



Media Praktikum Kontekstual Optika Fisika Berbasis *Deep Learning*: Analisis Variasi Fiksator Cengkeh terhadap Penyerapan Intensitas Cahaya pada Kain Berwarna



Maria Enjelina Suban^{*}, Anastasia Martha Kenek Udak, Sonia Seliana Djara Dima

Program Studi Pendidikan Fisika, Universitas Nusa Cendana

^{*}Email: maria.suban@staf.undana.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.33369/pendipa.10.1.297-304>

ABSTRACT

This study aims to produce a contextual laboratory practice in optics by analyzing the variations of fixatives in clove natural dye on the absorption of sunlight by colored fabrics. The background of this research lies in the limited optics experiments in schools, which often cause students to struggle in understanding the relationship between color, wavelength, and light energy, thus leading to misconceptions. The method employed was an experimental design with a posttest-only control, in which cotton fabrics were soaked in clove extract with three types of fixatives, namely alum, lime, and ferrous sulfate. The light absorption data were measured using a lux meter, then analyzed descriptively and statistically using one-way ANOVA. The findings indicated significant differences among the types of fixatives. Fabrics treated with alum fixative produced a bright yellow color with the highest absorption (113.7 Cd), followed by lime (69.5 Cd), while ferrous sulfate produced a deep blue color with the lowest absorption (16.22 Cd). This phenomenon can be explained through the concepts of light absorption, wavelength, and photon energy, in accordance with the Beer–Lambert law. This study demonstrates that clove natural dye with fixative variations can serve as a contextual, simple, and relevant laboratory medium aligned with the deep learning approach.

Keywords: physics practicum media; optics; clove natural dye; fixative; deep learning.

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan media praktikum kontekstual pada materi optika fisika melalui analisis variasi fiksator dalam pewarna alami cengkeh terhadap penyerapan cahaya matahari pada kain berwarna. Latar belakang penelitian ini adalah minimnya praktikum optika di sekolah yang seringkali membuat siswa kesulitan memahami hubungan warna, panjang gelombang, dan energi cahaya, sehingga berpotensi menimbulkan miskonsepsi. Metode yang digunakan adalah eksperimen dengan rancangan posttest-only design, dimana kain katun direndam dalam ekstrak cengkeh dengan tiga jenis fiksator, yaitu tawas, kapur, dan tunjung. Data penyerapan cahaya diukur menggunakan lux meter, kemudian dianalisis secara deskriptif kuantitatif dan diuji menggunakan ANOVA satu jalur. Hasil penelitian menunjukkan adanya perbedaan signifikan antar jenis fiksator. Kain dengan fiksator tawas menghasilkan warna kuning cerah dengan penyerapan tertinggi (113,7 Cd), diikuti fiksator kapur (69,5 Cd), sedangkan fiksator tunjung menghasilkan warna biru gelap dengan penyerapan terendah (16,22 Cd). Fenomena ini dapat dijelaskan melalui konsep absorpsi cahaya, panjang gelombang, dan energi foton, yang selaras dengan hukum Beer–Lambert. Penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan pewarna alami cengkeh dengan variasi fiksator dapat menjadi media praktikum yang kontekstual, sederhana, dan relevan dengan pendekatan *deep learning*.

Kata kunci: media praktikum fisika; optika; pewarna alami cengkeh; fiksator; deep learning.

PENDAHULUAN

Fokus utama fisika sebagai mata pelajaran di sekolah adalah mendukung siswa agar dapat mengonstruksi pengetahuan ilmiah yang berguna dalam menafsirkan dan menjelaskan fenomena-fenomena alam. Pembelajaran fisika yang bermakna dapat terlaksana jika antara pemahaman dan keterampilan dapat sejalan. Fisika bukan hanya kumpulan rumus yang dihafal, melainkan suatu cara berpikir ilmiah yang menghubungkan konsep dengan fenomena nyata. Pemahaman bahwa fisika hanyalah sebuah pembelajaran yang didomiasi oleh rumus-rumus menyebabkan siswa enggan mendalami konsep ilmiah. Ini bertolak belakang dengan harapan dalam pendidikan abad ke-21 yang mengedepankan pemahaman konseptual yang kuat. Ini penting untuk membekali siswa dengan keterampilan berpikir kritis, pemecahan masalah, dan literasi sains (Bahtiar et al., 2024). Kajian literatur menunjukkan bahwa strategi pembelajaran berbasis proyek, inquiry, maupun media inovatif terbukti meningkatkan pemahaman konsep siswa (Bhakti et al., 2023; Winkelmann et al., 2025). Tanpa pemahaman konseptual yang memadai, siswa rentan mengalami miskonsepsi dan kesulitan mengaplikasikan konsep fisika dalam kehidupan sehari-hari (Suban et al., 2023).

