

**POTENSI ZAT WARNA JOLAWÉ PADA PENCELUPAN KAIN KAPAS
BERBASIS PENGOLAHAN CITRA DIGITAL**
*POTENTIAL OF JOLAWÉ DYE IN COTTON FABRIC DYEING
EVALUATED BY DIGITAL IMAGE PROCESSING*

Nurfadilah Ikhsani*, Fahmi Fawzy Rusman, Andrian Wijayono, Reffli Ghandara

Akademik Komunitas Industri Tekstil dan Produk Tekstil, Surakarta, 57126,
Indonesia

*Penulis Korespondensi:

Alamat Email: nurfadilahikhsani@kemenperin.go.id

Tanggal diterima: 27 April 2026, direvisi: 17 Juni 2026, disetujui terbit: 23 Juni 2026

Abstrak

Industri tekstil merupakan salah satu penyumbang limbah terbesar, khususnya limbah pencelupan. Hal ini disebabkan oleh penggunaan zat warna sintesis yang sulit terurai dan berbahaya bagi lingkungan. Zat warna jolawe (*Quercus lusitanica*) berpotensi sebagai alternatif ramah lingkungan. Namun kajian ilmiah mengenai aplikasinya pada pencelupan, khususnya variasi pemordanan masih sangat terbatas. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji potensi zat warna alam jolawe sebagai alternatif zat warna ramah lingkungan pada pencelupan kain kapas tenun 100% dengan variasi konsentrasi zat warna (15, 30, dan 50 g/L), jenis mordan (tawas dan tunjung), serta teknik pemordanan (pre- dan *post-mordanting*). Evaluasi hasil pencelupan dilakukan menggunakan analisis citra digital berbasis nilai RGB (pengolahan citra digital). Berbeda dari penelitian konvensional yang umumnya menggunakan spektrofotometer reflektansi, penelitian ini menggunakan perhitungan jarak Euclidean (ΔRGB) terhadap kain blanko sebagai pendekatan evaluasi warna yang lebih terjangkau. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jenis mordan dan teknik pemordanan merupakan faktor penentu utama kualitas warna yang dihasilkan. *Post-mordanting* tunjung terbukti paling efektif dalam meningkatkan penyerapan zat warna jolawe pada kain kapas melalui pembentukan ikatan silang antara tanin, mordan Fe^{2+} dan selulosa, dengan nilai ΔRGB tertinggi sebesar 0,678 pada konsentrasi 30 g/L. Metode analisis *image processing* berbasis RGB terbukti mampu mengkuantifikasi perbedaan warna secara objektif dan konsisten sebagai alternatif evaluasi warna yang praktis dan terjangkau.

Kata kunci : Jolawe, pencelupan, pemordanan, pengolahan citra digital.

Abstract

*The textile industry is one of the largest contributors to waste, particularly dyeing effluent. This is due to the use of synthetic dyes that are difficult to degrade and harmful to the environment. Jolawe dye (*Quercus lusitanica*) has potential as an eco-friendly alternative. However, scientific studies on its application in dyeing, particularly regarding mordanting variations, remain very limited. This study aims to examine the*

potential of jolawe natural dye as an eco-friendly alternative for dyeing 100% woven cotton fabric with variations in dye concentration (15, 30, and 50 g/L), mordant type (alum and copperas), and mordanting technique (pre- and post-mordanting). Dyeing results were evaluated using digital image analysis based on RGB values (digital image processing). Unlike conventional studies that generally use reflectance spectrophotometry, this study employed Euclidean distance calculation (ΔRGB) relative to undyed fabric as a more affordable color evaluation approach. The results show that mordant type and mordanting technique are the primary determining factors of the resulting color quality. Post-mordanting with copperas proved most effective in enhancing jolawe dye uptake on cotton fabric through the formation of crosslinked complexes between tannin, Fe^{2+} mordant, and cellulose, with the highest ΔRGB value of 0.678 at a dye concentration of 30 g/L. The RGB-based image processing analysis method proved capable of objectively and consistently quantifying color differences as a practical and affordable alternative for color evaluation.

Keywords: Jolawe, dyeing, mordanting, image processing

PENDAHULUAN

Industri tekstil merupakan salah satu sektor manufaktur yang menyumbang limbah terbesar, khususnya limbah cair yang berasal dari proses pencelupan¹. Penggunaan zat warna sintetis yang masif dalam industri tekstil telah menjadi perhatian global akibat kontribusinya yang signifikan terhadap pencemaran lingkungan. Zat warna sintetis umumnya mengandung senyawa aromatik, logam berat, serta bahan kimia berbahaya lainnya yang bersifat sulit terurai di lingkungan². Hal ini mendorong berbagai kalangan peneliti untuk mengeksplorasi alternatif zat warna yang lebih ramah lingkungan, salah satunya adalah zat warna alam yang bersumber dari tumbuhan^{3,4}.

Zat warna alam telah digunakan sejak berabad-abad lalu dalam tradisi pewarnaan tekstil di berbagai penjuru dunia, termasuk Indonesia. Zat warna alam dibandingkan zat warna sintetis bersifat mudah terurai (*biodegradable*), memiliki toksisitas rendah, serta kemampuannya menghasilkan nuansa warna yang khas dan estetis⁵⁻⁷. Salah satu sumber zat warna alam yang memiliki potensi besar namun belum banyak dikaji secara mendalam adalah

buah jolawe (*Quercus lusitanica*)^{8,9}. Namun kajian ilmiah mengenai aplikasinya pada pencelupan, khususnya variasi pemordanan masih sangat terbatas.

Buah jolawe mengandung senyawa tanin dengan kadar yang relatif tinggi, yang berperan sebagai kromofor alami dan memiliki afinitas terhadap serat selulosa seperti kapas¹⁰. Tanin merupakan senyawa polifenol yang memiliki gugus hidroksil fenolik (-OH) dalam jumlah besar, sehingga mampu berikatan dengan ion logam modan dan serat selulosa melalui ikatan silang¹¹. Pada suhu tinggi, tanin bersifat relatif sensitif. Sifat tanin yang relatif sensitif terhadap suhu tinggi menyebabkan struktur molekulnya dapat mengalami degradasi termal pada suhu di atas 70–80°C, yang berpotensi menurunkan kemampuan tanin untuk berikatan secara optimal dengan kompleks mordan-serat yang telah terbentuk selama proses *pre-mordanting*¹².

