

Analisa Pengaruh Porositas Kain Tenun terhadap Penyerapan Zat Warna Menggunakan Image Processing

Amar¹, Verawati Nurazizah^{2*}, Mohadi³, Hendri Pujianto⁴, Sepdhina Annisa Nur Rahma⁵

¹⁻⁵Teknik Pembuatan Kain Tenun, Akademi Komunitas Industri Tekstil dan Produk Tekstil Surakarta
Jl. Ki Hajar Dewantara, Jebres, Surakarta, Jawa Tengah 57126

Email: amar@ak-tekstilsolo.ac.id, verawatinurazizah@ak-tekstilsolo.ac.id, mohadi@ak-tekstilsolo.ac.id,
hendrip@ak-tekstilsolo.ac.id, sspdna@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh porositas kain tenun terhadap penyerapan zat warna menggunakan metode pengolahan citra digital. Porositas diukur melalui citra hasil pemindaian sampel kain dengan pendekatan thresholding menggunakan perangkat lunak berbasis Java. Metode statistik Kruskal-Wallis digunakan untuk menguji signifikansi perbedaan porositas dan nilai K/S antar jenis anyaman. Hasil menunjukkan korelasi negatif yang signifikan ($r = -0.858$) antara porositas dan nilai K/S, dengan kontribusi porositas sebesar 73,65% terhadap variasi penyerapan warna. Jenis anyaman satin menunjukkan performa terbaik dalam penyerapan zat warna, sesuai dengan teori peningkatan kontak antar serat. Penelitian ini memberikan kontribusi pada pengembangan metode kuantitatif dalam evaluasi kualitas kain menggunakan teknologi pengolahan citra.

Kata kunci: Desain Anyaman, *Image Processing*, Penyerapan Zat Warna, Porositas Kain, Spektrofotometri

ABSTRACT

This study aims to analyze the influence of woven fabric porosity on dye absorption using a digital image processing approach. Porosity was measured through scanned images of fabric samples using a thresholding technique implemented in a custom-developed Java-based software. The Kruskal-Wallis statistical method was applied to test the significance of differences in porosity and color strength (K/S values) among different weave types. The results revealed a significant negative correlation ($r = -0.858$) between porosity and K/S values, with porosity contributing 73.65% to the variation in dye absorption. Satin weave demonstrated the best dye absorption performance, in line with the theory of increased inter-fiber contact. This research contributes to the development of quantitative methods for fabric quality evaluation using image processing technology.

Keywords: Dye Absorption, Fabric Porosity, Image Processing, Spectrophotometry, Weave Structures

Pendahuluan

Porositas kain merupakan ruang kosong atau rongga pada struktur kain yang berpengaruh terhadap breathability, konduktivitas termal dan perilaku pewarnaan pada kain [1], [2]. Porositas kain yang berbeda berpengaruh terhadap kedalaman warna yang dihasilkan, terutama pada warna-warna gelap [3]. Porositas kain tenun dipengaruhi oleh beberapa parameter kain yaitu nomor benang, gramasi kain, twist benang, tetal lusi dan tetal pakan serta ketebalan kain. Dalam konteks parameter kontruksi kain tenun tetap konstan, jenis anyaman dan porositas berperan penting dalam menghasilkan kedalaman warna yang baik.

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengkaji hubungan antara struktur kain dan performa pewarnaan. Kontruksi kain berpengaruh terhadap penyerapan warna, waktu pewarnaan dan suhu pewarnaan [4]. Struktur kain mempengaruhi ketahanan warna kain hasil pewarnaan dengan derajat kilau, derajat keputihan, kerapatan pakan, kekasaran dan berat kain (gramasi) menjadi faktor utama yang berpengaruh terhadap pewarnaan kain [5]. Proses pewarnaan kain juga dipengaruhi oleh jenis serat, susunan serat dan struktur benang [6], konsentrasi zat warna, pH, ukuran partikel adsorben, suhu dan modifikasi permukaan kain [7]. Penelitian sebelumnya telah menyelidiki pengaruh struktur tenunan pada pewarnaan kain Tencel dengan menggunakan Matlab untuk mengukur porositas kain dan keseragaman pewarnaan serat pada benang [8].

Porositas kain yang kurang baik dapat mengakibatkan penyerapan zat warna yang tidak merata, sehingga pada akhirnya berpengaruh terhadap kualitas hasil pewarnaan kain tersebut. Dampak dari masalah ini sangat signifikan bagi produsen tekstil, terutama dalam upaya untuk memenuhi standar kualitas yang ketat dan permintaan konsumen yang tinggi. Hasil pewarnaan yang tidak merata dapat menyebabkan produk ditolak oleh pasar atau memerlukan proses pewarnaan ulang yang akan menambah ongkos produksi dan mengurangi efisiensi.