Salah satu pendekatan yang dapat menjadi referensi pendidik dalam menyelaraskan antara teori dan pengalaman nyata siswa adalah pendekatan *deep learning*. Pendekatan ini menekankan keterlibatan aktif siswa dalam membangun pemahaman konseptual melalui pengalaman nyata, analisis kritis, dan refleksi. Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa *deep learning* dapat diterapkan dalam pembelajaran fisika, terutama melalui eksperimen langsung yang mendorong siswa untuk mengaitkan teori dengan fenomena nyata (Guo & Depaynos, 2023). Pada bidang optika, integrasi simulasi digital interaktif juga terbukti memperkaya pengalaman belajar siswa (Casamayou et al., 2025). Lebih lanjut, kajian literatur menegaskan bahwa pembelajaran berbasis *deep learning* mampu menciptakan pengalaman belajar yang lebih bermakna, menyenangkan, dan mendalam ketika siswa dilibatkan dalam aktivitas yang kontekstual dan inovatif (Andayanie et al., 2025;

Arteaga-Narváez et al., 2017; Sumarni & Okyranida, 2025)

Salah satu strategi yang dapat memperkuat pemahaman konsep adalah melalui kegiatan eksperimen fisika. Melalui eksperimen, siswa diberikan kesempatan untuk terlibat langsung dalam proses pembuktian hukum fisika sehingga hubungan antara teori dan praktik dapat tercapai (Winkelmann et al., 2025). Sebuah penelitian menegaskan bahwa pengalaman praktikum, baik melalui laboratorium nyata maupun laboratorium virtual, mampu meningkatkan keterampilan proses sains sekaligus pemahaman konseptual (Puspitaningtyas et al., 2021). Selain itu, laboratorium sains berperan penting dalam menumbuhkan motivasi belajar dan keterlibatan akademik siswa (Winkelmann et al., 2025). Namun, tidak semua siswa mendapat pengalaman atau dapat bereksperimen langsung di laboratorium maupun di lingkungan sekolah. Salah satu faktor yang mempengaruhi adalah keterbatasan sumber daya manusia dan fasilitas yang kurang memadai (Anggereni et al., 2021).

Salah satu topik fisika yang jarang dilakukan dalam bentuk eksperimen baik di sekolah maupun perguruan tinggi adalah pada topik cahaya dan optik (Otero & Arlego, 2023). Materi cahaya dan optika merupakan salah satu bidang yang jarang dipraktikkan di sekolah secara nyata (Fadilah et al., 2025; Yulianita et al., 2018), meskipun kaya akan fenomena menarik seperti pemantulan, pembiasan, interferensi, spektrum cahaya tampak, absorpsi cahaya, warna dan panjang gelombang. Minimnya praktikum pada topik ini berdampak pada terbatasnya pengalaman siswa, sehingga miskonsepsi sering muncul terutama dalam memahami hubungan warna, panjang gelombang, dan energi (Métoui, 2023). Sebuah studi menemukan bahwa guru sering menghadapi keterbatasan sarana dan pelatihan dalam mengajarkan optika secara eksperimen (Kaniawati et al., 2020). Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, beberapa penelitian mengembangkan laboratorium virtual optika (Afriani et al., 2019; Yulianita et al., 2018).

