

ANALISIS PENGARUH TEKNOLOGI ULTRASONIK TERHADAP PROSES DAN HASIL PEWARNAAN PADA KULIT SAPI TERSAMAK

Fadzkurisma Robbika^{a,*}, Laili Rachmawati^a, Baskoro Ajie^a, Prasetyo Hermawan^a

^aProgram Studi Teknologi Pengolahan Kulit, Politeknik ATK Yogyakarta
Tarudan, Bangunharjo, Sewon, Bantul Regency, Special Region of Yogyakarta 55188

*E-mail: Fadzkurisma.risma@gmail.com

Masuk Tanggal: 12 Mei, revisi tanggal: 18 Mei, diterima untuk diterbitkan tanggal: 30 Juni 2025

Abstrak

Seiring dengan perkembangan jaman, industri penyamakan kulit dituntut untuk memiliki proses produksi yang lebih bersih namun tetap efektif dan efisien, khususnya pada proses pewarnaan. Proses pewarnaan pada kulit merupakan salah satu tahapan proses penyamakan kulit yang cukup krusial dan menentukan kualitas dari kulit yang akan dihasilkan nantinya. Ultrasonik merupakan teknologi yang memanfaatkan gelombang suara frekuensi tinggi untuk meningkatkan interaksi antara pewarna dan kulit. Teknologi ultrasonik dapat meningkatkan efisiensi pewarnaan dengan mempercepat penetrasi pewarna ke dalam serat kulit. Pada penelitian kali ini dilakukan analisis pada dua metode pewarnaan kulit yaitu metode pewarnaan konvensional dengan menggunakan drum kayu tradisional dan metode pewarnaan kulit dengan menggunakan bantuan mesin ultrasonik. Mesin ultrasonik yang digunakan yaitu mesin ultrasonik cleaner dengan frekuensi operasi 48 KHz. Selanjutnya dilakukan analisis untuk mengetahui pengaruh penggunaan teknologi ultrasonik dalam proses pewarnaan kulit, dengan fokus analisis pada konsentrasi cairan pewarna selama proses pewarnaan serta warna yang dihasilkan pada kulit. Pada analisis pengaruh waktu terhadap konsentrasi cairan pewarna selama proses pewarnaan, menunjukkan bahwa metode konvensional mengalami penurunan konsentrasi yang cepat pada 15 menit pertama. Sedangkan pada metode pewarnaan ultrasonik, penurunan konsentrasi zat pewarna lebih stabil dan penyerapan warna dapat efisien. Selain itu, pada hasil pewarnaan berdasarkan nilai luminansi menunjukkan bahwa metode ultrasonik menghasilkan warna yang lebih pekat dan mencapai kestabilan warna lebih awal yaitu pada menit ke 30. Sedangkan pada metode konvensional tercapai kestabilan warna pada menit ke 45. Dengan demikian, pewarnaan ultrasonik tidak hanya mempercepat proses tetapi juga meningkatkan kualitas dan kestabilan warna pada produk kulit.

Kata Kunci: Pewarnaan kulit, Ultrasonik, Penyamakan kulit, Kulit sapi

Abstract

As environmental and efficiency demands on the leather tanning industry increase, cleaner yet effective production methods, particularly in the dyeing stage, have become essential. Dyeing plays a critical role in determining the final quality of leather. Ultrasonic technology, which utilizes high-frequency sound waves, enhances the interaction between dyes and leather fibers. This technology can improve dyeing efficiency by accelerating the penetration of dye into the leather fibers. In this study, an analysis was conducted on two leather dyeing methods: the conventional dyeing method using traditional wooden drums and the ultrasonic-assisted dyeing method. The ultrasonic machine used in this research was an ultrasonic cleaner operating at a frequency of 48 kHz. This study analyzed the impact of ultrasonic technology on the leather dyeing process. Experimental analysis focused on dye concentration dynamics and color outcomes. Results show that conventional dyeing experiences a rapid decline in dye concentration within 15 minutes, whereas ultrasonic-assisted dyeing exhibits a more stable absorption profile, indicating higher efficiency. In addition, the dyeing results based on luminance values indicate that the ultrasonic method produces a deeper color and achieves color stability earlier, at the 30th minute. In contrast, the conventional method reaches color stability at the 45th minute. Luminance analysis also reveals that ultrasonic dyeing achieves deeper, more stable coloration

in a shorter time. These findings suggest that ultrasonic technology not only accelerates the dyeing process but also improves the overall color quality and consistency of leather products.