Oleh karena itu, identifikasi dan pemahaman yang mendalam mengenai pengaruh porositas kain terhadap penyerapan zat warna sangat diperlukan untuk mengatasi masalah ini.

Penelitian ini berfokus pada pengaruh porositas kain terhadap penyerapan zat warna dengan menggunakan teknik pemrosesan citra untuk mengukur porositas kainnya. Beberapa penelitian sebelumnya telah berhasil mengukur porositas berbagai jenis kain dengan akurat menggunakan teknik pemrosesan citra. Analisis pemrosesan citra merupakan alternatif pengukuran porositas kain tenun tidak merusak. Akurasi pengukurannya sangat dipengaruhi oleh kerapatan kain, jenis anyaman dan kondisi pengambilan gambar [9]. Aplikasi analisis gambar ImageJ digunakan untuk mengukur jumlah, ukuran dan distribusi pori-pori pada kain tenun transparan yang memungkinkan evaluasi parameter porositas dan sifat permeabilitasnya [10]. Penelitian lainnya mengembangkan algoritma analisis citra digital dan model pembelajaran mesin untuk menghitung dan memprediksi cover faktor dan porositas secara akurat pada kain rajut [11]. Analisis gambar juga dapat secara akurat menentukan porositas makrostruktur bahan tekstil dengan pori-pori yang tidak rata pada kain *non-woven* [12]. Selain itu, analisis gambar dan *computer vision* dapat mendeteksi berbagai jenis cacat kain melalui pendekatan berbasis histogram, warna, segmentasi gambar, operasi domain frekuensi, deteksi cacat berbasis tekstur dan morfologi gambar [13]. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan yang bermanfaat bagi industri tekstil serta memberikan panduan praktis bagi industri tekstil dalam mengoptimalkan proses pewarnaan dan meningkatkan kualitas produk.

Metode Penelitian

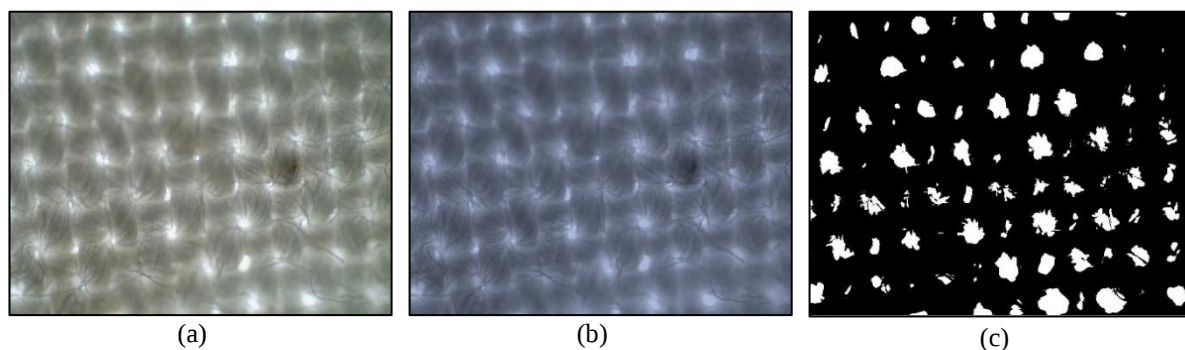
Penelitian ini menggunakan kain tenun CD 30 dengan empat jenis anyaman, yaitu plain (1/1), twill (3/1), saten (1/4) dan Opposite Saten (1/4) yang masing-masing disiapkan untuk tiga kali pengulangan. Sampel kain dicelup dengan pewarna reaktif kuning, biru dan merah dengan konsentrasi 2% owf pada suhu 90°C selama 45 menit untuk setiap sampel kain. Ketuaan warna (K/S) diukur pada panjang gelombang 380-780 nm menggunakan spektrofotometer mengikuti persamaan Kubelka-Munk.

Pengambilan citra porositas dilakukan menggunakan mikroskop optic dengan pembesaran 40x. Gambar diolah dengan algoritma pra-pemrosesan (perataan histogram, noise removal) diikuti thresholding Otsu untuk memisahkan pori (pixel hitam sebagai benang, putih sebagai pori). Perangkat lunak *AW Digital Image Processing* berbasis Java yang dikembangkan oleh Wijayono, dkk. [14]. Analisis statistik Kruskal Wallis dan Uji Mann-Whitney dilakukan untuk mengevaluasi perbedaan signifikansi antar jenis anyaman. Regresi linier dilakukan untuk melihat seberapa besar pengaruh porositas terhadap ketuaan warna (K/S).

