.Pd. Universitas Pattimura, Ambon, 2003

M.Si. Institut Teknologi Bandung, 2010

Sebuah Disertasi yang diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh
gelar Doktor Pendidikan (Dr.) pada Fakultas Pendidikan Matematika dan
Ilmu Pengetahuan Alam

© Semuel Unwakoly, 2025

Universitas Pendidikan Indonesia

Agustus 2025

Hak Cipta dilindungi Undang-Undang.

Disertasi ini tidak boleh diperbanyak seluruhnya atau sebagian,
dengan dicetak ulang, difoto kopi, atau cara lainnya tanpa ijin dari penulis.

LEMBAR PENGESAHAN DISERTASI

Semuel Unwakoly

INOVASI PRAKTIKUM BOKIMIA BIOENERGI ALTERNATIF DARI MAKROALGA UNTUK MENINGKATKAN KETERAMPILAN BERPIKIR KRITIS DAN KREATIF MAHASISWA

Disetujui dan disahkan oleh panitia disertasi

Promotor,



Prof. Dr. Liliyasi, M.Pd
NIP. 920191119490927201

Ko-Promotor,



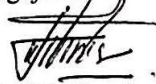
Prof. Heli S. H. Munawaroh, M.Si., Ph.D
NIP. 197907302001122002

Anggota,



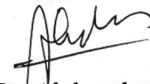
Dr. Eka Cahya Prima, S.Pd., M.T
NIP. 199006262014041001

Penguji Internal



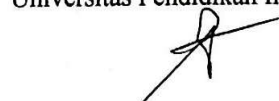
Prof. Dr. F. M. Titin Supriyanti, M.Si
NIP. 195810141986012001

Penguji Eksternal



Prof. Dr. Abdurrahman, M.Si
NIP. 196812101993031002

Ketua Program Studi Pendidikan IPA
Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Pendidikan Indonesia



Prof. Dr. phil. Ari Widodo, M.Ed
NIP. 196705271992031001

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa disertasi dengan judul **“Inovasi Praktikum Biokimia Bioenergi Alternatif dari Makroalga Untuk Meningkatkan Keterampilan Berpikir Kritis dan Kreatif Mahasiswa”** beserta seluruh isinya adalah benar-benar karya 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 yang dijatuhkan kepada saya apabila dikemudian hari ditemukan adanya pelanggaran etika keilmuan dalam karya saya ini, atau ada klaim dari pihak lain terhadap keaslian karya saya ini.

Bandung, Agustus 2025

Yang Membuat Pernyataan

Semuel Unwakoly
NIM. 2104919

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Kuasa yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan disertasi yang berjudul: Inovasi Praktikum Biokimia Bioenergi Alternatif dari Makroalga untuk Meningkatkan Keterampilan Berpikir Kritis dan Berpikir Kreatif Mahasiswa. Disertasi ini disusun untuk memenuhi sebagian syarat memperoleh gelar Doktor Pendidikan IPA pada Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Pendidikan Indonesia.

Praktikum biokimia bioenergi alternatif dari makroalga memberikan kesempatan kepada mahasiswa terlibat secara aktif pada praktikum yang mengintegrasikan model pembelajaran berbasis masalah dengan laboratorium inquiri serta latihan keterampilan eksperimen. Praktikum mengenai masalah kontekstual krisis energi dan lingkungan yang disebabkan oleh penggunaan bahan bakar fosil merupakan salah satu upaya kegiatan praktikum yang mengajarkan pentingnya penggunaan energi secara bijaksana melalui energi terbarukan. Reorientasi kegiatan praktikum penting dilakukan mengingat praktikum berpendekatan buku resep (*textbook*) menurut studi sebelumnya kurang mampu meningkatkan kemampuan mahasiswa menerapkan ilmu dalam kehidupan nyata. Dengan mengangkat masalah kontekstual seperti krisis energi dan lingkungan akibat penggunaan bahan bakar fosil dapat mendorong mahasiswa menerapkan ilmu biokimia secara nyata. Praktikum ini memberikan peningkatan penguasaan konsep mahasiswa, keterampilan berpikir kritis dan berpikir kreatif serta meningkatkan keterampilan laboratorium mahasiswa.

Penulis menyadari adanya keterbatasan dari penulisan disertasi ini. Oleh karena itu kritik dan saran demi penyempurnaan penulisan disertasi ini sangat penulis harapkan. Kiranya hasil penelitian ini dapat memberikan manfaat maupun kontribusi demi pengembangan ilmu secara khususnya dalam pembelajaran IPA, khususnya kimia.

Bandung, Agustus 2025

Penulis

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada penulisan disertasi ini melibatkan banyak pihak yang memberikan kontribusi mulai dari tahapan awal penelitian sampai pada akhir penulisan disertasi. Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allahku yang kusembah dalam Yesus Kristus Tuhan dan Juruselamat hidup kami, atas kasih dan KemurahanNya sehingga disertasi dan studi saya dapat diselesaikan dengan baik.
2. Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP) Kementerian Keuangan RI, yang telah memberikan beasiswa kepada saya selama menempuh studi S3 di UPI Bandung
3. Rektor beserta para Wakil Rektor Universitas Pendidikan Indonesia yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk melanjutkan studi S3 di kampus UPI Bandung.
4. Bapak Dekan dan para Wakil Dekan FPMIPA Universitas Pendidikan Indonesia yang telah memfasilitasi dan memberikan kesempatan kepada penulis selama studi di FPMIPA UPI.
5. Prof. Dr. phil. Ari Widodo, M.Ed. selaku Ketua Program Studi Pendidikan IPA di FPMIPA UPI, telah bertanggung jawab dengan penuh dedikasi dan memfasilitasi penulis selama menjalani studi dan dalam penyelesaian disertasi ini.
6. Prof. Dr. Liliyasi, M.Pd., sebagai Promotor dan pembimbing akademik, yang telah memberikan motivasi, bimbingan, dan pendidikan kepada penulis. Beliau dengan kesabaran dan tanggung jawab membantu dalam setiap bagian penelitian dan menyusun tulisan akademik yang berkualitas.
7. Prof. Heli S. H. Munawaroh, M.Si.,Ph.D dan Dr. Eka Cahya Prima, M.T sebagai Ko-Promotor dan Anggota Promotor yang telah bertanggung jawab membimbing, mendidik, memberi pencerahan, memotivasi, serta memberikan masukan yang berharga kepada penulis dalam penyelesaian penulisan disertasi ini.

8. Prof. Dr. Abdurrahman, M.Si. dan Prof. Dr. F. M. Titin Supriyanti, M.S. sebagai penguji yang telah memberikan masukan terhadap penulisan disertasi ini.
9. Bapak dan Ibu dosen pada Program Studi Pendidikan IPA di FPMIPA UPI yang telah mendidik dan memberikan pengetahuan dan keterampilan selama kegiatan perkuliahan maupun dalam penyelesaian disertasi ini.
10. Prof. Dr. Fredy Leiwakabessy, M.Pd., selaku rektor Universitas Pattimura (Unpatti) yang telah memberikan dukungan dan motivasi selama menempuh studi S3 di UPI Bandung.
11. Prof. Dr. D. Malle, M.Sc., selaku wakil rektor bidang akademik Universitas Pattimura (Unpatti) yang telah memberikan dukungan dan motivasi selama menempuh studi S3 di UPI Bandung.
12. Prof. Dr. P. Kakisina, M.Si, selaku Wakil Rektor bidang Administrasi Umum dan Keuangan Unpatti yang telah memberikan dukungan dan motivasi selama menempuh studi S3 di UPI Bandung.
13. Dr. E. K. Huliselan, M.Si, selaku Kepala Lembaga Penelitian dan Pengabdian Unpatti Ambon, yang selalu memberikan dukungan dan motivasi kepada peneliti selama studi.
14. Prof. Dr. I. H. Wenno, M.Pd, selaku Dekan FKIP Unpatti Ambon yang telah memberikan dukungan dan motivasi selama studi
15. Bapak Benhur G. Watubun, S.T, selaku Ketua DPRD Propinsi Maluku yang telah memberikan dukungan dan motivasi bagi penyelesaian studi saya.
16. Ibu Dr. Yeslia Utubira, M.Si. selaku Koordinator Program Studi Pendidikan Kimia Unpatti Ambon yang telah memberikan dukungan kepada peneliti selama studi dan penelitian.
17. Dr. Theophillus Watuguly, M.Kes, Dr. Sostones Sisinaru, M.H, Dr. Abraham Mariwy, M.Si dan Dr. Anastasya Limba, M.Pd yang selalu memberikan dukungan dan motivasi kepada peneliti selama studi.
18. Keluarga besar penulis, Alm. Bapak Jacob Unwakoly dan Alm. Mama Maria Unwakoly, Alm. Bapak Jacobus Ferdinand Lekatompessy, Mama Maria Lekatompessy/Salakory yang tiada henti mendoakan, memberikan dukungan,

kasih sayang, pengorbanan dan bantuan selama penulis melaksanakan studi mulai dari SD sampai pada saat ini.