Keywords: *Leather dyeing, Ultrasonics, Leather tanning, Cowhide*

1. PENDAHULUAN

Industri penyamakan kulit merupakan salah satu sektor manufaktur yang memiliki peran penting dalam mendukung berbagai industri turunannya, seperti fashion, otomotif, dan furnitur. Proses penyamakan kulit bertujuan untuk mengubah kulit mentah hewan menjadi bahan yang tahan lama, lentur, dan siap digunakan dalam berbagai aplikasi [1]. Tahapan utama dalam penyamakan kulit meliputi beberapa tahapan penting, yaitu BHO (Beamhouse), tanning, pasca tanning, dan finishing. Selanjutnya proses pasca tanning meliputi proses pewarnaan, peminyakan, dan pengeringan, yang semuanya berkontribusi pada kualitas akhir produk kulit. Di antara tahapan tersebut, proses pewarnaan memegang peranan krusial dalam meningkatkan nilai estetika kulit serta menyesuaikan tampilannya dengan kebutuhan desain dan preferensi konsumen [2].

Proses pewarnaan pada kulit secara tradisional dilakukan dengan menggunakan drum proses. Waktu pewarnaan kulit dengan metode tradisional ini membutuhkan waktu yang cukup lama, sering kali mencapai beberapa jam hingga beberapa hari tergantung pada jenis kulit dan pewarna yang digunakan. Kulit merupakan suatu bahan berpori yang unik, yang terdiri dari tenunan tiga dimensi kumpulan serat kolagen. Penggunaan paddle atau drum untuk aksi mekanik dalam proses pewarnaan kulit samak masih kurang optimal dalam upaya untuk meningkatkan serapan zat pewarna, sehingga hanya akan memberikan penambahan beban limbah cair proses penyamakan kulit [3]. Bahan pewarna yang banyak terkandung dalam limbah hasil penyamakan kulit sebagian besar berupa pewarna sintetis. Penggunaan Pewarna sintetis seperti Azo-Bensidin, p-Kresidin, Aminodiphenyl, dan Toluidin. Pewarna sintetis tersebut mengandung logam berbahaya dan beracun [4].

Seiring dengan perkembangan jaman, industri penyamakan kulit dituntut untuk memiliki proses produksi yang lebih bersih namun tetap efektif dan efisien, khususnya pada proses pewarnaan. Teknologi ultrasonik dirasa dapat menjadi salah satu solusi yang cukup menjanjikan untuk menjawab kebutuhan ini [5]. Ultrasonik merupakan teknologi yang memanfaatkan gelombang suara frekuensi tinggi untuk meningkatkan interaksi antara pewarna dan material. mekanisme ultrasonik melibatkan pembentukan gelembung mikro dalam larutan

pewarna yang dapat meningkatkan difusi zat pewarna ke dalam serat kulit [6].

Dengan demikian, proses pewarnaan menjadi lebih cepat dan efektif, menghasilkan warna yang lebih pekat dan konsisten pada produk akhir [7].

Penelitian menunjukkan bahwa dengan penggunaan ultrasonik, waktu pewarnaan dapat berkurang dibandingkan dengan metode konvensional, meningkatkan produktivitas dan kualitas hasil akhir [7]. Selain itu terkait dengan limbah proses pewarnaan yang dihasilkan, penggunaan metode ultrasonik dapat mengurangi jumlah limbah cair yang dihasilkan, karena prosesnya lebih efisien dan mengurangi penggunaan air. Dengan demikian, teknologi ini tidak hanya memberikan manfaat dari segi waktu dan biaya, tetapi juga mendukung keberlanjutan lingkungan dalam industri kulit [8].

