

# Produksi Pigmen Jingga *Penicillium* sp. LBKURCC27 pada Media Cair dengan Variasi pH dan Sumber Nitrogen serta Potensinya sebagai Pewarna Tekstil

Fuji R.L. Gaol<sup>1</sup>, Gilang Ramadhan<sup>1</sup>, Esther A. Gurning<sup>1</sup>, Alifia A. Sakinah<sup>2</sup>, Nur A. Fitri<sup>3</sup>, Titania T. Nugroho<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Riau, Pekanbaru 28293

<sup>2</sup> Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Riau, Pekanbaru 28293

<sup>3</sup> Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Riau, Pekanbaru 28293

\*alamat email korespondensi: [titania.nugroho@lecturer.unri.ac.id](mailto:titania.nugroho@lecturer.unri.ac.id)

## Abstrak

Limbah dari penggunaan pigmen warna sintesis yang marak di industri tekstil, dikhawatirkan akan menimbulkan dampak lingkungan selama produksi maupun pengaplikasiannya. Limbah yang dihasilkan dari pigmen warna sintesis sulit didegradasi dan cenderung bersifat karsinogenik. Pigmen warna alami yang dihasilkan jamur *Penicillium* dapat menjadi solusi alternatif untuk mengatasi dampak lingkungan yang dihasilkan dari penggunaan pigmen warna sintesis tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk menggali potensi isolat lokal *Penicillium* sp. LBKURCC27 sebagai sumber pigmen warna jingga alami dengan variasi pH media dan sumber nitrogennya. Penelitian dilakukan dengan memproduksi pigmen menggunakan isolat lokal *Penicillium* sp. LBKURCC27 pada media PDB dengan variasi pH (pH 4,5 hingga 7,5) dan variasi sumber nitrogennya (urea, tepung kedelai dan ekstrak ragi) pada suasana gelap dan statis selama 40 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa media produksi pada pH 5,5 menghasilkan jumlah pigmen yang secara signifikan ( $p < 0,05$ ) lebih tinggi dibandingkan dengan pH lainnya. Sumber nitrogen berupa urea akan menghasilkan jumlah pigmen yang secara signifikan lebih tinggi bila dibandingkan dengan sumber nitrogen berupa ekstrak ragi dan tepung kedelai ( $p < 0,05$ ). Hasil ekstraksi diuji menggunakan spektrofotometri UV-Vis dan diperoleh lebih dari satu puncak pada panjang gelombang 400-550 nm yang menunjukkan adanya lebih dari satu senyawa berwarna. Uji pewarnaan dilakukan dengan metode mordanting menggunakan mordant besi sulfat dan tawas yang menghasilkan kain berwarna coklat hingga jingga. Analisis kolorimetri juga dilakukan pada kain yang telah

*diwarnai sehingga diperoleh koordinat kromatis primer berupa RGB. Hasil pewarnaan kain dengan mordant besi sulfat memiliki warna yang lebih merata. Kain sutra memiliki warna yang lebih gelap dan lebih merata dibandingkan pewarnaan pada kain katun.*

**Kata Kunci:** *Penicillium, pigmen tekstil, mordant, sutra, katun*

#### **Abstract**

*Waste from the use of synthetic color pigments in industries, such as the textile industry, will cause environmental issues during the production and applications of synthetic color pigments. Natural color pigments produced by Penicillium fungi can be a solution or alternative to overcome the environmental impacts resulting from the use of synthetic color pigments. This research aims to explore the potential of local isolate Penicillium sp. LBKURCC27 as a source of natural orange pigment based on pH testing and its nitrogen nutrient source. This research was carried out with the production of orange pigment using isolate Penicillium sp. LBKURCC27 using PDB media with variations in pH (with pH 4.5 to 7.5) and variations in nitrogen sources (using urea, soybean flour and yeast extract) in a dark and static environment for 40 days. Results from research found that pigment production at pH 5.5 and a nitrogen source urea would produce significantly higher ( $p < 0.05$ ) pigment mass. The pigment produced multiple peak at 400-550 nm that indicate there are more than one compounds in the extract. The dyeing test showed that the fabric getting a brown to orange color. Colorimetric analysis is also carried primer chromatic coordinate in the form of RGB. Mordanting with iron sulfate gave a more even color than alum and silk fabric gave a more even color and darker color than cotton fabric.*

**Kata Kunci:** *Penicillium, textile pigment, mordanting, silk, cotton*

#### **Abstrak**

*Antioxidants are substances that work to fend off free radicals and shield cells from the damage they cause. Antioxidants can be found both inside and outside of the body. Plants that contain secondary metabolites such as phenolic chemicals, flavonoids, alkaloids, tannins, steroids, and terpenoids can provide antioxidants that come from outside the body. An additional purpose for Annona reticulata L. is as a medicinal plant, according to the results of the exploration and identification. The purpose of this study was to identify the secondary metabolites present in plant extracts and their antioxidant activity. The antioxidant activity test was performed using the DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl) method, and the extraction was performed using the maceration method using ethyl acetate and methanol. Triterpenoids, tannins, saponins, phenolics, flavonoids, and alkaloids were the classes of substances found in the ethyl acetate and methanol extracts, according to the analysis's findings. The IC50 values for the two solvent*