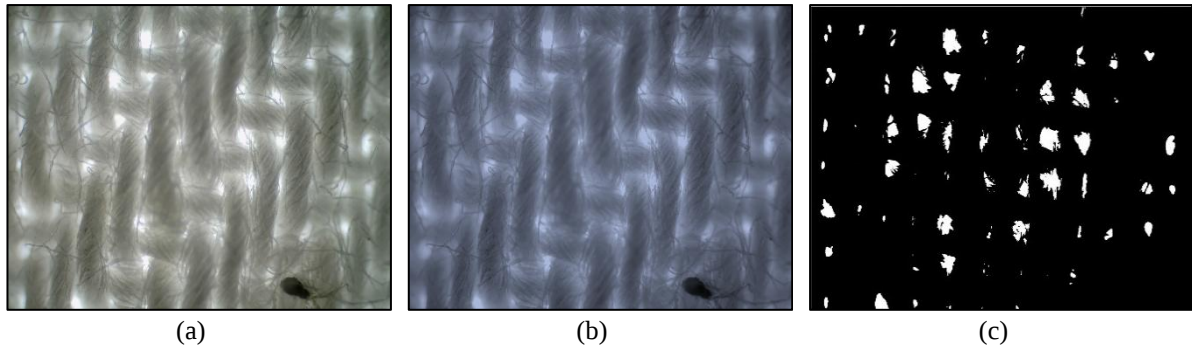
Hasil Dan Pembahasan

Pengukuran Porositas

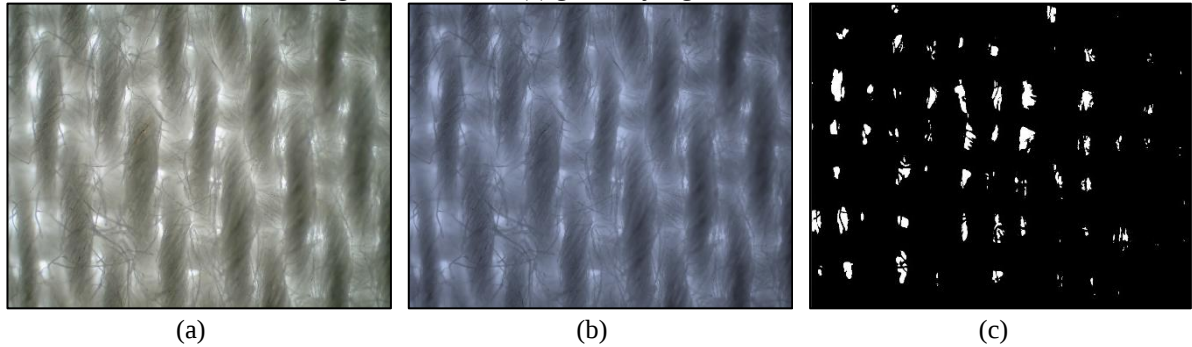
Pengukuran porositas kain dilakukan untuk mengetahui hubungan antara struktur anyaman pada kain dengan tingkat porositas yang dihasilkan. Porositas kain dihitung berdasarkan perbandingan antara total luasan pori dengan total luasan kain secara keseluruhan. Dalam hal ini total luasan pori adalah jumlah pixel yang berwarna putih dan kain adalah jumlah pixel yang berwarna hitam. Hasil pengukuran porositas kain terlihat pada Tabel 1.



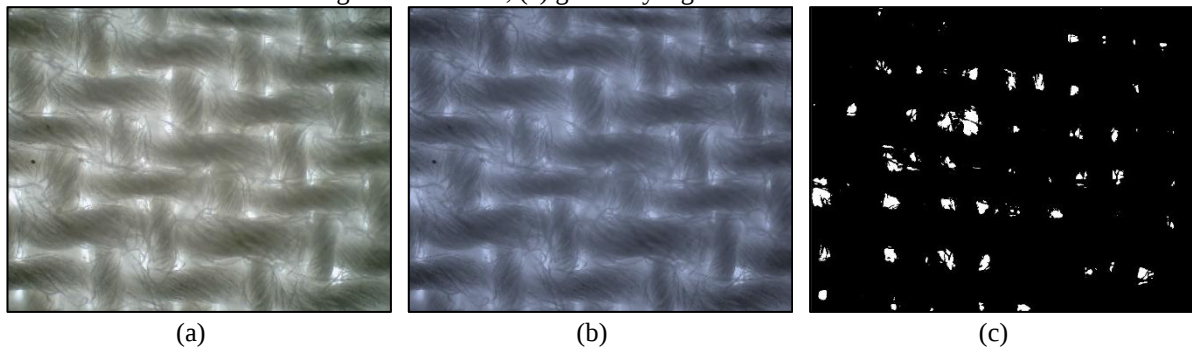
Gambar 1 Struktur kain anyaman Plain (1/1) (a) mikroskop pembesaran 40x, (b) gambar yang sudah ditingkatkan kontras, (c) gambar yang sudah di threshold