19. Istri penulis, Felicia M. Unwakoly/Lekatompessy, S.S.,M.Pd. atas dukungan, doa, motivasi, perhatian, kesetiaan, pengertian, dan kesabaran serta pengorbanan bagi penulis sehingga dapat menyelesaikan studi dan disertasi ini.
20. Kedua anak penulis, Christabel F. G. Unwakoly dan Chrysander N. Unwakoly yang selalu mendoakan, memberikan kebahagiaan, keceriaan, dan telah sabar atas kesibukan papanya selama penulis menjalani studi.
21. Kakak dan adik yang selalu memberikan dukungan buat penulis (Kk Susi dan bang Yani Natan, Kk Angky, Kk Yan, Alm. Adik Femmy L. Lekatompessy, Adik Benny dan Adik Eddy serta istri dan anak-anak).
22. Keluarga Bpk. Nus Wattimena dan anak-anak (Usi Alce, Ola dan Elma Wattimena), Keluarga Bp. Unang dan Mm Yana Salakory, Adik Marles Matatula, Ian Luhukay atas dukungan dan kebersamaan yang mendukung keluarga kami di Ambon ketika saya sedang studi di Bandung.
23. Rekan-rekan dosen Program Studi Pendidikan Kimia FKIP Unpatti Ambon yang selalu memberikan dukungan dan motivasi kepada penulis selama studi.
24. Rekan-rekan seperjuangan S3 Pendidikan IPA angkatan 2021 atas kebersamaan, waktu diskusi dan motivasi selama menempuh pendidikan doctoral di Universitas Pendidikan Indonesia.
25. Rekan-rekan seperjuangan di laboratorium *Solar Energy Material* (SEM) UPI Bandung yang selalu memberikan dukungan bagi penulis selama studi
26. Semua pihak yang telah mendukung dan mendoakan penulis yang tidak dapat disebutkan satu persatu

Penulis juga dengan tulus memohon maaf kepada semua pihak apabila terdapat kesalahan yang dilakukan baik dalam tutur kata maupun perbuatan, baik yang disengaja maupun tidak disengaja. Semoga Tuhan Yang Maha Kuasa memberikan balasan atas semua kebaikan dan dukungan yang telah diberikan kepada penulis.

Bandung, Agustus 2025

Penulis

INOVASI PRAKTIKUM BIOKIMIA BIOENERGI ALTERNATIF DARI MAKROALGA UNTUK MENINGKATKAN KETERAMPILAN BERPIKIR KRITIS DAN KREATIF MAHASISWA

ABSTRAK

Krisis energi dan lingkungan sebagai akibat dari penggunaan bahan bakar fosil yang tidak terbatas berdampak pada pemanasan global yang terjadi saat ini. Untuk mengatasi masalah ini, dibutuhkan energi terbarukan yang ramah lingkungan, seperti sel surya. Sel surya peka warna (DSSC) merupakan sel surya generasi ketiga yang mengadopsi mekanisme reaksi fotosintesis dari makroalga dengan menggunakan klorofil sebagai pewarna alami. Teknologi ini dapat digunakan secara efektif dan inovatif melalui pembelajaran praktikum biokimia. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengembangkan praktikum biokimia bioenergi alternatif khususnya pembuatan sel surya peka warna untuk meningkatkan penguasaan konsep fotosintesis dan teknologi sel surya, keterampilan berpikir kritis, serta berpikir kreatif mahasiswa. Penelitian ini menggunakan *mixed methods exploratory design* dengan melibatkan 40 mahasiswa pada tahap uji coba terbatas pada Program Studi Pendidikan Kimia di salah satu universitas negeri di Bandung, dan 33 mahasiswa Program Studi Pendidikan Kimia pada salah satu universitas negeri di Propinsi Maluku pada tahap implementasi. Keterampilan berpikir kritis dan keterampilan berpikir kreatif diukur menggunakan instrumen tes *essay* yang terintegrasi dengan materi fotosintesis dan teknologi sel surya, serta penilaian lembar kerja mahasiswa. Teknik analisis data yang diterapkan adalah *gain*, uji beda, uji korelasi, dan *N-gain*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa; 1) program praktikum yang dikembangkan memiliki empat karakteristik, yaitu praktikum yang didasarkan pada masalah atau tantangan dunia nyata, menggabungkan beberapa disiplin ilmu, berpusat pada mahasiswa dan mengintegrasikan model pembelajaran berbasis masalah dengan pendekatan inkuiri, 2) program praktikum mendorong penguasaan keterampilan laboratorium mahasiswa, 3) program praktikum dapat meningkatkan penguasaan konsep fotosintesis dan teknologi sel surya, keterampilan berpikir kritis dan berpikir kreatif mahasiswa pada kategori sedang, 4) terdapat korelasi positif dengan hubungan yang kuat antara penguasaan konsep, keterampilan berpikir kritis dan berpikir kreatif mahasiswa, 5) program praktikum yang dikembangkan memiliki lima keunggulan utama, yaitu; pengetahuan sains, keterampilan eksperimen, keterampilan berpikir kritis dan kreatif, serta sikap terhadap keberlanjutan. Sedangkan, keterbatasan program praktikum terdapat pada terbatasnya daya dukung peralatan dan bahan praktikum yang tidak lengkap. Peneliti selanjutnya dapat mengintegrasikan praktikum berbasis masalah dengan menggunakan spesies makroalga yang lain.

Kata kunci: Praktikum biokimia bioenergi alternatif, makroalga, keterampilan berpikir kritis, keterampilan berpikir kreatif

INNOVATIONS OF ALTERNATIVE BIOENERGY BIOCHEMISTRY LABORATORY ACTIVITIES USING-MACROALGAE TO IMPROVE STUDENTS' CRITICAL AND CREATIVE THINKING SKILLS

ABSTRACT

Energy and environmental crisis are the effect of excessive using of fossil fuel, was significantly contribute to the global warming. To overcome this problem, it is necessary to utilize renewable energy such as solar cells that is friendly to the environment. Dye sensitized solar cells (DSSC) are third-generation of solar cells that adopt the photosynthetic reaction mechanism of macroalgae by using chlorophyll as a natural dye. The DSSC technology can be applied effectively and innovatively through laboratory activities learning. Therefore, this research was conducted to develop alternative bioenergy biochemistry laboratory activities, especially the DSSC manufacture to improve students' concept of photosynthesis and solar cell technology, critical thinking skills and creative thinking skills. The study employed mixed method exploratory design included 33 students who were involved in the implementation of biochemistry laboratory activities at one of the public university in Maluku province. Instruments of this study were the essay test and assessment on students' worksheet that intended to measure students' critical and creative thinking skill, which then analyzed using gain test, t-test, correlation test and N-gain. The results showed that: first, the practicum program has four main characteristics in which is a problem or real world challenges-based, combines several disciplines, students-centered, and integrate problem based learning with inquiry approach; second, the laboratory activities program encourages students' mastery on laboratory skills; third, the laboratory activities program enables students to increase their mastery on the concept of photosynthesis and solar cells technology, as well as their critical and creative thinking skills in medium category. The finding also revealed a positive and significant correlation between students' conceptual mastery, critical thinking and creative thinking skills. In addition, the laboratory activities program has five major advantages such as students' science knowledge, experimental skills, critical and creative thinking skills as well as the sustainable development attitude. It is acknowledge that limited carrying capacity and equipments and materials in the laboratory activities. Hence, integrating problem-based laboratory activities of other macroalgae species is a thoughtful consideration for future researchers.