*extracts—177.1325 g/mL for ethyl acetate and 235.4198 g/mL for methanol—were used to classify the antioxidant activity as moderate.*

**Keyword:** *Phytochemical analysis, Annona reticulata L.; DPPH*

## I. PENDAHULUAN

Penggunaan bahan pewarna sintetis dikhawatirkan dapat menyebabkan masalah lingkungan. Beberapa penelitian menunjukkan dampak pewarna sintetis mampu menyebabkan kerusakan lingkungan akibat limbah yang dihasilkan dalam proses produksinya maupun pengaplikasiannya [1,2].

Penicillium merupakan salah satu fungi dari divisi Ascomycota, ordo Eurotiales, keluarga Trichocomaceae. Penicillium merupakan jenis jamur saprofit yang dapat tumbuh dimana-mana selama terdapat bahan organik. Selain sebagai penghasil antibiotik, beberapa spesies Penicillium berpotensi sebagai penghasil pigmen yang dapat dimanfaatkan sebagai pengganti pewarna sintetis untuk tekstil atau untuk makanan [3-5].

Penicillium sp. LBKURCC27 merupakan galur yang diisolasi dari tanah gambut Hutan Primer Cagar Biosfer Giam Siak Kecil Bukit Batu (GSKBB), Provinsi Riau [6]. Penelitian pendahuluan menunjukkan bahwa galur ini dapat menghasilkan pigmen pada media PDA,

dengan pigmen berwarna jingga (orange) cerah.

Pigmen warna yang disekresikan Penicillium sp. cenderung stabil sehingga lebih mudah untuk dimurnikan. Pigmen yang dihasilkan oleh Penicillium umumnya berwarna kuning hingga merah muda, tergantung jenis dan media pembiakannya [7]. Pigmen warna Penicillium sp. diharapkan menjadi pengganti alternatif pewarna sintetis di masa depan dan mengurangi biaya produksi pigmen warna.

Beberapa media pembiakan diketahui dapat mempengaruhi produksi dari pigmen warna yang dapat dihasilkan oleh suatu jamur. Hal-hal yang dapat mempengaruhi produksi pigmen oleh jamur antara lain pH media, suhu fermentasi, sumber nitrogen (N), sumber karbon (C), kondisi gelap dan terang, kelembapan, dan aerasi [3]. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian untuk mengkaji lebih dalam mengenai media pembiakan Penicillium sp. LBKURCC27 untuk menemukan media yang efektif dalam menghasilkan pigmen.

Beberapa penelitian telah menunjukkan beberapa upaya untuk meningkatkan produksi pigmen oleh suatu jamur seperti dengan memodifikasi pH pada media media [3, 8] dan sumber nitrogen [3, 12]. pH media dan sumber nitrogen merupakan salah satu faktor yang penting dalam produksi pigmen oleh suatu jamur, hal tersebut dikarenakan pH pada media akan mempengaruhi permeabilitas dari dinding sel dan membran yang akan mempengaruhi jumlah nutrisi yang masuk dan ion yang keluar dari sel [10] sedangkan sumber nitrogen akan mempengaruhi metabolisme jamur yang terpicu untuk memproduksi pigmen [11]. Tujuan penelitian ini adalah menemukan pH dan sumber nitrogen yang paling efektif dalam memproduksi pigmen jingga. Penelitian ini juga bertujuan untuk menentukan kemampuan pigmen *Penicillium* sp. LBKURCC27 dalam mewarnai bahan tekstil katun dan sutera. Penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan produk warna alami ramah lingkungan dari jamur lokal Riau, sehingga mengurangi ketergantungan pada import warna sintetik. Penelitian ini membahas dari segi spesies dan galur *Penicillium* sp. yang digunakan, pendekatan produksi, dan jenis kain yang digunakan.

## II. METODE PENELITIAN

### **Peremajaan isolat jamur *Penicillium* sp. LBKURCC27 pada media *Potato Dextrose Agar* (PDA)**

Isolat jamur *Penicillium* sp. LBKURCC27 diambil dengan menggunakan ose secara aseptis dan diinokulasikan ke media PDA. Media PDA yang telah diinokulasikan isolat jamur *Penicillium* sp. LBKURCC27 diinkubasi pada suhu ruang selama 6 hari.