Gambar 2 Struktur kain anyaman Twill (3/1) (a) mikroskop pembesaran 40x, (b) gambar yang sudah ditingkatkan kontras, (c) gambar yang sudah di threshold



Gambar 3 Struktur kain anyaman satin 5 gun (a) mikroskop pembesaran 40x, (b) gambar yang sudah ditingkatkan kontras, (c) gambar yang sudah di threshold

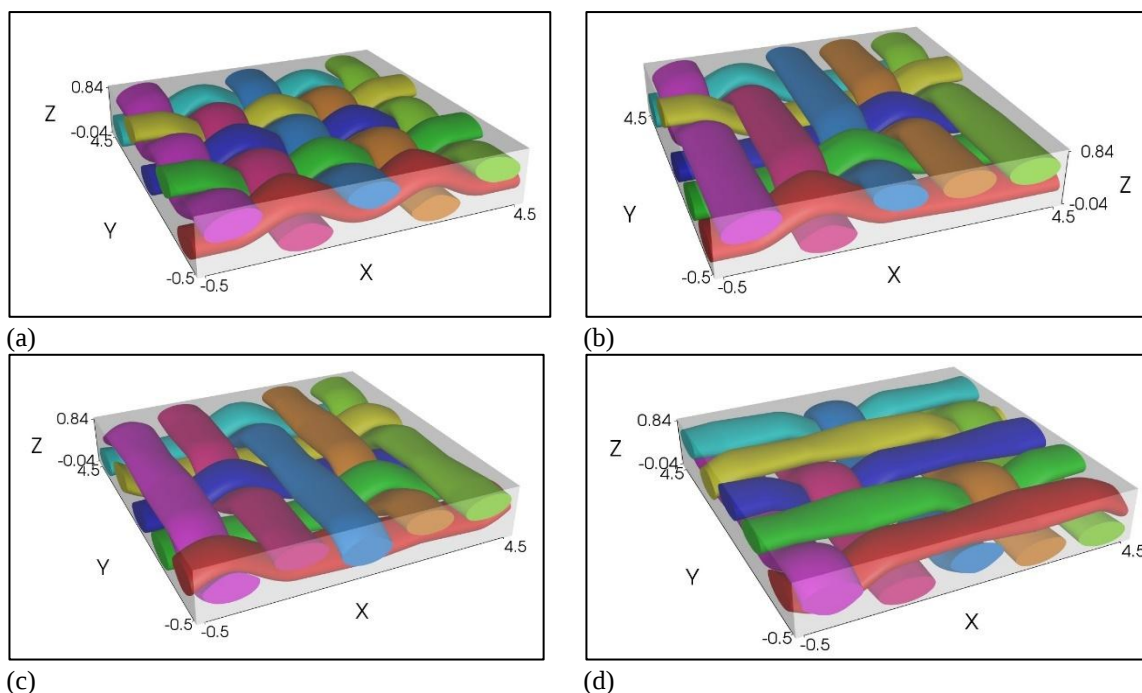


Gambar 4 Struktur kain anyaman Opposite Sateen (1/4) (a) mikroskop pembesaran 40x, (b) gambar yang sudah ditingkatkan kontras, (c) gambar yang sudah di threshold

Tabel 1. Hasil Pengukuran Porositas Kain Tenun

Jenis Anyaman	Jumlah Sampel (n)	Rata-rata Porositas
Plain (1/1)	3	0,0682
Twill (3/1)	3	0,0948
Sateen (4/1)	3	0,0713
Opposite Sateen (1/4)	3	0,0817

Berdasarkan hasil Uji ANOVA terdapat perbedaan porositas pada keempat anyaman (p-value 0,010, df 3 dan F 7,548). Hasil Uji Post Hoc menggunakan Student-Newman-Keuls menunjukkan bahwa porositas kain anyaman plain, anyaman satin dan anyaman opposite satin tidak ada perbedaan yang signifikan sedangkan untuk anyaman keper memiliki porositas yang berbeda dari anyaman lainnya. Anyaman opposite satin (1/4) memiliki porositas yang sama dengan anyaman twill (3/1).



