

PENGEMBANGAN MODUL PRAKTIKUM KIMIA TERINTEGRASI *GREEN CHEMISTRY* TENTANG SENYAWA KOMPLEKS CO-EKSTRAK KULIT BUAH NAGA MERAH

Siti Rumaisah Ramadhani^{1*}, Agus Abhi Purwoko¹, Muti'ah²

^{1 2 3} Program Studi Pendidikan Kimia, Universitas Mataram. Jalan Majapahit No. 62
Mataram, NTB 83112, Indonesia.

* Coresponding Author. E-mail: sitirumaisahramadhani@gmail.com

Received: 20 April 2026

Accepted: 30 Mei 2026
doi: 10.29303/cep.v9i1.11922

Published: 30 Mei 2026

Abstrak. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengembangkan dan menilai kelayakan dari modul praktikum terintegrasi *green chemistry* tentang pembentukan kompleks dari kobalt dan antosianin dalam ekstrak kulit buah naga merah sebagai suplemen mata kuliah Senyawa Kompleks Unsur Transisi (SKUT). Metode penelitian yang digunakan adalah *Research and Development* (R&D) dengan model 4D (*Define, Design, Develop, Disseminate*). Kelayakan modul praktikum dianalisis dari lembar validasi ahli dan diolah dengan rumus Aiken's V. Hasil validasi oleh enam dosen ahli kimia menunjukkan bahwa modul yang dikembangkan memiliki tingkat validitas sangat tinggi pada seluruh 4 aspek yang diuji, meliputi aspek isi/materi, kesesuaian dengan prinsip *green chemistry*, penyajian, dan kejelasan petunjuk dengan nilai V berturut-turut 0.8867, 0.9425, 0.8875, dan 0.8850. Sehingga rata-rata validitas keseluruhan modul praktikum adalah 0,9004 (kategori sangat valid). Dengan demikian, dapat disimpulkan modul praktikum ini dinyatakan layak digunakan sebagai suplemen pembelajaran pada mata kuliah SKUT.

Kata Kunci: Antosianin, *Green Chemistry*, Kulit Buah Naga Merah, Modul Praktikum, Senyawa Kompleks

Development of Chemistry Practicum Module Integrated with Green Chemistry about Complex Compound Co-Anthocyanin from Dragon Fruit Peel

Abstract

This research aims to develop and measure the feasibility of a practicum module integrated with green chemistry about complexation of cobalt with anthocyanin from dragon fruit's peel extract as a supplementary learning material. This research employed a Research and Development (R&D) Method using 4D model (Define, Design, Develop, and Disseminate). The feasibility of the module is analyzed from expert validity test using Aiken's V formula. The validity test from 6 chemistry expertises show that the module has a very high validity score in all 4 aspects: content, alignment with green chemistry principles, presentation, and clarity of instruction, with V score 0.8867, 0.9425, 0.8875, and 0.8850 respectively. Therefore, the average V score for the module is 0,9004 (highly valid). So, it can be concluded that the module practicum is considered highly feasible to be used as a supplementary instructional material in the Transition Element Compound course.

Keywords: Anthocyanin, *Green Chemistry*, Dragon Fruit Peel, Practicum Module, Complex Compound.

PENDAHULUAN

Buah naga merah (*Hylocereus polyrhizus*) adalah salah satu buah yang banyak

dikonsumsi di Indonesia. Meskipun dagingnya sering dimanfaatkan, kulitnya yang menyumbang 30-35% dari berat total buah seringkali dibuang sebagai limbah, dan selama

ini pengolahannya hanya sebagai kompos (Sari et al., 2021; Hariadi et al., 2023). Padahal, kulit buah naga merah mengandung senyawa bermanfaat yang mirip dengan dagingnya, seperti antosianin (Widyasanti et al., 2021).

Antosianin adalah pigmen biru, merah, atau ungu yang umum ditemukan pada tanaman, terutama bunga, buah, dan umbi (Widyasanti et al., 2021). Berdasarkan Hariadi et al., (2023), kadar antosianin dalam kulit buah naga merah adalah 2,964 mg/100 g. Senyawa antosianin yang terkandung dalam kulit buah naga merah dapat menjadi ligan organik dan membentuk kompleks dengan ion logam seperti kobalt (Purwoko et al., 2019; Setiawati et al., 2018), sehingga dapat menjadi topik pembelajaran yang menarik dan juga sebagai bentuk implementasi keberlanjutan karena memanfaatkan limbah.

Adapun hal yang bisa dipelajari dari pembentukan kompleks antara Co dan antosianin adalah perubahan sifat elektronik yang dapat ditentukan melalui perhitungan *energy gap* (E_g) antara ekstrak antosianin kulit buah naga merah dan kompleks Co-ekstrak antosianin kulit buah naga merah. *Energy gap* (E_g) berkaitan dengan kestabilan dan reaktivitas suatu molekul, di mana semakin besar nilai E_g , semakin kurang reaktif sehingga molekulnya akan lebih stabil (Salamat et al., 2022).

Salah satu matakuliah yang mempelajari senyawa kompleks, terutama dalam hal ikatan antara ligan-logam; reaksi-reaksi; dan aplikasinya, adalah Senyawa Kompleks Unsur Transisi (SKUT). Berdasarkan analisis awal, matakuliah wajib di Universitas Mataram ini memiliki beberapa tantangan. Salah satunya adalah kegiatan praktikum yang dilakukan dalam perkuliahan SKUT belum memperhatikan keberlanjutan karena masih menggunakan bahan-bahan sintesis. Praktikum SKUT pada tahun 2024 di Universitas Mataram terdiri atas 5 percobaan, di mana dari kelima percobaan praktikum tersebut, hampir seluruhnya menggunakan ligan dari bahan-bahan sintesis yang terdapat pada laboratorium seperti etilendiamin, EDTA, amonia, dan NH_4OH . Hal ini kurang sesuai dengan yang diterakan pada RPS SKUT bahwa 'praktikum menggunakan bahan-bahan yang mudah ditemukan dalam kehidupan untuk memverifikasi konsep-konsep yang dibahas di kelas.

