



## Dyeing Cotton and Nylon Fabrics Using Natural Dyes from *Hibiscus rosa-sinensis* Leaf Extract Using Infrared Dyeing Technique

Mia Karlina<sup>1\*</sup> & Abdurrohman<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Prodi Kimia Tekstil, Politeknik STTT Bandung, Bandung, Indonesia

<sup>2</sup>Prodi Teknik Tekstil, Politeknik STTT Bandung, Bandung, Indonesia

\*Corresponding Author e-mail: [miakarlina65@gmail.com](mailto:miakarlina65@gmail.com)

### Article History

Received: 15-12-2025

Revised: 08-02-2026

Published: 28-02-2026

**Keywords:** *Hibiscus rosa-sinensis*; Natural Dyes; Cotton and Nylon Fabrics; Infrared Dyeing Technique; Mordants.

### Abstract

The use of synthetic dyes in the textile industry continues to increase due to several advantages including a wide color range, high color fastness, ease of application, and relatively low cost. However, the massive use of synthetic dyes produces dye waste that is difficult to degrade naturally, potentially polluting the environment and increasing the burden on wastewater treatment. This study aims to evaluate the potential of *Hibiscus rosa-sinensis* leaf extract as a source of natural dyes on cotton and nylon fabrics using various types of mordants. Fresh leaves were dried and ground before being extracted using the maceration method with water as the solvent. The resulting extract was then subjected to dyeing processes using infra-red (IR) techniques. Mordanting was carried out with various mordants, namely potassium aluminum sulfate ( $KAl(SO_4)_2$ ), ferrous sulfate ( $FeSO_4$ ), potassium dichromate ( $K_2Cr_2O_7$ ), and copper sulfate ( $CuSO_4$ ) using a pre-mordanting method. Evaluation of the results was carried out based on colorimetric values ( $K/S$ ,  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*$ , and  $h^\circ$ ) and fastness tests to washing and rubbing. The results showed that the use of mordant increased the color intensity of both types of fabrics. The sample processed using mordant showed excellent color fastness to washing and rubbing.

## Pewarnaan Kain Kapas dan Nilon Menggunakan Pewarna Alami Ekstrak Daun *Hibiscus rosa-sinensis* dengan Teknik Celup Inframerah

### Sejarah Artikel

Diterima: 15-12-2025

Direvisi: 08-02-2026

Dipublikasi: 28-02-2026

**Keywords:** *Hibiscus rosa-sinensis*; Pewarna Alami; Kain Katun dan Nilon; Teknik Celup Inframerah; Mordan.

### Abstrak

Penggunaan pewarna sintetis dalam industri tekstil terus meningkat karena beberapa keunggulan antara lain rentang warna yang luas, tahan luntur warna yang tinggi, kemudahan aplikasi, dan biaya yang relatif rendah. Namun, penggunaan pewarna sintetis secara masif menghasilkan limbah pewarna yang sulit terdegradasi secara alami, berpotensi mencemari lingkungan dan meningkatkan beban pengolahan air limbah. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi potensi ekstrak daun *Hibiscus rosa-sinensis* sebagai sumber pewarna alami pada kain katun dan nilon menggunakan berbagai jenis mordan. Daun segar dikeringkan dan digiling sebelum diekstraksi menggunakan metode maserasi dengan air sebagai pelarutnya. Ekstrak yang dihasilkan kemudian mengalami proses pencelupan menggunakan teknik inframerah (IR). Mordanting dilakukan dengan berbagai mordan, yaitu kalium aluminium sulfat ( $KAl(SO_4)_2$ ), ferrous sulfate ( $FeSO_4$ ), kalium dikromat ( $K_2Cr_2O_7$ ), dan tembaga sulfat ( $CuSO_4$ ) dengan menggunakan metode pre-mordanting. Evaluasi hasil dilakukan berdasarkan nilai kolorimetri ( $K/S$ ,  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*$ , dan  $h^\circ$ ) dan uji tahan luntur hingga pencucian dan penggosokan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan mordant meningkatkan intensitas warna kedua jenis kain. Sampel yang diproses menggunakan mordant menunjukkan tahan luntur warna yang sangat baik untuk mencuci dan menggosok.

**How to Cite:** Karlina, M., & Abdurrohman. (2025). Dyeing Cotton and Nylon Fabrics Using Natural Dyes from *Hibiscus Rosa Sinensis* Leaf Extract Using Infrared Dyeing Technique. *Hydrogen: Jurnal Kependidikan Kimia*, 14(1), 141-149. <https://doi.org/10.33394/hjkk.v14i1.18852>

 <https://doi.org/10.33394/hjkk.v14i1.18852>

This is an open-access article under the [CC-BY-SA License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).



## PENDAHULUAN

Zat warna sintetis banyak digunakan dalam pewarnaan dibidang tekstil. Pengembangan produksi yang besar, ketahanan luntur yang baik, rentang warna yang luas, kemudahan dalam aplikasi serta harga yang murah menyebabkan zat warna sintetis semakin banyak digunakan (Yadav dkk. 2023). Data yang diperoleh dari *Market Growth Reports* pada tahun 2024 penggunaan zat warna sintetis senilai USD 5029,55 juta dan akan meningkat pada tahun 2033 menjadi USD 6448,67 dengan CAGR sebanyak 2,8%. Penggunaan zat warna sintetis yang semakin meningkat juga menimbulkan kekhawatiran mengenai efek negatif bagi lingkungan dan kesehatan masyarakat (Bekele dkk. 2024).

Zat warna sintetis dapat menjadi polutan yang mengkontaminasi air, memengaruhi ekosistem perairan dan mengurangi nilai estetikanya (Tkaczyk dkk. 2020). Selain itu, zat warna sintetis memiliki struktur yang kompleks serta tahan terhadap degradasi dengan teknik konvensional sehingga sulit dihilangkan dari air limbah (Al-Tohamy dkk. 2022).

Masyarakat kini semakin sadar untuk menggunakan zat warna yang berasal dari alam karena memiliki kelebihan diantaranya *biodegradable* dan tidak beracun sehingga lebih aman bagi lingkungan dalam hal pembuangan (Pargai dkk. 2020). Namun demikian, terdapat kekurangan dari penggunaan zat warna alam diantaranya afinitas terhadap serat yang rendah yang dapat ditanggulangi dengan penggunaan mordan dalam proses tekstil (Singhee 2020).