Keywords: Alternative bioenergy, biochemistry, laboratory activities, macroalgae, critical thinking skills, creative thinking skills

DAFTAR ISI

LEMBAR HAK CIPTA	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN DISERTASI	iv
KATA PENGANTAR	v
UCAPAN TERIMA KASIH	vi
ABSTRAK	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xix
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	6
1.3 Pembatasan Masalah	8
1.4 Tujuan Penelitian	8
1.5 Kebaruan dan Kontribusi Penelitian	8
1.6 Definisi Operasional	9
1.7 Sistematika Penulisan Disertasi	10
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Peranan Makroalga dalam Praktikum Pembuatan DSSC	12
2.2 Konsep Dasar Fotosintesis dalam Kegiatan Praktikum	13
2.2.1 Hubungan Fotosintesis dan <i>Dye Sensitized Solar Cells</i> (DSSC)	19
2.2.2 Konsep Dasar <i>Dye Sensitized Solar Cells</i> (DSSC) dalam Kegiatan Praktikum	20
2.2.2.1 Fotoelektroda dalam DSSC.....	22
2.2.2.2 Pewarna Alami dalam DSSC	24
2.2.2.3 Elektrolit dalam DSSC	30
2.2.2.4 Elektroda Balik dalam DSSC	31
2.2.2.5 Prinsip Kerja dan Efisiensi DSSC	33
2.3 Pendidikan Energi Terbarukan	35
2.4 Keterampilan Abad 21 dalam Mendorong Proses Pembelajaran	38
2.4.1 Pengembangan Keterampilan Berpikir Kritis Mahasiswa	40
2.4.2 Pengembangan Keterampilan Berpikir Kreatif Mahasiswa	46
2.5 Penguasaan Konsep Mahasiswa pada Praktikum Biokimia	49
2.6 Integrasi Model Pembelajaran Berbasis Masalah dan Laboratorium Inkuiri Pada Praktikum Biokimia	52

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Paradigma Penelitian	64
3.2 Metode dan Desain Penelitian	67
3.3 Prosedur Penelitian	70
3.4 Lokasi dan Subjek Penelitian	71
3.5 Instrumen Penelitian	71
3.5.1 Instrumen Tes Keterampilan Berpikir Kritis	72
3.5.2 Instrumen Tes Keterampilan Berpikir Kreatif	82
3.5.3 Rubrik Penilaian Lember Kerja Mahasiswa (LKM)	89
3.5.4 Kuisisioner Respon Mahasiswa	90
3.6 Teknik Pengumpulan Data	92
3.7 Teknik Analisis Data	93
3.6.1 Analisis Data Kuantitatif	93
3.6.2 Analisis Data Kualitatif	95
3.6.3 Analisis Data Kuantitatif dan Kualitatif	96

BAB IV HASIL PENELITIAN

4.1 Karakteristik Program Praktikum Biokimia Pembuatan Bioenergi Alternatif	97
4.1.1 Tahap Sebelum Intervensi (Fase Kualitatif)	97
4.1.2 Tahap Pengembangan Program Praktikum Biokimia Bioenergi Alternatif	126
4.1.3 Karakteristik Program Praktikum Biokimia	145
4.2 Tahapan Uji Coba Praktikum Pembuatan Bioenergi Alternatif	150
4.3 Tahapan Implementasi Program Praktikum Pembuatan Bioenergi Alternatif	156
4.3.1 Kegiatan Pra-Laboratorium	158
4.3.2 Tahapan Laboratorium Inkuiri dalam Praktikum Biokimia	159
4.4 Peningkatan Penguasaan Konsep Mahasiswa	212
4.5 Peningkatan Keterampilan Berpikir Kritis Mahasiswa	220
4.6 Peningkatan Keterampilan Berpikir Kreatif Mahasiswa	230
4.7 Korelasi Penguasaan Konsep, Keterampilan Berpikir Kritis dan Berpikir Kreatif Mahasiswa	239
4.8 Keunggulan dan Keterbatasan Praktikum Biokimia Bioenergi Alternatif ..	241

BAB V PEMBAHASAN

5.1 Karakteristik Program Praktikum Biokimia Pembuatan Bioenergi Alternatif	248
5.2 Tahapan Implementasi Program Praktikum Pembuatan Bioenergi Alternatif	254
5.3 Peningkatan Penguasaan Konsep Mahasiswa	258
5.4 Peningkatan Keterampilan Berpikir Kritis Mahasiswa	262
5.5 Peningkatan Keterampilan Berpikir Kreatif Mahasiswa	265
5.6 Korelasi Penguasaan Konsep, Keterampilan Berpikir Kritis dan Berpikir Kreatif Mahasiswa	268
5.7 Keunggulan dan Keterbatasan Praktikum Biokimia Bioenergi Alternatif ..	271

BAB VI SIMPULAN, IMPLIKASI DAN REKOMENDASI

6.1 Simpulan	275
6.2 Implikasi	276
6.3 Rekomendasi	277

DAFTAR PUSTAKA	278
-----------------------------	------------

LAMPIRAN	290
-----------------------	------------

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Indikator Keterampilan Berpikir Kritis	51
Tabel 3.1	Instrumen Penelitian	70
Tabel 3.2	Sebaran soal tes keterampilan berpikir kritis pada tiap aspek	71
Tabel 3.3	Hasil analisis CVR soal keterampilan berpikir kritis	72
Tabel 3.4	Saran perbaikan soal dari validator	72
Tabel 3.5	Hasil analisis kelayakan soal secara empiris	74
Tabel 3.6	Instrumen tes keterampilan berpikir kritis	76
Tabel 3.7	Sebaran soal tes keterampilan berpikir kreatif pada tiap aspek	81
Tabel 3.8	Hasil analisis CVR soal keterampilan berpikir kreatif	82
Tabel 3.9	Saran perbaikan soal dari validator	82
Tabel 3.10	Hasil analisis kelayakan soal secara empiris	83
Tabel 3.11	Instrumen tes keterampilan berpikir kreatif	85
Tabel 3.12	Hasil validasi LKM	88
Tabel 3.13	Kisi-kisi kuisioner respon mahasiswa	90
Tabel 3.14	Hasil perhitungan CVR rubrik respon mahasiswa	91
Tabel 3.15	Teknik pengumpulan data	92
Tabel 3.16	Kriteria nilai <i>gain</i>	93
Tabel 4.1	Hasil analisis dokumen kurikulum	100
Tabel 4.2	Hasil analisis dokumen praktikum Biokimia	100
Tabel 4.3	Hasil analisis kegiatan pelaksanaan laboratorium dan hubungannya dengan keterampilan berpikir	104
Tabel 4.4	Hasil transkrip wawancara responden	106
Tabel 4.5	Rancangan kegiatan pada skala laboratorium	109
Tabel 4.6	Spesies dan morfologi sampel makroalga	112
Tabel 4.7	Hasil Karakterisasi <i>Cyclic Voltammetry</i> dari pewarna	122
Tabel 4.8	Kinerja DSSC dari pigmen klorofil dari beberapa spesies makroalga	124
Tabel 4.9	Rancangan aktivitas dalam program praktikum	126
Tabel 4.10	Saran perbaikan dari validator terhadap rancangan program, LKM dan Modul	128
Tabel 4.11	Perhitungan CVR program praktikum	129
Tabel 4.12	Pemetaan aktivitas praktikum terhadap CPMK	131
Tabel 4.13	Aspek keterampilan berpikir kritis pada program praktikum	132
Tabel 4.14	Aspek keterampilan berpikir kreatif pada program praktikum	133
Tabel 4.15	Rancangan program praktikum biokimia bioenergi alternatif khususnya pembuatan DSSC	134
Tabel 4.16	Rincian kegiatan ujicoba program praktikum bioenergi alternatif (DSSC)	150
Tabel 4.17	Rangkuman hasil pengamatan uji coba program praktikum	152
Tabel 4.18	Indikator keterampilan berpikir kritis	155