Menindaklanjuti hal tersebut, langkah inovatif yang dapat dilakukan adalah

dengan mengembangkan modul praktikum berbasis *green chemistry* sebagai suplemen perkuliahan. Hal ini dilakukan sebagai respons terhadap meningkatnya kesadaran akan kerusakan lingkungan, krisis energi, dan kebutuhan akan proses kimia yang berkelanjutan (Armstrong et al., 2019; Ahmar & Azzajjad, 2024). Saat ini, *green chemistry* bukan lagi sekadar pilihan, tetapi telah menjadi tuntutan global untuk mewujudkan industri dan pendidikan kimia yang lebih ramah lingkungan (Al Idrus et al., 2020; Inayah et al., 2022).

Modul praktikum sendiri adalah buku panduan yang berisi informasi atau materi pembelajaran sebagai pegangan bagi mahasiswa dalam melakukan kegiatan praktikum (Arifah et al., 2014; Komisia et al., 2022). Pengembangan modul praktikum ini mencakup tahap ekstraksi antosianin dari kulit buah naga merah sebagai sumber ligan organik, yang sekaligus menjadi implementasi dari beberapa prinsip *green chemistry*.

Selain itu, modul ini juga melibatkan sintesis senyawa kompleks antara ion kobalt dan antosianin, serta analisis perubahan *energy gap*-nya untuk memberikan pemahaman lebih lanjut tentang interaksi ligan-logam dalam senyawa kompleks. Analisis ini penting untuk membuktikan bahwa pembentukan antosianin dengan ion logam dapat menggeser absorbansi pada panjang gelombang maksimum akibat kelasi logam (*metal chelation*) (Bahreini et al., 2024; Kateris et al., 2023; Pina et al., 2012). Dengan memahami konsep ini melalui eksperimen langsung, mahasiswa akan memperoleh pemahaman yang lebih mendalam mengenai senyawa kompleks sekaligus meningkatkan keterampilan analisis data.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan modul praktikum dan menguji validitasnya untuk mengetahui kelayakannya sebagai suplemen perkuliahan. Validasi ini akan dilakukan dengan melibatkan pakar kimia guna memastikan bahwa modul yang dikembangkan sesuai dengan standar akademik, relevan dengan kebutuhan mahasiswa, sehingga dapat diimplementasikan secara praktis dalam pembelajaran. Dengan demikian, hasil penelitian ini tidak hanya menghasilkan modul praktikum yang inovatif tetapi juga memastikan bahwa modul tersebut telah teruji dan layak digunakan sebagai suplemen pembelajaran dalam perkuliahan SKUT.

METODE

Jenis penelitian ini merupakan penelitian pengembangan (*research and development*), yaitu sebuah metode penelitian yang digunakan untuk menghasilkan suatu produk tertentu, dan menguji keefektifan produk tersebut (Sugiyono, 2019). Model pengembangan yang digunakan mengacu pada model pengembangan Thiagarajan *et al.* (1974) yaitu model 4D (*Define, Desain, Develop, Dessiminate*). Penelitian ini bersifat deskriptif untuk menjelaskan kelayakan dari produk yang dikembangkan berdasarkan hasil uji kevalidan oleh ahli.

Penelitian ini dilaksanakan pada semester ganjil dan genap tahun ajaran 2024-2025. Penelitian eksperimen di laboratorium dilaksanakan di Laboratorium Kimia, Gedung Laboratorium Dasar Bersama Universitas Mataram. Pengembangan suplemen dan penyebaran lembar angket validasi dilaksanakan di Universitas Mataram dan Universitas Islam Negeri (UIN) Mataram.

Tahap *define* dilakukan untuk menetapkan dan mendefinisikan kebutuhan instruksional yang terdiri dari beberapa substansi yaitu *front-end analysis* (analisis awal-akhir), analisis konsep, dan spesifikasi tujuan. *Front-end analysis* digunakan untuk memunculkan dan menetapkan masalah yang terdapat pada mata kuliah Senyawa Kompleks Unsur Transisi (SKUT) melalui observasi awal dan mengkaji Rencana Pembelajaran Semester (RPS). Selanjutnya tahap analisis konsep dilakukan untuk mengidentifikasi konsep-konsep utama dari produk yang akan dikembangkan yang bisa digunakan untuk mengatasi permasalahan yang muncul melalui *review* literatur. Terakhir spesifikasi tujuan dilakukan untuk merumuskan tujuan yang jelas berdasarkan 2 tahap sebagai dasar untuk penyusunan desain produk yang akan dikembangkan. Kemudian, tujuan ini diintegrasikan ke dalam materi produk untuk digunakan oleh peneliti.

Tahap *design* bertujuan untuk membuat rancangan produk awal. Pada tahap ini akan dilakukan kegiatan pemilihan media, pemilihan format, dan pembuatan rancangan awal produk sesuai dengan hasil analisis tahap sebelumnya. Pemilihan media yang tepat dilakukan dengan mencocokkan tugas dan analisis konsep, karakteristik peserta didik

sasaran, sumber daya produksi, dan rencana penyebaran dengan berbagai atribut media yang berbeda. Format media yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah berdasarkan hasil eksperimen di laboratorium tentang senyawa kompleks Co-antosianin kulit buah naga merah mulai dari ekstraksi antosianin dari kulit buah naga, sintesis senyawa kompleks, dan analisisnya. Selain itu, dalam percobaannya akan diterapkan beberapa prinsip *green chemistry* yang sesuai. Langkah selanjutnya adalah merancang dan menyusun produk sesuai dengan format yang telah ditetapkan yang terdiri dari (1) sampul modul, (2) kata pengantar, (3) daftar isi, (4) keselamatan kerja, (5) 12 prinsip *Green chemistry* dan (6) Rencana pelaksanaan praktikum, (7) Judul praktikum, (8) Tujuan praktikum, (10) Landasan teori, (11) Alat dan Bahan, (12) Prosedur pelaksanaan, (13) Analisis Data dan Hasil pengamatan praktikum, (14) Lembar pertanyaan, dan (15) daftar pustaka. Modul praktikum yang dihasilkan pada tahap ini adalah modul praktikum *prototype 1*.

