Kementerian Perindustrian
REPUBLIK INDONESIA
ATK POLITEKNIK KULIT, KARET, & PLASTIK
ATK YOGYAKARTA
Zona Integritas
POLITEKNIK ATK Yogyakarta Menuju WBK dan WBBM

VOL. 24
EDISI
2



BERKALA PENELITIAN
TEKNOLOGI KULIT,KARET DAN PLASTIK

1411-7703 **ISSN**
2964-2442 **E-ISSN**

2025

FOCUS AND SCOPE

- Arts
- Chemical Engineering, Chemistry and Bioengineering
- Engineering
- Industrial and Manufacturing Engineering
- Social Science

Diterbitkan oleh :
POLITEKNIK ATK
YOGYAKARTA

GARUDA GARBA RUJUKAN DIGITAL
Crossref
doi
OJS OPEN JOURNAL SYSTEMS
Google Scholar

BERKALA PENELITIAN
TEKNOLOGI KULIT, KARET & PLASTIK

Email :
majalah@atk.ac.id

ATeKA Adaptif inTegritas Kolaboratif Amanah

ARTICLES

SUBSTITUTION OF SOLVENT-BASED SYSTEMS WITH WATER-BASED IN THE TOPCOAT FINISHING OF LAMINATED FOIL LEATHER 1-8

DEVELOPMENT OF A MULTIPLE MARKING SYSTEM ON SHOELAST: AN EFFICIENT AND ADAPTIVE SOLUTION FOR MULTI-DESIGN PRODUCTION 9-20

THE EFFECT OF MOLASSES AS AN ADHESIVE MATERIAL FOR MAKING ENVIRONMENTALLY FRIENDLY LIVESTOCK PELLET 21-27

EVALUATION OF MANUAL SHOE REFERENCE DESIGNS FOR FOOT COMFORT 28-36

ADDITION OF DISPERSING AGENTS IN THE POST-TANNING PROCESS TO REDUCE COD (Chemical Oxygen Demand) LEVELS 37-44

p-ISSN : 1411-7703
e-ISSN : 2746-2625

SOLVENT BASED SUBTITUTIONS ON FINISHING TOP COAT LAMINATED FOIL UPPER SHOES LEATHER

SUBTITUSI *SOLVENT BASED* PADA LAPISAN *FINISHING TOP COAT* DI KULIT *UPPER SHOES* LAMINASI FOIL

Nely Cahyani[1], Emiliana Anggriyani [1], dan Atiqa Rahmawati [1*]

[1]Program Studi Teknologi Pengolahan Kulit, Politeknik ATK Yogyakarta, Indonesia

[*] Corresponding author: atiqa.rahmawati@atk.ac.id

Abstract:
Laminated leather is widely used types of leather due to its appealing surface appearance and mechanical durability. However, the conventional top-coating process of laminated leather typically employs solvent-based compounds such as butyl acetate, which contain volatile organic compounds (VOCs) that contribute to environmental pollution and health hazards. The substitution of solvent-based with water-based formulations in the top coat represents an important step toward more sustainable and eco-friendly leather manufacturing practices. In this study, leather samples were prepared and subjected to three different treatments: K1 (water-based), K2 (solvent-based), and K3 (without solvent). The finishing stages included milling, buffing, foil lamination, additional milling, and top coat spraying. The finished leathers were evaluated organoleptically through several assessments, including foil adhesion, surface gloss, surface texture, and color shift analysis. The findings revealed that the type of top coat significantly affected both the visual and adhesive properties of the laminated leather. The water-based top coat produced a slightly rougher surface with lower gloss and a darker tone, while the solvent-based top coat resulted in a smoother, glossier finish that retained the leather's original color. Furthermore, the water-based top coat exhibited the highest foil adhesion strength, achieving an average score of 3.7 (on a scale of 4), compared to 2.6 for solvent-based and 1.0 for untreated samples. These results indicate that water-based top coats can effectively enhance foil adhesion while reducing the environmental impact, making them a promising alternative for sustainable laminated leather finishing in upper shoe production.
Keywords: Laminated leather; Water-based coating; Solvent substitution; Foil adhesion; Eco-friendly leather

Intisari:
Kulit laminasi merupakan salah satu kulit yang cukup populer, proses *finishing top coat* kulit laminasi seringkali menggunakan pelarut seperti butyl acecate (*solvent based*) yang mengandung *volatile organic compound* yang kurang ramah lingkungan. Subtitusi pelarut *solvent based* dengan menggunakan air pada campuran bahan kimia untuk *top coat* merupakan salah satu langkah untuk menciptakan industri kulit ramah lingkungan. Metode yang digunakan yaitu meliputi preparasi kulit untuk dibagi menjadi tiga perlakuan K1, K2, dan K3. Proses finishing yang dilakukan antara lain *milling, buffing*, penempelan lapisan foil*, milling,* dan *spray* lapisan