Tabel 4.19	Indikator keterampilan berpikir kreatif	156
Tabel 4.20	Tabulasi penulisan rumusan masalah pada LKM Praktikum Biokimia	161
Tabel 4.21	Tabulasi penulisan variabel pada LKM Praktikum Biokimia	165
Tabel 4.22	Tabulasi penulisan hipotesis pada LKM Praktikum Biokimia	169
Tabel 4.23	Alat dan Bahan yang digunakan dalam eksperimen ekstraksi dan karakterisasi pigmen klorofil	176
Tabel 4.24	Prosedur kerja Ekstraksi dan Karakterisasi Pigmen Klorofil.....	178
Tabel 4.25	Alat dan Bahan yang digunakan dalam eksperimen pembuatan semikonduktor dan elektroda balik	179
Tabel 4.26	Prosedur kerja praktikum pembuatan semikonduktor dan elektroda balik	182
Tabel 4.27	Hasil Analisis Karakterisasi Eksperimen Ekstrak Makroalga	190
Tabel 4.28	Hasil analisis karakterisasi ekstrak makroalga dengan menggunakan spektrofotometer Uv-vis <i>double beam</i>	191
Tabel 4.29	Hasil transkrip wawancara responden	205
Tabel 4.30	Hasil uji <i>Wilcoxon</i> peningkatan penguasaan konsep	216
Tabel 4.31	Hasil perhitungan gain dan n-gain peningkatan penguasaan konsep mahasiswa	218
Tabel 4.32	Persentase capaian mahasiswa berdasarkan kategori <i>n-gain</i>	219
Tabel 4.33	Hasil uji <i>paired sample Test</i> keterampilan berpikir kritis ...	221
Tabel 4.34	Hasil perhitungan gain dan n-gain keterampilan berpikir kritis mahasiswa	224
Tabel 4.35	Persentase capaian mahasiswa berdasarkan kategori <i>n-gain</i>	226
Tabel 4.36	Deskripsi jawaban pada soal tes keterampilan berpikir kritis.....	226
Tabel 4.37	Hasil uji <i>paired sample test</i> keterampilan berpikir kreatif ...	231
Tabel 4.38	Hasil perhitungan gain dan n-gain keterampilan berpikir kreatif mahasiswa	234
Tabel 4.39	Persentase capaian mahasiswa berdasarkan kategori <i>n-gain</i>	235
Tabel 4.40	Deskripsi jawaban pada soal tes keterampilan berpikir kreatif	236
Tabel 4.41	Hasil Uji Korelasi <i>Rank Spearman</i>	239
Tabel 4.42	Persepsi Mahasiswa Terhadap Keunggulan Program Praktikum Bioenergi Alternatif	242

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Hasil <i>overlay visualization</i> dari kata kunci <i>natural dye as photosensitizer DSSC</i>	5
Gambar 2.1	Produk utama dari reaksi fotosintesis	18
Gambar 2.2	Skema-Z fotosintesis pada tumbuhan hijau	20
Gambar 2.3	Spektrum radiasi elektromagnetik	21
Gambar 2.4	Struktur kimia molekul klorofil	22
Gambar 2.5	Spektrum abasorbansi dari pigmen tumbuhan	23
Gambar 2.6	Ringkasan sistem bikarbonat dan fiksasi karbon oleh makroalga	24
Gambar 2.7	Skema dari DSSC	26
Gambar 2.8	<i>Layout</i> dan fungsi diagram DSSC	27
Gambar 2.9	Bentuk struktur dari Klorofil a, b, dan c	35
Gambar 2.10	Penyerapan Klorofil a, dan b dalam pelarut	36
Gambar 2.11	Struktur molekul β -Karoten, Lutein, Astaxanthin dan Violaxanthin	37
Gambar 2.12	Spekturm Penyerapan Karotenoid	37
Gambar 2.13	Spekturm Penyerapan Phycobiliproteins	38
Gambar 2.14	Skema Struktur dan operasi perangkat DSSC	42
Gambar 2.15	Konversi dan aplikasi energi bersih yang terbarukan dan berkelanjutan	44
Gambar 2.16	Hasil Belajar dan Sistem Pendukung Mahasiswa Abad ke-21.....	48
Gambar 3.1	Paradigma Penelitian	65
Gambar 3.2	Desain Penelitian <i>mixed methods exploratory design</i>	68
Gambar 3.3	Prosedur Penelitian	69
Gambar 4.1	Prosedur studi dokumentasi	97
Gambar 4.2	Profil Lulusan Program Studi Pendidikan Kimia	98
Gambar 4.3	Lokasi Pengambilan Sampel di Perairan Maluku	110
Gambar 4.4	Visualisasi morfometrik makroalga	111
Gambar 4.5	Contoh Penyaringan Ekstrak dan Ekstrak Sampel	113
Gambar 4.6	Spektrum serapan UV-vis klorofil	114
Gambar 4.7	Spektrum FT-IR Ekstrak pewarna	115
Gambar 4.8	Pembuatan semikonduktor TiO_2	117
Gambar 4.9	Pembuatan elektroda balik rGO	118
Gambar 4.10	Kurva <i>cyclic voltammetry</i> ekstrak pewarna	120
Gambar 4.11	Diagram Tingkat Energi DSSC dari Ekstrak Pewarna	121
Gambar 4.12	Kinerja DSSC dari Ekstrak Pewarna	122
Gambar 4.13	Contoh halaman pada modul praktikum	144
Gambar 4.14	Pengantar pada LKM	145

Gambar 4.15	Penggunaan multimeter digital	147
Gambar 4.16	Nilai rata-rata <i>pre-test</i> dan <i>post-test</i> mahasiswa tahapan uji coba	152
Gambar 4.17	Kategori hasil tes keterampilan berpikir kritis dan berpikir kreatif	153
Gambar 4.18	Pertanyaan dan contoh jawaban mahasiswa pada LKM	160
Gambar 4.19	Lokasi pengambilan sampel makroalga	168
Gambar 4.20	Rancangan kegiatan praktikum pembuatan DSSC	169
Gambar 4.21	Pengambilan sampel makroalga di lokasi pantai Desa Suli	170
Gambar 4.22	Contoh penulisan prosedur kerja praktikum oleh mahasiswa...	178
Gambar 4.23	Proses penyaringan sampel dan ekstrak pigmen	179
Gambar 4.24	Contoh penulisan alat dan bahan serta prosedur kerja praktikum	183
Gambar 4.25	Proses pengerjaan pasta TiO ₂	183
Gambar 4.26	Pembuatan elektroda balik rGO	184
Gambar 4.27	Pembuatan elektrolit	185
Gambar 4.28	Proses deposisi TiO ₂ dan Pemanasan di <i>furnance</i>	187
Gambar 4.29	Pembuatan dan pengujian kinerja DSSC	188
Gambar 4.30	Hasil eksperimen ekstraksi dan karakterisasi pigmen.....	189
Gambar 4.31	Hasil analisis ekstrak makroalga menggunakan spektrofotometer Uv-vis <i>double beam</i> setiap kelompok	191
Gambar 4.32	Contoh penulisan pembahasan dari salah satu mahasiswa	192
Gambar 4.33	Hasil pengujian kinerja DSSC	193
Gambar 4.34	Nilai rata-rata Kemampuan Mahasiswa dalam Merancang Praktikum	196
Gambar 4.35	Nilai Rata-rata Kemampuan Mahasiswa dalam Melaksanakan Praktikum	197
Gambar 4.36	Nilai Rata-rata Kemampuan Mahasiswa dalam Mengumpulkan data, Membahas serta Membuat Kesimpulan.	198
Gambar 4.37	Nilai Capaian Kinerja Praktikum Mahasiswa	201
Gambar 4.38	Hasil Observasi Praktikum	202
Gambar 4.39	Kerangka Konseptual PBL-Laboratorium Inkuiri pada Praktikum Biokimia Bioenergi Alternatif	209
Gambar 4.40	Nilai Rata-rata Penguasaan konsep Mahasiswa pada Eksperimen	213
Gambar 4.41	Contoh Penulisan Peta Konsep pada Eksperimen 1	214
Gambar 4.42	Nilai Rata-rata Peningkatan Penguasaan konsep Mahasiswa ..	215
Gambar 4.43	Peningkatan Nilai rata-rata indikator penguasaan konsep Mahasiswa	216
Gambar 4.44	Nilai Rata-rata <i>Pre-test</i> dan <i>Post-test</i> Keterampilan Berpikir Kritis	220

Gambar 4.45	Peningkatan nilai rata-rata setiap indikator keterampilan berpikir kritis	224
Gambar 4.46	Nilai Rata-rata <i>Pre-test</i> dan <i>Post-test</i> Keterampilan Berpikir Kreatif	230
Gambar 4.47	Nilai rata-rata peningkatan keterampilan berpikir kreatif setiap indikator	234
Gambar 4.48	Korelasi antara Penguasaan Konsep, Keterampilan Berpikir Kritis dan Keterampilan Berpikir Kreatif Mahasiswa	241