Proses pencelupan dengan zat warna alam umumnya memerlukan perlakuan pemordanan untuk meningkatkan afinitas zat warna

terhadap serat sekaligus memperbaiki ketahanan lunturannya. Jenis mordan yang umum digunakan antara lain tawas dan tunjung yang dapat menghasilkan efek warna berbeda¹³. Selain itu, teknik aplikasi *pre-mordanting* maupun *post-mordanting*, serta konsentrasi zat warna juga merupakan faktor penting yang menentukan kedalaman dan karakter warna yang dihasilkan pada kain¹⁴.

Mordan tawas ($KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$) ketika dilarutkan dalam air akan terionisasi menjadi ion Al^{3+} yang bersifat asam Lewis keras, sehingga mampu menerima pasangan elektron bebas dari gugus $-OH$ pada serat selulosa maupun gugus $-OH$, $-COOH$, dan $-C=O$ pada molekul zat warna. Reaksi tersebut membentuk reaksi ikatan silang yang kompleks antara serat, ion Al^{3+} dari tawas dan zat warna. Pada ion Al^{3+} , tidak terjadi penyerapan cahaya tampak pada reaksi ikatan silang yang terbentuk, sehingga warna hasil pencelupan cenderung cerah dan sesuai dengan karakter asli zat warna¹⁵. Sebaliknya, mordan tunjung ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$) ketika dilarutkan dalam air akan terionisasi menjadi ion Fe^{2+} atau Fe^{3+} yang bersifat asam Lewis sedang. Ion Fe^{2+} atau Fe^{3+} berikatan dengan gugus hidroksil fenolik pada molekul zat warna membentuk reaksi ikatan silang yang stabil. Ikatan ini menyebabkan perubahan pada sistem penyerapan cahaya zat warna, sehingga warna yang dihasilkan cenderung lebih gelap ke arah hijau tua, coklat, atau hitam. Selain itu, teknik aplikasi *pre-mordanting* maupun *post-mordanting*, serta konsentrasi zat warna juga merupakan faktor penting yang menentukan kedalaman dan karakter warna yang dihasilkan pada kain¹⁶.

Disisi lain, konsentrasi zat warna merupakan salah satu faktor kritis dalam proses pencelupan yang secara

langsung mempengaruhi kedalaman dan intensitas warna yang dihasilkan pada kain¹⁷. Semakin tinggi konsentrasi zat warna dalam larutan celup, semakin besar jumlah molekul zat warna yang tersedia untuk berikatan dengan serat, sehingga berpotensi meningkatkan penyerapan warna atau ketahanan warna. Namun demikian, peningkatan konsentrasi tidak selalu berbanding lurus dengan hasil warna yang diperoleh, karena pada titik tertentu serat akan mencapai kondisi jenuh sehingga penambahan konsentrasi tidak lagi memberikan perubahan warna yang signifikan¹⁸.

Evaluasi hasil pencelupan secara konvensional umumnya dilakukan menggunakan reflektansi pada spektrofotometer atau pengukuran nilai K/S, namun pendekatan tersebut memerlukan peralatan khusus yang tidak selalu tersedia. Sebagai alternatif, analisis citra digital berbasis nilai RGB (*Red, Green, Blue*) menawarkan metode evaluasi warna yang lebih sederhana, cepat, dan terjangkau¹⁹. Metode ini bekerja dengan menganalisis perbedaan nilai piksel pada komponen merah, hijau, dan biru (ΔRGB). Berbeda dengan metode spektrofotometri yang mengukur perbedaan warna berdasarkan nilai $L^*a^*b^*$ (ΔE) yang merepresentasikan persepsi visual manusia secara lebih akurat²⁰. Kelebihan metode RGB terletak pada kemudahan pelaksanaannya menggunakan alat pemindai (*scanner*) yang ketersediaannya lebih memadai di laboratorium, serta tidak memerlukan kalibrasi instrumen yang kompleks. Adapun keterbatasannya adalah nilai ^{21}RGB yang dihasilkan belum tentu sepenuhnya merepresentasikan persepsi warna mata manusia sebagaimana yang dapat dilakukan oleh sistem pengukuran berbasis $L^*a^*b^*$ ²¹. Pada penelitian ini, analisis

citra digital dilakukan menggunakan perangkat lunak *ImageJ* dengan memanfaatkan nilai rata-rata RGB dari setiap sampel kain hasil pencelupan²². Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh variasi konsentrasi zat warna jolawe serta jenis dan teknik pemordanan terhadap hasil pencelupan kain kapas, yang dievaluasi melalui analisis warna berbasis pengolahan citra digital, sebagai upaya pengembangan alternatif zat warna tekstil yang ramah lingkungan.

BAHAN DAN METODA

Penelitian ini dilakukan dalam skala laboratorium dengan empat proses utama, yaitu persiapan larutan zat warna, persiapan larutan mordan, proses pencelupan, proses pemordanan, dan analisis warna berbasis pengolahan citra digital. Bahan-bahan yang digunakan meliputi kain kapas tenun 100% yang telah siap celup (*ready for dye/RFD*), serbuk jolawe (*Quercus lusitanica*), mordan tawas dan tunjung, asam asetat (CH_3COOH) sebagai pengatur pH larutan celup hingga pH 5, serta akuades sebagai pelarut dalam seluruh proses pencelupan dan pemordanan^{8,9}.

Persiapan larutan zat warna dilakukan dengan menimbang serbuk jolawe yang diperoleh dari CV Daliman Batik sesuai variasi konsentrasi yang telah ditentukan, yaitu 15 g/L, 30 g/L, dan 50 g/L²³. Serbuk jolawe kemudian dilarutkan dalam akuades dan diaduk hingga homogen. pH larutan diatur hingga mencapai pH 5 menggunakan asam asetat. Larutan mordan disiapkan dengan melarutkan tawas dan tunjung masing-masing pada konsentrasi 5 g/L dalam akuades hingga seluruh padatan terlarut sempurna.