Tahap *develop* (pengembangan) dilakukan untuk mewujudkan rancangan menjadi suatu produk yang nyata. Pada tahap pengembangan kegiatan yang dilakukan adalah penilaian kelayakan produk. Setelah kegiatan instrumen pengumpulan data sudah dilakukan validasi oleh validator maka instrumen tersebut digunakan untuk menilai kelayakan dari produk yang dikembangkan. Hasil dari kegiatan ini berupa skor kelayakan modul praktikum serta masukan dan kritikan terhadap produk yang dikembangkan, masukan dan kritikan validator dibuat sebagai bahan revisi untuk memperbaiki produk dan akan dihasilkan modul praktikum *prototype 2* sebagai produk akhir.

Tahap *disseminate* dalam penelitian ini dilakukan secara terbatas, dimana hanya dilakukan penyebaran tanpa mencakup implementasi secara luas. Penyebarluasan produk dilakukan melalui pengunggahan produk melalui platform digital *FlipHTML5* agar dapat diakses oleh mahasiswa dan dosen yang membutuhkan.

Intrumen pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini adalah lembar validasi ahli. Lembar validasi ahli ini digunakan untuk memperoleh informasi mengenai kualitas modul praktikum berdasarkan penilaian para ahli (validator) dan mengevaluasi kelayakan modul praktikum yang dikembangkan. Lembar validasi ini dilengkapi rubrik penilaian sebagai

pedoman pemberian skor agar jawaban dapat lebih objektif.

Aspek-aspek validasi yang dinilai pada produk ini mengacu Fraenkel *et al.* (2011) dalam bukunya, dimana validasi mencakup aspek isi (konten) dan aspek format instrument dan disesuaikan dari Hakim *et al.* (2023) dan Al Idrus *et al.* (2020) sehingga didapatkan 4 aspek utama yaitu, aspek isi atau materi, aspek kesesuaian dengan prinsip *green chemistry*, aspek penyajian, dan aspek petunjuk. Kisi-kisi aspek validasi dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Kisi-Kisi Aspek Validasi Isi

Aspek	Indikator	No. Butir
Isi/materi	Tujuan pembelajaran dan kontekstualisasi	1
	Keterkaitan dengan konsep senyawa kompleks	2
	Kejelasan dan keterpahaman pertanyaan	3
Kesesuaian dengan prinsip <i>green chemistry</i>	Pencegahan limbah	4
	Penggunaan bahan baku terbarukan	5
	Sintesis senyawa yang lebih aman	6
Penyajian	Efisiensi energi	7
	Bahasa	8
	Tata letak dan desain	9
	Penggunaan gambar, diagram, tabel	10
Kejelasan petunjuk	Format penulisan	11
	Persiapan alat dan bahan	12
	Prosedur praktikum	13
	Pengolahan data & analisis hasil	14
	Keterkaitan antara data dan analisis	15

Dari hasil penilaian validator ahli, analisis data dilakukan untuk memberikan penjelasan atau menunjukkan pencapaian terhadap kriteria kevalidan terhadap produk yang dikembangkan. Hasil validasi juga dapat digunakan untuk menentukan kelayakan modul praktikum yang dikembangkan (Al Idrus *et al.*, 2020). Analisis data dilakukan menggunakan indeks Aiken V, yang memiliki rentang 0-1, dan memiliki rumus sebagai berikut (Aiken, 1985):

$$V = \frac{\sum s}{(n(c-1))}$$

Keterangan:

V = Nilai koefisien Aiken's V

s = r-lo

lo = Angka penilaian terendah

r = Angka yang diberikan oleh penilai

n = Banyaknya validator;

c = Angka penilaian tertinggi

Tabel 2. Kategori Indeks Aiken V

No	Rentang Indeks	Kategori
1.	$V \leq 0,4$	Kurang valid
2.	$0,4 < V \leq 0,8$	Valid
3.	$0,8 < V \leq 1$	Sangat Valid

(Sumber: Retnawati, 2016)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Produk yang dikembangkan dalam penelitian ini berupa Modul Praktikum Mahasiswa Terintegrasi *green chemistry* pada mata kuliah Senyawa Kompleks Unsur Transisi dengan topik Sintesis Kompleks Co-Antosianin dari Kulit Buah Naga Merah. Penelitian ini merupakan penelitian pengembangan dengan model 4D yang terdiri atas tahap *define*, *design*, *develop*, dan *disseminate*. Adapun hasil dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

Tahap Define

Hasil analisis awal akhir menunjukkan bahwa terdapat kesenjangan antara pelaksanaan praktikum dan tuntutan RPS. Dalam RPS disebutkan bahwa praktikum seharusnya memanfaatkan bahan yang tersedia di lingkungan sekitar, namun kegiatan praktikum pada mata kuliah SKUT masih menggunakan bahan sintesis seperti EDTA, NH_4OH , dan etilendiamin, yang merupakan senyawa-senyawa yang tidak ramah untuk lingkungan (Nadhila & Titah, 2020; Zeguerrou & Adjroudi, 2022; Zeguerrou & Adjroudi, 2022).

Berdasarkan hasil angket terhadap 17 mahasiswa Pendidikan Kimia angkatan 2023 yang telah menempuh mata kuliah Senyawa Kompleks Unsur Transisi (SKUT), diperoleh bahwa sebagian besar mahasiswa (76%) menganggap mata kuliah ini sulit dipahami karena sifat materinya yang abstrak dan metode pembelajaran yang kurang mendukung pemahaman konsep. Sekitar 82% mahasiswa masih memerlukan bimbingan intensif selama praktikum, menandakan modul yang digunakan belum sepenuhnya efektif sebagai panduan belajar mandiri. Dari sisi keberlanjutan, hanya separuh responden yang menilai bahan praktikum aman bagi lingkungan, meskipun 70% telah mengenal konsep *Green Chemistry*. Menariknya, 94% mahasiswa menyatakan ketertarikan tinggi terhadap kegiatan praktikum

berbasis bahan alami seperti kulit buah naga merah. Kondisi ini menegaskan bahwa masalah utama yang dihadapi adalah belum terdapat kegiatan praktikum yang memanfaatkan bahan yang berasal dari lingkungan sekaligus mendukung capaian pembelajaran SKUT.