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Rancangan Program Praktikum Biokimia	290
Lampiran 2	Kisi-kisi Soal <i>Pre-test</i> dan <i>Post-test</i>	298
Lampiran 3	Lembar Validasi Soal	311
Lampiran 4	Lembar Kerja Mahasiswa (LKM)	313
Lampiran 5	Pedoman Penilaian LKM	339
Lampiran 6	Analisis Statistik	354

DAFTAR PUSTAKA

- Aabla, B. (2017). A review on 21st century learning models. *International Interdisciplinary Journal of Education*, 6(1), 254-263.
- Ade Febri, S., & Sarwanto, D. H. (2020). Guided inquiry lab: Its effect to improve student's critical thinking on mechanics. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika Al-Biruni*, 9(1), 87.
- Agustian, H. Y., Finne, L. T., Jørgensen, J. T., Pedersen, M. I., Christiansen, F. V., Gammelgaard, B., & Nielsen, J. A. (2022). Learning outcomes of university chemistry teaching in laboratories: A systematic review of empirical literature. *Review of Education*, 10(2), e3360.
- Al-Alwani, M. A. M., Mohamad, A. B., Ludin, N. A., Kadhum, A. A. H., & Sopian, K. (2016). Dye-sensitized solar cells: Development, structure, operation principles, electron kinetics, characterisation, synthesis materials and natural photosensitisers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 183-213.
- Bauer, C., Boschloo, G., Mukhtar, E., & Hagfeldt, A. (2002). Interfacial electron-transfer dynamics in Ru (tcterpy)(NCS) 3-sensitized TiO₂ nanocrystalline solar cells. *The Journal of Physical Chemistry B*, 106(49), 12693-12704.
- Bredas, J., Silbey, R., Boudreaux, D., & Chance, R. (1983). Chain-length dependence of electronic and electrochemical properties of conjugated systems: polyacetylene, polyphenylene, polythiophene, and polypyrrole. *Journal of the American Chemical Society*, 105(22), 6555-6559.
- Britton, D., Mundy, C. N., McGraw, C. M., Revill, A. T., & Hurd, C. L. (2019). Responses of seaweeds that use CO₂ as their sole inorganic carbon source to ocean acidification: differential effects of fluctuating pH but little benefit of CO₂ enrichment. *ICES Journal of Marine Science*, 76(6), 1860-1870.
- Büyüközkan, G., Karabulut, Y., & Mukul, E. (2018). A novel renewable energy selection model for United Nations' sustainable development goals. *Energy*, 165, 290-302.
- Calogero, G., Citro, I., Di Marco, G., Minicante, S. A., Morabito, M., & Genovese, G. (2014). Brown seaweed pigment as a dye source for photoelectrochemical solar cells. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 117, 702-706.
- Care, E., Griffin, P., & McGaw, B. (2012). *Assessment and teaching of 21st century skills*: Springer.
- Chatterjee, A., Kathirvel, A., Manivasagam, T. G., & Batabyal, S. K. (2024). Sustainable power generation from live freshwater photosynthetic filamentous macroalgae Pithophora. *Journal of Science: Advanced Materials and Devices*, 9(2), 100674.

- Chengere, A. M., Bono, B. D., Zinabu, S. A., & Jilo, K. W. (2025). Enhancing secondary school students' science process skills through guided inquiry-based laboratory activities in biology. *PloS one*, 20(4).
- Cherp, A., Vinichenko, V., Tosun, J., Gordon, J. A., & Jewell, J. (2021). National growth dynamics of wind and solar power compared to the growth required for global climate targets. *Nature Energy*, 6(7), 742-754.
- Chien, S.-I., Su, C., Chou, C.-C., & Wang, H.-H. (2021). Research insights and challenges of secondary school energy education: A dye-sensitized solar cells case study. *Sustainability*, 13(19), 10581.
- Chu, C., Dewey, J. L., & Zheng, W. (2023). An inorganic chemistry laboratory technique course using scaffolded, inquiry-based laboratories and project-based learning. *Journal of chemical education*, 100(9), 3500-3508.
- Cologero, G., Bartolotta, A., Di Marco, G., Di Carlo, A., & Bonaccorso, F. (2015). Vegetable-based dye-sensitized solar cells. *Chem Soc Review*, 3244-3294.
- Cowden, C. D., & Santiago, M. F. (2016a). Interdisciplinary Explorations: Promoting Critical Thinking via Problem-Based Learning in an Advanced Biochemistry Class. *J. Chem. Educ.*, 464-469.
- Cowden, C. D., & Santiago, M. F. (2016b). Interdisciplinary explorations: promoting critical thinking via problem-based learning in an advanced biochemistry class. *Journal of Chemical Education*, 93(3), 464-469.
- Creswell, J. W., & Clark, V. L. P. (2017). *Designing and conducting mixed methods research*: Sage publications.
- Cui, Y., Xu, Y., Yao, H., Bi, P., Hong, L., Zhang, J., Ren, J. (2021). Single-junction organic photovoltaic cell with 19% efficiency. *Advanced Materials*, 33(41), 2102420.
- Cummings, S. D. (2013). ConfChem Conference on Educating the next Generation: Green and Sustainable Chemistry - Solar Energy: A Chemistry Course on Sustainability for General Science Education and Quantitative Reasoning. *J. Chem. Educ.*, 90 (94) 523-524.
- Dalgado-Vargas, F., Jimenez, A. R., & Paredes-Lopez, O. (2000). Natural pigments: carotenoids, anthocyanins, and betalains — characteristics, biosynthesis, processing, and stability. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 40 (43), 173–289. <https://doi.org/10.1080/10408690091189257>.
- Dandotiya, B., & Sharma, H. K. (2022). Climate change and its impact on terrestrial ecosystems *Research Anthology on Environmental and Societal Impacts of Climate Change* (pp. 88-101): IGI Global.
- Davies, K. M. (2004). *Plant pigments and their manipulation* (Vol. 14): Blackwell Oxford, UK.
- De Simone, C. (2008). Problem-Based Learning: a framework for prospective teachers' pedagogical problem solving. *Teacher Development*, 12(3), 179-191.

- Don, Y. (2020). *Implementation of problem-based learning to improve students' critical thinking skills*. Paper presented at the Journal of Physics: Conference Series.
- Donthu, N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N., & Lim, W. M. (2021). How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. *Journal of business research*, 133, 285-296.
- Dumbrava, A., Lungu, J., & Ion, A. (2016). Green seaweeds extract as co-sensitizer for dye sensitized solar cells. *Scientific Study & Research. Chemistry & Chemical Engineering, Biotechnology, Food Industry*, 17(1), 13.
- Elavarasan, R. M., Pugazhendhi, R., Jamal, T., Dyduch, J., Arif, M. T., Kumar, N. M., Nadarajah, M. (2021). Envisioning the UN Sustainable Development Goals (SDGs) through the lens of energy sustainability (SDG 7) in the post-COVID-19 world. *Applied Energy*, 292, 116665.
- Emerson, R., Chalmers, R., & Cederstrand, C. (1957). Some factors influencing the long-wave limit of photosynthesis. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 43(1), 133-143.
- Ennis, R. (2011). Critical thinking.
- Ennis, R. H. (1989). Critical thinking and subject specificity: Clarification and needed research. *Educational researcher*, 18(3), 4-10.
- Eriksen, N. T. (2008). Production of phycocyanin—a pigment with applications in biology, biotechnology, foods and medicine. *Appl Microbiol Biotechnol*, 1-14.
- Evert, R. F., Raven, P. H., & Eichhorn, S. E. (2012). *Raven biology of plants*: Macmillan Higher Education.
- Facione, P. A. (2011). Critical thinking: What it is and why it counts. *Insight assessment*, 1(1), 1-23.
- Fang, X., Ma, T., Guan, G., Akiyama, M., Kida, T., & Abe, E. (2004). Effect of the thickness of the Pt film coated on a counter electrode on the performance of a dye-sensitized solar cell. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 570(2), 257-263.
- Ferreira, F., Babu, R. S., de Barros, A., Raja, S., da Conceição, L., & Mattoso, L. (2020). Photoelectric performance evaluation of DSSCs using the dye extracted from different color petals of *Leucanthemum vulgare* flowers as novel sensitizers. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 233, 118198.
- Gafour, O. W., & Gafour, W. A. (2020). Creative thinking skills—A review article. *Journal of Education and e-Learning*, 4(1), 44-58.
- Gong, J., Liang, J., & Sumathy, K. (2012). Review on dye-sensitized solar cells (DSSCs): Fundamental concepts and novel materials. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(8), 5848-5860.