Pemilihan rentang konsentrasi mordan tersebut mengacu pada hasil penelitian sebelumnya yang

menunjukkan bahwa konsentrasi mordan kisaran rendah hingga sedang sudah cukup efektif dalam membentuk ikatan silang antara serat dan zat warna alam, sekaligus menghindari pengendapan berlebih pada permukaan serat yang dapat menurunkan kualitas hasil pencelupan¹².

Pencelupan dilakukan dengan rasio 1:20. Kain kapas RFD yang telah dipotong dengan ukuran seragam dimasukkan ke dalam larutan zat warna jolawe pada pH 5 dan dicelup selama 30 menit pada suhu 80°C²⁴. Pemordanan dilakukan dengan dua teknik, yaitu *pre-mordanting* dan *post-mordanting*. Pada teknik *pre-mordanting*, kain kapas direndam terlebih dahulu dalam larutan mordan pada suhu 50°C selama 15 menit, kemudian langsung dicelup dalam larutan zat warna jolawe pada suhu 80°C selama 30 menit. Pada teknik *post-mordanting*, kain kapas dicelup terlebih dahulu dalam larutan zat warna jolawe selama 30 menit, kemudian direndam dalam larutan mordan pada suhu 50°C selama 15 menit. Setelah seluruh proses selesai, kain dibilas dengan akuades dan dikeringkan pada suhu ruang terhindar dari paparan sinar matahari langsung. Evaluasi hasil pencelupan dilakukan menggunakan analisis citra digital berbasis nilai RGB (*Red, Green, Blue*). Citra kain diperoleh menggunakan *scanner* Brother DCP-T700W dengan resolusi 1200 dpi, format berkas PNG (tanpa kompresi), serta parameter kecerahan dan kontras ditetapkan pada 0% (default).

Pemilihan metode ini didasarkan pada keterbatasan ketersediaan alat spektrofotometer, sekaligus mengacu pada penelitian-penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa analisis citra digital berbasis RGB merupakan metode yang valid, cepat, dan terjangkau untuk evaluasi warna pada

tekstil²⁵. Beberapa studi telah membuktikan adanya korelasi yang antara hasil pengukuran kain dengan spektrofotometer dengan hasil pengukuran berbasis citra digital, sehingga metode ini dapat diterima sebagai pendekatan alternatif dalam evaluasi warna. Meskipun demikian, penelitian ini mengakui bahwa validasi langsung antara nilai RGB dengan nilai K/S spektrofotometri tidak dilakukan, sehingga hasil analisis warna pada penelitian ini bersifat komparatif antar sampel dalam kondisi pengambilan citra yang seragam dan terkontrol.

Seluruh sampel dipindai dalam kondisi yang identik tanpa modifikasi atau koreksi digital tambahan oleh perangkat lunak bawaan *scanner*. Pendekatan ini bertujuan untuk mempertahankan keakuratan nilai RGB.

Pengambilan citra kain dilakukan pada kedua sisi permukaan kain. Hal ini bertujuan untuk mengevaluasi kerataan penetrasi zat warna ke dalam serat. Selain itu juga, untuk melihat konsistensi warna yang dihasilkan pada kedua permukaan kain. Perbedaan nilai RGB antara sisi depan dan belakang dapat mengindikasikan sejauh mana zat warna mampu berdifusi dan terdistribusi secara merata ke seluruh lapisan serat kapas selama proses pencelupan berlangsung.

HASIL

Hasil pencelupan kain kapas menggunakan zat warna jolawe (*Quercus lusitanica*) dengan berbagai variasi konsentrasi, jenis mordan, dan teknik pemordanan disajikan pada Tabel 1. Secara visual, perbedaan warna yang dihasilkan dari setiap variasi perlakuan dapat diamati melalui perubahan warna kain dari kondisi awal (blanko) menuju warna yang lebih gelap seiring dengan kenaikan konsentrasi zat warna dan pengaruh jenis mordan

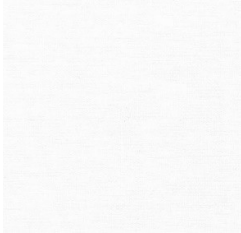
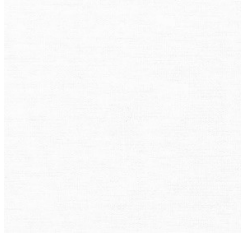

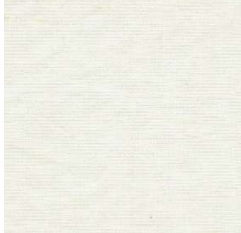






yang digunakan. Kain blanko merupakan kain kapas *ready for dye* tanpa perlakuan pencelupan dan pemordanan.

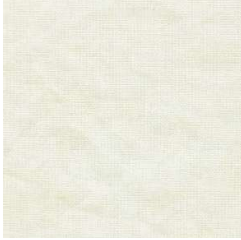
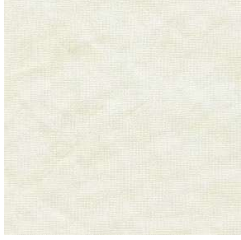
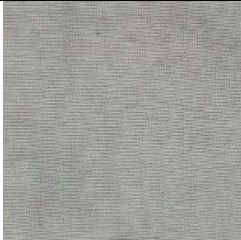

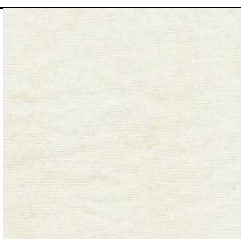
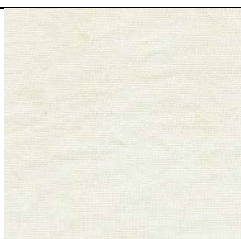
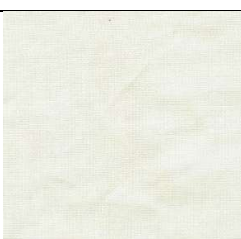
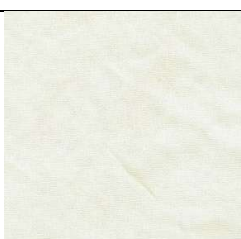