Penelitian oleh Oinam (2021), menemukan bahwa teknologi ultrasonik dalam proses pencelupan menawarkan beberapa keunggulan dibandingkan metode tradisional, termasuk peningkatan penyerapan pewarna dan sifat ketahanan warna yang lebih baik, waktu pencelupan yang lebih singkat hingga 20%, serta suhu pencelupan yang lebih rendah (60°C) [16]. Sedangkan menurut Queiroz (2024), menyatakan sifat kulit yang kompleks dan heterogen menjadi tantangan dalam mencapai pencelupan yang merata, dimana faktor-faktor seperti massa kulit serta penggunaan bahan bantu retanning dan pencelupan sangat memengaruhi penetrasi dan penyerapan pewarna [17].

McNeil (2011), telah melakukan penelitian penggunaan ultrasound pada proses pewarnaan dan finishing pada benang wool. Penggunaan ultrasound pada rentang frekuensi 35–39 kHz pada proses pewarnaan dan finishing pada material wol. Hasil penelitian ditemukan bahwa cara tersebut dirasa efektif untuk mengurangi dampak lingkungan. Ultrasonik terbukti dapat meningkatkan efektivitas pembersihan wol dalam air. Hasil pemindaian mikroskop elektron tidak ditemukan adanya kerusakan permukaan [9].

Ultrasound juga sering digunakan dalam proses dengan menggunakan pewarna alam. Pewarna alam kembali diminati untuk digunakan dalam industri penyamakan kulit seiring dengan trend meningkatnya minat terhadap produk ramah lingkungan [10]. Penggunaan ultrasound pada ekstraksi pewarna alam menunjukkan hasil yang mengalami peningkatan signifikan. Pewarnaan

kulit dengan metode ultrasound dan menggunakan pewarna alami yang diekstraksi dengan metode ultrasound dapat meningkatkan dye exhaustion [11]. Hal tersebut tentunya mendukung dalam penerapan eco-friendly leather processing.

Pada Penelitian ini ingin mengetahui pengaruh penggunaan teknologi ultrasonik terhadap intensitas warna yang didapatkan pada proses pewarnaan kulit sapi dengan menggunakan pewarna sintesis RED PBR. Red PBR merupakan pewarna sintesis yang tergolong pada pewarna asam (Acid Dyestuff). Pewarna Asam ini adalah jenis pewarna yang paling umum digunakan untuk mewarnai kulit, khususnya kulit samak krom. Pewarna asam ini memiliki keunggulan dalam ketersediaan dan variasi warna namun memiliki efek toksik dan stabilitas yang rendah [14]. Oleh karena itu pada penelitian ini ingin mengetahui secara spesifik pengaruh teknologi ultrasonik terhadap proses pewarnaan dengan menggunakan pewarna asam. Selain itu penelitian ini juga ingin membandingkan efisiensi dari penyerapan zat warna antara pewarnaan dengan menggunakan ultrasonik dan pewarnaan dengan metode konvensional.

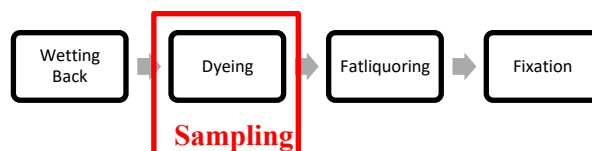
2. PROSEDUR PERCOBAAN

Pada penelitian ini dilakukan pewarnaan kulit sapi crust natural dengan dua macam metode pewarnaan yaitu dengan metode pewarnaan konvensional menggunakan drum proses dan dengan metode pewarnaan dengan bantuan mesin ultrasonik. Diagram alir proses disajikan pada Gambar 1.

Metode konvensional menggunakan drum proses penyamakan kulit yang terbuat dari material kayu dan memiliki kecepatan rotasi drum 10 rotasi/menit.