Berdasarkan kondisi tersebut, maka sebagai pendidik perlu mengembangkan media pembelajaran kontekstual dalam bentuk

eksperimen sederhana. Kegiatan ini dapat diwujudkan dengan menghadirkan media praktikum yang sederhana, kontekstual, dan relevan dengan topik optika. Sejauh ini, penelitian tentang pewarna alami lebih banyak menitikberatkan pada perspektif kimia dan tekstil, misalnya mengenai ketahanan warna dan variasi hasil fiksator (Kurniawati & Murwandani, 2015; Pratama et al., 2019). Sementara itu, sangat sedikit kajian yang menempatkan fenomena pewarnaan kain sebagai sarana untuk menjelaskan konsep fisika.

Perbedaan penelitian ini dengan penelitian terkait pemanfaatan pewarna alami dari ekstrak bunga cengkeh lainnya adalah terletak pada integrasi antara kajian material pewarna alami dengan pendidikan fisika, khususnya pada materi cahaya dan optika. Penelitian ini tidak hanya mempelajari variasi warna akibat perbedaan fiksator, tetapi menekankan analisis penyerapan intensitas cahaya matahari oleh kain berwarna hasil pewarna alami cengkeh. Beberapa studi menunjukkan bahwa ekstrak cengkeh memiliki potensi besar sebagai pewarna alami ramah lingkungan (Wulandari, 2022; Yameen et al., 2023). Namun, penelitian-penelitian tersebut masih berfokus pada aspek industri tekstil. Kebaruan dalam penelitian ini adalah memanfaatkan fenomena absorpsi cahaya oleh kain berwarna sebagai media praktikum optika. Ini berarti siswa dapat mengamati secara langsung dan mampu menganalisis bagaimana pigmen warna memengaruhi penyerapan spektrum cahaya.

Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penyerapan intensitas cahaya matahari pada kain katun yang diwarnai dengan ekstrak cengkeh dengan menggunakan variasi fiksator (tawas, tunjung, kapur). Hasil penelitian diharapkan dapat menghadirkan alternatif media praktikum optika yang kontekstual untuk memperkuat pemahaman konsep siswa dalam pembelajaran fisika dan secara umum dapat berkontribusi dalam pengembangan bahan alami yang ramah lingkungan.

METODE PENELITIAN

Jenis penelitian ini adalah eksperimen kuantitatif dengan rancangan posttest-only

design. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah tunjung (FeSO_4), tawas ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$), dan kapur tohor ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) sedangkan variabel terikatnya adalah intensitas cahaya matahari. Sampel dalam penelitian ini adalah 3 buah kain katun polos putih dengan ukuran 20 cm x 20 cm. Pengambilan data dilakukan di laboratorium kimia Universitas Negeri Yogyakarta. Pemilihan lokasi ini didasarkan pada ketersediaan fasilitas laboratorium sederhana yang mendukung proses pewarnaan kain menggunakan jenis fiksator yang berbeda. Data hasil penyerapan intensitas cahaya matahari oleh kain hasil pewarnaan menggunakan 3 jenis fiksator dilakukan di lapangan gedung olahraga Universitas Negeri Yogyakarta.

A. Prosedur Pengukuran Kadar Tanin Menggunakan Spektrofotometer UV vis

Pembuatan larutan standar asam tanat yakni sebanyak 10 mg asam tanat dicampurkan dengan aquades pada labu ukur 10 ml. Larutan standar tersebut dijadikan sebagai larutan induk kemudian dibuat konsentrasi 10, 15, 20, 25, dan 30 ppm. Salah satu konsentrasi diambil dan diukur absorbansinya pada rentang panjang gelombang 400-800 nm, agar diketahui panjang gelombang maksimum. Panjang gelombang maksimum yang didapatkan adalah 740 nm. Masing-masing dari kelima konsentrasi ditambahkan reagen follin 1 ml dibiarkan selama 2 menit kemudian ditambahkan lagi larutan Na_2CO_3 1 ml dibiarkan selama 30 menit untuk proses homogenisasi. Setelah itu diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer UV vis pada panjang gelombang 740 nm, untuk diperoleh kurva baku asam tanat (Pratama et al., 2019)

Cengkeh kering ditumbuk kemudian diayak dan diambil sebanyak 5 gram, ditambahkan dengan aquades sampai volume 100 ml, kemudian disaring. Hasil saringan diambil 1 ml ditambahkan 0,5 ml reagen follin dan 1 ml Na_2CO_3 . Aquadest ditambahkan sampai volume 10 ml kemudian di vortex hingga homogen dan diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer UV vis pada panjang gelombang 740 nm.