Gambar 5 Kenampakan struktur anyaman kain 3 dimensi (a) Plain (1/1), (b) Twill (3/1), (c) Sateen (4/1) dan (d) Opposite sateen (1/4)

Pada kain dengan anyaman Plain (1/1) benang tersusun dengan titik silangan yang lebih banyak dibandingkan dengan anyaman lainnya. Masing-masing benang lusi berjalan dengan menyilang benang pakan setiap satu kali peluncuran. Pada anyaman Twill (3/1) benang lusi berjalan dengan menyilang benang pakan setiap 3 kali peluncuran benang pakan. Pada anyaman Sateen (4/1), benang lusi menyilang benang pakan setiap 4 kali peluncuran benang pakan dengan posisi benang lusi berada diatas benang pakan, sedangkan pada anyaman satin pakan benang lusi berada dibawah benang pakan.

Porositas pada kain tenun biasanya terdiri dari dua jenis porositas, yaitu porositas mikro dan porositas makro. Porositas mikro merupakan ruang kosong antar serat di dalam benang sedangkan porositas makro merupakan ruang kosong diantara benang pada kain. Porositas makro kain tenun dapat ditentukan dari kerapatan fisik kain dan serat sedangkan jumlah pori dapat disimpulkan dari jumlah titik silangan [15]. Jumlah silangan pada anyaman plain adalah yang paling banyak diantara jenis anyaman lainnya. Dalam 6 helai benang lusi dan benang pakan, jumlah silangan pada setiap anyaman adalah sebagai berikut.

Tabel 2. Jumlah Silangan pada Anyaman

Anyaman	Jumlah Silangan dalam (6x6) lusi dan pakan
Polos	18
Keper	8
Satin Lusi	8
Satin Pakan	8

Berdasarkan hasil pengukuran porositas menggunakan analisis citra, didapatkan bahwa anyaman Plain (1/1) memiliki porositas yang lebih kecil dibandingkan ketiga anyaman lainnya. Hal ini dapat dimungkinkan terjadi karena porositas dan ukuran pori berbanding terbalik dengan cover faktor pada kain [16]. Kain dengan anyaman Plain (1/1) memiliki tingkat cover factor yang paling tinggi dibandingkan keper dan satin karena memiliki jumlah titik silang yang lebih banyak [17]. Hal ini dapat mengindikasikan bahwa jumlah pori tidak berbanding lurus dengan besaran porositas pada kain.

Penyerapan Zat Warna

Spektrofotometer digunakan untuk mengukur penyerapan zat warna. Kurva reflektansi yang menunjukkan hubungan antara panjang gelombang dan reflektansi cahaya dari objek terhadap cahaya yang ditembakkan, sehingga didapatkan nilai R%. Untuk mengetahui kandungan zat warna pada bahan (ketuaan warna) dapat dinyatakan dengan nilai K/S yang dapat diperoleh dari persamaan *Kubelka Munk*, sebagai berikut:

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

dimana:

K = Koefisien penyerapan zat warna

S = Koefisien penghamburan cahaya

R = Reflektansi

Kemudian, nilai K/S total dihitung dengan

$$K/S = (K/S)_0 - (K/S)_1 \quad (2)$$

dimana,

K/S = Ketuaan zat warna

(K/S)₀ = Ketuaan warna kain berwarna

(K/S)₁ = Ketuaan warna kain putih

Uji ketuaan warna dilakukan mengkonversikan nilai reflektansi ke dalam nilai K/S. Nilai reflektansi diukur pada panjang gelombang 380-780 nm. Nilai reflektansi berbanding terbalik dengan nilai K/S, semakin besar nilai reflektansi akan menghasilkan nilai K/S yang semakin kecil. Penyerapan zat warna pada bahan dapat dilihat dari nilai ketuaan warna kainnya (K/S). Semakin besar nilai K/S menunjukkan zat warna yang diserap pada bahan lebih banyak, sehingga menghasilkan warna yang lebih tua [18]. Berdasarkan hasil pengujian R% didapatkan nilai K/S sebagai berikut.