Berdasarkan hasil analisis awal-akhir, konsep yang digunakan untuk mengatasi permasalahan yang ada adalah pengembangan suplemen perkuliahan berupa modul praktikum terintegrasi *green chemistry* dengan memanfaatkan antosianin dari kulit buah naga merah sebagai ligan dalam pembentukan kompleks dengan logam kobalt. Untuk mengetahui terbentuknya kompleks, digunakan analisis perbandingan *energy gap* antosianin sebelum dan sesudah reaksi.

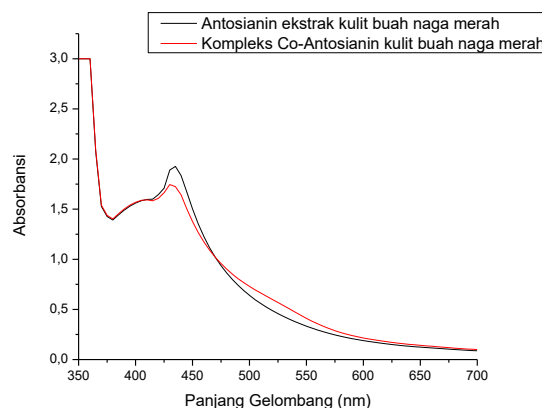
Tujuan spesifik dari pengembangan produk ini adalah menyediakan suplemen berupa modul praktikum sebagai pelengkap petunjuk praktikum SKUT berbasis *Green chemistry* dengan memanfaatkan ekstrak kulit buah naga merah. Modul ini dirancang untuk meningkatkan pemahaman mahasiswa mengenai konsep pembentukan senyawa kompleks, khususnya kompleks Co(II)-antosianin.

Tahap Design

Media yang dikembangkan dalam penelitian ini adalah modul praktikum, yang disusun berdasarkan hasil eksperimen laboratorium terkait ekstraksi antosianin dari kulit buah naga merah, pembuatan senyawa kompleks Co(II)-antosianin, dan analisis *energy gap*. Selain itu modul praktikum ini mengintegrasikan beberapa prinsip *green chemistry* (Anastas & Eghbali, 2010; Warner *et al.*, 2004) agar mendorong penerapan konsep kimia ramah lingkungan dan kesadaran terhadap praktik eksperimen berkelanjutan. (Armstrong *et al.*, 2019; Inayah *et al.*, 2022; Al Idrus *et al.*, 2020). Modul praktikum dipilih karena berfungsi sebagai panduan bagi mahasiswa dalam melaksanakan kegiatan eksperimen di laboratorium secara sistematis dan membantu mahasiswa memahami hubungan antara teori dan hasil praktikum (Arifah *et al.*, 2014; Rizkiana *et al.*, 2020; Komisia *et al.*, 2022).

Format pengembangan media modul praktikum disusun berdasarkan hasil eksperimen di laboratorium dengan memperhatikan prinsip-prinsip *green*

chemistry. Hasil eksperimen ini menjadi acuan utama dalam penyusunan isi modul, khususnya pada bagian petunjuk alat dan bahan, prosedur kerja, analisis data, serta pertanyaan diskusi. Adapun hasil penting dalam eksperimen ini dapat dilihat pada gambar 1, 2 dan 3.

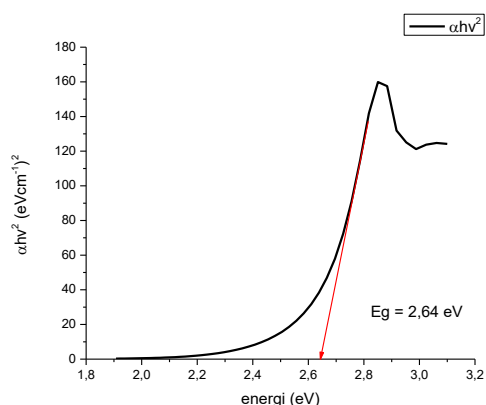


Gambar 1. Spektra UV-VIS dari antosianin ekstrak kulit buah naga merah dan kompleksnya dengan ion logam kobalt

Gambar 1 menunjukkan spektra uv-vis dari antosianin ekstrak kulit buah naga merah dan senyawa kompleks Co-Antosianin kulit buah naga merah. Kondisi kedua sampel saat diuji adalah dalam keadaan asam. Pengujian dilakukan menggunakan spektrofotometer UV-Visible pada panjang gelombang 300-700 nm dengan interval 5 nm untuk mengamati spektrum serapan dari ekstrak antosianin dan kompleks Co-antosianin. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa larutan antosianin dari kulit buah naga merah memiliki panjang gelombang maksimum (λ maks) pada 435 nm dengan nilai absorbansi sebesar 1,926. Setelah membentuk kompleks dengan ion kobalt (Co^{2+}), terjadi pergeseran λ maks menjadi 430 nm dengan absorbansi 1,725.

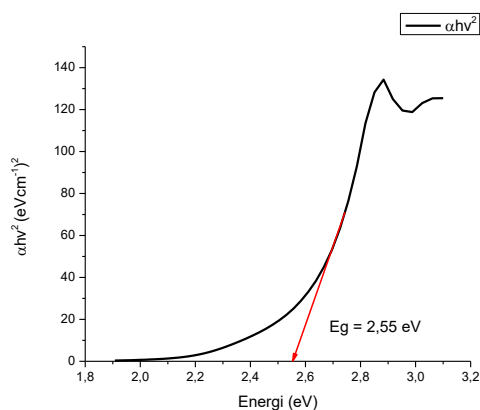
Absorbansi maksimum yang teramati umumnya berhubungan dengan transisi elektronik dari orbital molekul terisi tertinggi (*Highest Occupied Molecular Orbital*/HOMO) ke orbital molekul tak terisi terendah (*Lowest Unoccupied Molecular Orbital*/LUMO), di mana selisih antara HOMO dan LUMO dikenal

sebagai *energy gap* (E_g) (Setiawati et al., 2018).