Mordan yang umum digunakan seperti alum (aluminium potasium sulfat), krom (potassium dikromat), tembaga (copper sulfat), besi (fero sulfat) dan tin (stannous klorida) (Kambo 2020). Selain itu, produksi zat warna alam membutuhkan biaya lebih tinggi serta ketahanan luntur warna yang kurang baik (Sarma dkk. 2025).

*Hibiscus rosa sinensis* merupakan tanaman yang umum ditemukan di Indonesia dan dikenal dengan nama tanaman kembang sepatu. Spesies ini termasuk dalam family Malvaceae dan dapat tumbuh di daerah tropis dan subtropis (Kumar dan Kumar 2022). Beberapa jaringan tanaman hibiscus telah lama dimanfaatkan dalam pengobatan tradisional untuk merangsang pertumbuhan rambut, mengobati hipertensi dan antifertilitas (Shaba dkk. 2025).

Berdasarkan uji fitokimia pada ekstrak air daun hibiscus positif mengandung kelompok senyawa flavonoid, alkaloid, polifenol, karbohidrat, terpen, tanin dan saponin (Priya dan Sharma 2021). Selain itu, uji kuantitatif pada ekstrak daun hibiscus rosa sinensis menunjukkan kandungan total monomer antosianin sebanyak 158 mg/ 100 g berat kering, kandungan total fenol 40,25 mg/ gram ekuivalen asam gallat dan kandungan total flavonoid 35,33 mg ekuivalen kuersetin /100 gram berat kering (Anand dan Sarkar 2017).

Adanya kelompok senyawa flavonoid, polifenol, tannin dan antosianin pada ekstrak daun Hibiscus rosa sinensis ini dapat dimanfaatkan untuk zat warna alam pada proses pewarnaan tekstil. Berdasarkan penelusuran literatur, isolasi dari ekstrak metanol daun Hibiscus rosa sinensis mengandung kelompok senyawa flavonoid yaitu scutellarein-6-O-rhamanoside-8-C-glukosida dan apigenin-6-C-glukosida (Olayiwola dkk. 2021).

Kapas (*Gossypium spp.*) merupakan tanaman penghasil serat terbesar di dunia dengan produksi sebesar 25 juta metrik ton per tahun dan permintaannya telah meningkat secara signifikan dalam beberapa tahun terakhir (Eleutério dkk. 2025). Menurut laporan Lenzing, pada tahun 2023 konsumsi kapas Indonesia sekitar 1,8 juta bal (sekitar 381.000 ton) dan diperkirakan produksi global serat selulosa diperkirakan mencapai 25-50 juta ton per tahun pada 2030. Selain serat alam, kini banyak digunakan serat sintetis untuk tekstil salah satunya serat nylon. Nylon merupakan serat sintetis dengan penggunaan terbanyak kedua setelah poliester. Pada tahun 2022 diperkirakan 109 juta ton serat tekstil diproduksi dengan persentase serat terbanyak poliester (57 juta ton) diikuti nylon (5 juta ton) nylon menyumbang sekitar 5% dari pasar serat global (Moreno-Marrodán dkk. 2024).

Kain nylon biasa digunakan untuk pakaian olahraga, pakaian dalam, pakaian renang, parasut, tali, serta dalam komponen otomotif (Ndagano dkk. 2025). Nylon memiliki kekuatan, elastisitas dan ketahanan terhadap abrasi dan bahan kimia yang bagus (Basavaraj dkk. 2016). Nylon memiliki gugus amida (-CONH-) pada strukturnya yang dapat berinteraksi dengan gugus zat warna asam yang terdapat dalam banyak zat warna alam melalui ikatan ionik dan

ikatan hidrogen (Rehman dkk. 2022). Selain itu, penggunaan mordan dapat menambah ketahanan warna, ketahanan terhadap pencucian, gosokan dan keringat dari kain yang dicelup dengan zat warna alam (Prabhu dan Bhute 2012). Seperti halnya serat alam, proses pewarnaan serat nilon hingga saat ini masih didominasi oleh penggunaan zat warna sintetis, terutama zat warna asam (EL-Sayed dan El-Hawary 2022), dispersi (Shah dkk. 2014), dan reaktif (Park dkk. 2016).

Zat warna alam dapat menjadi alternatif pewarnaan serat alam dan sintetis. Namun, saat ini belum ada penelitian yang menyelidiki aplikasi daun *Hibiscus rosa sinensis* untuk pewarnaan kain kapas dan nylon. Oleh karena itu, penelitian kali ini bertujuan untuk menganalisis ekstrak daun *Hibiscus* digunakan sebagai pewarna alami untuk kain kapas dan nylon dengan menggunakan mordan untuk meningkatkan afinitas zat warna ke kain. Evaluasi dari hasil pencelupan dilakukan dengan koordinat warna dan ketahanan warna. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan referensi ilmiah untuk penelitian selanjutnya serta memberikan kontribusi bagi pengembangan pewarna yang lebih efisien dan ramah lingkungan.

## METODE PENELITIAN

### Bahan

Kain kapas dan nylon di dapat dari toko lokal di Bandung. Daun *Hibiscus rosa sinensis* diperoleh dari Pati. Mordan yang digunakan yaitu kalium potassium sulfat  $KAl(SO_4)_2$  fero sulfat ( $FeSO_4$ ), potassium dikromat ( $K_2Cr_2O_7$ ) dan tembaga sulfat ( $CuSO_4$ ) serta natrium karbonat ( $Na_2CO_3$ ).

### Zat Warna Alam

Larutan zat warna diekstrak dari 100gram daun *Hibiscus* di keringkan dalam oven pada suhu  $50^{\circ}C$  selama 24 jam. Daun yang sudah kering dihaluskan dan ditambahkan 3 Liter air lalu dipanaskan selama 1 jam dengan suhu  $70^{\circ}C$  (Mahmud-Ali dkk. 2024).

### Mordan

Empat jenis mordan yang digunakan yaitu kalium potassium sulfat  $KAl(SO_4)_2$  fero sulfat ( $FeSO_4$ ), potassium dikromat ( $K_2Cr_2O_7$ ) dan tembaga sulfat ( $CuSO_4$ ) (Kumar dkk. 2023).