- Grätzel, C., & Zakeeruddin, S. M. (2013). Recent trends in mesoscopic solar cells based on molecular and nanopigment light harvesters. *Materials Today*, 16(1-2), 11-18.
- Grätzel, M. (2003). Dye-sensitized solar cells. *Journal of photochemistry and photobiology C: Photochemistry Reviews*, 4(2), 145-153.
- Grimm, B., Porra, R. J., Rüdiger, W., & Scheer, H. (2006). Chlorophylls and Bacteriochlorophylls. *Biochemistry, Biophysics, Functions and Applications*.
- Gunn, T. M., & Hollingsworth, M. (2013). The implementation and assessment of a shared 21st century learning vision: A district-based approach. *Journal of Research on Technology in Education*, 45(3), 201-228.
- Gupta, S. M., & Tripathi, M. (2011). A review of TiO₂ nanoparticles. *chinese science bulletin*, 56, 1639-1657.
- Hanelt, D., Wiencke, C., & Bischof, K. (2003). Photosynthesis in marine macroalgae. *Photosynthesis in algae* (pp. 413-435): Springer.
- Hanisak, M. D. (1983). The nitrogen relationships of marine macroalgae. *Nitrogen in the marine environment*.
- Heldt, H.-W., & Piechulla, B. (2007). The use of energy from sunlight by photosynthesis is the basis of life on earth. *Plant Biochemistry*, <https://doi.org/10.1016/b1978-012088391-012088392/012050003-012088391>.
- Hicks, R. W., & Bevsek, H. M. (2012). Utilizing Problem-Based Learning in Quantitative Analysis Lab Experiments. *J. Chem. Educ*, 254-257.
- Hui, D., Deng, Q., Tian, H., & Luo, Y. (2022). Global climate change and greenhouse gases emissions in terrestrial ecosystems *Handbook of climate change mitigation and adaptation* (pp. 23-76): Springer.
- Huynh, N., Caicedo, J. M., Pierce, C. E., & Gantt, J. W. (2013). *Combining in-class design problems and EFFECTs to stimulate critical thinking skills*. Paper presented at the 2013 ASEE Annual Conference & Exposition.
- Iqbal, M. Z., Ali, S. R., & Khan, S. (2019). Progress in dye sensitized solar cell by incorporating natural photosensitizers. *Solar Energy*, 181, 490-509.
- Ito, S., Chen, P., Comte, P., Nazeeruddin, M. K., Liska, P., Péchy, P., & Grätzel, M. (2007). Fabrication of screen-printing pastes from TiO₂ powders for dye-sensitized solar cells. *Progress in photovoltaics: research and applications*, 15(7), 603-612.
- Ito, S., Murakami, T. N., Comte, P., Liska, P., Grätzel, C., Nazeeruddin, M. K., & Grätzel, M. (2008). Fabrication of thin film dye sensitized solar cells with solar to electric power conversion efficiency over 10%. *Thin solid films*, 516(14), 4613-4619.
- Jaiswal, K. K., Chowdhury, C. R., Yadav, D., Verma, R., Dutta, S., Jaiswal, K. S., & Karuppasamy, K. S. K. (2022). Renewable and sustainable clean energy

development and impact on social, economic, and environmental health. *Energy Nexus*, 7, 100118.

- Janssen, P. J., Lambreva, M. D., Plumeré, N., Bartolucci, C., Antonacci, A., Buonasera, K., . . . Rea, G. (2014). Photosynthesis at the forefront of a sustainable life. *Frontiers in chemistry*, 2, 36.
- Kao, M., Chen, H., Young, S., Kung, C., & Lin, C. (2009). The effects of the thickness of TiO₂ films on the performance of dye-sensitized solar cells. *Thin solid films*, 517(17), 5096-5099.
- Katritzky, A. R., Fara, D. C., Yang, H., Tämm, K., Tamm, T., & Karelson, M. (2004). Quantitative measures of solvent polarity. *Chemical reviews*, 104(1), 175-198.
- Ketpichainarong, W., Panijpan, B., & Ruenwongsa, P. (2010). Enhanced learning of biotechnology students by an inquiry-based cellulase laboratory. *International Journal of Environmental and Science Education*, 5(2), 169-187.
- Khan, S. A., Rashmi, Hussain, M. Z., Prasad, S., & Banerjee, U. C. (2009). Prospects of biodiesel production from microalgae in India. *Renewable and Sustainable Energy*, 2361-2372.
- Kim, J. H., Hansora, D., Sharma, P., Jang, J.-W., & Lee, J. S. (2019). Toward practical solar hydrogen production—an artificial photosynthetic leaf-to-farm challenge. *Chemical Society Reviews*, 48(7), 1908-1971.
- Kim, S., Jahandar, M., Jeong, J. H., & Lim, D. C. (2019). Recent progress in solar cell technology for low-light indoor applications. *Curr. Altern. Energy*, 3(1), 3-17.
- Kim, N. J., Belland, B. R., & Axelrod, D. (2019). Scaffolding for optimal challenge in K-12 problem-based learning. *Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning*, 13(1), 3.
- Kingsley, T. L., & Grabner-Hagen, M. M. (2015). Gamification: Questing to integrate content knowledge, literacy, and 21st-century learning. *Journal of adolescent & adult literacy*, 59(1), 51-61.
- Kumara, N. T. R. N., Lim, A., Lim, C. M., & Petra, M. I. (2017). Recent progress and utilization of natural pigments in dye sensitized solar cells : A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 301-317.
- Kumavat, P. P., Sonar, P., & Dalal, D. S. (2017). An overview on basics of organic and dye sensitized solar cells, their mechanism and recent improvements. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 1262-1287.
- Lee, R. E. (2018). *Phycology*: Cambridge university press.
- Li, G., Richter, C. P., Milot, R. L., Cai, L., Schmittenmaer, C. A., Crabtree, R. H., Batista, V. S. (2009). Synergistic effect between anatase and rutile TiO₂ nanoparticles in dye-sensitized solar cells. *Dalton Transactions*(45), 10078-10085.

- Lichtenthaler, H. K., & Buschmann, C. (2011). Chlorophylls and carotenoids: measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy. *Curr. Protoc. Food Anal. Chem*, F4.3.1–F4.3.8.
- Liline, S., Rumahlatu, D., Zubadiah, S., Salmanu, S., & Sangur, K. (2024). Influence of physicochemical environmental factors on morphometric characteristics of macroalgae from Ambon Island, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 25(4).
- Lim, A., Haji Manaf, N., Tennakoon, K., Chandrakanthi, R., Lim, L. B. L., Bandara, J., & Ekanayake, P. (2015). Higher performance of DSSC with dyes from *Cladophora* sp. as mixed cosensitizer through synergistic effect. *Journal of Biophysics*, 2015.
- Lin, C.-Y., Lin, J.-Y., Wan, C.-C., & Wei, T.-C. (2011). High-performance and low platinum loading electrodeposited-Pt counter electrodes for dye-sensitized solar cells. *Electrochimica Acta*, 56(5), 1941-1946.
- Los Huertos, M. (2020). Chapter 6 - The Matrix: The Physical and Chemical Properties of Water. In M. Los Huertos (Ed.), *Ecology and Management of Inland Waters* (pp. 183-223): Elsevier.
- Luque, A., & Hegedus, S. (2011). *Handbook of photovoltaic science and engineering*: John Wiley & Sons.
- Machín, A., Fontánez, K., Arango, J. C., Ortiz, D., De León, J., Pinilla, S., . . . Márquez, F. (2021). One-dimensional (1D) nanostructured materials for energy applications. *Materials*, 14(10), 2609.
- Mandal, R., & Dutta, G. (2020). From photosynthesis to biosensing: Chlorophyll proves to be a versatile molecule. *Sensors International*, 1, 100058.
- Marshall, J. C., & Horton, R. M. (2011). The relationship of teacher-facilitated, inquiry-based instruction to student higher-order thinking. *School Science and Mathematics*, 111(3), 93-101.
- Martins, A. P., Colepiccolo, P., & Yokoya, N. S. (2023). Concise review on seaweed photosynthesis: From physiological bases to biotechnological applications. *Journal of Photochemistry and Photobiology*, 16, 100194.
- Masojídek, J., Torzillo, G., & Koblížek, M. (2013). Photosynthesis in microalgae. *Handbook of microalgal culture: applied phycology and biotechnology*, 21-36.
- McConnell, I., Li, G., & Brudvig, G. W. (2010). Energy Conversion in Natural and Artificial Photosynthesis. *Chemistry & Biology*, 434-447.
- Minicante, S. A., Ambrosi, E., Back, M., Barichello, J., Cattaruzza, E., Gonella, F., Trave, E. (2016). Development of an eco-protocol for seaweed chlorophylls extraction and possible applications in dye sensitized solar cells. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 49(29), 295601.