Mesin ultrasonik yang digunakan yaitu mesin ultrasonik cleaner dengan spesifikasi:

- Merk : Delta D68H
- Kapasitas : 2 L
- Frekuensi Operasi : 48 KHz
- Daya : 68 W
- Waktu Operasi : 60 Menit



Gambar 1. Tahapan proses pewarnaan kulit sapi crust natural

Tahapan proses pewarnaan pada metode konvensional maupun metode ultrasonik dilakukan secara sama persis yaitu dimulai dengan wetting back (pembasahan kembali), dyeing (pewarnaan dasar), fatliquoring (peminyakan), dan fixation (pengikatan). Pada proses dyeing dilakukan sampling cairan dan kulit setiap 15 menit sekali hingga 60 menit.

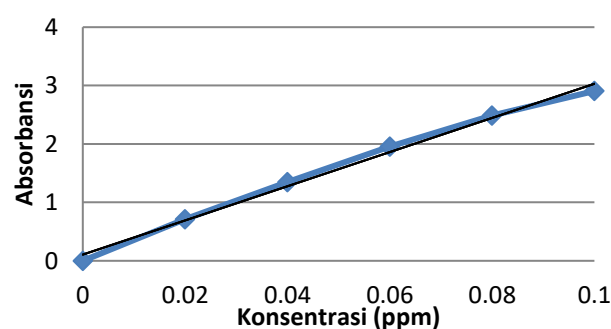
Selanjutnya penentuan jumlah masing-masing bahan yang tertera pada resep dihitung berdasarkan persentase pada berat kulit yang diproses. Formulasi pada setiap tahapan proses terdapat pada Tabel 1.

Tabel 1. Formulasi Resep Proses Pewarnaan Kulit

Proses	Jenis Bahan	Jumlah Bahan
Pembasahan Kembali	Air	500%
	Wetting Agent	1%
Pewarnaan	Air	200%
	Cat Dasar (Red PBR)	3%
Peminyakan	Fatliquoring Agent	5%
Pengikatan	Asam Formiat (10%)	1% (ditambahkan hingga PH cairan dan kulit mencapai 3,5-3,8)

2.1. Analisa Cairan Proses Pewarnaan

Larutan pewarna dilakukan analisa dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis untuk mendapatkan konsentrasi dari cairan pewarna pada rentang waktu 0 menit, 15 menit, 30 menit dan 60 menit. Analisa konsentrasi cairan diawali dengan penentuan kurva baku untuk mengetahui hubungan antara konsentrasi larutan pewarna Red PBR dengan absorbansinya. Diperoleh kurva baku seperti terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Kurva Baku Standar

Dari kurva baku didapatkan Persamaan (1) regresi linier:

$$y = 29.244x + 0.1066 \quad (1)$$

Dimana :

y = Absorbansi Larutan Pewarna RED PBR
x = Konsentrasi Larutan Pewarna RED PBR
dengan $R^2=0.9928$

2.2. Analisa Warna

Analisa warna kulit selama proses pewarnaan dilakukan dengan cara mengambil sampel kulit setiap 15 menit sekali. Selanjutnya warna kulit yang didapat diubah menjadi data RGB. Data RGB tersebut kemudian diolah untuk mendapatkan nilai luminansi. Luminansi adalah ukuran persepsi kecerahan cahaya yang dipancarkan atau dipantulkan oleh suatu permukaan. Dalam konteks warna digital, luminansi dihitung dari nilai RGB (Red, Green, Blue) dengan mempertimbangkan sensitivitas mata manusia terhadap masing-masing warna. Dalam proses konversi gambar RGB, digunakan pembobotan tertentu pada masing-masing kanal warna (Red, Green, dan Blue). Bobot yang lazim digunakan adalah 0,2126 untuk R (merah), 0,7152 untuk G (hijau), dan 0,0722 untuk B (biru). Pembobotan ini didasarkan pada sensitivitas relatif mata manusia terhadap masing-masing warna, di mana mata manusia paling sensitif terhadap warna hijau, diikuti oleh merah, dan paling sedikit terhadap biru [15].