Tabel 3. Hasil pengujian R%

Anyaman	Porositas	No Sampel	Kuning		Merah		Biru	
			R%	K/S	R%	K/S	R%	K/S
Plain (1/1)	0,0682	1	0,7553	0,0373	0,7833	0,0277	0,2718	0,9732
	0,0682	2	0,8030	0,0219	0,8207	0,0173	0,2509	1,1160
	0,0682	3	0,8257	0,0161	0,8367	0,0136	0,2666	1,0065
		$\bar{x}$	0,7947	0,0251	0,8136	0,0195	0,2631	1,0319
Twill (3/1)	0,0948	1	0,7751	0,0303	0,9984	-0,0023	0,3830	0,4947
	0,0948	2	0,8335	0,0143	0,9760	-0,0020	0,3730	0,5247
	0,0948	3	0,8022	0,0221	0,9163	0,0015	0,3744	0,5204
		$\bar{x}$	0,8036	0,0223	0,9636	-0,0009	0,3768	0,5133
Sateen (4/1)	0,0713	1	0,7713	0,0316	0,8427	0,0124	0,2451	1,1602
	0,0713	2	0,6758	0,0755	0,9320	0,0002	0,2212	1,3687
	0,0713	3	0,7621	0,0348	0,9609	-0,0015	0,2395	1,2051
		$\bar{x}$	0,7364	0,0473	0,9119	0,0037	0,2353	1,2447
Opposite Sateen (1/4)	0,0817	1	0,7691	0,0324	0,9725	-0,0019	0,2571	1,0710
	0,0817	2	0,8141	0,0189	0,9681	-0,0018	0,3099	0,7661
	0,0817	3	0,7955	0,0240	0,8697	0,0075	0,2603	1,0487
		$\bar{x}$	0,7929	0,0251	0,9368	0,0013	0,2758	0,9619

Porositas kain merupakan salah satu faktor penting yang memengaruhi daya serap zat warna pada proses pewarnaan. Dalam penelitian ini, data nilai reflektansi (R%) dan koefisien serapan zat warna (K/S) diukur pada tiga warna dasar yaitu kuning, merah dan biru. Penelitian bertujuan untuk mengevaluasi hubungan antara porositas kain yang diwakili oleh jenis anyaman dan kemampuan penyerapan zat warna.

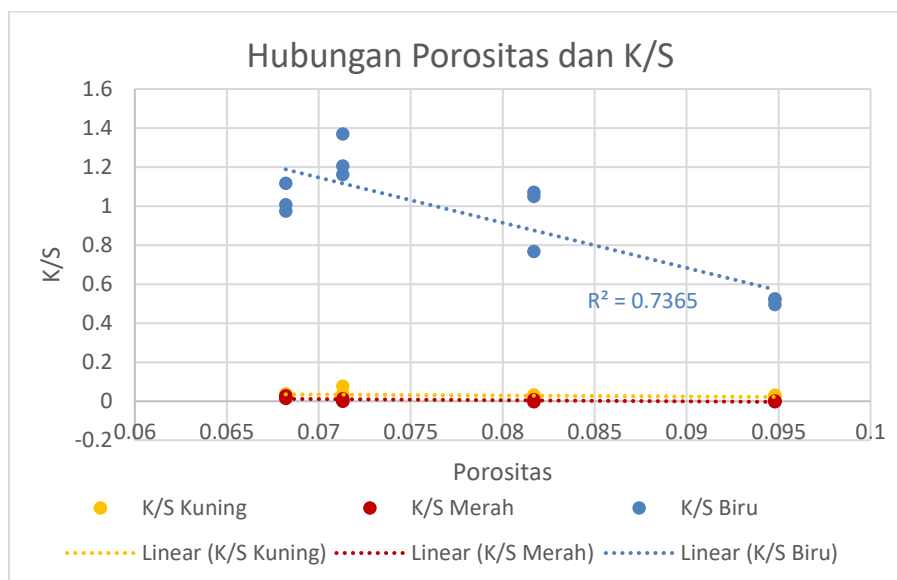
Nilai R% menunjukkan proporsi cahaya yang dipantulkan oleh kain. Semakin rendah R%, semakin besar serapan cahaya oleh kain, yang mengindikasikan intensitas warna lebih tua. Data hasil pengujian menunjukkan warna biru secara konsisten memiliki R% paling rendah pada semua jenis anyaman yang menandakan penyerapan terbaik dibandingkan warna kuning dan merah. Sateen (4/1) memiliki R% terendah untuk warna biru dengan R% rata-rata 23,53%, diikuti oleh Plain (1/1) sebesar 26,31% dan Opposite Sateen (1/4) yaitu 27,58%.