- Mishra, A., Fischer, M. K., & Bäuerle, P. (2009). Metal-free organic dyes for dye-sensitized solar cells: From structure: Property relationships to design rules. *Angewandte Chemie International Edition*, 48(14), 2474-2499.
- Mohamad, A. A. (2016). Absorbency and conductivity of quasi-solid-state polymer electrolytes for dye-sensitized solar cells: A characterization review. *Journal of Power Sources*, 329, 57-71.
- Morgan, H. (2022). Conducting a qualitative document analysis. *The Qualitative Report*, 27(1), 64-77.
- Muller, P., Niyogi, K. K., & Ping Li, X. (2021). Non-Photochemical Quenching. A Response to Excess. *Plant Physiology*, 1558-1566.
- Nam, J. G., Park, Y. J., Kim, B. S., & Lee, J. S. (2010). Enhancement of the efficiency of dye-sensitized solar cell by utilizing carbon nanotube counter electrode. *Scripta Materialia*, 62(3), 148-150.
- Narayan, M. R. (2012). Dye sensitized solar cells based on natural photosensitizers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(1), 208-215.
- Nasyori, A., Patunrengi, I. I., & Noor, F. A. (2024). Investigate the utilization of novel natural photosensitizers for the performance of dye-sensitized solar cells (DSSCs). *Journal of King Saud University-Science*, 36(9), 103423.
- Navar-Orona, A., Hernandez, A. I., Nigam, K. D. P., & Cerdan-Pasaran, A. (2021). Alternative sources of natural pigments for dye-sensitized solar cells: Algae, cyanobacteria, bacteria, archaea and fungi. *Journal of Biotechnology*, 29-53.
- Nickelsen, K. (2021). Cooperative division of cognitive labour: The social epistemology of photosynthesis research. *Journal for General Philosophy of Science*, 1-18.
- Ning, Z., Fu, Y., & Tian, H. (2010). Improvement of dye-sensitized solar cells: what we know and what we need to know. *Energy & Environmental Science*, 3(9), 1170-1181.
- Nnorom, O. O., Onuegbu, G. C., & Etus, C. (2022). Photo-performance characteristics of Baphia nitida and rosella dye sensitized solar cell. *Results in Optics*, 9, 100311.
- Olabi, A., Obaideen, K., Elsaid, K., Wilberforce, T., Sayed, E. T., Maghrabie, H. M., & Abdelkareem, M. A. (2022). Assessment of the pre-combustion carbon capture contribution into sustainable development goals SDGs using novel indicators. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 153, 111710.
- Onbaşılı, Ü. İ. (2020). Investigation of the effects of out-of-school learning environments on the attitudes and opinions of prospective classroom teachers about renewable energy sources. *Journal of Education in Science Environment and Health*, 6(1), 35-52.

- Önen, A. S., & Koçak, C. (2010). Determining the critical thinking levels of student teachers and evaluating through some variables. *International online journal of educational sciences*, 2(3), 865-882.
- Pachauri, R. K., & Reisinger, A. (2007). *Climate change 2007: Synthesis report. Contribution of working groups I, II and III to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*: IPCC.
- Pal, K., & Rahaman, C. H. (2015). Phytochemical and antioxidant studies of *Justicia gendarussa* Burm. F. an ethnomedicinal plant. *Int. J. Pharm. Sci*, 6, 3454-3462.
- Park, J. H., Li, Y., & Niu, W. (2023). Revisiting creativity and critical thinking through content analysis. *Journal of Creativity*, 33(2), 100056.
- Patton, M. Q. (2014). *Qualitative research & evaluation methods: Integrating theory and practice*: Sage publications.
- Peña-Ayala, A. (2021). A learning design cooperative framework to instill 21st century education. *Telematics and Informatics*, 62, 101632.
- Prabavathy, N., Shalini, S., Balasundaraprabhu, R., Velauthapillai, D., Prasanna, S., & Muthukumarasamy, N. (2017). Enhancement in the photostability of natural dyes for dye-sensitized solar cell (DSSC) applications: a review. *International Journal of Energy Research*, 41(10), 1372-1396.
- Prentice, I. C., Farquhar, G., Fasham, M., Goulden, M. L., Heimann, M., Jaramillo, V., Wallace, D. W. (2001). The carbon cycle and atmospheric carbon dioxide. *Climate change 2001: the scientific basis, Intergovernmental panel on climate change*.
- Prima, E. C., Nugroho, H. S., Refantero, G., Panatarani, C., & Yulianto, B. (2020). Performance of the dye-sensitized quasi-solid state solar cell with combined anthocyanin-ruthenium photosensitizer. *RSC advances*, 10(60), 36873-36886.
- Prima, E. C., Rusliani, P. F., Suhendi, E., & Yulianto, B. (2024). Performance of dye-sensitized solar cells with mixed three natural pigments and reduced graphene oxide as a counter electrode. *Results in Optics*, 14, 100592.
- Prima, E. C., Yulianto, B., Suendo, V., & Suyatman. (2014). Improving photochemical properties of *Ipomea pescaprae*, *Imperata cylindrica* (L.) Beauv, and *Paspalum conjugatum* Berg as photosensitizers for dye sensitized solar cells. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 25, 4603-4611.
- Prince, M. J., & Felder, R. M. (2006). Inductive teaching and learning methods: Definitions, comparisons, and research bases. *Journal of engineering education*, 95(2), 123-138.
- Quattrucci, J. G. (2018). Problem-based approach to teaching advanced chemistry laboratories and developing students' critical thinking skills. *Journal of Chemical Education*, 95(2), 259-266.

- Rafiq, A. A., Triyono, M. B., & Djatmiko, I. W. (2023). The integration of inquiry and problem-based learning and its impact on increasing the vocational student involvement. *International Journal of Instruction*, 16(1), 659-684.
- Rahman, S., Haleem, A., Siddiq, M., Hussain, M. K., Qamar, S., Hameed, S., & Waris, M. (2023). Research on dye sensitized solar cells: recent advancement toward the various constituents of dye sensitized solar cells for efficiency enhancement and future prospects. *RSC advances*, 13(28), 19508-19529.
- Ramakrishnan, V. M., Natarajan, M., Santhanam, A., Asokan, V., & Velauthapillai, D. (2018). Size controlled synthesis of TiO₂ nanoparticles by modified solvothermal method towards effective photo catalytic and photovoltaic applications. *Materials Research Bulletin*, 97, 351-360.
- Ramdani, A., Syukur, A., Permatasari, I., & Yustiqvar, M. (2021, July). Student Concepts' Mastery. In *5th Asian education symposium 2020 (AES 2020)* (pp. 195-199). Atlantis Press.
- Randrianarison, G., & Ashraf, M. A. (2017). Microalgae: a potential plant for energy production. *Geology, Ecology, and Landscapes*, 104-120.
- Regan, O., & Gratzel, M. (1991). Light induced charge separation in nanocrystalline films.
- Ribeiro, A. L. N., Chiozzini, V. G., Braga, E. S., & Yokoya, N. S. (2017). Physiological responses and biofilter potential of *Hypnea aspera* (Rhodophyta, Gigartinales) cultivated in different availabilities of nitrate, ammonium, and phosphate. *Journal of applied phycology*, 29, 683-694.
- Richhariya, G., Kumar, A., Tekasakul, P., & Gupta, B. (2017). Natural dyes for dye sensitized solar cell: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69, 705-718.
- Rosenzweig, C. (1989). Global climate change: Predictions and observations. *American Journal of Agricultural Economics*, 71(5), 1265-1271.
- Rustaman, A. (2005). Pengembangan Kompetensi (Pengetahuan, keterampilan, Sikap, dan Nilai) Melalui Kegiatan Praktikum Biologi. *Penelitian Jurusan Pendidikan Biologi FPMIPA UPI Bandung*.
- Saer, R. G., & Blankenship, R. E. (2017). Light harvesting in phototrophic bacteria: structure and function. *Biochemical Journal*, 474, 2107-2131.
- Sandi-Urena, S., Cooper, M., & Stevens, R. (2012). Effect of cooperative problem-based lab instruction on metacognition and problem-solving skills. *Journal of Chemical Education*, 89(6), 700-706.
- Sarker, S., Lee, K.-S., Seo, H. W., Jin, Y.-K., & Kim, D. M. (2017). Reduced graphene oxide for Pt-free counter electrodes of dye-sensitized solar cells. *Solar Energy*, 158, 42-48.
- Scardamalia, M., & Bereiter, C. (2006). Knowledge building. *The Cambridge*.