B. Prosedur Pewarnaan Kain

Kain katun dengan ukuran 20 cm x 20 cm sebanyak tiga lembar di mordanting terlebih dahulu. Mordanting menggunakan tawas 30 gram dimasak dengan air 2 liter selama 1 jam, setelah itu direndam selama 24 jam. Mordanting dilakukan dengan tujuan memberikan variasi dan meningkatkan ketahanan warna terhadap pencucian dan cahaya. Kain yang telah direndam dibilas dengan air dan dikeringkan untuk selanjutnya memasuki tahap pewarnaan. Tahap pembuatan larutan pewarna alam dari bunga cengkeh dilakukan dengan merebus bunga cengkeh kering sebanyak 1000 gram dengan air 8 liter sampai menghasilkan larutan yang kental dan kain siap dicelup sebanyak 8 kali pencelupan. Sebanyak 3 jenis zat fiksator yakni tawas 70 gram, tunjung 70 gram, dan kapur tohor 70 gram direndam semalam untuk diambil cairan bening sebagai bahan fiksasi yang berfungsi mengunci warna dan memberikan arah warna (Kurniawati & Murwandani, 2015).

C. Pengukuran Penyerapan Intensitas Cahaya Matahari

Kain yang telah mengalami proses fiksasi kemudian dilakukan pengukuran penyerapan intensitas cahaya matahari di lapangan olahraga Universitas Negeri Yogyakarta. Proses pengumpulan data dilakukan sebanyak tiga kali pada tiga titik yang berbeda, yakni daerah timur, barat, dan selatan lapangan pada pukul 12.00-13.40 WIB. Pengukuran penyerapan intensitas cahaya matahari menggunakan alat Lux meter dengan perbesaran 20.000 kali.

HASIL DAN PEMBAHASAN

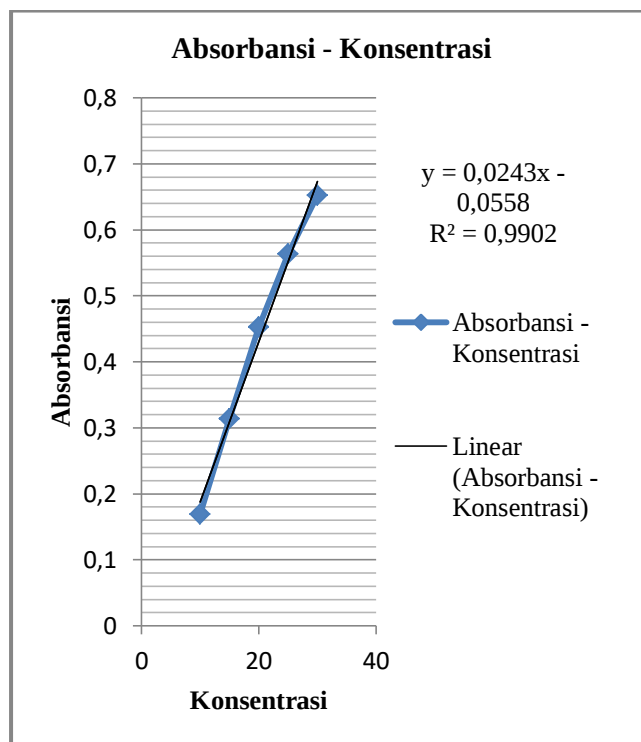
A. Hasil Pengukuran Kadar Tanin Menggunakan Spektrofotometer UV vis

Tabel 1 menunjukkan semakin banyak konsentrasi larutan asam tanat, maka semakin tinggi nilai absorbansi. Larutan asam tanat merupakan larutan tanin murni. Senyawa tanin

merupakan pigmen warna yang terdapat pada cengkeh sebagai penghasil pewarna alami yang tergolong dalam senyawa flavonoid (Malik et al., 2012). Dari data tersebut maka dapat dihasilkan kurva baku asam tanat yang akan digunakan untuk mengukur kadar tanin dalam 5 gram cengkeh.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Absorbansi Larutan Asam Tanat