### Preparasi Bahan

Preparasi kain untuk dicelup dengan zat warna dari ekstrak daun hibiscus termasuk proses pretreatment dan pre-mordanting. Hasil penggunaan tiga jenis mordan untuk pre-

mordanting kain kapas dan nylon disajikan pada Tabel 1. ((Northern University Bangladesh, Department of Textile Engineering, Kawlar Jamea Masjid Road 111/2, Dhaskhin Khan, Khilkhet, Dhaka 1229, Bangladesh dkk. 2020).

**Tabel 1. Variasi pengerjaan sampel**

Desain Sampel	Deskripsi Sampel
S1	Kain kapas dicelup tanpa mordan
S2	Kain kapas dicelup dengan mordan $KAl(SO_4)_2$
S3	Kain kapas dicelup dengan mordan $FeSO_4$
S4	Kain kapas dicelup dengan mordan $K_2Cr_2O_7$
S5	Kain kapas dicelup dengan mordan $CuSO_4$
S6	Kain nylon dicelup tanpa mordan
S2	Kain nylon dicelup dengan mordan $KAl(SO_4)_2$
S7	Kain nylon dicelup dengan mordan $FeSO_4$
S8	Kain nylon dicelup dengan mordan $K_2Cr_2O_7$
S9	Kain nylon dicelup dengan mordan $CuSO_4$

### Pemordanan

Jenis mordan yang aluminium potassium sulfat ( $KAl(SO_4)_2$ ), fero sulfat ( $FeSO_4$ ), potassium dikromat ( $K_2Cr_2O_7$ ) dan tembaga sulfat ( $CuSO_4$ ) (Atikah dkk., 2022). Konsentrasi Mordan : 5 g/L, Waktu : 45 jam, Suhu :  $60^{\circ}C$

### Pencelupan

Radiasi inframerah dimanfaatkan sebagai sumber pemanasan dalam proses pengolahan tekstil karena kemampuannya menghasilkan pemanasan yang cepat, sehingga berkontribusi terhadap pengurangan konsumsi energi, peningkatan laju produksi, dan penurunan biaya operasional. (Bydoon, 2019). Teknik pemanasan inframerah dalam proses pencelupan tergolong sebagai pendekatan ramah lingkungan, karena menghasilkan fiksasi zat warna yang lebih tinggi sehingga secara signifikan menurunkan residu zat warna dan elektrolit yang terbuang ke dalam limbah cair apabila dibandingkan dengan teknik pencelupan konvensional. (Debasree Paul dkk. 2017). Konsentrasi zat warna : 100 %, dengan Vlot : 1:20, Konsentrasi  $Na_2CO_3$  : 5 g/L, waktu : 90 menit, dan suhu :  $80^{\circ}C$

### Pengukuran Koordinat Warna

Spektrofotometer YS6060 Benchtop-3nh digunakan untuk menentukan koordinat warna dengan metode CIE  $L^*a^*b^*$  atau CIELCH. L untuk nilai lightness/ darkness,  $a^*$  axis red/ green,  $+a$  menunjukkan redder  $-a$  menunjukkan greener,  $b^*$  axis yellow/ blue,  $+b$  menunjukkan yellower  $-b$  menunjukkan bluer, C untuk chroma,  $+ve$

merepresentasikan brighter dan -ve menunjukkan duller, H untuk hue (Chao dkk. 2017).

### Pengukuran Ketahanan Warna

Nilai K/S digunakan pada spektrofotometer untuk mengamati kekuatan warna yang ditunjukkan dengan persamaan Kubelka-Munk :

$$K/S = \frac{(1 - R)^2}{2R}$$

K merupakan koefisien penyerapan (cahaya yang diserap); S adalah koefisien penyebaran cahaya; R adalah nilai persentase reflektansi ( $\lambda_{max}$ ) (Zarkogianni dkk. 2011).

### Evaluasi Ketahanan Warna terhadap Pencucian

Standar digunakan untuk mengukur ketahanan warna terhadap pencucian pada kain yang telah dicelup dengan ekstrak daun kembang Sepatu. Pada metode ini, kain warna (10 cm x 4 cm) dijahit dan dilapisi dengan kain multifiber. Kain multifiber ini terdiri dari beberapa jenis serat berbeda dalam satu lembar kain. Biasanya terdiri dari pita-pita serat yang dijahit menjadi satu kain, dengan urutan umumnya kapas, poliester, poliamida, akrilat, wool dan asetat. Sampel diperlakukan menggunakan sabun ECE selama 40°C selama 30 menit kemudian ketahanan warna terhadap pencucian diamati menggunakan grey scale dan staining scale. (Avinc dkk. 2013).

### Evaluasi Ketahanan Warna terhadap Gosokan

Standar digunakan untuk mengukur ketahanan warna terhadap gosokan pada kain yang telah

dicelup dengan ekstrak daun kembang Sepatu. Pada metode ini, kain warna (20 cm x 2,5 cm) disimpan dalam crock meter dan finger crockmeter ditutup dengan sampel kain (5x5 cm).

Sampel digosok dengan finger 10 bolak balik selama 10 detik. Untuk gosokan basah, kain pada finger crock ditambahkan air lalu digosok. Ketahanan warna terhadap gosokan diamati menggunakan grey scale dan staining scale (Mia dkk. 2022).

### Evaluasi Ketahanan Warna terhadap Gosokan

Standar digunakan untuk mengukur ketahanan warna terhadap gosokan pada kain yang telah dicelup dengan ekstrak daun kembang Sepatu. Pada metode ini, kain warna (20 cm x 2,5 cm) disimpan dalam *crock meter* dan *finger crockmeter* ditutup dengan sampel kain (5x5 cm).

Sampel digosok dengan *finger* 10 bolak balik selama 10 detik. Untuk gosokan basah, kain pada finger crock ditambahkan air lalu digosok. Ketahanan warna terhadap gosokan diamati menggunakan *grey scale* dan *staining scale* (Mia dkk. 2022)

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem koordinat warna baik CIE Lab maupun CIE LCh digunakan untuk mengkaji parameter warna yang disajikan pada Tabel 2. Selain itu analisis evaluasi ketahanan gosok dan pencucian pada sampel disajikan pada Tabel 3.