### **Produksi Pigmen pada Variasi Media Uji dan Ekstraksi Pigmen**

Miselia *Penicillium* sp. LBKURCC27 yang tersebar merata di cawan petri diambil sebanyak satu plug yang masing-masing plug berdiameter 1 cm secara aseptis dan dimasukkan ke dalam erlenmeyer yang masing-masing telah diisi dengan 50 mL variasi media uji. Untuk penentuan pH terbaik bagi produksi pigmen, digunakan media PDB dengan variasi pH 4,5 sampai dengan 7,5. Pengaturan pH dilakukan menggunakan bufer 0,05 M Na-asetat untuk pH 4,5 dan 5,5, dan 0,1 M bufer fosfat untuk pH 6,5 dan 7,5. Untuk penentuan sumber nitrogen terbaik bagi produksi pigmen, digunakan PDB ditambahkan 2% sumber nitrogen berupa salah satu antara ekstrak ragi, urea, dan tepung kedelai.

Media yang telah diinokulasi jamur ini diinkubasi dalam keadaan statis (tanpa pengocokan) dan gelap pada suhu kamar selama 40 hari. Setelah 40 hari, media dipisahkan dari miselia jamur dengan menggunakan penyaringan vakum corong buchner. Pigmen diekstraksi dari media dengan menggunakan etil asetat (1:1), dengan bantuan corong pemisah. Pigmen dalam etil asetat kemudian dianalisis spektrum serapan sinar nampaknya. Pigmen dalam miselia jamur juga diekstraksi. Miselia dimasukkan ke erlenmeyer yang sudah berisi 20 mL 1N NaOH dan 20 mL etil asetat, yang berfungsi mendisrupsi miselia, sehingga pigmen keluar miselia. Miselia dalam larutan NaOH-etil asetat diinkubasi dengan shaker (150 rpm) pada suhu kamar selama semalam. Keesokan harinya miselia dipisahkan dari larutan basa etil asetat ini dengan penyaringan dengan kertas saring Whatman GF/C. Pigmen yang terekstraksi dalam etil asetat kemudian dianalisis spektrum serapan sinar nampaknya.

#### **Analisis pigmen menggunakan *UV-Visible Spectrophotometry***

Padatan pigmen dilarutkan kembali dalam pelarut etil asetat. Pigmen yang telah dilarutkan diukur serapannya menggunakan *UV-Visible spectrophotometry* Agilent Cary 60 pada panjang gelombang 350 nm -750 nm. Panjang gelombang optimum dari pigmen

kemudian ditentukan dari spektrum hasil spektrofotometri UV-Vis.

#### **Uji pewarnaan kain serta analisis kain secara kolorimetri**

Ekstrak pigmen dalam etil asetat diuapkan dalam vakum menggunakan *rotary evaporator* hingga kering. Pewarnaan kain dilakukan dengan menggunakan metode perendaman dalam 1000 ppm larutan pigmen pada kain yang telah dimordanting. Jenis kain yang diuji adalah katun dan sutera, sedangkan jenis mordant yang digunakan adalah larutan tawas 14% dan larutan besi sulfat 5%. Kain yang telah diwarnai difoto dan nilai RGB yang dihasilkan pada kain diukur dengan *software* RGB Color Detector.

#### **Analisis data**

Data yang diperoleh dianalisis secara statistik. Analisis data berupa massa pigmen ekstraseluler dan intraseluler pada masing-masing perlakuan dilakukan dengan menggunakan uji Duncan jarak berganda ( $p < 0.05$ ) dengan masing-masing perlakuan dilakukan pengulangan sebanyak tiga kali ( $n=3$ ). Analisis data dilakukan dengan menggunakan *software* IBM SPSS Statistic.

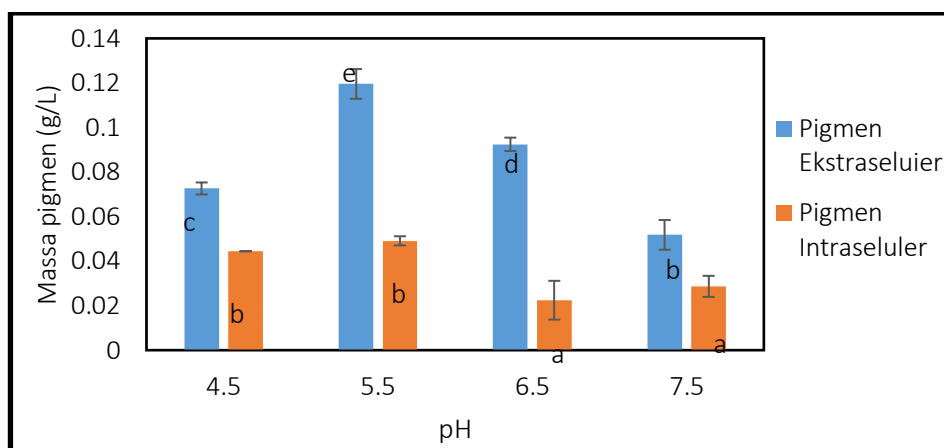
### **III. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pengaruh pH terhadap produksi pigmen