Nilai RGB akan digunakan untuk menghitung nilai luminansi dengan menggunakan Persamaan (2).

$$Luminasi = (0,2126 \times R) + (0,7152 \times G) + (0,0722 \times B) \quad (2)$$

Dimana R, G, dan B adalah nilai merah, hijau dan biru. Persamaan ini memungkinkan penilaian kuantitatif warna untuk membandingkan warna [12]. Nilai luminasi merepresentasikan tingkat kecerahan warna pada sampel kulit, dimana semakin gelap warna yang diperoleh menunjukkan semakin banyak zat pewarna yang terpenetrasi pada kulit. Kulit yang berwarna merah gelap menandakan lebih banyak mengandung zat pewarna dibandingkan kulit yang berwarna merah terang.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

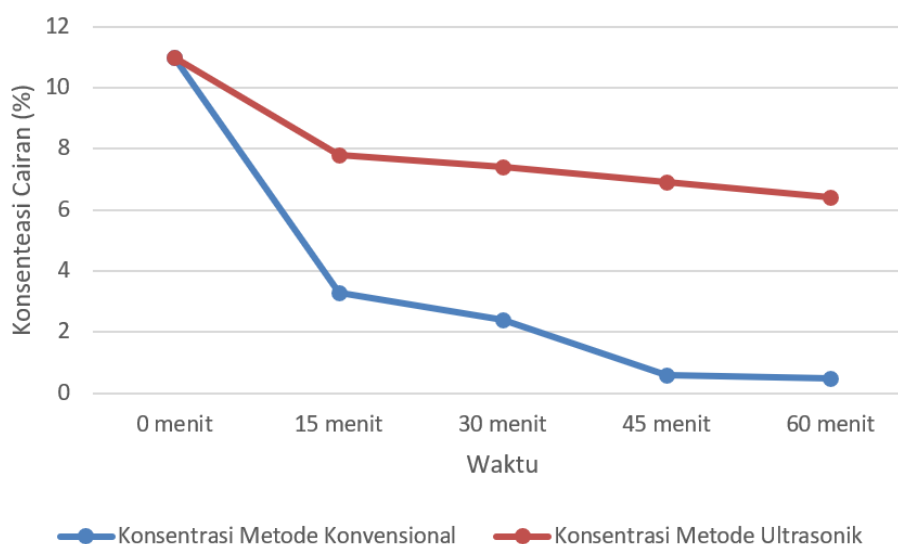
Parameter yang dapat digunakan untuk mengevaluasi proses pewarnaan kulit diantaranya yaitu kondisi cairan pewarna dan efek pewarnaan yang dihasilkan pada kulit. Kondisi cairan dianalisa konsentrasinya pada kurun waktu tertentu untuk mengetahui bagaimana penyerapan zat warna pada kulit. Selanjutnya efek pewarnaan dievaluasi berdasarkan kecerahan dan kepekatan warna pada kulit, semakin pekat warna kulit yang dihasilkan menunjukkan semakin banyak zat warna yang terikat pada kulit. Hasil penelitian diharapkan dapat menunjukkan metode yang dapat lebih meningkatkan efisiensi waktu pada proses pewarnaan, serta metode yang menghasilkan warna yang lebih pekat dan konsisten pada produk kulit.

3.1. Pengaruh Waktu terhadap Konsentrasi Cairan Pewarna

Efektivitas dari metode pewarnaan konvensional dan metode pewarnaan ultrasonik dievaluasi dengan menganalisis konsentrasi cairan pewarna dalam kurun waktu tertentu. Analisis cairan dilakukan pada 0, 15, 30, 45 dan 60 menit. Semakin rendah konsentrasi larutan menandakan bahwa semakin banyak zat warna yang terserap ke kulit. Hasil pengukuran dari kedua metode terlihat pada Tabel 2 dan Gambar 3.