**Tabel 2. Data Kolorimetri Kain Kapas dan Nylon yang Diwarnai dengan Ekstrak Daun *Hibiscus rosa sinensis* dengan dan Tanpa Mordan Menggunakan Teknik Infrared**

Kain	Mordan	Nilai K/S	Koordinat Warna				
			L*	a*	b*	C*	h°
Kapas	Non Mordan	0,16	82,78	-0,67	2,24	2,34	106,93
	KAl(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	0,67	77,78	-0,34	11,38	11,39	91,77
	FeSO <sub>4</sub>	0,56	78,78	1,32	12,03	12,10	83,83
	K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	0,18	82,52	-0,72	3,24	3,32	102,55
	CuSO <sub>4</sub>	0,20	82,10	-1,29	3,70	3,92	109,23
Nylon	Non Mordan	0,37	78,96	-1,69	4,05	4,38	112,69
	KAl(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	0,36	78,72	-1,03	3,86	3,99	104,96
	FeSO <sub>4</sub>	0,61	77,43	-0,65	8,49	8,52	94,44
	K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	0,32	79,01	-1,09	2,60	2,82	112,69
	CuSO <sub>4</sub>	0,34	79,04	-1,99	2,85	3,48	125,40

Nilai K/S menunjukkan kemampuan kain dalam menyerap warna, dimana nilai yang lebih besar menunjukkan penyerapan zat warna yang lebih tinggi dan warna yang tampak lebih gelap (Pamungkas dkk. 2021). Pada kain kapas perlakuan tanpa mordan menunjukkan nilai K/S yang rendah (0,16), hal ini menunjukkan tingkat penye-

rapan warna yang relatif rendah. Penambahan mordan sebelum proses pencelupan menggunakan ekstrak daun hibiscus rosa sinensis menunjukkan KAl(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> menghasilkan penyerapan yang paling tinggi pada kain kapas dengan nilai K/S 0,67. Hal ini menunjukkan terbentuknya kompleks zat warna-logam-serat yang lebih stabil se-

hingga warna tampak lebih tua (Huang dkk. 2024).

Mordan  $\text{FeSO}_4$  menunjukkan nilai K/S tertinggi kedua (0,56) setelah  $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$ . Hal ini dimungkinkan karena kemampuan ion  $\text{Fe}^{2+}$  membentuk ikatan koordinasi kuat dengan gugus fenolat dan gugus hidroksil selulosa (Ihsan dkk. 2020). Penggunaan mordan  $\text{CuSO}_4$  pada kapas menghasilkan nilai K/S 0,20, juga relatif rendah, yang dapat dikaitkan dengan interaksi  $\text{Cu}^{2+}$  yang tidak sekuat  $\text{Al}^{3+}$  atau  $\text{Fe}^{2+}$  terhadap situs pengikatan pada zat warna maupun serat. Sementara itu penggunaan  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  pada kapas memberikan nilai K/S 0,18 yang hanya selisih 0,02 lebih tinggi dibanding tanpa mordan. Hal ini menunjukkan pembentukan kompleks yang kurang efisien (Kumaresan dkk. 2010).

Pada kain nylon tanpa mordan memiliki nilai K/S lebih tinggi dibanding kain kapas tanpa mordan. Hal ini dapat dimungkinkan karena nylon yang lebih mudah berinteraksi dengan zat warna dibanding kain kapas. Penambahan mordan  $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$ ,  $\text{CuSO}_4$  dan  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  tidak berpengaruh secara signifikan pada nilai K/S kain nylon. Mordan  $\text{FeSO}_4$  menambah penyerapan warna dengan nilai K/S tertinggi (0,61) dibanding penggunaan mordan lain. Hal ini menunjukkan kompleks zat warna-Fe pada serat nylon paling stabil (Purwar, 2016).

Analisis koordinat warna ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*$ , dan  $h^\circ$ ) pada kain kapas tanpa mordan menunjukkan nilai  $L^*$  tertinggi menunjukkan warna paling terang (Cabral dkk. 2024). Nilai *lightness* pada kain kapas berkisar antara 77 hingga 83, yang menunjukkan perbedaan kecerahan dari agak terang hingga sedikit lebih gelap. Sampel kapas tanpa mordan memiliki  $L^*$  paling tinggi (82,78), menandakan warna paling cerah karena penyerapan zat warna yang minimal selaras dengan nilai K/S yang rendah. Penggunaan mordan menyebabkan penurunan nilai  $L^*$  yang mengindikasikan warna menjadi lebih gelap terutama pada kain kapas yang dimordan dengan  $\text{FeSO}_4$  (77,78). Hal ini dapat terjadi karena terbentuknya kompleks loam Fe-polifenol dari ekstrak daun *Hibiscus* yang relatif stabil sehingga menjadi jembatan penghubung antara serat-ion mordan-molekul zat warna. Ikatan yang stabil ini menyebabkan peningkatan kekuatan warna sehingga terjadi pergeseran kearah warna yang lebih gelap terutama pada mordan  $\text{FeSO}_4$  (Somparsong dkk. 2025).

Analisis ketajaman warna berdasarkan nilai  $C^*$ . Pada kain kapas tanpa mordan menunjukkan nilai  $C^*$  sebesar 2,34 yang menunjukkan warna sangat pucat dan kurang jenuh, selaras dengan nilai K/S yang rendah dan nilai  $L^*$  yang tinggi. Hal ini terjadi karena sebagian besar pewarna alami tidak memiliki daya ikat terhadap semua jenis serat tanpa menggunakan mordan (Kumar Gupta 2020).