Sampel	Konsentrasi (ppm)	Absorbansi
Std 1	10	0,169
Std 2	15	0,314
Std 3	20	0,453
Std 4	25	0,563
Std 5	30	0,652



Gambar 1. Kurva Baku Asam Tanat

Tabel 2. Kadar Tanin Total ekstrak Cengkeh

Sampel	Berat ekstrak (gram)	Volume (ml)	Absorbansi	Faktor pengenceran	Kadar tanin total (ppm)	Kadar tanin total (%)
Bunga cengkeh	5	10	128,7	6x	128,7	0.026

Berdasarkan persamaan regresi linear pada gambar 1 yakni:

$$y = 0,024x - 0,05, \text{ dengan}$$

y: Absorbansi tanin ekstrak cengkeh yakni 128,7 ppm

x: kadar tanin total ekstrak cengkeh dengan memasukan variabel y yang merupakan absorbansi dari tanin cengkeh maka diperoleh konsentrasi tanin total dalam 5 gram ekstrak cengkeh sebesar 128,7 ppm. Hal ini menunjukkan bahwa cengkeh berpotensi memberikan pigmen warna pada kain (Yameen et al., 2023).

B. Hasil Pewarnaan Kain

Setelah menguji kadar tanin selanjutnya adalah tahap pewarnaan kain. Proses penguncian serta pemberi arah warna menggunakan tiga jenis zat fiksasi atau fiksator yakni tawas, tunjung, dan kapur tohor. Hasil pewarnaan sebagai berikut

Tabel 3. Hasil Pewarnaan Kain

Jenis Fiksator	Warna Kain	Foto Sampel
Tawas ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$)	Kuning cerah	
Kapur ($\text{Ca}(\text{OH})_2$)	Coklat	
Iron (II) Sulfate (FeSO_4)	Biru gelap	

Tabel 3 menunjukkan terdapat perubahan warna sebelum dan sesudah penggunaan zat fiksasi. Warna yang dihasilkan setelah penggunaan zat fiksasi tunjung cenderung lebih tua dan memberikan arah warna biru gelap, sedangkan tawas memberikan arah warna yang sama dengan warna asli yakni kuning cerah dan kapur tohor memberikan arah warna cokelat. Hasil pewarnaan kain dengan ekstrak cengkeh menunjukkan perbedaan warna yang dipengaruhi oleh jenis fiksator.

Dalam perspektif optika fisika, perbedaan warna ini merefleksikan interaksi cahaya dengan pigmen hasil ikatan antara tanin cengkeh dan ion logam dari fiksator (Prayitno et al., 2023). Warna kuning pada kain dengan fiksator tawas menunjukkan bahwa kain tersebut menyerap sebagian besar cahaya pada panjang gelombang pendek (biru-ungu, sekitar 400–500 nm) dan memantulkan cahaya kuning (570–590 nm) ke mata pengamat. Warna coklat pada fiksator kapur merupakan kombinasi dari penyerapan yang lebih luas di wilayah spektrum tampak, sehingga warna yang terpantul terlihat lebih redup. Warna biru gelap pada fiksator tunjung muncul karena pigmen hasil kompleksasi ion besi cenderung menyerap hampir seluruh spektrum cahaya tampak, sehingga warna yang terlihat mendekati gelap.

Hasil pewarnaan tidak hanya menghasilkan variasi visual, tetapi juga dapat dijelaskan secara ilmiah melalui konsep spektrum cahaya dan panjang gelombang. Hal ini menjadikan pewarnaan alami dengan variasi fiksator sebagai media kontekstual yang sangat relevan untuk membantu siswa memahami keterkaitan antara warna yang tampak dengan proses absorpsi dan refleksi cahaya pada materi optika fisika.

C. Hasil Pengukuran Penyerapan Intensitas Cahaya Matahari

Selanjutnya dari ketiga warna yang dihasilkan dilakukan pengukuran terhadap penyerapan intensitas cahaya matahari.