Tabel 2. Data Konsentrasi Cairan Pewarna

Waktu (menit)	Konsentrasi Metode Konvensional (%)	Konsentrasi Metode Ultrasonik (%)
0	11	11
15	3.3	7.8
30	2.4	7.4
45	0.6	6.9
60	0.5	6.4



Gambar 3. Grafik Pengaruh Waktu terhadap Konsentrasi Cairan Pewarna

Pada Gambar 3 terlihat bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antara metode pewarnaan konvensional dan metode pewarnaan ultrasonik terhadap konsentrasi cairan pewarna seiring waktu. Pada menit ke-0, kedua metode memulai dengan konsentrasi yang sama, yaitu sekitar 11%. Pada metode pewarnaan konvensional, konsentrasi cairan mengalami penurunan drastis pada menit ke 15. Penurunan ini berlanjut hingga menit ke-60, di mana konsentrasi hampir mendekati nol. Hal ini mengindikasikan bahwa zat pewarna cepat sekali berkurang dalam larutan, baik karena terserap oleh kulit maupun karena kemungkinan mengendap atau terserap oleh drum, mengingat metode konvensional menggunakan drum dengan material kayu. Sebaliknya, metode pewarnaan ultrasonik menunjukkan penurunan konsentrasi yang jauh lebih stabil dan lambat. Dari menit ke-0 hingga menit ke-60, konsentrasi hanya turun dari sekitar 11% menjadi 6,3%. Ini menunjukkan bahwa penggunaan teknologi ultrasonik memungkinkan proses pewarnaan yang lebih terkontrol dan efisien, dengan kemampuan mempertahankan konsentrasi cairan dalam larutan lebih lama. Efisiensi ini diduga berasal dari getaran ultrasonik. Energi kavitasi pada ultrasonik dapat menciptakan kondisi yang ideal untuk meningkatkan efisiensi pewarnaan, dengan memecah partikel pewarna menjadi ukuran yang lebih kecil dan membantu penetrasi zat warna secara lebih merata dan efisien [13]. Selanjutnya dengan metode pewarnaan dengan ultrasonik, penggunaan zat pewarna lebih sedikit dibanding dengan penggunaan zat warna pada metode konvensional. Dengan demikian, metode ultrasonik dapat dianggap lebih unggul dalam menjaga efisiensi proses pewarnaan dibandingkan metode konvensional.

3.2. Perbandingan Hasil Pewarnaan

Hasil pewarnaan kulit dari metode pewarnaan konvensional dan metode pewarnaan ultrasonik dibandingkan intensitasnya melalui nilai luminasi dari masing-masing warna kulit yang dihasilkan. Nilai luminansi merupakan indikator penting dalam evaluasi warna, karena menggambarkan tingkat kecerahan atau terang-gelapnya warna yang ditangkap oleh mata manusia. Luminansi dihitung berdasarkan nilai RGB (Red, Green, Blue) dari citra sampel yang telah diproses, dengan rumus (1) sesuai sensitivitas mata terhadap masing-masing komponen warna. Hasil analisis warna terdapat pada Tabel 3 dan Gambar 3.

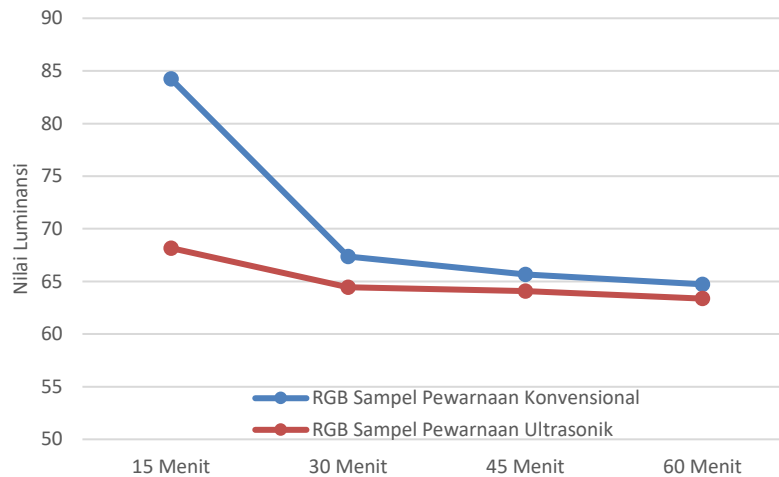
Tabel 3. Nilai Luminasi dari Sampel Kulit

WAKTU (menit)	Nilai Luminasi Sampel Pewarnaan Konvensional	Nilai Luminasi Sampel Pewarnaan Ultrasonik
15	84.2408	68.1686
30	67.368	64.4402
45	65.658	64.0792
60	64.7302	63.3692