Gambar 2. Grafik *energy gap* antosianin ekstrak kulit buah naga merah

Gambar 2 menunjukkan hasil analisis *energy gap* ekstrak kulit buah naga merah menggunakan metode Tauc plot. Perhitungan *energy gap* ini didasarkan pada ekstrapolasi garis linear dari grafik hubungan antara $(\alpha h\nu)^n$ dengan energi foton ($h\nu$), di mana garis merah menunjukkan ekstrapolasi daerah linear untuk menentukan nilai *energy gap* (Makula et al., 2018). Diperoleh *energy gap* antosianin dalam ekstrak kasar kulit buah naga merah untuk transisi langsung (*direct transition*) adalah sebesar 2,64 eV.



Gambar 3. Grafik *energy gap* Co-Antosianin ekstrak kulit buah naga merah

Gambar 3 menunjukkan *energy gap* dari senyawa kompleks Co-ekstrak kulit buah naga merah. Diperoleh *energy gap* sebesar 2,55 eV untuk *direct transition*. Data ini menunjukkan bahwa *energy gap* senyawa kompleks yang terbentuk menjadi lebih kecil dibandingkan senyawa antosianin dari antosianin ekstrak kulit buah naga merah.

Pergeseran λ_{maks} dan penurunan absorbansi ini menunjukkan mempengaruhi

besar dari nilai *energy gap*. Perubahan ini mengindikasikan terbentuknya senyawa kompleks antara antosianin dan ion Co^{2+} . Data ini menunjukkan bahwa E_g senyawa kompleks yang terbentuk menjadi lebih kecil dibandingkan senyawa antosianin dari ekstrak kulit buah naga merah. Hal ini terjadi karena adanya interaksi orbital antara ion logam dan ligan yang menurunkan energi LUMO dan menaikkan HOMO (Purwoko et al., 2019; Setiawati et al., 2018).

Nilai ini menunjukkan bahwa kompleks lebih reaktif secara elektronik, dapat menyerap cahaya dengan panjang gelombang lebih panjang, serta berpotensi memiliki konduktivitas lebih baik, sehingga relevan untuk aplikasi seperti sensor, material fotovoltaik, atau perangkat optoelektronik.

Rancangan awal modul praktikum disusun dengan memperhatikan kesesuaian terhadap capaian pembelajaran mata kuliah, relevansi dengan konteks praktikum, serta keterpaduan antara teori dan hasil eksperimen. *Prototype 1* ini kemudian digunakan untuk tahap selanjutnya, yaitu tahap *develop*.

Adapun prinsip-prinsip *green chemistry* yang diterapkan dalam modul praktikum ini, adalah sebagai berikut:

Tabel 3. Aplikasi prinsip *green chemistry* dalam modul praktikum

Prinsip	Aplikasi dalam eksperimen
Penggunaan bahan baku terbarukan	Diterapkan dalam kegiatan preparasi sampel di mana kulit buah naga merah, digunakan sebagai bahan utama dalam memperoleh senyawa antosianin.
Sintesis senyawa yang kurang berbahaya	Diterapkan dalam reaksi pengkompleksan antosianin dari ekstrak kulit buah naga merah dengan logam kobalt, tanpa menggunakan pereaksi tambahan yang berbahaya.
Penggunaan energi yang lebih efisien	Diterapkan pada bagian prosedur kerja, dimana proses ekstraksi antosianin dalam praktikum ini tidak melalui proses evaporasi.
Pencegahan	Tercerminkan dalam pemanfaatan kulit buah naga merah sebelum dibuang menjadi limbah sehingga mengurangi timbunan sampah organik dan mencegah pencemaran lingkungan.

Tahap Develop

Pada tahap ini, modul praktikum yang sudah dikembangkan menjadi *prototype* 1 kemudian diuji kelayakannya berdasarkan uji validasi oleh 6 orang dosen ahli. Adapun 4 validator tersebut merupakan dosen kimia dari Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Mataram. 1 validator lagi merupakan dosen kimia dari Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Mataram, dan 1 validator lainnya merupakan dosen kimia dari fakultas Tadris Kimia, Universitas Islam Negeri (UIN) Mataram.

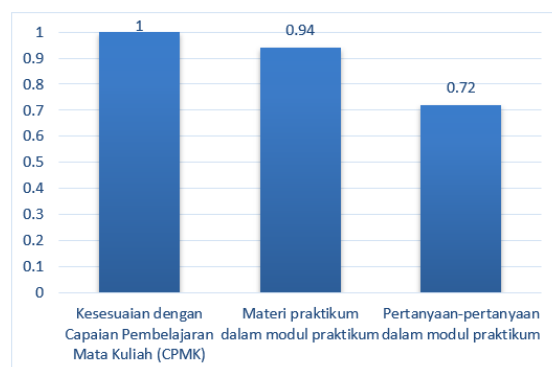
Validitas dan kelayakan merupakan aspek penting dalam penelitian pengembangan suatu bahan ajar. Menurut (Fraenkel et al., 2011), validitas menunjukkan sejauh mana suatu instrumen atau produk mampu mengukur apa yang seharusnya diukur. Dengan kata lain, produk dikatakan valid apabila isi dan konstruksinya sesuai dengan teori serta tujuan pembelajaran. Sementara itu, kelayakan (*feasibility*) mengacu pada sejauh mana suatu produk dapat digunakan secara efektif dalam konteks pembelajaran yang nyata. Kelayakan ini ditinjau dari beberapa aspek, seperti kesesuaian isi, kemudahan penggunaan, kebutuhan sumber daya, serta tingkat penerimaan oleh calon pengguna (Bowen et al., 2009).