Penambahan mordan  $\text{FeSO}_4$  dan  $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$  menaikkan nilai  $C^*$  dengan masing-masing nilai 12,10 dan 11,39. Sudut hue menggambarkan posisi warna pada lingkaran warna, yang memberikan informasi tentang jenis warna dominan seperti  $0^\circ$ -merah,  $60^\circ$ -kuning,  $120^\circ$ -hijau,  $180^\circ$ -cyan,  $240^\circ$ -biru,  $300^\circ$ -magenta, dan  $360^\circ$ -merah (Ji dkk. 2023). Pada kain dengan mordan  $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$  menggeser *hue* sehingga warna tambak lebih oranye kekuningan. Sementara pada kapas dengan mordan  $\text{FeSO}_4$  memberikan hue  $88,83^\circ$  yang menghasilkan warna oranye kecoklatan. Sedangkan pada kain dengan mordan  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  menghasilkan  $h^\circ$   $105,55^\circ$  yang membawa kembali warna ke arah hijau-kuning dan mordan  $\text{CuSO}_4$  pada kapas menaikkan  $h^\circ$  hingga  $109,23^\circ$ , menandakan dominasi hijau-kuning.

Analisis koordinat warna pada kain nylon menunjukkan kain tanpa mordan memiliki nilai  $L^*$  sebesar 79,86 menunjukkan kain lebih gelap dibanding kain kapas tanpa mordan, konsisten dengan nilai K/S yang juga lebih tinggi. Penggunaan mordan  $\text{FeSO}_4$  menunjukkan penurunan nilai  $L^*$  tertinggi berkisar 77,43 yang mengindikasikan warna menjadi lebih gelap dibanding kain lain (Burkinshaw dan Kumar 2008). Penggunaan mordan  $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$  menghasilkan nilai  $L^*$  sebesar 78,72 menandakan warna lebih gelap.

Secara umum, tren menunjukkan semakin tinggi nilai K/S berbanding terbalik dengan nilai  $L^*$ , hal ini menunjukkan warna menjadi lebih gelap sesuai prinsip hubungan antara penyerapan zat warna dan kecerahan pada sistem CIELAB (Ly dkk. 2020). Sementara itu nilai  $a^*$  positif pada hasil pengukuran menunjukkan pergeseran warna kearah merah pada semua sampel sedangkan nilai  $b^*$  positif mengindikasikan pergeseran warna kain kearah kuning (Sarker dkk. 2026). Mordan  $\text{FeSO}_4$  pada nylon memberi sudut  $h^\circ$  sebesar  $94,44^\circ$ , mendekati kuning-merah muda serupa tren pada kapas, sedangkan mordan lainnya menunjukkan nilai sekitar  $104$ - $125^\circ$  yang menunjukkan warna hijau kekuningan.

Pada kain kapas baik tanpa mordan maupun dengan penggunaan berbagai jenis mordan ( $KAl(SO_4)_2$ ,  $FeSO_4$ ,  $K_2Cr_2O_7$ , dan  $CuSO_4$ ) menunjukkan nilai ketahanan luntur warna yang baik pada pelapis kapas dan pelapis poliester dengan rentang nilai 4-5 sampai 5 pada skala penodaan. Artinya, zat warna dari ekstrak daun *Hibiscus rosa-sinensis* mampu berinteraksi cukup stabil dengan serat kapas. Mordan  $FeSO_4$  dan  $K_2Cr_2O_7$  menghasilkan penurunan kecil pada aspek perubahan warna (nilai 3-4 dan 3). Hal ini disebabkan karena pada pembentukan kompleks ion logam yang cenderung berwarna lebih gelap, dan stabilitas kompleks ini relatif rendah saat

dikenai detergensi, sehingga perubahan warna yang dihasilkan tidak terlalu signifikan (Rafikov dkk. 2024). Fenomena ini ditemukan pada eksperimen pewarnaan tekstil yang menggunakan mordan  $FeSO_4$  dan  $K_2Cr_2O_7$ , yang menunjukkan bahwa kompleks logam ini kurang tahan terhadap pencucian dibandingkan mordan yang lain yang membentuk kompleks lebih stabil dan cerah (Sahoo dkk. 2017).

Hasil perubahan warna kain sebelum dan setelah pencucian yang dimordan menggunakan  $CuSO_4$  dan  $KAl(SO_4)_2$  menunjukkan nilai yang paling rendah dibanding mordan lain dengan nilai berturut turut 3 dan 3-4 pada skala abu-abu.

**Tabel 3. Data Ketahanan Luntur Warna Kain Kapas dan Nylon yang Diwarnai dengan Ekstrak Daun *Hibiscus rosa sinensis* dengan dan Tanpa Mordan Menggunakan Teknik Infrared**

Kain	Jenis Mordan	Ketahanan Luntur Warna				
		Pencucian			Gosokan	
		Pelapis Kapas	Pelapis Poliester	Perubahan warna	Basah	Kering
Kapas	Non Mordan	5	4-5	4-5	4-5	5
	$KAl(SO_4)_2$	5	5	3-4	4-5	5
	$FeSO_4$	5	4-5	4-5	4	4-5
	$K_2Cr_2O_7$	5	4-5	4-5	5	5
	$CuSO_4$	5	5	3	4-5	5
Nylon	Non Mordan	5	5	4-5	4-5	5
	$KAl(SO_4)_2$	5	5	4	4-5	5
	$FeSO_4$	5	4-5	3	3	4-5
	$K_2Cr_2O_7$	5	5	5	4-5	5
	$CuSO_4$	5	5	4	4-5	5

Pada uji gosokan, baik basah maupun kering, seluruh mordan memberikan nilai 4-5 hingga 5, menunjukkan bahwa ikatan warna terhadap permukaan serat kapas bersifat kuat dan tidak mudah lepas akibat gesekan (Karim dkk. 2021).

Pengujian ketahanan luntur warna terhadap gosokan menunjukkan kain dengan mordan  $K_2Cr_2O_7$  memiliki nilai terbaik pada gosokan kering dan basah. Kain nylon menunjukkan pola ketahanan luntur warna yang relatif serupa dengan kain kapas, dengan dominasi nilai 4-5 hingga 5 pada sebagian besar kategori pengujian.