Pengukuran yang dilakukan sebanyak 5 kali pada masing kain berwarna dengan rentang jam 12.30-14.00 WIB. hasil pengukuran dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengukuran Penyerapan Intensitas Cahaya Matahari Pada Berbagai Warna Kain Katun

Jenis fiksator	Penyerapan Intensitas Cahaya Pada Beberapa Lokasi (Cd)					Rata-rata (Cd)
	I	II	III	IV	V	
Tunjung	18,4	17,33	16,8	15,47	13,1	16,22
Kapur Tohor	73,1	71,73	69,6	66,93	66,13	69,5
Tawas	119,2	114,13	113,86	112	109,33	113,7

Hasil pengukuran pada Tabel 4 menunjukkan bahwa kain dengan fiksator yang berbeda memiliki kemampuan menyerap cahaya matahari yang tidak sama. Kain dengan fiksator tawas menyerap cahaya paling tinggi, dengan rata-rata 113,7 Cd. Kain dengan fiksator kapur tohor menyerap cahaya dalam jumlah sedang, yaitu 69,5 Cd. Sementara itu, kain dengan fiksator tunjung hanya menyerap cahaya sekitar 16,22 Cd, sehingga menjadi yang paling rendah. Temuan ini memperlihatkan bahwa warna yang dihasilkan dari penggunaan fiksator tidak hanya berpengaruh pada tampilan visual kain, tetapi juga menentukan seberapa banyak cahaya yang dapat diserap.

Dari sisi fisika, perbedaan ini dapat dijelaskan melalui hubungan antara warna, panjang gelombang, dan energi cahaya. Kain berwarna kuning (tawas) cenderung menyerap cahaya biru-ungu yang memiliki panjang gelombang lebih pendek dan energi foton lebih tinggi. Karena itu, energi yang diserap kain kuning lebih besar dibanding kain lain. Kain berwarna coklat (kapur) menyerap pada rentang spektrum yang lebih luas, tetapi tidak sekuat kain kuning, sehingga nilai serapannya lebih rendah. Kain biru gelap (tunjung) memantulkan hampir seluruh spektrum cahaya, sehingga hanya sedikit energi yang diserap. Hal ini selaras dengan persamaan energi foton $E = hc/\lambda$, di mana semakin pendek panjang gelombang yang diserap, maka semakin besar energi cahaya yang diterima. Fenomena ini konsisten dengan konsep kuantisasi energi foton yang dijelaskan oleh

Planck, serta prinsip absorpsi cahaya dalam optika modern, di mana interaksi antara panjang gelombang dan pigmen warna menentukan kemampuan suatu bahan dalam menyerap atau memantulkan cahaya. Hal ini selaras dengan penelitian (Prayitno et al., 2023) tentang konsep spektroskopi absorpsi yang ditemukan dalam studi pewarna alami. Ini juga sesuai dengan hukum Beer-Lambert, yang menyatakan bahwa besarnya cahaya yang diserap dipengaruhi oleh konsentrasi zat penyerap serta lintasan cahaya pada medium. Variasi fiksator membuat jumlah pigmen yang terikat pada kain berbeda-beda, sehingga kemampuan kain untuk menyerap cahaya juga berbeda.

Hasil ini dalam konteks pembelajaran fisika, menunjukkan bahwa pewarna alami dengan variasi fiksator dapat menjadi contoh nyata untuk menjelaskan konsep absorpsi cahaya, refleksi, serta kaitan antara panjang gelombang dan energi. Melalui percobaan sederhana ini, siswa tidak hanya melihat data angka, tetapi juga mengalami langsung bagaimana perbedaan warna berhubungan dengan sifat optik cahaya. Hal ini dapat membantu siswa memahami konsep optika secara lebih bermakna dan mendukung pembelajaran mendalam (*deep learning*).

Hal ini juga didukung oleh hasil uji statistik Anova (*analysis of variance*) menunjukkan ($\alpha < 0,05$) yang berarti memang ada pengaruh yang signifikan antara jenis fiksator dan penyerapan intensitas cahayanya. Kain yang difiksasi menggunakan tawas akan memberikan warna kuning cerah dengan

penyerapan intensitas cahaya yang tinggi. Sebaliknya proses fiksasi pada pewarnaan kain menggunakan tunjung menghasilkan penyerapan intensitas cahaya yang paling rendah. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh (Veramika et al., 2016) yang menunjukkan bahwa penyerapan intensitas cahaya matahari yang paling rendah terjadi pada kain berwarna gelap dan menjadi bahan proteksi bagi kulit dari radiasi sinar matahari.