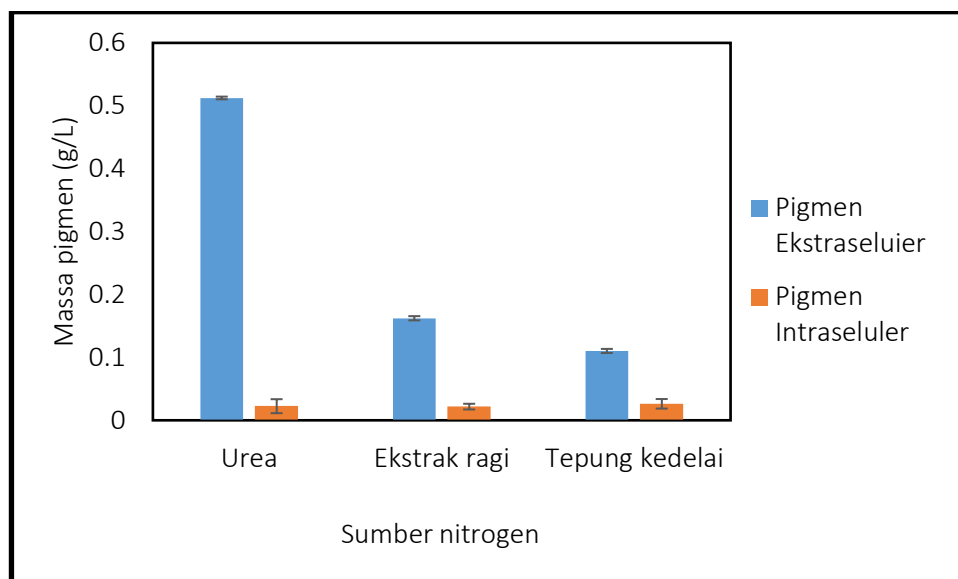
Produksi pigmen dengan variasi pH dilakukan di dalam 50 mL media PDB selama 40 hari pada kondisi gelap secara statis dan temperatur kamar. Data hasil ekstraksi pigmen ekstraseluler dan intraseluler dengan variasi pH dapat dilihat pada Gambar 1. Berdasarkan hasil penelitian, diperoleh bahwa produksi pigmen paling optimal berada pada pH 5,5 bila dibandingkan pada pH 4,5, 6,5 dan 7,5. Hasil analisis Duncan jarak berganda juga menyatakan bahwa massa pigmen yang dihasilkan pada media PDB yang telah difermentasikan dengan *Penicillium* sp. LBKURCC27 pada pH 4,5 hingga 7,5 masing-masing berbeda secara signifikan. Hasil ini berada pada rentang pH yang ditemukan pada penelitian sebelumnya mengenai produksi pigmen oleh jamur *Penicillium* sp. GBPI\_P155 yang memiliki pH optimum pada pH 5 [8] dan penelitian yang

dilakukan mengenai produksi pigmen oleh fungi *Penicillium sclerotiorum* galur AK-1 juga menunjukkan pH optimum dalam produksi pigmen berada pada pH 5 [3].

Produksi pigmen pada jamur *Penicillium*, termasuk *Penicillium* sp. LBKURCC27 berhubungan dengan tempat hidup jamur tersebut. *Penicillium* sp. LBKURCC27 berada pada daerah gambut dengan keasaman tinggi hal ini dikarenakan keasaman berperan dalam memacu produksi metabolit sekunder karena pada lingkungan yang tidak ideal jamur akan mengsekresikan metabolit sekunder untuk mempertahankan dirinya [9]. Nilai pH berhubungan dengan karakteristik permeabilitas dari dinding sel dan membran sehingga akan berefek pada penyerapan ataupun kehilangan ion ke media kultur [10].



Gambar 1. Pengaruh pH media PDB terhadap produksi pigmen ekstraseluler dan intraseluler *Penicillium* sp. LBKURCC27.



Gambar 2. Pengaruh sumber nitrogen media PDB terhadap produksi pigmen ekstraseluler dan intraseluler *Penicillium* sp. LBKURCC27

Nilai pH media kultur akan mempengaruhi fungsi sel membran, morfologi dan struktur sel, solubilitas garam, keadaan ionik dari substrat, penyerapan dari berbagai nutrisi dan produk biosintesis. Sebagai contoh *Penicillium purpurogenum* mengalami peningkatan produksi pigmen seiring dengan peningkatan pH pada media [19] akan tetapi pada *Penicillium purpurogenum* GH2 produksi pigmen tertinggi terjadi pada saat produksi dilakukan pada pH yang rendah (pH 5) [20], sehingga dapat disimpulkan bahwa pertumbuhan sel dan jalur metabolit akan dipengaruhi oleh pH media kultur [10].