Dalam konteks penelitian ini, tingkat kelayakan modul praktikum ditentukan melalui hasil validasi ahli terhadap aspek isi, kesesuaian dengan prinsip *green chemistry*, penyajian, dan kejelasan petunjuk. Dengan demikian, modul dinyatakan layak apabila seluruh aspek tersebut memenuhi standar kualitas yang ditetapkan oleh validator dan dianggap dapat diterapkan secara praktis dalam kegiatan perkuliahan. Adapun hasil dari validasi tersebut antara lain:

Tabel 4. Hasil validasi ahli

Aspek	V	Keterangan
Isi/Materi	0.8867	Sangat Valid
Kesesuaian Dengan Prinsip <i>Green chemistry</i>	0.9425	Sangat Valid
Penyajian	0.8875	Sangat Valid
Kejelasan Petunjuk Praktikum	0.885	Sangat Valid
Keseluruhan	0.9	Sangat Valid

Tabel 4 menunjukkan hasil validasi oleh enam validator ahli dari dua universitas. Dapat dilihat bahwa modul praktikum memperoleh nilai Aiken's V rata-rata sebesar 0,9 yang termasuk dalam kategori sangat valid (Aiken, 1985; Retnawati, 2016). Kriteria ini menunjukkan bahwa modul telah memenuhi kesesuaian isi, bahasa, dan prinsip ilmiah (Fraenkel et al., 2011). Berdasarkan lembar validasi dan diskusi dengan para validator, semua validator berpendapat bahwa modul praktikum dapat digunakan dengan sedikit revisi.

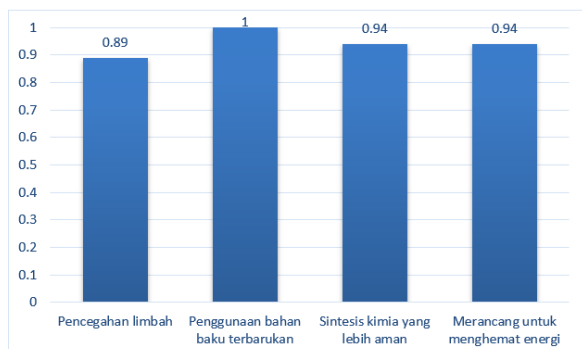


Gambar 4. Nilai Aiken's V pada aspek isi

Gambar 4 menunjukkan hasil validasi ahli pada aspek isi yang terdiri atas tiga indikator. Aspek ini memperoleh nilai rata-rata Aiken's V sebesar 0,8867 dengan kategori sangat valid, menandakan bahwa isi modul telah sesuai dengan capaian pembelajaran mata kuliah dan relevan dengan konsep senyawa kompleks unsur transisi. Indikator pertama memperoleh nilai 1,00, sedangkan indikator kedua sebesar 0,94 dengan saran penambahan penjelasan mengenai *energy gap* dan sifat optik molekul agar pemahaman mahasiswa lebih komprehensif. Adapun indikator ketiga memperoleh nilai 0,72 (valid). Nilai yang relatif lebih rendah ini disebabkan oleh beberapa kalimat pada bagian pertanyaan yang dinilai kurang efisien secara tata bahasa, sehingga dilakukan revisi untuk meningkatkan kejelasan dan keterpahaman.

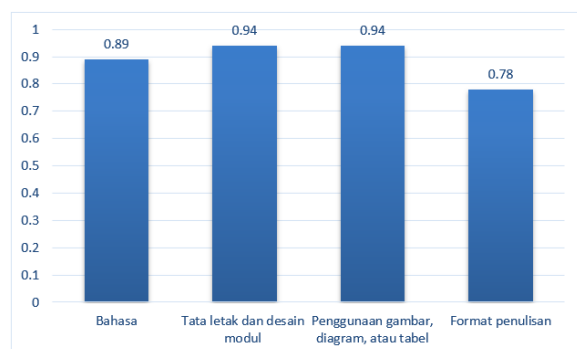
Saran dan masukan dari validator tersebut telah diakomodasi melalui penyempurnaan bagian pendahuluan, teori pendukung, serta perbaikan redaksi pada lembar pertanyaan praktikum. Menindaklanjuti hasil validasi pada aspek isi, dilakukan revisi dengan menambahkan penjelasan mengenai *energy gap*, sifat optik molekul, serta manfaat mempelajari konsep tersebut agar pemahaman mahasiswa menjadi lebih komprehensif. Selain itu,

dilakukan perbaikan redaksi pada bagian pertanyaan agar lebih efektif dan mudah dipahami.



Gambar 5. Nilai Aiken's V pada aspek kesesuaian dengan prinsip *green chemistry*

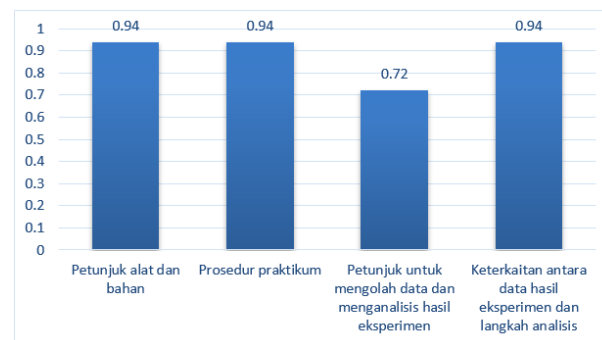
Gambar 5 menunjukkan hasil penilaian pada aspek kesesuaian dengan prinsip *green chemistry* yang diwakili oleh empat indikator penilaian. Secara keseluruhan, keempat indikator memperoleh kategori sangat valid, meskipun hanya prinsip penggunaan bahan baku terbarukan yang memperoleh nilai sempurna. Pada prinsip pencegahan limbah, salah satu validator berpendapat bahwa pemanfaatan kulit buah naga merah lebih tepat dikategorikan sebagai pengolahan limbah, bukan pencegahan (Anastas & Eghbali, 2010). Sementara itu, pada prinsip sintesis bahan kimia yang lebih aman, salah satu validator berpendapat bahwa meskipun sebagian besar pelarut yang digunakan tergolong aman, modul masih memanfaatkan *n-hexane* dalam jumlah terbatas, yang bukan merupakan *green solvent* atau pelarut ramah lingkungan (Tobiszewski et al., 2017). Adapun pada prinsip perancangan untuk menghemat energi, salah satu validator juga berpendapat bahwa prosedur praktikum memang tidak melibatkan evaporasi atau pemanasan berlebih, namun efisiensi penggunaan energi masih dapat ditingkatkan.