Hasil analisis warna secara kuantitatif menggunakan metode berbasis pengolahan citra digital dengan melihat nilai RGB dari seluruh sampel kain yang telah dicelup disajikan pada Tabel 2. Nilai RGB yang diperoleh mencakup komponen *Red* (R), *Green* (G), dan *Blue* (B) dalam skala 0–255 beserta nilai ternormalisasi (0–1). Perbedaan warna antara sampel dan blanko dihitung menggunakan persamaan 1 yaitu persamaan jarak Euclidean dalam ruang warna RGB²².


$$\Delta RGB = \sqrt{(R_1 - R_2)^2 + (G_1 - G_2)^2 + (B_1 - B_2)^2} \dots \dots \dots (1)^{19}$$

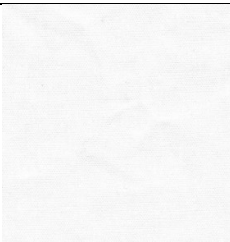
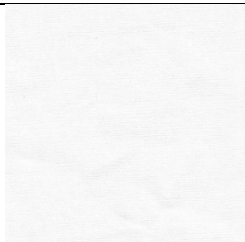
di mana R_1 , G_1 , B_1 merupakan nilai RGB sampel dan R_2 , G_2 , B_2 merupakan nilai RGB sampel blanko. Nilai ΔRGB dan ΔE tidak sepenuhnya sepadan karena keduanya bekerja pada ruang warna yang berbeda. ΔE dihitung dalam ruang warna $L^*a^*b^*$ yang dirancang untuk merepresentasikan persepsi visual manusia, sedangkan ΔRGB dihitung menggunakan jarak Euclidean dalam ruang warna RGB yang berbasis nilai piksel. Sebuah gambar digital tersusun dari barisan piksel yang masing-masing memiliki nilai pada tiga kanal warna (R, G, B). Nilai RGB sampel diperoleh dengan merata-ratakan seluruh nilai piksel pada setiap kanal, kemudian ΔRGB dihitung dari selisih nilai rerata antar kanal antara

Tabel 1 Hasil Pencelupan Kain Kapas dengan Variasi Konsentrasi Zat Warna Jolawe, Jenis Mordan, dan Teknik Pemordanan

Sampel	Kain Tampak Depan	Kain Tampak Belakang
Blanko (kain kapas ready for dye, non mprdan, non dyeing)		
1 (zat warna 15 g/L, pH 5, waktu pencelupan 30', non mordan)		
2 (zat warna 15 g/L, pH 5, waktu pencelupan 30' - <i>post mordanting</i> , tawas 5 g/L, suhu 50°C selama 15')		
3 (zat warna 15 g/L, pH 5, waktu pencelupan 30' - <i>post mordanting</i> , tunjung 5 g/L, suhu 50°C selama 15')		
4 (zat warna 50 g/L, pH 5, waktu pencelupan 30', non mordan)		

Sampel	Kain Tampak Depan	Kain Tampak Belakang
5 (zat warna 50 g/L, pH 5, waktu pencelupan 30' - <i>post mordanting</i> , tawas 5 g/L, suhu 50°C selama 15')		
6 (zat warna 50 g/L, pH 5, waktu pencelupan 30' - <i>post mordanting</i> , tunjung 5 g/L, suhu 50°C selama 15')		
7 (zat warna 30 g/L, pH 5, waktu pencelupan 30', non mordan)		
8 (zat warna 30 g/L, pH 5, waktu pencelupan 30' - <i>post mordanting</i> , tawas 5 g/L, suhu 50°C selama 15')		
9 (zat warna 30 g/L, pH 5, waktu pencelupan 30' - <i>post mordanting</i> , tunjung 5 g/L, suhu 50°C selama 15')		

Sampel	Kain Tampak Depan	Kain Tampak Belakang
10 (zat warna 15 g/L, pH 5, waktu pencelupan 30' - <i>pre mordanting</i> , tunjung 5 g/L, suhu 50°C selama 15')		
11 (zat warna 15 g/L, pH 5, waktu pencelupan 30' - <i>pre mordanting</i> , tunjung 5 g/L, suhu 50°C selama 15')		
12 (zat warna 15 g/L, pH 5, waktu pencelupan 30' - <i>pre mordanting</i> , tawas 5 g/L, suhu 50°C selama 15')		
13 (zat warna 15 g/L, pH 5, waktu pencelupan 30' - <i>pre mordanting</i> , tawas 5 g/L, suhu 50°C selama 15')		
14 (pH 5, mordanting tunjung 5 g/L, suhu 50°C selama 15')		

Sampel	Kain Tampak Depan	Kain Tampak Belakang
15 (pH 5, mordanting tawas 5 g/L, suhu 50°C selama 15')		

sampel dan blanko menggunakan Persamaan 1. Semakin besar nilai ΔRGB yang dihasilkan, semakin besar pula perbedaan warna antara sampel yang telah dicelup dengan kondisi kain sebelum perlakuan. Keakuratan metode ini bersifat relatif dan konsisten selama kondisi pengambilan citra (pencahayaan, jarak, alat *scanner*) dijaga seragam pada seluruh sampel. Data hasil analisis warna metode pengolahan citra digital berbasis nilai RGB dapat dilihat pada Tabel 2.

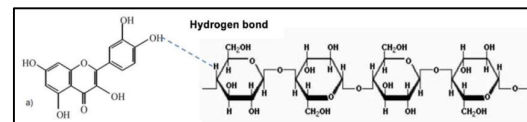
PEMBAHASAN

Hasil pencelupan kain kapas dengan zat warna jolawe (*Quercus lusitanica*) secara visual menunjukkan variasi warna yang dipengaruhi oleh konsentrasi zat warna, jenis mordan dan teknik *pemordanan* yang digunakan. Secara umum, seluruh sampel yang tidak menggunakan mordan (non mordan) maupun sampel dengan proses *post-mordanting* tawas menghasilkan warna kuning hingga krem muda yang mendekati warna kain blanko. Sedangkan sampel dengan perlakuan *post-mordanting* tawas menghasilkan warna abu-abu yang lebih pekat dari blanko

Zat warna jolawe mengandung senyawa tanin yang tergolong dalam kelompok tanin terhidrolisis¹⁰. Senyawa tanin memiliki gugus hidroksil fenolik (-OH) yang berperan sebagai kromofor

yang dapat berikatan dengan serat²⁶. Pada pencelupan kain kapas tanpa mordan, tanin berikatan dengan serat melalui ikatan hidrogen dan interaksi van der Waals antara gugus -OH tanin dan gugus -OH selulosa. Namun, ikatan tersebut relatif lemah dan reversibel sehingga daya serap zat warna menjadi terbatas. Ketiadaan mordan juga menyebabkan tidak terbentuknya jembatan koordinasi antara molekul tanin dan serat, sehingga afinitas zat warna terhadap kapas lebih rendah dan warna yang dihasilkan cenderung kurang tua serta ketahanan luntur lebih rendah.