Berdasarkan Gambar 4 terlihat bahwa pada waktu proses pewarnaan 15 menit pertama, metode konvensional menghasilkan nilai luminansi yang paling tinggi, yaitu 84.24, sedangkan pada metode ultrasonik menghasilkan nilai luminansi sebesar 68.16. Dapat disimpulkan bahwa pada awal proses pewarnaan, sampel yang diwarnai dengan bantuan ultrasonik menghasilkan warna yang lebih gelap dibandingkan dengan metode konvensional. Namun, pada menit ke-30, terjadi penurunan signifikan pada metode konvensional, dengan nilai luminansi menurun menjadi 67.36, mendekati nilai pada metode ultrasonik yaitu 64.44. Kondisi ini

menunjukkan bahwa warna pada metode konvensional mulai menjadi lebih pekat seiring bertambahnya waktu pencelupan, sedangkan pada metode dengan batuan ultrasonic peningkatan kepekatan warna lebih stabil dan konsisten sejak awal. Selanjutnya, pada menit ke-45 dan 60, kedua metode menunjukkan nilai luminansi yang saling

mendekati dan relatif stabil, berada pada kisaran 63 hingga 65. Hal ini menunjukkan bahwa setelah waktu pencelupan mencapai lebih dari 30 menit, kedua metode menghasilkan warna yang hampir setara, dan tidak terdapat perbedaan signifikan dalam hal luminansi.



Gambar 4. Grafik Perbandingan Luminasi Warna dari Kedua Metode Pewarnaan

Pada metode pewarnaan dengan menggunakan ultrasonik, warna yang dihasilkan cenderung sudah stabil pada menit ke 30, sedangkan pada metode pewarnaan konvensional dicapai pada menit ke 45. Saat hasil warna sudah cenderung stabil dan tidak menunjukkan perubahan yang signifikan menunjukkan bahwa sebenarnya proses penyerapan zat warna telah mencapai titik jenuh atau proses pewarnaan sudah selesai. Teknologi ultrasonik ini meningkatkan difusi pewarna melalui efek kavitasi, menghasilkan warna yang lebih pekat dan intensitas warna yang lebih baik. Selain itu, pewarnaan dengan ultrasonik menurunkan biaya energi, sehingga menjadi alternatif yang lebih efisien dan ramah lingkungan dibandingkan teknik pencelupan konvensional [17].

4. KESIMPULAN

Evaluasi terhadap proses pewarnaan kulit menunjukkan bahwa metode pewarnaan ultrasonik lebih unggul dibandingkan metode konvensional dalam hal efisiensi waktu dan kestabilan warna. Pada analisis pengaruh waktu terhadap konsentrasi cairan pewarna selama proses pewarnaan, menunjukkan bahwa metode konvensional mengalami penurunan konsentrasi yang cepat. Sedangkan pada metode pewarnaan ultrasonik, penurunan konsentrasi zat pewarna lebih stabil dan penyerapan warna dapat efisien, yaitu dari menit ke-0 hingga menit ke-60, konsentrasi hanya turun dari sekitar 11% menjadi 6,3%. Hal ini membuktikan bahwa pada metode pewarnaan dengan ultrasonik, penggunaan zat pewarna dapat

diminimalisir. Selain itu, pada hasil pewarnaan berdasarkan nilai luminansi menunjukkan bahwa metode ultrasonik menghasilkan warna yang lebih pekat dan mencapai kestabilan warna lebih awal, yaitu tercapai pada menit ke-30, dibandingkan metode konvensional yang baru stabil pada menit ke-45. Dengan demikian, pewarnaan ultrasonik tidak hanya mempercepat proses tetapi juga meningkatkan kualitas dan kestabilan warna pada produk kulit. Penelitian lanjutan dapat difokuskan pada pengaruh variasi parameter ultrasonik (seperti frekuensi, intensitas daya, suhu, dan durasi ultrasonik) terhadap kualitas pewarnaan kulit. Hal ini penting untuk menemukan konfigurasi optimal yang memberikan hasil terbaik dengan efisiensi energi dan pewarna yang maksimal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Duran, R. C. "Method for tanning an animal skin with dialdehydes." U.S. Patent Application 16/640,021, filed September 17, 2020.
- [2] Taylor, Derek J. "Implementation of Continuous Dyeing Process Scheduling Algorithm Based on Genetic Algorithm." 2023 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE), 2023, <https://doi.org/10.1109/icce56470.2023.10043509>.
- [3] Sivakumar, V. and P. G. Rao. 2003. Studies on the use of power ultrasound in leather dyeing. *Ultrasonics Sonochemistry*. Vol. 10,