KESIMPULAN

Variasi fiksator pada pewarna alami cengkeh memengaruhi warna kain sekaligus kemampuan kain menyerap cahaya matahari. Fiksator tawas menghasilkan warna kuning dengan penyerapan tertinggi, kapur coklat dengan penyerapan sedang, dan tunjung abu-abu dengan penyerapan terendah. Hasil ini sejalan dengan konsep optika tentang hubungan warna, panjang gelombang, dan energi foton. Penelitian ini membuktikan bahwa pewarna alami dengan variasi fiksator dapat dijadikan media praktikum kontekstual pada materi optika fisika. Praktikum ini sederhana, relevan dengan kehidupan sehari-hari, dan mendukung pembelajaran mendalam (*deep learning*).

DAFTAR PUSTAKA

Afriani, T., Agustin, R. R., & Eliyawati, E. (2019). The Effect of Guided Inquiry Laboratory Activity with Video Embedded on Students' Understanding and Motivation in Learning Light and Optics. *Journal of Science Learning*, 2(3), 79–84. <https://doi.org/10.17509/jsl.v2i3.15144>

Andayanie, L. M., Adhantoro, M. S., Purnomo, E., & Kurniaji, G. T. (2025). Implementation of Deep Learning in Education: Towards Mindful, Meaningful, and Joyful Learning Experiences *Journal of Deep Learning*, 1(1), 47–56. <https://journals2.ums.ac.id/index.php/jdl>

Anggereni, S., Suhardiman, S., & Amaliah, R. (2021). Analisis Ketersediaan Peralatan, Bahan Ajar, Administrasi Laboratorium, Keterlaksanaan Kegiatan Praktikum di Laboratorium Fisika. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika*, 5(3), 414. <https://doi.org/10.20527/jipf.v5i3.3925>

Arteaga-Narváez, E., Nieto-Ramos, S., & Ojeda-Castro, A. (2017). Exploring a Deep Learning Approach on the Teaching and Learning of Introductory Physics. *International Journal of Sciences: Basic and Applied Research (IJSBAR)*, 36(3), 96–108. https://www.researchgate.net/profile/Edilberto-Arteaga-Narvaez/publication/320274822_Exploring_a_Deep_Learning_Approach_on_the_Teaching_and_Learning_of_Introductory_Physics/links/59dab4a1aca272e6096bef85/Exploring-a-Deep-Learning-Approach-on-the-Teaching-

Bahtiar, B., Maimun, M., & Ibrahim, I. (2024). Stem-Based Physics Modules: a Practical Approach To Developing Conceptual Understanding in Teacher Education. *BIOCHEPHY: Journal of Science Education*, 4(2), 1137–1146. <https://doi.org/10.52562/biochephy.v4i2.1414>

Bhakti, Y. B., Sumarni, R. A., Mayanty, S., Agustina, I., & Astuti, D. (2023). Developing Virtual Physics Practicum Module of Optic Based on Guided Inquiry to Improve Students' Science Process Skills. <https://doi.org/10.29303/jossed.v4i1.2329>

Casamayou, V., Bousquet, B., Dillmann, J., Salin, N., Guillet, J. P., Canioni, L., & Hachet, M. (2025). Pushing the boundaries of hands-on optics experiments with interactive digital simulation. *Discover Education*, 4(1). <https://doi.org/10.1007/s44217-025-00718-w>

Fadilah, N., Nurlaela, A., & Romadhon, D. R. (2025). Optics Learning Transformation through Project-Based Learning: Enhancing Scientific Abilities and Affective Learning Outcomes in Students with the Pinhole Camera Project. *Jurnal Pendidikan Fisika*, 12(3), 131–140. <https://doi.org/10.26618/jpf.v12i3.15358>

Guo, X., & Depaynos, J. L. (2023). Physics Experiment Teaching Based on Deep Learning. *International Journal of New Developments in Education*, 5(9), 50–54. <https://doi.org/10.25236/ijnde.2023.050910>

Kaniawati, I., Rahmadani, S., Fratiwi, N. J., Suyana, I., Danawan, A., Samsudin, A., &