Gambar 6. Nilai Aiken's V pada aspek penyajian

Gambar 6 menunjukkan hasil penilaian pada aspek penyajian yang diwakili oleh empat indikator. Tiga dari empat indikator memperoleh kategori sangat valid, sedangkan indikator format penulisan mendapatkan kategori valid. Berdasarkan hasil validasi, aspek bahasa masih memerlukan perbaikan dalam hal konsistensi penggunaan kalimat aktif dan pasif pada bagian prosedur. Dari segi tata letak dan desain, diperlukan penyesuaian agar modul tampak lebih menarik, khususnya pada bagian sampul. Selain itu, keterangan gambar dan tabel juga perlu diperjelas agar lebih sesuai dengan konteks penyajian data. Pada aspek format penulisan, disarankan adanya penyempurnaan terhadap konsistensi penulisan istilah dan simbol ilmiah.

Menindaklanjuti hasil tersebut, dilakukan revisi tata bahasa dan penyesuaian format penulisan agar lebih seragam, serta memperbaiki layout dan tampilan visual untuk meningkatkan daya tarik modul. Keterangan pada gambar dan tabel juga diperjelas agar informasi yang disajikan lebih mudah dipahami. Perbaikan ini bertujuan untuk memastikan bahwa modul praktikum tidak hanya valid secara isi, tetapi juga menarik, konsisten, dan mudah digunakan oleh mahasiswa.



Gambar 7. Nilai Aiken's V pada aspek kejelasan petunjuk

Gambar 7 menunjukkan hasil penilaian pada aspek kejelasan petunjuk praktikum yang diwakili oleh empat indikator. Tiga dari empat indikator memperoleh kategori sangat valid, sedangkan indikator petunjuk untuk mengolah data dan menganalisis hasil eksperimen memperoleh kategori valid. Berdasarkan hasil validasi, aspek yang perlu diperhatikan adalah penyajian prosedur praktikum yang harus disusun secara jelas dan terperinci agar mahasiswa dapat mengikuti setiap langkah tanpa ambiguitas. Selain itu, petunjuk pengolahan data juga perlu disajikan secara lebih sistematis sehingga mudah

diterapkan oleh mahasiswa selama kegiatan praktikum.

Menindaklanjuti hasil tersebut, dilakukan revisi berupa penyempurnaan prosedur kerja dengan menambahkan informasi suhu, massa sampel basah, serta keterangan asam basa pada gambar agar kegiatan praktikum lebih terarah. Petunjuk pengolahan dan analisis data juga direvisi dengan memperjelas langkah-langkah perhitungan serta hubungan antara data hasil eksperimen dan analisis. Revisi ini dilakukan agar modul praktikum lebih mudah digunakan secara mandiri dan meningkatkan pemahaman mahasiswa terhadap konsep yang dipelajari.

Tahap Disseminate

Tahap *disseminate* dilakukan secara terbatas melalui penyebaran produk akhir yang telah direvisi berdasarkan masukan dan saran validasi ahli dalam bentuk *flipbook* pada *platform* digital FlipHTML5 yang bisa diakses pada tautan <https://online.fliphtml5.com/ximel/aywd/>.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil validasi dan saran oleh para validator ahli, dapat disimpulkan bahwa modul praktikum mahasiswa terintegrasi *Green Chemistry* yang dikembangkan menunjukkan tingkat validitas sangat tinggi pada seluruh aspek, yaitu isi/materi (0,8867), kesesuaian dengan prinsip *Green Chemistry* (0,9425), penyajian (0,8875), dan kejelasan petunjuk (0,885), sehingga secara keseluruhan modul praktikum yang dikembangkan mencapai kategori sangat valid (0,9). Hasil ini menunjukkan bahwa modul praktikum ini sangat layak dijadikan suplemen pembelajaran pada perkuliahan Senyawa Kompleks Unsur Transisi, setelah dilakukannya revisi sesuai masukan validator.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmar, D. S., & Azzajjad, M. F. (2024). *Recent Trends in Green Chemistry: A Bibliometric Analysis of Materials and Innovations*. 57–72.
- Aiken, L. R. (1985). Three coefficients for analyzing the reliability and validity of ratings, educational and psychological measurement. *Educational and Psychological Measurement*, 45(1), 131–142.
- Al Idrus, S. W., Purwoko, A. A., Hadisaputra, S., & Junaidi, E. (2020). Pengembangan Modul Praktikum Kimia Lingkungan Berbasis Green Chemistry Pada Mata Kuliah Kimia Lngkungan. *Jurnal Pijar Mipa*, 15(5), 541–547.
- Anastas, P., & Eghbali, N. (2010). Green Chemistry: Principles and Practice. *Chemical Society Reviews*, 39(1), 301–312.
- Arifah, I., Maftukhin, A., & Siska Desy Fatmaryanti. (2014). Pengembangan Buku Petunjuk Praktikum Berbasis Guided Inquiry untuk Mengoptimalkan Hands On Mahasiswa Semester II Program Studi Pendidikan Fisika Universitas Muhammadiyah Purworejo Tahun Akademik 2013/2014. *Jurnal Radiasi*, 5(1), 24–28.
- Armstrong, L. B., Rivas, M. C., Zhou, Z., Irie, L. M., Kerstiens, G. A., Robak, M. T., Douskey, M. C., & Baranger, A. M. (2019). Developing a Green Chemistry Focused General Chemistry Laboratory Curriculum: What Do Students Understand and Value about Green Chemistry? *Journal of Chemical Education*, 96(11), 2410–2419.
- Bahreini, Z., Abedi, M., Ashori, A., & Parach, A. (2024). Extraction and characterization of anthocyanin pigments from Iris flowers and metal complex formation. *Heliyon*, 10(11), e31795.
- Bowen, D. J., Kreuter, M., Spring, B., Linnan, L., Weiner, D., Bakken, S., Kaplan, C. P., Squiers, L., & Fabrizio, C. (2009). *How We Design Feasibility Studies*. 36(5), 452–457.
- Djangi, M. J., Sugiarti, & Irfandi, R. (2024). Pengembangan Praktikum Kimia Berbasis Lingkungan Bagi Mahasiswa. *Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 1(3), 10–13.
- Emda, A. (2017). Laboratorium Sebagai Sarana Pembelajaran Kimia Dalam Meningkatkan Pengetahuan Dan Keterampilan Kerja Ilmiah. *Lantanida Journal*, 5(1), 83.
- Fraenkel, J. R., Wallem, N. E., & Hyun, H. H. (2011). How to Design and Evaluate Research in Education. In *The McGraw-Hill Companies* (8th ed.). The McGraw-Hill Companies.
- Hakim, A., Sedijani, P., Savalas, L. R. T., Hadisaputra, S., Pangestu, K. W. J., & Irawan, J. (2023). Development of Practicum Module for Making Trimyristin Soap Active Ingredients from Nutmeg Seeds (*Myristica fragrans* Houtt). *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 9(1), 570–581.