Warna biru memiliki nilai K/S tertinggi secara konsisten pada setiap jenis anyaman, terutama pada Sateen (4/1) rata-rata K/S 1,2447 dan paling rendah pada anyaman Twill (3/1) rata-rata K/S 0,5133. Pada warna kuning nilai K/S tertinggi secara berturut-turut adalah dari anyaman Sateen (4/1), Plain (1/1) dan Opposite Sateen (1/4) memiliki nilai yang sama, terakhir anyaman Twill (3/1). Pada warna merah, nilai K/S tertinggi adalah pada anyaman Plain (1/1), diikuti Sateen (4/1), Opposite Sateen (1/4) dan Twill (3/1) mendapat nilai K/S paling rendah.

Nilai K/S anyaman Twill (3/1) pada setiap warna cenderung memiliki nilai paling rendah, bahkan negatif pada warna merah. Hal ini mengindikasikan potensi hamburan cahaya yang dominan dibandingkan serapannya. Sedangkan pada anyaman Sateen (4/1) dan anyaman Plain (1/1) menunjukkan hal yang sebaliknya, dimana nilai K/S pada beberapa warna cenderung lebih tinggi dibandingkan anyaman lainnya. Hal ini mengindikasikan bahwa penyerapan zat warna terjadi lebih baik pada anyaman yang memiliki porositas lebih rendah

Hubungan Porositas dan Ketuaan Warna (K/S)

Hasil uji Kruskal-Wallis menunjukkan bahwa pada warna kuning (p-value 0,0248) dan merah (p-value 0,057) tidak terdapat perbedaan K/S yang signifikan (p-value 0,0248). Sedangkan pada warna biru (p-value 0,025) terdapat perbedaan K/S yang signifikan. Hubungan porositas dan ketuaan warna (K/S) pada warna biru menunjukkan korelasi negatif yang signifikan ($r = -0.858$) antara porositas dan nilai K/S, dengan kontribusi porositas sebesar 73,65% terhadap pada nilai K/S. Gambar 6 menunjukkan grafik hubungan porositas dan ketuaan warna (K/S).



Gambar 6 Hubungan Porositas dan K/S

Uji Post-Hoc menggunakan Mann-Whitney U Test menunjukkan bahwa dari keempat kelompok jenis anyaman, pasangan plain dan opposite sateen tidak menghasilkan perbedaan K/S pada warna biru secara signifikan.

Tabel 4 Uji Post Hoc Pairwise Mann-Whitney

Kelompok berpasangan	Asymp Sign.	Keterangan
Plain vs Twill	0,05	Berbeda
Plain vs Sateen	0,05	Berbeda
Plain vs Ops. Sateen	0,827	Tidak berbeda
Twill vs Sateen	0,05	Berbeda
Twill vs Ops. Sateen	0,05	Berbeda
Sateen vs Ops. Sateen	0,05	Berbeda

Simpulan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa porositas kain tenun secara signifikan berpengaruh terhadap penyerapan zat warna. Hubungan negatif antara porositas dan nilai K/S telah dikonfirmasi, kain dengan porositas rendah memiliki nilai K/S yang lebih tinggi. Anyaman sateen (4/1) menunjukkan performa penyerapan terbaik karena susunan serat yang lebih kontinyu, sementara twill (3/1) dengan porositas terbesar menghasilkan nilai K/S paling rendah. Pendekatan *image processing* terbukti efektif untuk mengukur porositas kain secara kuantitatif dan dapat digunakan sebagai metode alternatif dalam pengukuran porositas yang lebih mudah. Dengan demikian, penelitian ini dapat dimanfaatkan dalam desain proses pewarnaan yang lebih efisien pada industri tekstil.

Daftar Pustaka

- [1] A. Kalazić, T. Badrov, I. Schwarz, and S. Brnada, "Incorporating Variable Porosity into the Determination of Effective Permeability in Interchanging Double Cloth Woven Fabrics Using Darcy's Law," *Polymers (Basel)*, vol. 15, no. 14, p. 3048, Jul. 2023, doi: 10.3390/polym15143048.
- [2] S. H. S. H. Yousfani, S. Farooq, Q. Mohtashim, and H. Gong, "Yarn porosity and its relationship with the dyeing behavior," *Pigment & Resin Technology*, vol. 52, no. 6, pp. 747–754, Nov. 2023, doi: 10.1108/PRT-12-2021-0138.