Penambahan mordan pada kain nylon menunjukkan tidak ada penodaan pada kain pelapis kapas yang memiliki nilai 5 sedangkan pada pelapis poliester hanya kain dengan mordan  $FeSO_4$  yang memiliki nilai ketahanan luntur yang paling rendah (4-5). Hal ini menunjukkan ikatan kuat antara zat warna dengan serat nylon, kemungkinan melalui ikatan hidrogen atau interaksi van der Waals. (Sarker dkk. 2026). Perubahan warna kain sebelum dan sesudah pencucian pada mordan

$FeSO_4$  menunjukkan nilai paling rendah yakni 3, menunjukkan adanya kecenderungan warna untuk mengalami pergeseran dibanding mordan lain. Pada pengujian ketahanan luntur warna terhadap gosokan pada kain tanpa mordan dan kain dengan mordan  $KAl(SO_4)_2$ ,  $CuSO_4$  dan  $K_2Cr_2O_7$  memiliki nilai pada gosokan basah dan kering masing-masing 4-5 dan 5 sedangkan kain dengan mordan  $FeSO_4$  menunjukkan nilai gosokan kering dan basah berturut-turut yaitu 4-5 dan 3.

### SIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis, penelitian ini telah berhasil menunjukkan potensi ekstrak daun *Hibiscus rosa sinensis* sebagai zat warna alam untuk pencelupan kain kapas dan nylon menggunakan teknik infrared. Penambahan mordan pada pencelupan kain kapas dan nylon dengan ekstrak daun *Hibiscus rosa sinensis* dapat meningkatkan daya serap dan intensitas warna terutama mordan  $FeSO_4$  dan  $KAl(SO_4)_2$  pada kain kapas dan  $FeSO_4$  pada kain nylon. Pergeseran warna berubah dengan adanya mordan yang mengarah

kearah kuning pada kain kapas dengan ketajaman warna yang lebih tinggi. Pada kain nylon,  $\text{FeSO}_4$  pergeseran warna mengarah ke warna kuning-hijau yang lebih kuat. Dari aspek ketahanan luntur warna, kain tanpa mordan sudah memiliki ketahanan yang baik. Adanya penambahan mordan umumnya meningkatkan atau menurunkan nilai ketahanan luntur warna baik pada kain kapas maupun kain nylon. Penelitian ini membuka peluang dalam pengembangan teknologi pencelupan tekstil menggunakan zat warna alam dan pencelupan dengan teknik infrared yang ramah lingkungan dan mendukung konsep keberlanjutan (*sustainability*).

## REKOMENDASI

Penelitian lebih lanjut dilakukan dengan variasi metode pemordanan dan konsentrasi mordan.

## BIBLIOGRAFI

- Al-Tohamy, Rania, Sameh S. Ali, Fanghua Li, dkk. 2022. "A Critical Review on the Treatment of Dye-Containing Wastewater: Ecotoxicological and Health Concerns of Textile Dyes and Possible Remediation Approaches for Environmental Safety." *Ecotoxicology and Environmental Safety* 231 (Februari): 113160. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.113160>.
- Anand, Akancha, dan Biswatrish Sarkar. 2017. "Phytochemical Screening and Antioxidant Property of Anthocyanins Extracts from Hibiscus Rosa-Sinensis." Dalam *Applications of Biotechnology for Sustainable Development*, disunting oleh Kunal Mukhopadhyay, Ashish Sachan, dan Manish Kumar. Springer Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-10-5538-6\\_17](https://doi.org/10.1007/978-981-10-5538-6_17).
- Atikah, Wulan Safrihatini, Ikhwanul Muslim, dan Rahadian Noor Madani. t.t. Pemanfaatan Surfaktan pada Proses Pemordanan Kain Kapas dan Sutera yang Dichelup dengan Zat Warna Alam. *Proceedings of Life and Applied Sciences*, Volume 2. <https://conference.um.ac.id/index.php/LAS/article/view/8098>
- Avinc, Ozan, Ali Celik, Gorkem Gedik, dan Arzu Yavas. 2013. "Natural Dye Extraction from Waste Barks of Turkish Red Pine (Pinus Brutia Ten.) Timber and Eco-Friendly Natural Dyeing of Various Textile Fibers." *Fibers and Polymers* 14 (5): 866–73. <https://doi.org/10.1007/s12221-013-0866-0>.
- Bekele, Naol, Mikiyas Abewaa, Ashagrie Mengistu, dkk. 2024. "Optimization of Natural Dye Extraction from the Root of Rumex Abyssinicus Plant Using Response Surface Methodology." *Results in Chemistry* 8 (Juni): 101577. <https://doi.org/10.1016/j.rechem.2024.101577>.
- Burkinshaw, S.M., dan N. Kumar. 2008. "A Tannic Acid/Ferrous Sulfate Aftertreatment for Dyed Nylon 6,6." *Dyes and Pigments* 79 (1): 48–53. <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2008.01.004>.
- Bydoon, Eman A. t.t. Extraction of Natural Dye from Tea Leaves and Its Application on Giza 86 Egyptian Cotton Fabric. *Int. J. Adv. Sci. Eng.* Vol.3 No.4 455-462 [https://www.mahendrapublications.com/article\\_details?id=MP115558](https://www.mahendrapublications.com/article_details?id=MP115558)
- Cabral, Isabel, Amanda Schuch, dan Fernanda Steffens. 2024. "Color Biomimetics in Textile Design: Reproduction of Natural Plant Colors through Instrumental Colorant Formulation." *Journal of Imaging* 10 (7): 150. <https://doi.org/10.3390/jimaging10070150>.
- Chao, Yu-chan, Tsung-han Ho, Zhi-jiao Cheng, Li-heng Kao, dan Ping-szu Tsai. 2017. "A Study on Combining Natural Dyes and Environmentally-Friendly Mordant to Improve Color Strength and Ultraviolet Protection of Textiles." *Fibers and Polymers* 18 (8): 1523–30. <https://doi.org/10.1007/s12221-017-6964-7>.
- Debasree Paul, Subrata Chandra Das, Tarikul Islam, Md. Abu Bakar Siddiquee, dan Md. Abdullah Al Mamun. 2017. "Effect of Alkali Concentration on Dyeing Cotton Knitted Fabrics with Reactive Dyes." *Journal of Chemistry and Chemical Engineering* 11 (4). <https://doi.org/10.17265/1934-7375/2017.04.004>.
- Eleuterio, Telmo, Maria João Trota, Maria Gabriela Meirelles, dan Helena Cristina Vasconcelos. 2025. "A Review of Natural Fibers: Classification, Composition, Extraction, Treatments, and Applications." *Fibers* 13 (9): 119. <https://doi.org/10.3390/fib13090119>.
- EL-Sayed, Hosam, dan Nancy El-Hawary. 2022. "The Use of Modified Fenton Chemistry for Reducing Energy Consumption during Dyeing of Wool and Nylon 6 Fabrics with Acid Dyes." *Journal of Natural Fibers* 19 (13): 6865–77. <https://doi.org/10.1080/15440478.2021.1932682>.
- Huang, Xiaojia, Jie Luo, Xiangrong Wang, Xianwei Cheng, dan Xueni Hou. 2024. "Preparation of Purpurin-Fe<sup>2+</sup> Complex Natural Dye and Its Printing Performance on Silk Fabrics." *Materials* 17 (21): 5367. <https://doi.org/10.3390/ma17215367>.
- Ihsan, Taufik, Sulisty Saputro, dan Lina Mahardiani. 2020. "Natural Dye from Kepok Banana Leaf Stalk on Cotton Fabric with Variation of Fixation." *JPKP (Jurnal Kimia Dan Pendidikan Kimia)* 5 (3): 325. <https://doi.org/10.20961/jkpk.v5i3.46542>.
- Ji, Xinyu, Zhijun Zhao, Yulu Ren, Fei Xu, dan Jianhong Liu. 2023. "Dyeing Properties, Color Gamut, and Color Evaluation of Cotton Fabrics Dyed with Phellodendron Amurense Rupr. (Amur Cork Tree Bark)." *Molecules* 28 (5): 2220. <https://doi.org/10.3390/molecules28052220>.