- Hariadi, H., Nissa, R. C., Anggara, C. E. W., Hidayat, Ferdiansyah, A. E., & Rifqi, M. (2023). Utilization of dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*) peels waste as a natural dye. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1241(1).
- Inayah, S., Dasna, I. W., & Habiddin. (2022). Implementasi Green Chemistry Dalam Pembelajaran Kimia: Literatur Review. *Hydrogen: Jurnal Kependidikan Kimia*, 10(1), 142–149.
- Kateris, N., Xu, R., & Wang, H. (2023). HOMO-LUMO energy gaps of complexes of transition metals with single and multi-ring aromatics. *Combustion and Flame*, 257(1).
- Komisia, F., Wariani, T., Bria, K., Tukan, M. B., & Leba, M. A. U. (2022). Penggunaan Modul Praktikum Kimia Fisika I Berbasis Problem Solving Untuk Meningkatkan Hasil Belajar Mahasiswa. *Jurnal Education and Development*, 11(1), 20–23.
- Makula, P., Pacia, M., & Macyk, W. (2018). How To Correctly Determine the Band Gap Energy of Modified Semiconductor Photocatalysts Based on UV-Vis Spectra. *Journal of Physical Chemistry Letters*, 9(23), 6814–6817.
- Nadhila, U., & Titah, H. S. (2020). Kajian penambahan EDTA pada fitoremediasi logam berat timbal. *Jurnal Teknik ITS*, 9(2), 2–7.
- Pina, F., Melo, M. J., Laia, C. A. T., Parola, A. J., & Lima, J. C. (2012). Chemistry and applications of flavylum compounds: A handful of colours. *Chemical Society Reviews*, 41(2), 869–908.
- Purwoko, A. A., Setiawati, V. R., & Hadisaputra, S. (2019). Metal-pigment complex derived from natural dye of anthocyanin: A potential candidate for DSSC photosensitizer. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 509(1), 1–7.
- Retnawati, H. (2016). *Analisis Kuantitatif Instrumen Penelitian (Panduan Peneliti, Mahasiswa, dan Psikometrian)*. Parama Publishing.
- Rizkiana, F., Apriani, H., & Khairunnisa, Y. (2020). *Pengembangan Buku Petunjuk Praktikum Kimia Berbasis Green Chemistry untuk Siswa SMA Kelas XI Semester 2*. 8(1).
- Salamat, F., Muliadi, Setiawan, T., & Amin, M. (2022). Studi Komputasi Kompleks 1,10 fenantrolin dengan Logam Fe, Cu, Co, Ni dan Zn Menggunakan Metode Density Functional Theory (DFT). *Jurnal Pendidikan Kimia Unkhair*, 2(1), 24–29.
- Sari, D. N., Wahdaningsih, S., & Kurniawan, H. (2021). Analisis Gugus Fungsi Ekstrak Kulit Buah Naga Merah (*Hylocereus polyrhizus*). *Jurnal Mahasiswa Farmasi Fakultas Kedokteran UNTAN*, 5(1), 1–5.
- Setiawati, V. R., Purwoko, A. A., & Hadisaputra, S. (2018). Conversion of Anthocyanin From Dragon Fruit (*Hylocereus Costaricensis*) To Metal Complexes: Prospects For Sensitizer In Solar Cells. *IOSR Journal of Applied Chemistry (IOSR-JAC)*, 11(6), 52–58.
- Thiagarajan, S., Dorothy, S. S., & Semmel, M. I. (1974). Instructional development for training teachers of exceptional children: A sourcebook. *Journal of School Psychology*, 14(1), 75.
- Tobiszewski, M., Namieśnik, J., & Pena-Pereira, F. (2017). Environmental risk-based ranking of solvents using the combination of a multimedia model and multi-criteria decision analysis. *Green Chemistry*, 19(4), 1034–1042.
- Warner, J. C., Cannon, A. S., & Dye, K. M. (2004). Green chemistry. *Environmental Impact Assessment Review*, 24(7–8), 775–799.
- Widyasanti, A., Arsyad, M. Z., & Wulandari, D. E. (2021). Ekstraksi Antosianin Kulit Buah Naga Merah (*Hylocereus polyrhizus*) Menggunakan Metode Maserasi. | *Jurnal Agroindustri*, 11(2), 72–81.
- Zeguerrou, N., & Adjroudi, R. (2022). Study on The Effect of Ammonium Hydroxide on Survival, Growth, Reproduction and Cocoon Hatching of *Eisenia fetida*. *Iranian Journal of Health, Safety & Environment*, 7(4), 1536–1546.