Skema reaksi antara tanin dengan serat kapas dapat dilihat pada Gambar 1 di bawah ini²⁶.



Gambar 1 Skema Reaksi Antara Tanin dengan Serat Kapas²⁶

Pada kelompok hasil pencelupan tanpa mordan (sampel 1, 4 & 7), peningkatan konsentrasi zat warna dari 15 g/L hingga 50 g/L tidak menghasilkan perbedaan warna yang lebih besar secara visual. Hal ini menunjukkan bahwa tanpa mordan, afinitas zat warna jolawe terhadap serat

Tabel 2 Data hasil analisis warna Kain Hasil Pencelupan Menggunakan Metode pengolahan citra digital berbasis nilai RGB

Kode Sampel	RGB (0-255)			RGB Normalized (0-1)			ΔRGB (Terhadap Blanko)
	R	G	B	R	G	B	
Blanko	253,112 ± 1,021	252,921 ± 1,781	253,122 ± 1,512	0.993 ± 0.004	0.992 ± 0.007	0.993 ± 0.006	-
1	240,545 ± 9,247	240,852 ± 9,232	230,565 ± 9,655	0.943 ± 0.036	0.945 ± 0.036	0.904 ± 0.038	0,112 ± 0,038
2	240,497 ± 6,188	241,757 ± 6,160	232,548 ± 7,043	0.943 ± 0.024	0.948 ± 0.024	0.912 ± 0.028	0,104 ± 0,027
3	166,659 ± 25,165	166,730 ± 25,179	160,639 ± 25,130	0.654 ± 0.099	0.654 ± 0.099	0.630 ± 0.099	0,601 ± 0,099
4	235,824 ± 11,929	235,308 ± 11,984	218,134 ± 12,633	0.925 ± 0.047	0.923 ± 0.047	0.855 ± 0.050	0,168 ± 0,050
5	236,863 ± 9,042	237,471 ± 8,992	223,670 ± 9,684	0.929 ± 0.035	0.931 ± 0.035	0.877 ± 0.038	0,145 ± 0,038
6	160,005 ± 25,329	160,507 ± 25,361	155,571 ± 25,339	0.627 ± 0.099	0.629 ± 0.099	0.610 ± 0.099	0,641 ± 0,099
7	238,618 ± 7,867	239,247 ± 7,876	226,501 ± 8,407	0.936 ± 0.031	0.938 ± 0.031	0.888 ± 0.033	0,130 ± 0,033
8	238,102 ± 8,293	239,597 ± 8,251	228,041 ± 8,962	0.934 ± 0.033	0.940 ± 0.032	0.894 ± 0.035	0,126 ± 0,035
9	153,746 ± 14,472	154,189 ± 14,560	151,630 ± 14,465	0.603 ± 0.057	0.605 ± 0.057	0.595 ± 0.057	0,678 ± 0,057
10	216,367 ± 17,897	214,790 ± 17,939	199,418 ± 18,017	0.848 ± 0.070	0.842 ± 0.070	0.782 ± 0.071	0,296 ± 0,071
11	205,476 ± 19,563	205,212 ± 19,603	193,275 ± 19,144	0.806 ± 0.077	0.805 ± 0.077	0.758 ± 0.075	0,354 ± 0,076

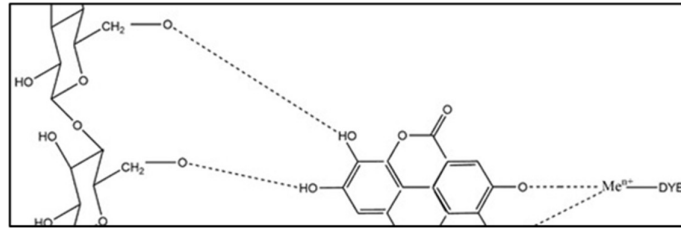
Kode Sampel	RGB (0-255)			RGB Normalized (0-1)			ΔRGB (Terhadap Blanko)
	R	G	B	R	G	B	
12	239,899 ± 7,878	241,050 ± 7,901	228,909 ± 8,432	0.941 ± 0.031	0.945 ± 0.031	0.898 ± 0.033	0,118 ± 0,033
13	239,208 ± 8,859	240,307 ± 8,856	227,256 ± 9,456	0.938 ± 0.035	0.942 ± 0.035	0.891 ± 0.037	0,125 ± 0,037
14	248,633 ± 3,046	248,634 ± 3,045	248,494 ± 3,135	0,974 ± 0,012	0,975 ± 0,012	0,974 ± 0,012	0.0318 ± 0,0133
15	249,154 ± 2,314	248,711 ± 2,912	248,901 ± 2,715	0,977 ± 0,009	0,975 ± 0,011	0,976 ± 0,011	0.0289 ± 0,0120

kapas bersifat terbatas. Sehingga, penambahan konsentrasi zat warna tidak berbanding lurus dengan peningkatan penyerapan warna pada serat.