#### **Pengaruh sumber nitrogen terhadap produksi pigmen**

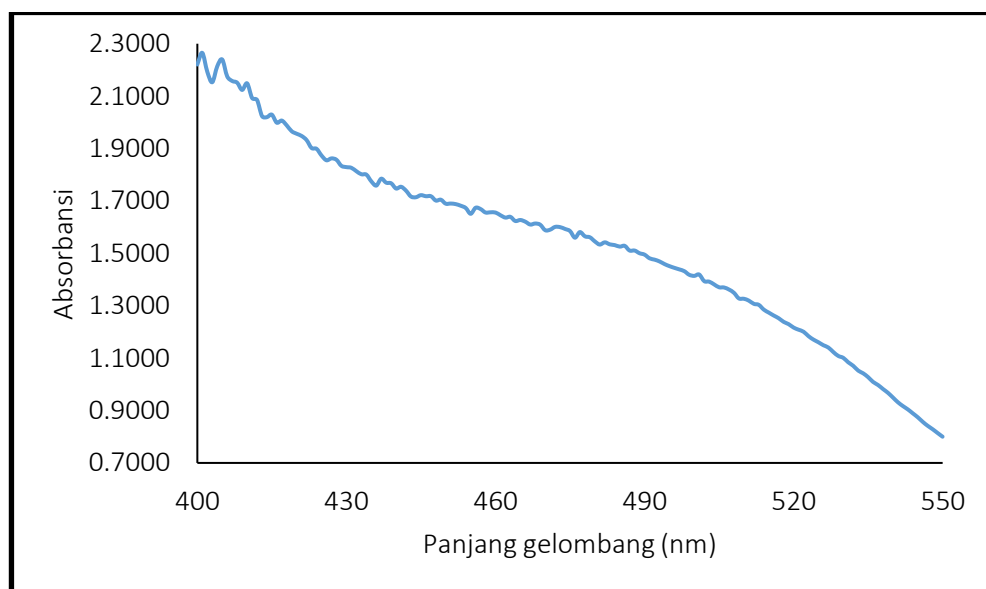
Produksi pigmen dengan variasi sumber nitrogen dilakukan di dalam 50 mL media PDB pH 5,5 selama 40 hari pada kondisi gelap secara statis dan temperatur kamar. Data hasil ekstraksi pigmen ekstraseluler dan intraseluler dengan variasi sumber nitrogen dapat dilihat pada Gambar 2. Gambar 2 menunjukkan bahwa penambahan sumber nitrogen ke dalam media PDB dapat mempengaruhi tingkat produksi pigmen.

Berdasarkan hasil penelitian diperoleh bahwa penambahan urea sebagai sumber nitrogen dapat menghasilkan padatan pigmen yang lebih banyak dan berbeda nyata dibandingkan dengan tepung kedelai dan ekstrak ragi berdasarkan analisis Duncan jarak berganda.

Hal ini berbanding dengan produksi pigmen oleh *Penicillium sclerotiorum* SNB-CN111 yang menunjukkan bahwa ekstrak ragi akan memicu produksi pigmen lebih banyak dibandingkan dengan urea [3]. Produksi pigmen oleh *Penicillium purpurogenum* juga menunjukkan bahwa ekstrak ragi mampu memicu produksi pigmen lebih baik [12]. Produksi pigmen pada penggunaan tepung kedelai sebagai sumber nitrogen menghasilkan padatan pigmen yang lebih sedikit dibandingkan sumber nitrogen lainnya, namun padatan pigmen yang dihasilkan tetap lebih banyak apabila dibandingkan pada saat produksi pigmen tanpa menggunakan sumber nitrogen. Sumber nitrogen akan menyediakan nutrisi yang cukup bagi jamur untuk memproduksi

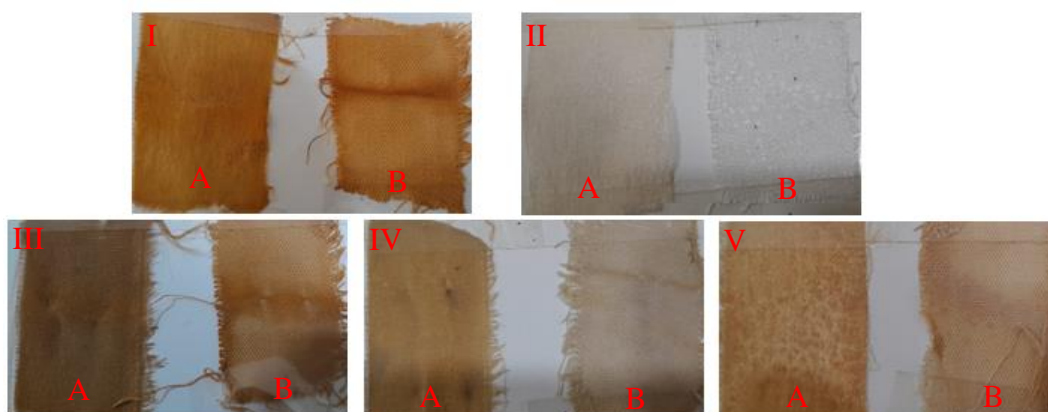
pigmen lebih banyak lagi. Hal ini berkaitan dengan metabolisme jamur yang terpicu untuk memproduksi pigmen sebagai respon terhadap sumber nitrogen [11]. Namun, hubungan antara penambahan sumber nitrogen terhadap produksi pigmen pada sebagian besar *Penicillium* bukan hanya tentang jenis sumber nitrogen terhadap produksi pigmen, akan tetapi lebih mengarah pada jenis galur dan lingkungan jamur yang mempengaruhi fisiologis mikroorganisme tersebut [13]. Respon jamur terhadap sumber nitrogen berbeda walaupun pada spesies yang sama, tergantung pada galur dan lingkungan asal jamur tersebut diisolasi [13].