- Schenk, P. M., Thomas-Hall, S. R., Stephens, E., Marx, U. C., Mussgnug, J. H., Posten, C., Hankamer, B. (2008). Second generation biofuels: high-efficiency microalgae for biodiesel production. *Bioenergy research*, 1, 20-43.
- Segundo-Marcos, R., Carrillo, A. M., Fernández, V. L., & González, M. T. D. (2023). Age-related changes in creative thinking during late childhood: The contribution of cooperative learning. *Thinking Skills and Creativity*, 49, 101331.
- Shrestha, S. (2019). Effects of climate change in agricultural insect pest. *Acta Scientific Agriculture*, 3(12), 74-80.
- Silva-Osuna, E., Vilchis-Nestor, A., Villarreal-Sanchez, R., Castro-Beltran, A., & Luque, P. (2022). Study of the optical properties of TiO₂ semiconductor nanoparticles synthesized using *Salvia rosmarinus* and its effect on photocatalytic activity. *Optical Materials*, 124, 112039.
- Sinaga, P., & Setiawan, W. (2022). The impact of electronic interactive teaching materials (EITMs) in e-learning on junior high school students' critical thinking skills. *Thinking Skills and Creativity*, 46, 101066.
- Skendžić, S., Zovko, M., Pajač Živković, I., Lešić, V., & Lemić, D. (2021). Effect of climate change on introduced and native agricultural invasive insect pests in Europe. *Insects*, 12(11), 985.
- Sokolský, M., & Cirák, J. (2010). Dye-sensitized solar cells: materials and processes. *Acta Electrotechnica et Informatica*, 10(3), 78-81.
- Takaichi, S. (2013). Distributions, biosyntheses and functions of carotenoids in algae. *Mar. Drugs*, 24, 55–58. <https://doi.org/10.3390/md9061101>.
- Tomar, N., Agrawal, A., Dhaka, V. S., & Surolia, P. K. (2020). Ruthenium complexes based dye sensitized solar cells: Fundamentals and research trends. *Solar Energy*, 207, 59-76.
- Torrance, E. (1988). Creativity as manifest in testing. *The nature of creativity*.
- Treffinger, D. (2002). Assessing creativity: A guide for educators. *National Research Center on the Gifted and Talented*.
- Trilling, B., & Fadel, C. (2009). *21st century skills: Learning for life in our times*: John Wiley & Sons.
- Unwakoly, S., Liliyasi, L., Hartati, S., Munawaroh, H. S. H., Arramel, A., Rusliani, P. F., & Prima, E. C. (2025). Natural pigment-based dye-sensitized solar cells utilizing *Caulerpa racemosa* and *Gymnogongrus flabelliformis* as photosensitizers. *International Journal of Renewable Energy Development*, 14(3), 554-562.
- Unwakoly, S., Liliyasi, & Munawaroh, H. S. (2024). Portraying Critical and Creative Thinking Skills of Chemistry Teachers Candidate in Biochemistry Laboratory Activity. *KnE Social Sciences*, 835–845-835–845.

- Unwakoly, S. (2022). Berpikir kritis dalam filsafat ilmu: kajian dalam ontologi, epistemologi dan aksiologi. *Jurnal filsafat indonesia*, 5(2), 95-102.
- Van Brederode, M. E., Zoon, S. A., & Meeter, M. (2020). Examining the effect of lab instructions on students' critical thinking during a chemical inquiry practical. *Chemistry Education Research and Practice*, 21(4), 1173-1182.
- Van Eck, N. J., & Waltman, L. (2020). VOSviewer Manual version 1.6. 16. *Univeristeit Leiden*(November), 1-52.
- Wang, X.-F., Zhan, C.-H., Maoka, T., Wada, Y., & Koyama, Y. (2007). Fabrication of dye-sensitized solar cells using chlorophylls c1 and c2 and their oxidized forms c1' and c2' from *Undaria pinnatifida* (Wakame). *Chemical physics letters*, 447(1-3), 79-85.
- Wang, X.-F., Xiang, J., Wang, P., Koyama, Y., Yanagida, S., Wada, Y., . . . Tamiaki, H. (2005). Dye-sensitized solar cells using a chlorophyll a derivative as the sensitizer and carotenoids having different conjugation lengths as redox spacers. *Chemical physics letters*, 408(4-6), 409-414.
- Wang, X., Wu, Q., Ma, H., Ma, C., Yu, Z., Fu, Y., & Dong, X. (2019). Fabrication of PbO₂ tipped Co₃O₄ nanowires for efficient photoelectrochemical decolorization of dye (reactive brilliant blue KN-R) wastewater. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 191, 381-388.
- Wei, Q. S., Aizat, M. F., Diyanti, A., Ishak, W. M. F., Salleh, H., Wong, K. N. S. W. S., & Adli, H. K. (2019). *Kappaphycus alvarezii* sp., *Sargassum polycystum* sp. and *Manihot esculenta* sp. as photo-sensitizers in dye-sensitized solar cells. Paper presented at the AIP Conference Proceedings.
- Wenning, C. J. "The Levels of Inquiry Model of Science Teaching," J. Phys. Teach. Educ. Online, vol. 6, no.2, pp. 9–16, (2011)
- Wenning, C. J. "Levels of inquiry: Hierarchies of pedagogical practices and inquiry processes," J. Phys. Teach. Educ. Online, vol. 2, no. 3, pp. 3–11, (2005)
- Willoughby, A., Soge, A., Dairo, O., Olukanni, O., Durugbo, E., Michael, W., & Adebayo, T. (2021). Fabrication and Characterization of a Dye-Sensitized Solar Cell using Natural Dye Extract of Rosella (*Hibiscus sabdariffa* L.) as Photosensitizer. *Journal of the Nigerian Society of Physical Sciences*, 287-291.
- Wolf, S. J., & Fraser, B. J. (2008). Learning environment, attitudes and achievement among middle-school science students using inquiry-based laboratory activities. *Research in science education*, 38(3), 321-341.
- Wurdinger, S. D., & Carlson, J. A. (2009). *Teaching for experiential learning: Five approaches that work*: R&L Education.
- Xu, H., & Talanquer, V. (2013). Effect of the level of inquiry on student interactions in chemistry laboratories. *Journal of Chemical Education*, 90(1), 29-36.
- Yew, E. H., & Goh, K. (2016). Problem-based learning: An overview of its process and impact on learning. *Health professions education*, 2(2), 75-79.

- Yoon, H., Woo, A. J., Treagust, D. F., & Chandrasegaran, A. (2014). Second-year college students' scientific attitudes and creative thinking ability: Influence of a problem-based learning (PBL) chemistry laboratory course *Affective dimensions in chemistry education* (pp. 217-233): Springer.
- Zhang, J., Ma, J., Liu, D., Qin, S., Sun, S., Zhao, J., & Sui, S.-F. (2017). Structure of phycobilisome from the red alga *Griffithsia pacifica*. *Nature*, *551*(7678), 57-63.
- Zhou, Q., Huang, Q., & Tian, H. (2013). Developing students' critical thinking skills by task-based learning in chemistry experiment teaching. *Creative Education*, *4*(12), 40.
- Zou, D., & Gao, K. (2010). Acquisition of inorganic carbon by *Endarachne binghamiae* (Scytosiphonales, Phaeophyceae). *European Journal of Phycology*, *45*(1), 117-126.