Dari tabel 1 dapat dilihat bahwa penggunaan mordan tawas $Al_2(SO_4)_3$ dengan teknik *post-mordanting* pada sampel 2, 5, dan 8 tidak menghasilkan perubahan warna yang lebih besar secara visual dibandingkan dengan sampel non mordan pada konsentrasi yang sama. Meskipun ion Al^{3+} dari tawas secara teoritis mampu membentuk ikatan kompleks dengan gugus -OH fenolik dari tanin, hasil pencelupan yang kurang optimal yang disebabkan oleh kondisi proses *post-mordanting*. Pada proses ini, zat warna yang telah terserap pada serat belum membentuk ikatan yang cukup kuat, sehingga sebagian zat warna terlepas kembali selama proses pemordanan berlangsung. Selain itu, karakter absorpsi cahaya yang dihasilkan dari ikatan kompleks antara tanin dan Al^{3+} tidak berbeda jauh dari tanin bebas, sehingga perubahan warna yang dihasilkan tidak begitu nampak¹⁵.

Sebaliknya, pada penggunaan mordan tunjung dengan teknik *post-mordanting* pada sampel 3, 6, dan 9 menghasilkan warna abu-abu yang jauh lebih pekat dibandingkan seluruh kelompok perlakuan lainnya. Ion Fe^{3+} dari tunjung diketahui memiliki afinitas yang tinggi terhadap gugus -OH fenolik dari senyawa tanin melalui adanya pembentukan ikatan kompleks yang stabil. Kompleks tanin dan Fe^{2+} yang terbentuk menghasilkan perubahan absorpsi cahaya sehingga warna yang dihasilkan bergeser menjadi abu-abu^{27,28}. Selain itu, ion Fe^{2+} dapat teroksidasi menjadi Fe^{3+} setelah membentuk kompleks dengan tanin, menghasilkan kompleks tanin dan besi yang berwarna abu-abu hingga hitam kebiruan¹⁵. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan mordan tunjung lebih efektif meningkatkan penyerapan zat warna jolawe pada kain kapas dengan teknik *post-mordanting*.

Skema reaksi antara tanin, mordan, dengan serat kapas dapat dilihat pada Gambar 2⁶. Pada kelompok *pre-mordanting*, baik menggunakan tunjung (sampel 10 dan



Gambar 2 Skema Reaksi Antara Tanin, Mordan dan Serat Kapas²⁹

11) maupun tawas (sampel 12 dan 13), hasil pencelupan secara visual menunjukkan warna yang sangat muda dan hampir tidak berbeda dari kain blanko. Hal ini terjadi karena ion logam dari mordan yang seharusnya terlebih dahulu berikatan dengan gugus -OH selulosa pada serat kapas. Selanjutnya pada tahap pencelupan, ion logam yang telah terikat pada serat akan berikatan dengan gugus -OH fenolik dari tanin jolawe sehingga membentuk ikatan silang kompleks antara serat, logam dan tanin⁶. Hasil yang kurang optimal pada kelompok proses ini, disebabkan karena kondisi pencelupan yang dilakukan pada suhu 80°C. Hal ini terjadi karena sebagian kompleks mordan dan serat yang telah terbentuk mengalami ketidakstabilan termal, atau zat warna tidak terserap secara optimal pada kondisi suhu dan waktu pencelupan yang digunakan.

Untuk mengonfirmasi hasil pengamatan visual, evaluasi warna selanjutnya dilakukan menggunakan metode analisis citra digital berbasis nilai RGB (pengolahan citra digital). Hasil analisis warna secara kuantitatif menunjukkan pola yang secara umum sama dengan pengamatan visual pada Tabel 2. Nilai ΔRGB merepresentasikan jarak Euclidean dalam ruang warna RGB antara sampel yang telah dicelup dengan kain blanko³⁰. Semakin besar nilai ΔRGB menunjukkan semakin besar pula perbedaan warna yang terjadi³¹.

Pada kelompok pencelupan tanpa mordan, nilai ΔRGB yang

dihasilkan tergolong rendah pada seluruh variasi konsentrasi, yaitu 0,112 (sampel 1, 15 g/L), 0,130 (sampel 7, 30 g/L), dan 0,168 (sampel 4, 50 g/L). Meskipun terdapat kecenderungan peningkatan nilai ΔRGB seiring dengan meningkatnya konsentrasi zat warna, perbedaan yang dihasilkan relatif kecil. Hal ini mengonfirmasi secara kuantitatif bahwa tanpa penambahan mordan, peningkatan konsentrasi zat warna jolawe tidak memberikan dampak yang signifikan terhadap penyerapan warna pada serat kapas.

Pada kelompok *post-mordanting* tawas, nilai ΔRGB yang diperoleh juga tergolong rendah dan bahkan lebih kecil dibandingkan kelompok non mordan pada konsentrasi yang sama, yaitu 0,104 (sampel 2, 15 g/L), 0,126 (sampel 8, 30 g/L), dan 0,145 (sampel 5, 50 g/L). Nilai ΔRGB yang lebih rendah dari kelompok non mordan menunjukkan bahwa proses *post-mordanting* dengan tawas tidak hanya gagal meningkatkan penyerapan warna, tetapi dapat menyebabkan sebagian zat warna yang telah terserap pada serat terlepas kembali selama proses *pemordanan* berlangsung.

Sebaliknya, kelompok *post-mordanting* tunjung menunjukkan nilai ΔRGB tertinggi di antara seluruh kelompok perlakuan, yaitu 0,601 (sampel 3, 15 g/L), 0,678 (sampel 9, 30 g/L), dan 0,641 (sampel 6, 50 g/L). Nilai ΔRGB pada kelompok ini hampir enam kali lipat lebih besar dibandingkan kelompok non mordan maupun *post-*

mordanting tawas pada konsentrasi yang sama. Hal ini mengonfirmasi secara kuantitatif bahwa mordan tunjung jauh lebih baik dalam meningkatkan penyerapan zat warna jolawe pada kain kapas melalui ikatan kompleks antara tanin, Fe^{2+} dan serat kapas yang stabil.

Untuk memastikan bahwa peningkatan nilai ΔRGB pada kelompok *post-mordanting* tunjung merupakan kontribusi dari zat warna jolawe dan bukan dari ion logam mordan itu sendiri, dilakukan pengujian kontrol berupa pencelupan kain kapas menggunakan larutan mordan tanpa penambahan zat warna dengan kondisi proses yang disamakan. Hasil pengujian kontrol menunjukkan bahwa mordan tawas dan tunjung menghasilkan warna yang sangat muda dengan nilai ΔRGB yang sangat kecil yaitu 0.0318 untuk tawas dan 0.0289 untuk tunjung. Hal ini mengonfirmasi bahwa warna yang dihasilkan pada seluruh kelompok perlakuan didominasi oleh zat warna jolawe, bukan oleh kontribusi warna dari ion logam mordan.