Analisis panjang gelombang optimum pigmen yang dihasilkan



**Gambar 3.** Spektrum pigmen warna yang dilarutkan dalam etil asetat dengan pembesaran pada panjang gelombang 400-550 nm





Gambar 4. Kontrol kain dengan mordanting besi sulfat (I) dan tawas (II) serta pewarnaan kain dengan pigmen menggunakan mordant besi sulfat (III) dan mordant tawas (IV) serta pewarnaan kain menggunakan sisa ekstrak dengan mordant tawas (V). A merupakan kain sutera dan B merupakan kain katun.

Spektrofotometri dilakukan untuk mengetahui puncak gelombang optimum dari pigmen yang dihasilkan. Spektrum yang didapat dapat digunakan untuk analisis komponen pada sampel dan rentang warnanya [3]. Penentuan panjang gelombang optimum pigmen yang dihasilkan dilakukan menggunakan spektrofotometer UV-Vis dengan panjang gelombang 380-800 nm. Gambar 3 merupakan spektrum spektrofotometri UV-Vis dengan pembesaran pada rentang panjang gelombang 400-550 nm. Spektrum menunjukkan bahwa terdapat adanya lebih dari satu puncak pada rentang panjang gelombang 400-550 nm yang menunjukkan bahwa adanya lebih dari satu senyawa berwarna, sehingga puncak tunggal tidak diperoleh. Data berupa puncak pada panjang gelombang 400-550 nm tersebut

menunjukkan bahwa pigmen yang dihasilkan merupakan pigmen yang berwarna jingga hingga kuning.

Pewarnaan kain dan analisis kolorimetri Pigmen yang dihasilkan digunakan untuk uji pewarnaan kain. Kain yang digunakan pada penelitian ini adalah kain sutera dan kain katun. Pewarnaan kain didahului proses mordanting dengan menggunakan tawas dan besi sulfat, proses mordanting ini bertujuan untuk mengikat pigmen warna pada kain sehingga warna dapat melekat dengan baik pada permukaan kain.

Gambar 4 menunjukkan perubahan warna yang terjadi pada kain katun dan sutera, dimana diperoleh bahwa pewarnaan kain dengan proses mordant besi sulfat menghasilkan warna yang lebih gelap dibandingkan dengan kain yang diwarnai

dengan mordant tawas, hal tersebut dikarenakan reaksi yang antara pigmen dengan proton  $Fe^{2+}$  yang membentuk kompleks dengan warna gelap ketika dilakukan proses pewarnaan [14]. Berdasarkan hasil dari uji pewarnaan kain, diperoleh bahwa kain sutera mampu mengikat warna lebih baik bila dibandingkan dengan kain katun hal ini ditandai dengan warna kain yang lebih tebal. Hal ini terjadi karena perbedaan bahan dasar dari masing-masing kain dimana kain sutera merupakan kain yang berbahan dasar protein yaitu protein cericin

dan fibroin [15] sedangkan kain katun merupakan kain yang berbahan dasar karbohidrat yaitu selulosa[16]. Penyerapan warna pada kain sutera yang lebih baik dibandingkan kain katun ini dikarenakan kain sutera memiliki gugus ionik yang dapat berikatan dengan pigmen alami yang memiliki gugus ionik dalam struktur pigmen alami sedangkan kain katun tidak memiliki gugus reaktif yang dapat mengikat pigmen sehingga sangat bergantung pada mordant untuk mengikat warna [17].

Tabel 1. Hasil analisis kolorimetri

Jenis kain dan jenis mordant	R	G	B
Sutra dengan mordant besi sulfat	193,1	147,3	84,5
Katun dengan mordant besi sulfat	202,9	153,9	86,9
Sutra dengan mordant tawas	213,2	201,6	184,9
Katun dengan mordant tawas	209	207,2	208,4
Sutra dengan mordant besi sulfat + pigmen	156,8	115,8	74,1
Katun dengan mordant besi sulfat + pigmen	184,2	140,9	88
Sutra dengan mordant tawas + pigmen	155	118	76
Katun dengan mordant tawas + pigmen	194,3	174	147
Sutra dengan mordant besi sulfat + sisa ekstrak	181,1	138,1	83,1
Katun dengan mordant besi sulfat + sisa ekstrak	183,8	152,5	109

Warna pigmen yang dihasilkan perlu diuji di dalam penelitian untuk mengetahui rentang warnanya pada saat pengaplikasian [18]. Berdasarkan uji kolorimetri, warna yang dihasilkan pada kain yang diwarnai berupa warna coklat hingga jingga. Data yang dihasilkan berupa RGB yang merupakan data yang menunjukkan koordinat kromatisitas primer aditif yang berupa merah, hijau dan biru yang ditunjukkan pada Tabel 1.