- Suhendi, E. (2020). An analysis of students' misconceptions about the implementation of active learning of optics and photonics approach assisted by computer simulation. *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, 15(9), 76–93. <https://doi.org/10.3991/ijet.v15i09.12217>
- Kurniawati, B. D., & Murwandani, N. G. (2015). PEMANFAATAN BUAH CENGKEH UNTUK PEWARNA KAIN. 634.
- Malik, K., Tokkas, J., & Goyal, S. (2012). *Microbial Pigments : A review*. 361–365.
- Métoui, A. (2023). Primary School Preservice Teachers' Alternative Conceptions about Light Interaction with Matter (Reflection, Refraction, and Absorption) and Shadow Size Changes on Earth and Sun. *Education Sciences*, 13(5). <https://doi.org/10.3390/educsci13050462>
- Otero, M. R., & Arlego, M. F. (2023). Teaching and Learning Optics in High School: From Fermat to Feynman. *Education Sciences*, 13(5). <https://doi.org/10.3390/educsci13050503>
- Pratama, M., Razak, R., & Rosalina, V. S. (2019). ANALISIS KADAR TANIN TOTAL EKSTRAK ETANOL BUNGA CENGKEH (*Syzygium aromaticum* L.) MENGGUNAKAN METODE SPEKTROFOTOMETRI UV-VIS. *Jurnal Fitofarmaka Indonesia*, 6(2), 368–373. <https://doi.org/10.33096/jffi.v6i2.510>
- Prayitno, B., Fauziyah, N. A., Nuraini, U., & Puspitasari, N. (2023). *Extraction and Optical Study of Natural Dyes for Dye-Sensitized Solar Cell Application*. 7(2), 533–540. <https://doi.org/10.35718/specta.v7i2.868>
- Puspitaningtyas, E., Putri, E. F. N., Umrotul, & Sutopo. (2021). Analysis of high school students' mastery in light wave theory using structured inquiry learning assisted by a virtual laboratory. *Revista Mexicana de Fisica E*, 18(1), 10–22. <https://doi.org/10.31349/REVMEXFISE.18.10>
- Suban, M. E., Mole, P. N., Yeyen, Y. Y., & Early, I. (2023). Diagnostik miskonsepsi siswa fase F pada materi hukum newton: studi kasus dalam kurikulum Merdeka. *Compton: Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika*, 10(1), 1–11. <https://doi.org/10.30738/cjipf.v10i1.16106>
- Sumarni, R. A., & Yona Okyranida, I. (2025). Deep Learning in Physics Education: Exploring the Potential of Mindful, Meaningful, and Joyful for a Better Learning Experience. *Navigation Physics: Journal of Physics Education*, 7(1).
- Veramika, N. P. wijaya, Sutapa, I. G. N., & Ratini, N. N. (2016). Penentuan Nilai Sun Protection Factor (Spf) Sinar Matahari Dengan Menggunakan Kain Katun , Poliester. *Buletin Fisika*, 17, 14–21.
- Winkelmann, J., Wenzel, S. F. ., Ullrich, M., Horz, H., & Erb, R. (2025). Enhancing teachers' and students' conceptual understanding of physics through smart classrooms and comprehensive assessment management information system. *Science Education*, 4(1), 50–54. <https://doi.org/10.47772/IJRISS>
- Wulandari, T. (2022). *Fixator Mix-Nature : Fixator Composition Experiment As A Natural Color Booster For Handmade Batik On Cotton Fabric Media*. 183–194.
- Yameen, M., Asghar, F., Adeel, S., Haider, M. Z., Özomay, M., Aftab, M., & Mia, R. (2023). *Enhancing wool dyeing with clove bud (Syzygium aromaticum) based natural dye via microwave treatment using a central composite design*. 106(4), 1–22. <https://doi.org/10.1177/00368504231215593>
- Yulianita, N., Jalmo, T., & Abdurrahman, A. (2018). Developing a Virtual Laboratory for the Materials on Optics To Increase Junior High School Students' Learning Outcomes. *Journal of Science Education Research*, 2(2), 80–84. <https://doi.org/10.21831/jsr.v2i2.22478>