Menariknya, nilai ΔRGB tertinggi justru diperoleh pada konsentrasi 30 g/L (sampel 9, $\Delta RGB = 0,678 \pm 0,057$) dan bukan pada konsentrasi tertinggi 50 g/L (sampel 6, $\Delta RGB = 0,641 \pm 0,099$). Namun jika diamati, pada kelompok pencelupan tanpa mordan maupun *post-mordanting* tawas, nilai ΔRGB justru menunjukkan kecenderungan naik seiring dengan peningkatan konsentrasi. Hal ini mengindikasikan bahwa penurunan pada kelompok tunjung kemungkinan bukan merupakan pola yang konsisten, melainkan berada dalam rentang variasi yang wajar.

Hal ini diperkuat dengan hasil perhitungan standar deviasi yang menunjukkan bahwa rentang nilai kedua sampel tersebut saling tumpang tindih (sampel 9: 0,621–0,735; sampel

6: 0,542–0,740), sehingga perbedaan nilai rata-rata keduanya tidak dapat diinterpretasikan sebagai perbedaan. Adapun penurunan nilai ΔRGB pada konsentrasi 50 g/L diduga terjadi karena pada konsentrasi tersebut serat kapas telah mencapai kondisi jenuh

Pada kelompok *pre-mordanting* tawas, nilai ΔRGB yang diperoleh tergolong rendah, yaitu 0,118 (sampel 12, tawas 5 g/L) dan 0,125 (sampel 13, tawas 10 g/L), dan tidak berbeda jauh dari kelompok non mordan. Peningkatan konsentrasi mordan tawas dari 5 g/L menjadi 10 g/L hanya menghasilkan selisih ΔRGB sebesar 0,007, yang menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi mordan tawas tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap peningkatan penyerapan warna pada teknik *pre-mordanting*.

Berbeda dengan *pre-mordanting* tawas, kelompok *pre-mordanting* tunjung menunjukkan nilai ΔRGB yang lebih tinggi, yaitu 0,296 (sampel 10, tunjung 5 g/L) dan 0,354 (sampel 11, tunjung 10 g/L). Peningkatan konsentrasi mordan tunjung dari 5 g/L menjadi 10 g/L menghasilkan peningkatan nilai ΔRGB sebesar 0,058. Meskipun demikian, nilai ΔRGB pada kelompok *pre-mordanting* tunjung masih jauh lebih rendah dibandingkan kelompok *post-mordanting* tunjung. Hal ini menunjukkan bahwa teknik *post-mordanting* lebih efektif untuk mordan tunjung pada pencelupan zat warna jolawe pada kain kapas.

Secara keseluruhan, zat warna jolawe terbukti berpotensi digunakan sebagai zat warna alam untuk pencelupan kain kapas, dengan hasil pencelupan terbaik diperoleh pada teknik *post-mordanting* menggunakan mordan tunjung pada konsentrasi zat warna 30 g/L, yang menghasilkan penyerapan warna tertinggi berdasarkan nilai ΔRGB . Penggunaan

mordan terbukti berperan penting dalam meningkatkan penyerapan dan kestabilan warna, di mana jenis mordan dan teknik pemordanan menentukan kedalaman serta karakter warna yang dihasilkan pada kain kapas.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan penelitian ini, zat warna alam jolawe (*Quercus lusitanica*) berpotensi sebagai alternatif zat warna untuk pencelupan kain kapas, khususnya apabila dikombinasikan dengan perlakuan pemordanan yang tepat. Tanpa penggunaan mordan, peningkatan konsentrasi zat warna tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kualitas warna yang dihasilkan. Kualitas warna dipengaruhi oleh jenis mordan dan teknik *mordanting*, sedangkan peningkatan

konsentrasi zat warna tanpa mordan tidak memberikan pengaruh signifikan. Perlakuan paling efektif diperoleh pada *post-mordanting* tunjung (FeSO_4) dengan konsentrasi 30 g/L yang menghasilkan nilai ΔRGB tertinggi. Sebaliknya, mordan tawas tidak menunjukkan peningkatan penyerapan warna yang berarti.

Saran

Penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan optimasi kondisi *post-mordanting* tunjung (suhu, waktu, dan konsentrasi), pengujian ketahanan luntur sesuai standar SNI atau ISO, serta pengukuran nilai K/S untuk validasi hasil. Selain itu, perlu dikaji dampak lingkungan penggunaan mordan tunjung guna memastikan keberlanjutan proses pencelupa