#### IV. KESIMPULAN

Produksi pigmen jingga dari *Penicillium* sp. LBKURCC27 menunjukkan potensi sebagai alternatif pengganti pewarna sintetis. Proses produksi pigmen dalam penelitian ini dilakukan dalam keadaan gelap dan statis, menggunakan media cair *Potato Dextrose Broth* (PDB). Produksi pigmen dapat dipicu dengan lebih baik dengan cara melakukan produksi pada pH 5,5, karena ada hubungan antara daerah asal isolat dan karakteristik jamur sehingga memproduksi pigmen lebih banyak sebagai respon terhadap lingkungannya. Sumber nitrogen dapat memicu jamur untuk menghasilkan pigmen yang lebih banyak karena menyediakan nutrisi yang dibutuhkan jamur untuk memproduksi pigmen. Sumber nitrogen yang terbaik pada penelitian ini adalah urea. Pewarnaan pada kain dilakukan dengan menggunakan pigmen hasil produksi yang dapat mewarnai kain pada

rentang warna coklat hingga jingga. Pewarnaan kain dengan proses mordanting besi sulfat menghasilkan warna yang lebih gelap dibandingkan dengan kain yang diwarnai dengan mordanting tawas. Pewarnaan dengan pigmen dari *Penicillium* sp. LBKURCC27 pada kain sutera lebih gelap dibandingkan kain katun. Diharapkan penelitian ini menjadi solusi atau alternatif untuk mengatasi dampak lingkungan yang dihasilkan dari pigmen warna sintesis.

#### V. UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didukung oleh Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi dalam rangka pelaksanaan Program Kreativitas Mahasiswa - Riset Eksakta tahun 2023 dan Universitas Riau. Terima kasih kepada UKM Batik Betawi Terogong yang telah bersedia menjadi mentor dalam proses pewarnaan kain serta menyumbangkan kain katun dan sutera china sehingga penelitian ini dapat berjalan lancar.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Al-Tohamy, S. S. Ali, F. Li, K. M. Okasha, Y. A.-G. Mahmoud, T. Elsamahy, H. Jiao, Y. Fu, J. Sun, "A critical review on the treatment of dye-containing wastewater: Ecotoxicological and health concerns of textile dyes and possible remediation approaches for environmental safety,"

- Ecotoxicol Environ Saf*, vol. 231, p. 113160, Feb. 2022, doi: 10.1016/j.ecoenv.2021.113160.
- [2] H. B. Slama, A. C. Bouket, Z. Pourhassan, F. N. Alenezi, A. Silini, H. Cherif-Silini, T. Oszako, L. Luptakova, P. Golińska and L. Belbahri, "Diversity of synthetic dyes from textile industries, discharge impacts and treatment methods," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 11, no. 14, Jul. 2021, doi: 10.3390/app11146255.
- [3] A. Kallingal, A. Ayyolath, V. T. Kundil, T. M. Joseph, N. Chandra D, J. T. Haponiuk, S. Thomas, J. Variyar E, "Extraction and optimization of *Penicillium sclerotiorum* strain AK-1 pigment for fabric dyeing," *J Basic Microbiol*, vol. 61, pp. 1–10, Oct. 2021, doi: 10.1002/jobm.202100349.
- [4] A. A. Khan, A. M. Alshabi, Y. S. Alqahtani, A. M. Alqahtani, R. S. Bennur, I. A. Shaikh, U. M. Muddapur, S. M. S. Iqubal, T. Mohammed, A. Dawoud, S. S. More, M. S. Maqbul, "Extraction and identification of fungal pigment from *Penicillium europium* using different spectral studies," *J King Saud Univ Sci*, vol. 33, no. 4, p. 101437, Jun. 2021, doi: 10.1016/j.jksus.2021.101437.
- [5] V. A. Hernández, Á. Machuca, I. Saavedra, D. Chavez, A. Astuya, and C. Barriga, "Talaromyces australis and *Penicillium murcianum* pigment production in optimized liquid cultures and evaluation of their cytotoxicity in textile applications," *World J Microbiol Biotechnol*, vol. 35, p. 160, Oct. 2019, doi: 10.1007/s11274-019-2738-2.
- [6] M. Sarip, T. T. Nugroho, and H. Y. Teruna, M. S., "Isolasi, uji aktivitas, dan aktivitas spesifik enzim selulase *Penicillium* sp. LBKURCC27 semimurni melalui pengendapan  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ." *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Riau*, vol. 1, No.1, pp. 1-6, Apr. 2014.
- [7] R. Gmoser, J. A. Ferreira, P. R. Lennartsson, and M. J. Taherzadeh, "Filamentous ascomycetes fungi as a source of natural pigments," *Fungal Biology and Biotechnology*, vol. 4, no. 4. BioMed Central Ltd, pp. 1–25, 2017. doi: 10.1186/s40694-017-0033-2.
- [8] N. Pandey, R. Jain, A. Pandey, and S. Tamta, "Optimisation and characterisation of the orange pigment produced by a cold adapted strain of *Penicillium* sp. (GBPI\_P155) isolated from mountain ecosystem," *Mycology*, vol. 9, no. 2, pp. 81–92, Apr. 2018, doi: 10.1080/21501203.2017.1423127.