- 85 – 94. [https://doi.org/10.1016/S1350-4177\(02\)00148-7](https://doi.org/10.1016/S1350-4177(02)00148-7).
- [4] Zhang Xiaolei, Clean Technology And Theory Of Leather Manufacturing, China, China Leather & Footwear Industry Research Institute, 2008.
- [5] Mengistie, Embialle, Ilse Smets, and Tom Van Gerven. "Ultrasound assisted chrome tanning: Towards a clean leather production technology." *Ultrasonics sonochemistry* 32 (2016): 204-212.
- [6] Tissera, Nadeeka D., et al. "Ultrasound Energy to Accelerate Dye Uptake and Dye-Fiber Interaction of Reactive Dye on Knitted Cotton Fabric at Low Temperatures." *Ultrasonics Sonochemistry*, Mar. 2016, <https://doi.org/10.1016/J.ULTSONCH.2015.10.002>.
- [7] Fuadi, Anwar. Ekstraksi Oloeresin Jahe Menggunakan Bantuan Gelombang Ultrasonik. June 2016, <https://doi.org/10.30811/JSTR.V7I2.108>.
- [8] Yang, Jie, and Jialong Ye. Ultrasonic Dyeing System. 9 July 2014.
- [9] McNeil, S. J., and R. A. McCall. "Ultrasound for wool dyeing and finishing." *Ultrasonics Sonochemistry* 18, no. 1 (2011): 401-406.
- [10] Mandal, S. and J. Venkatramani. A review of plant-based natural dyes in leather application with a special focus on color fastness characteristics. *Environmental Science and Pollution Research*. 2023. Vol. 30, 48769 – 48777. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-26281-1>.
- [11] Sivakumar, V., J. L. Anna, J. Vijayeeswarri, and G. Swaminathan. 2009. Ultrasound assisted enhancement in natural dye extraction from beetroot for industrial applications and natural dyeing of leather. *Ultrasonics Sonochemistry*. Vol. 16, 782 – 789. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2009.03.009>.
- [12] Akiyoshi, Ryutaro, and Hirofumi Suzuki. Luminescence Measurement System. 17 Mar. 2010.
- [13] Gallego-Juárez, Juan A., et al. Sonoprocessing of Fluids for Environmental and Industrial Applications. Jan. 2010.
- [14] Benkhaya, S., M' rabet, S., & El Harfi, A. A review on classifications, recent synthesis and applications of textile dyes. *Inorganic Chemistry Communications*, 115, 107891. . (2020) <https://doi.org/10.1016/J.INOCHE.2020.107891>
- [15] Jyothi, G., CH. Sushma, and D.S.S. Veeresh. "Luminance Based Conversion of Gray Scale Image to RGB Image." *International Journal of Computer Science and Information Technology Research*, vol. 3, no. 3, 2015, pp. 279–283. Research Publish Journals, www.researchpublish.com.
- [16] Bemcha ORD, Bains S, Grewal S. Ultrasonic dyeing of wool fabric with aqueous extract of Ratanjot (*Onosma echioides*) natural dye. *Environ Conserv J*. 2021;22(1&2):79–86. doi:10.36953/ECJ.2021.221213
- [17] Queiroz V, Agustini CB, Gutterres M, Schwaab M. Challenges of lab-scale study and the influence of wet-finishing agents in the leather dyeing process. *J Am Leather Chem Assoc*. 2024;119(11):490–501. doi:10.34314/mnwd1c84