DAFTAR PUSTAKA

1. Purnomo, Y. H. Degradasi Limbah Batik Berwarna Biru Dengan Metode Elektrolisis Menggunakan Elektroda Platinum. (2010).
2. Ardila-Leal, L. D., Poutou-Piñales, R. A., Pedroza-Rodríguez, A. M. & Quevedo-Hidalgo, B. E. A brief history of colour, the environmental impact of synthetic dyes and removal by using laccases. *Molecules* **26**, 3813 (2021).
3. Chungkrang, L., Bhuyan, S. & Phukan, A. R. Natural dyes: extraction and applications. *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci.* **10**, 1669–1677 (2021).
4. Samanta, A. K. & Konar, A. Dyeing of textiles with natural dyes. *Natural dyes* **3**, 212–222 (2011).
5. Jordeva, S., Kertakova, M., Zhezhova, S., Golomeova-Longurova, S. & Mojsov, K. Dyeing of textiles with natural dyes. *Tekstilna industrija* **68**, 12–21 (2020).
6. Saxena, S. & Raja, A. S. M. Natural Dyes: Sources, Chemistry, Application and Sustainability Issues. in (2014). doi:10.1007/978-981-287-065-0_2.
7. Samanta, A. K. & Agarwal, P. Application of natural dyes on textiles. *Indian J. Fibre Text. Res.* **34**, 384–399 (2009).
8. Andansari, D. & Nadir, M. Eksplorasi Pewarnaan Beberapa Jenis Kain Menggunakan Pewarna Alami Jolawe Dan Secang Dengan Fiksasi Tawas, Baking Soda Dan Jeruk Nipis. *Jurnal Kreatif: Desain Produk Industri Dan Arsitektur* **4**, 9 (2017).
9. Wahyuningsih, S. *et al.* Peningkatan Kualitas Produksi Ecoprint Corak Pewarna Alam melalui Pendampingan Proses Teknik Pewarnaan di UMKM Ecorilife. Id. *Jurnal Abdi Masyarakat Indonesia* **5**, 1–10 (2025).
10. Ulusoy, H. Usage opportunities of the natural dye extracted from acorn (*Quercus ithaburensis Decaisne*) in the furniture industry upper surface treatment. *International Journal of Physical Sciences* (2013).
11. Köhler, P., Bystry, A. & Łuczaj, Ł. Plants and other materials used for dyeing in the present territory of Poland, Belarus and Ukraine according to Rostafiński's questionnaire from 1883. *Plants* **12**, 1482 (2023).
12. Periyasamy, A. P. Natural dyeing of cellulose fibers using syzygium cumini fruit extracts and a bio-mordant: A step toward sustainable dyeing. *Sustainable Materials and Technologies* **33**, e00472 (2022).
13. Turgut, H. İ., Elgün, B. S. & Yazar, Ö. Wash fastness properties of pre-mordanting cotton fabrics dyed with natural dyes. *Journal of Innovative Engineering and Natural Science* **4**, 1–17 (2024).
14. Ashrafi, N. *et al.* Dyeing properties and color fabrics using natural dye and mordant. *Progress in Color, Colorants and Coatings* **11**, 79–83 (2018).
15. Manian, A. P., Paul, R. & Bechtold, T. Metal mordanting in dyeing with natural colourants. *Coloration Technology* **132**, 107–113 (2016).
16. Cahyaningtyas, H. A. A., Vera, A. & Mulyani, R. W. E. Study of Physical-Chemical Characteristic in Dyeing with Teak Leaf Extract: The Role of Post-Mordant and Alkaline Solution. *Sainteks: Jurnal Sain dan Teknik* **7**, 183–192 (2025).
17. Wang, Y., Yi, Q., Ding, Y., Ji, F. & Wang, N. Study on the factors influencing the dyeing performance of cotton fabric with vat dyes based on principal component analysis. *The Journal of the Textile Institute* **112**, 1460–1466 (2021).

18. Kurniati, Y., Yanti, S., Agustine, D. & Amyranti, M. Pengaruh konsentrasi zat warna reaktif dan waktu celup pada pencelupan benang 100% kapas terhadap ketahanan warna. *Jurnal Ilmiah* **1**, 1–5 (2020).
19. Ikhsani, N. *et al.* Application Of Dbd Plasma As Pretreatment Of Cotton Fabric To Enhance The Affinity Of Natural Dye Extracted From Oil Palm Empty Fruit Bunch Waste With Image Processing Evaluation. *Spin Jurnal Kimia & Pendidikan Kimia* **7**, 163–170 (2025).
20. Nguyen, T. A. A Review of Image-Based Fabric Color Measurement: Methods, Challenges, and Future Prospects. *Color Res. Appl.* **51**, e70060 (2026).
21. Dorriy, J. L., Zhao, F. & Carr, W. W. Camera-based measurement of textile card web density. *Textile research journal* **73**, 69–73 (2003).
22. Fiedoruk-Pogrebniak, M. Mathematical processing of RGB data in microfluidic paper-based analytical devices. *Sci. Rep.* **14**, 13635 (2024).
23. Manhita, A., Ferreira, T., Candeias, A. & Barrocas Dias, C. Extracting natural dyes from wool—an evaluation of extraction methods. *Anal. Bioanal. Chem.* **400**, 1501–1514 (2011).
24. da Costa, S. M., Gonçalves, G. F., Mari, I. L. & da Costa, S. A. Dyeing of Cotton Fabric with Pomegranate Peel Extract (*Punica Granatum L.*) Using Chitosan and Aloe Vera (*L.*) *Burm. F.* As Biomordants and Alum and Ferrous Sulfate as Mordants. in *International Fashion and Design Congress* 459–469 (Springer, 2024).
25. Ikhsani, N. *et al.* Pengaruh Konsentrasi NaOH dan Waktu Proses Kostikasi Terhadap Pengurangan Massa Serat Daun Nanas. *Journal of Research and Education Chemistry* **7**, 135 (2025).
26. Nuramdhani, I., Ikhsani, N. & Agustinisari, I. Preparation of Nano-Sized Eucalyptus Leaves Extract and its Application on Cotton as Natural Dyes and Antibacterial Agents. *Tekstilec* **67**, 194–209 (2024).
27. İşmal, Ö. E. & Yildirim, L. Metal mordants and biomordants. in *The Impact and Prospects of Green Chemistry for Textile Technology* (2018). doi:10.1016/B978-0-08-102491-1.00003-4.
28. Haji, A. *Dyeing of Cotton Fabric with Natural Dyes Improved by Mordants and Plasma Treatment*. www.pccc.icrc.ac.ir (2019).
29. Mijas, G., Josa, M., Cayuela, D. & Riba-Moliner, M. Study of dyeing process of hemp/cotton fabrics by using natural dyes obtained from *Rubia tinctorum L.* and *Calendula officinalis*. *Polymers (Basel)*. **14**, 4508 (2022).
30. Bere, M. V. M. *et al.* Pengukuran Perubahan Kualitas Warna Kain Tenun Malaka Berdasarkan Perbandingan Nilai RGB, MSE dan PSNR. *KONSTELASI: Konvergensi Teknologi Dan Sistem Informasi* **4**, 184–195 (2024).
31. Nabila, S. A., Pradana, S. M., Novrita, S. Z. & Oktaviani, V. The Effect of Dyeing Temperature on The Color and Color Fastness of Sicerek Leaves (*Clausena Excavata Burm. F.*) on Roberto Cavali Fabric. *SAINTEKS: Jurnal Sain dan Teknik* **8**, 104–115 (2026).