- [9] N. Kote, A. C. Manjula, T. Vishwanatha, and A. G. G. Patil, "High-yield production and biochemical characterization of  $\alpha$ -galactosidase produced from locally isolated *Penicillium* sp.," *Bull Natl Res Cent*, vol. 44, no. 168, Dec. 2020, doi: 10.1186/s42269-020-00420-x.
- [10] J. N. Merlin, I. V. S. N. Christudas, P. P. Kumar, and Agastian. P, "Optimization of growth and bioactive metabolite production: *Fusarium solani*," *Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research*, vol. 6, no. 3, pp. 98–103, 2013, [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/260682635>
- [11] A. M. Elattaapy and M. A. E. Selim, "Factors Affecting Red Pigment Production by Local Fungal Isolate of *Penicillium* sp.," *Journal of Agricultural Chemistry and Biotechnology*, vol. 11, no. 9, pp. 255–261, Sep. 2020, doi: 10.21608/jacb.2020.123892.
- [12] V. C. Santos-Ebinuma, I. C. Roberto, M. F. Simas Teixeira, and A. Pessoa, "Improving of red colorants production by a new *Penicillium purpurogenum* strain in submerged culture and the effect of different parameters in their stability," *Biotechnol Prog*, vol. 29, no. 3, pp. 778–785, May 2013, doi: 10.1002/btpr.1720.
- [13] A. Aftab, S. T. F. Muhammad, N. Akbar, S. Khaliq, A. Sajjad, M. A. Kakar, "Pigment production in *penicillium*: different methods of optimization in submerged fermentation," *Pak-Euro Journal of Medical and Life Sciences*, vol. 4, no. 1, pp. 77–95, 2021, doi: 10.31580/pjmls.v4iSpecial.
- [14] W. Pancapalaga, E. Ishartati, and T. Ambarwati, "The Color Fastness and Quality of Eco-Printed Leather with Different Types of Mordant in Natural Dyes from Mangrove Extract (*Rhizophora mucronata*)," *Tropical Animal Science Journal*, vol. 45, no. 3, pp. 368–373, 2022, doi: 10.5398/tasj.2022.45.3.368.
- [15] C. B. Marín, V. Fitzpatrick, D. L. Kaplan, J. Landoulsi, E. Guénin, and C. Egles, "Silk Polymers and Nanoparticles: A Powerful Combination for the Design of Versatile Biomaterials," *Front Chem*, vol. 8, p. 604398, Dec. 2020, doi: 10.3389/fchem.2020.604398.
- [16] G. Shimpi N, *Biodegradable and Biocompatible Polymer Composites: Processing, Properties and*

- Applications*, 1st ed. Britania Raya: Woodhead Publishing, 2018.
- [17] V. K. Gupta, "Fundamentals of Natural Dyes and Its Application on Textile Substrates," in *Fundamentals of Natural Dyes and Its Application on Textile Substrates. Chemistry and Technology of Natural and Synthetic Dyes and Pigments*, London: IntechOpen, 2019, pp. 1–32. [Online]. Available: [www.intechopen.com](http://www.intechopen.com)
- [18] M. A. Toma, M. H. Rahman, M. S. Rahman, M. Arif, K. H. M. N. H. Nazir, and L. Dufossé, "Fungal Pigments: Carotenoids, Riboflavin, and Polyketides with Diverse Applications," *Journal of Fungi*, vol. 9, no. 4, p. 454, Apr. 2023, doi: 10.3390/jof9040454.
- [19] E. F. Ahmed. W. A. Elkhateeb, M. A. Taleb, S. I. Mowafi, and I. S. Abdelsalam, "Wool and Silk Fabrics Dyeing by Mannitol-assisted Pigment Produced from *Penicillium purpurogenum*," *Der Pharma Chemica*, vol. 10, no. 10, pp. 166-175, 2018.
- [20] E. Méndez, C. Pérez, J. C. Montañéz, G. Martínez, C. N. Aguilar, "Red pigment production by *Penicillium purpurogenum* GH2 is influenced by pH and temperature," *Journal of Zhejiang University-SCIENCE B (Biomedicine & Biotechnology)*, vol. 12, no. 12, pp. 961-968, 2011, doi: 10.1631/jzus.B1100039