- [3] S. Farooq and S. A. Yousufani, "Effect of Inter Yarn Fabric Porosity on Dye Uptake of Reactive Dyed cotton Woven Fabric," 2015.
- [4] N. Elshemy, M. Elshakankery, S. Shahien, K. Haggag, and H. El-Sayed, "Kinetic Investigations on Dyeing of Different Polyester Fabrics Using Microwave Irradiation," *The Egyptian Journal of Chemistry*, vol. 60, pp. 79–88, 2017, doi: 10.21608/EJCHEM.2017.1604.1131.
- [5] Y.-W. Wang, Q.-Z. Yi, Y. Ding, F. Ji, and N. Wang, "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*, vol. 112, pp. 1460–1466, 2020, doi: 10.1080/00405000.2020.1824432.
- [6] S. H. S. Yousfani, S. Farooq, Q. Mohtashim, and H. Gong, "Yarn porosity and its relationship with the dyeing behavior," *Pigment & Resin Technology*, p., 2022, doi: 10.1108/prt-12-2021-0138.
- [7] E. Rápó and S. Tonk, "Factors affecting synthetic dye adsorption; desorption studies: A review of results from the last five years (2017–2021)," Sep. 01, 2021, *MDPI*. doi: 10.3390/molecules26175419.
- [8] U. Syed, "The influence of woven fabric structures on the continuous dyeing of Lyocell fabrics with reactive dyes," p., 2010, [Online]. Available: <https://consensus.app/papers/the-influence-of-woven-fabric-structures-on-the-continuous-syed/2d3de482e5ad5fd38039e36849dfd651/>
- [9] Ž. Zupin, V. Štampfl, T. N. Kočevr, and H. Gabrijelčič Tomc, "Comparison of Measured and Calculated Porosity Parameters of Woven Fabrics to Results Obtained with Image Analysis," *Materials*, vol. 17, no. 4, Feb. 2024, doi: 10.3390/ma17040783.
- [10] K. Kostajnšek, Ž. Zupin, A. Hladnik, and K. Dimitrovski, "Optical Assessment of Porosity Parameters in Transparent Woven Fabrics," *Polymers (Basel)*, vol. 13, p., 2021, doi: 10.3390/polym13030408.
- [11] T. Rolich, D. Domović, G. Čubrić, and I. Salopek Čubrić, "Advanced Image Analysis and Machine Learning Models for Accurate Cover Factor and Porosity Prediction in Knitted Fabrics: Tailored Applications in Sportswear, Swimwear, and Casual Wear," *Fibers*, vol. 12, no. 5, May 2024, doi: 10.3390/fib12050045.
- [12] R. A. Angelova, "Determination of porosity of textiles with an uneven pore size," *Comptes Rendus de L'Academie Bulgare des Sciences*, vol. 73, no. 1, pp. 96–102, 2020, doi: 10.7546/CRABS.2020.01.12.
- [13] A. Rasheed *et al.*, "Fabric Defect Detection Using Computer Vision Techniques: A Comprehensive Review," 2020, *Hindawi Limited*. doi: 10.1155/2020/8189403.
- [14] A. Wijayono and W. Murti, "Study of Measuring The Cover Factor of Woven Fabrics Using Image Processing Techniques," *Sainteks: Jurnal Sain dan Teknik*, vol. 6, no. 2, pp. 245–255, Sep. 2024, doi: 10.37577/sainteks.v6i02.709.
- [15] Ž. Zupin, A. Hladnik, and K. Dimitrovski, "Prediction of one-layer woven fabrics air permeability using porosity parameters," *Textile Research Journal*, vol. 82, no. 2, pp. 117–128, Jan. 2012, doi: 10.1177/0040517511424529.
- [16] H. A. Kim, Y. Kim, and S. J. Kim, "Effect of Porosity Characteristics of Hollow Composite Yarns to the Comfort Property of the Fabrics for the High Emotional Garment," vol. 26, pp. 218–229, 2014, doi: 10.5764/TCF.2014.26.3.218.
- [17] S. Islam and A. Mozumder, "Effect of weave structures and thread densities on the cover factor and mechanical properties of cotton spandex woven fabrics," *The Journal of The Textile Institute*, vol. 115, pp. 479–489, 2023, doi: 10.1080/00405000.2023.2201106.
- [18] A. Haerudin, M. R. Purnomo, and S. Ma'mun, "Zat Warna Alami Berbasis Limbah Sabut Kelapa Muda (Coco Nucifera) Untuk Pewarnaan Kain Batik The Natural Dye Based On Young Coconut Coir Waste For Batik Fabric Dyeing," *Dinamika Kerajinan dan Batik: Majalah Ilmiah*, vol. 39, no. 1, pp. 101–112, Jun. 2022, doi: 10.22322/dkb.V36i1.4149.