- Kambo, Neelu. 2020. "Enhancing the Dyeing and Functional Properties of Cotton Fabric with the Application of Natural Dyes and Nanoparticles." *International Journal of Advanced Chemistry Research* 2 (1): 49–57. <https://doi.org/10.33545/26646781.2020.v2.i1a.183>.
- Karim, Md. Rezaul, Tarikul Islam, Md. Reazuddin Repon, Abdullah Al Hamim, Muhammad Abdur Rashid, dan Mohammad Abdul Jalil. 2021. "Exploitation of Seawater for Cotton and Polyester Fabrics Colouration." *Heliyon* 7 (5): e07059. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07059>.
- Ks, Mahesh. t.t. "Nylon/Glass Fabrics Synthetic Reinforced Polymer Hybrid Composites." *International Journal of Engineering Research And Advanced Technology* 02.
- Kumar, Anil, dan Satendra Kumar. 2022. Pharmacological Review on Hibiscus rosa sinensis. *International Journal of Novel Research and Development*, 7(11), a244-a252. <https://ijnrd.org/papers/IJNRD2211025.pdf>
- Kumar Gupta, Virendra. 2020. "Fundamentals of Natural Dyes and Its Application on Textile Substrates." Dalam *Chemistry and Technology of Natural and Synthetic Dyes and Pigments*, disunting oleh Ashis Kumar Samanta, Nasser S. Awwad, dan Hamed Majdooa Algarni. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.89964>.
- Kumar, Naveen, Shyam Vir Singh, dan M C Purohit. 2023. Extraction of Natural Dye from Rhus Parviflora (Tung) and Evaluation of Colour Fastness Properties of Weaved Wool Herbal Dyed Fabrics Using Mixture of Bio and Chemical Mordants. *Res. J. Recent Sci.*, 12 (3), 16-20. <https://www.isca.me/rjrs/archive/v12/i3/3.ISCA-RJRS-2023-009.php>
- Kumaresan, M, P N Palanisamy, dan P E Kumar. 2010. "Application of Ecofriendly Natural Dye on Cotton Obtained from the Stem of Achras Sapota Using Combination of Mordants." *Nature Environment and Pollution Technology* 9 (3), pp. 547-552. [https://neptjournal.com/upload-images/NL-14-13-\(13\)B-1560com.pdf](https://neptjournal.com/upload-images/NL-14-13-(13)B-1560com.pdf)
- Ly, Bao Chau K., Ethan B. Dyer, Jessica L. Feig, Anna L. Chien, dan Sandra Del Bino. 2020. "Research Techniques Made Simple: Cutaneous Colorimetry: A Reliable Technique for Objective Skin Color Measurement." *Journal of Investigative Dermatology* 140 (1): 3-12.e1. <https://doi.org/10.1016/j.jid.2019.11.003>.
- Mahmud-Ali, Amalid, Judith Büttler, Thomas Bechtold, dan Tung Pham. 2024. "More Efficient Usage of Natural Dyes through Incorporation of Cationic Polymer into Viscose Fibres." *Dyes and Pigments* 223 (April): 111990. <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2024.111990>.
- Mia, Rony, Md. Minhajul Islam, Taosif Ahmed, dkk. 2022. "Natural Dye Extracted from Triadica Sebifera in Aqueous Medium for Sustainable Dyeing and Functionalizing of Viscose Fabric." *Cleaner Engineering and Technology* 8 (Juni): 100471. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2022.100471>.
- Moreno-Marrodán, Carmen, Francesco Brandi, Pierluigi Barbaro, dan Francesca Liguori. 2024. "Advances in Catalytic Chemical Recycling of Synthetic Textiles." *Green Chemistry* 26 (24): 11832–59. <https://doi.org/10.1039/D4GC04768K>.
- Ndagano, Urbain Nshokano, Laura Cahill, Ciara Smullen, Jennifer Gaughran, dan Susan M. Kelleher. 2025. "The Current State-of-the-Art of the Processes Involved in the Chemical Recycling of Textile Waste." *Molecules* 30 (2): 299. <https://doi.org/10.3390/molecules30020299>.
- Northern University Bangladesh, Department of Textile Engineering, Kawlar Jamea Masjid Road 111/2, Dhaskhin Khan, Khilkhet, Dhaka 1229, Bangladesh, Kamrun Nahar, Shurfun Nahar Arju, dkk. 2020. "Colorimetric Analysis and Fastness Properties of Jute Fabric Dyed with Eucalyptus Leaves." *TEKSTILEC* 63 (3): 195–202. <https://doi.org/10.14502/Tekstilec2020.63.195-202>.
- Olayiwola, M O, O S Ajayi, O S Balogun, I J Olawuni, S M Adeyemo, dan N October. 2021. Isolation, Identification and Biological Activities of the Constituents of Hibiscus Rosa-Sinensis Leaf Extract. 5.
- Pamungkas, Mukmin Sapto, Edia Rahyuningsih, Taranipa Marfitania, dan Wachid Siti Fatimah. 2021. (Fiziko Kimia Dan Ciri Pencelupan Pewarnaan Kain Kapas Dengan Menggunakan Ekstrak Dari Kulit Kayu Angsana (Pterocarpus Indicus)). 25 (5).
- Pargai, Deepti, Shahnaz Jahan, dan Manisha Gahlot. 2020. "Functional Properties of Natural Dyed Textiles." Dalam *Chemistry and Technology of Natural and Synthetic Dyes and Pigments*, disunting oleh Ashis Kumar Samanta, Nasser S. Awwad, dan Hamed Majdooa Algarni. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.88933>.
- Park, Mira, Mohammad Mahbub Rabbani, Hye Kyoung Shin, Soo-Jin Park, dan Hak Yong Kim. 2016. "Dyeing of Electrospun Nylon 6 Nanofibers with Reactive Dyes Using Electron Beam Irradiation." *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 39 (Juli): 16–20. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2016.05.031>.
- Prabhu, K H, dan Aniket S Bhute. 2012. Plant Based Natural Dyes and Mordants: A Review. *J. Nat. Prod. Plant Resour.*, 2012, 2 (6):649-664. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:55621811>
- Priya, K., & Sharma, H. (2021). Phytochemical analysis and antimicrobial activity of Hibiscus Rosa

- Sinensis. *European Journal of Biotechnology and Bioscience*, 9(1), 21–26.  
<https://www.biosciencejournals.com/archives/2021/vol9/issue1/9-2-12>.
- Purwar, Shristi. t.t. Application of Natural Dye on Synthetic Fabrics: A Review. *International Journal of Home Science* 2016; 2(2): 283-287.  
<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:56305660>
- Rafikov, Adham Salimovich, Malika Muratovna Zubaydullaeva, Dildora Bakhramjanovna Sadikova, dan Fazilat Abdullaevna Abdurakhimova. 2024. "Dyeing of Mixed Cotton and Polyester Fabrics with New Dyes—Complexes of Collagen with Transition Metal Ions." *AATCC Journal of Research* 11 (5): 348–62.  
<https://doi.org/10.1177/24723444241257541>.
- Rehman, Fazal Ur, Shahid Adeel, Wafa Haddar, dkk. 2022. "Microwave-Assisted Exploration of Yellow Natural Dyes for Nylon Fabric." *Sustainability* 14 (9): 5599. <https://doi.org/10.3390/su14095599>.
- Sahoo, Tusharbala, Goutama Bhattacharya, dan Sanjaya K Dash. 2017. "Effectiveness of Different Mordants and Concentrations on the Dyeing Properties of Jackfruit ( *Atrocarpus Heterophyllus* ) Bark on Silk." *International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology* 10 (5): 565.  
<https://doi.org/10.5958/2230-732X.2017.00069.9>.
- Sarker, Priti, Md. Tareque Rahaman, Md. Abdullah Al Mamun, Umme Aiman Liza, Mubarak A. Khan, dan Mohammad Mamun Hossain. 2026. "Sustainable Multifunctional Dyeing of Nylon with Babool ( *Acacia Nilotica* ) Bark Extract: Enhancing Color Metrics, Fabric Performance, UV Protection, and Antibacterial Activity." *Hybrid Advances* 12 (Maret): 100599.  
<https://doi.org/10.1016/j.hybadv.2026.100599>.
- Sarma, Priyanku, Femina Bano Choudhury, Devajit Basumatari, dkk. 2025. "Development and Evaluation of Indigenous Natural Dyes: Extraction Methods, Absorption Efficiency, and Color Fastness on Eri Silk." *Journal of Natural Fibers* 22 (1): 2465670.  
<https://doi.org/10.1080/15440478.2025.2465670>.
- Shah, Tarulata B., Ravindran S. Shiny, Ritu B. Dixit, dan Bharat C. Dixit. 2014. "Synthesis and Dyeing Properties of New Disazo Disperse Dyes for Polyester and Nylon Fabrics." *Journal of Saudi Chemical Society* 18 (6): 985–92.  
<https://doi.org/10.1016/j.jscs.2011.11.022>.
- Singhee, Deepali. 2020. "Review on Natural Dyes for Textiles from Wastes." Dalam *Chemistry and Technology of Natural and Synthetic Dyes and Pigments*, disunting oleh Ashis Kumar Samanta, Nasser S. Awwad, dan Hamed Majdooa Algarni. IntechOpen.  
<https://doi.org/10.5772/intechopen.93178>.
- Somparsong, Yaowaman, Rattanaphol Mongkholrattanasit, Mohanapriya Venkataraman, Supanicha Srivorradatphisan, Sujira Khojtmate, dan Sakorn Chonsakorn. 2025. "Extraction Process of Color Powder and Cotton Screen Printing with Natural Dyes from Longan Leaf Powder." *ACS Omega* 10 (42): 49413–25.  
<https://doi.org/10.1021/acsomega.5c00313>.
- Tkaczyk, Angelika, Kamila Mitrowska, dan Andrzej Posyniak. 2020. "Synthetic Organic Dyes as Contaminants of the Aquatic Environment and Their Implications for Ecosystems: A Review." *Science of The Total Environment* 717 (Mei): 137222.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137222>.
- Yadav, Shailendra, Kanha Singh Tiwari, Chitrasen Gupta, Mahendra Kumar Tiwari, Arbij Khan, dan Sankatha P. Sonkar. 2023. "A Brief Review on Natural Dyes, Pigments: Recent Advances and Future Perspectives." *Results in Chemistry* 5 (Januari): 100733.  
<https://doi.org/10.1016/j.rechem.2022.100733>.
- Zarkogianni, Maria, Eleni Mikropoulou, Evangelia Varella, dan Eforia Tsatsaroni. 2011. "Colour and Fastness of Natural Dyes: Revival of Traditional Dyeing Techniques." *Coloration Technology* 127 (1): 18–27. <https://doi.org/10.1111/j.1478-4408.2010.00273.x>.