p-ISSN : 1411-7703
e-ISSN : 2746-2625
top coat. Kulit dilakukan pengujian secara organoleptis. Adapun pengujian yang dilakukan yaitu uji kelepasan foil, uji kekilapan kulit, uji permukaan kulit, dan uji pergeseran warna. Penggunaan *top coat water based* memberikan hasil permukaan kulit yang sedikit kasar, sedikit kilap dan mengalami pergeseran warna menjadi lebih gelap. Sebaliknya, penggunaan top coat solvent based menghasilkan permukaan yang lebih halus, lebih mengkilap, dan mempertahankan warna asli kulit. Perbedaan ini menunjukkan bahwa jenis pelarut dalam top coat berpengaruh langsung terhadap tampilan akhir kulit. Selain itu, jenis top coat juga mempengaruhi kerekatan foil pada *laminated leather*. *Top coat water based* menunjukkan daya rekat paling tinggi dengan nilai rata-rata 3,7 (skala 4). Sebaliknya, *solvent based* hanya mencapai rata-rata 2,6, sementara perlakuan tanpa top coat menunjukkan hasil kerekatan yang paling rendah dengan nilai 1. Hal ini membuktikan bahwa *top coat water based* mampu meningkatkan daya rekat foil secara signifikan pada laminated leather upper shoes.
Kata kunci: Laminated leather, pelarut water-based, subtitusi pelarut, kerekatan foil, eco-friendly leather

Pendahuluan

Laminated leather adalah jenis kulit yang permukaannya dilapisi foil yang memberikan efek kilap dan metalik pada kulit. Proses finishing dapat dilakukan melalui berbagai metode pengolahan [1]. Salah satu teknik finishing yang cukup popular adalah film transfer yang menggunakan *polymer foils* atau laminating yang biasanya dijadikan artikel laminated leather *upper shoes*. Berdasarkan survey di lapangan, produksi kulit foil terkendala dalam ketahanan permukaan terhadap abrasi, fleksibilitas, serta dampak lingkungan dari bahan pelapis *(top coat)* yang digunakan. Pada prakteknya pelarut berbasis solven (*solvent based*) banyak digunakan dalam produksi kulit foil karena kemampuannya dalam memberikan daya tahan tinggi terhadap gesekan dan bahan kimia [2]. Namun, penggunaan top coat berbasis solvent menimbulkan permasalahan lingkungan karena kandungan senyawa VOC *(Volatile Organic Compound)* yang dapat mencemari udara dan berkontribusi terhadap pemanasan global. Selain itu, paparan VOC dalam jangka panjang dapat berdampak negatif pada kesehatan pekerja, seperti gangguan pernapasan dan iritasi kulit [3]. Dalam mendukung industri kulit ramah lingkungan, maka diperlukan subtitusi pelarut yang lebih ramah lingkungan seperti pelarut bebasis air *(water based).* Penggunaan pelarut *water based* dengan polyurethane merupakan salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk mengurangi penggunaan *solvent based*. Polyurethane (PU) merupakan salah satu jenis dispersi berbentuk cair yang digunakan dalam proses finishing. Kelebihan utama dari produk ini adalah kemampuannya dalam penetrasi yang baik, memiliki daya rekat yang kuat terhadap lapisan, serta ketahanan tinggi terhadap gosokan pada lapisan film yang dihasilkan[4], selain itu PU mampu menutupi cacat pada permukaan kulit, seperti retakan atau tampilan yang tidak rata, serta memberikan fungsi tambahan tertentu seperti sifat tahan air (hidrofobik), tahan terhadap degradasi, ketahanan terhadap bahan kimia, dan air [5]. Penggunaan *water based* polyurethane dalam metode *finishing laminated leather* tidak hanya meningkatkan daya rekat, tetapi dapat juga memberikan perlindungan tambahan terhadap pengaruh luar, sehingga menghasilkan lapisan akhir yang lebih stabil dan berkualitas tinggi. Pada penelitian ini dilakukan subtitusi pelarut solvent based dengan pelarut water based pada lapisan *top coat finishin*g kulit upper shoes laminated foil. Pengaruh hasil aplikasi *top coat* dilihat dari

p-ISSN : 1411-7703
e-ISSN : 2746-2625
beberapa aspek antara lain kerekatan foil, tampilan permukaan kulit, tampilan kilap dan pergeseran warna kulit.

Metode Penelitian

Alat dan Bahan

Bahan yang digunakan antara lain kulit sapi suede, H_2O, Buthyl acetate, Buthyl Cellosolve, NC 100 Clear Gloss, Aqualen Top 2031, HM 132, HM 183. Sedangkan alat yang dgunakan yaitu timbangan analitik, gelas ukur, pengaduk, thickness gauge, lakban, spray gun, mesin foil laminated leather, mesin pengering, mesin buffing, drum milling, measuring, grey scale.

Metode

Preparasi sampel kulit

Kulit dibagi menjadi 3 bagian, yang kemudian digunakan sebagai variabel perlakuan. Kulit 1 (K1) luas 4,2sqft dengan menggunakan pelarut water based, Kulit 2 (K2) luas 3,1 sqft dengan menggunakan pelarut solvent based, dan Kulit 3 (K3) luas 2,3 sqft digunakan sebagai control dengan tanpa perlakuan.

Metode laminasi kulit

Proses laminasi kulit dimulai dengan melakukan milling pada kulit yang telah dipreparasi dengan tujuan melemaskan kulit, kemudian kulit dibuffing untuk meratakan bagian nap kulit, selanjutnya kulit dilapisi dengan foil sebanyak dua kali, lapisan pertama foil motif, sedangakan lapisan kedua foil warna. Proses laminasi foil dilakukan dengan mesin *foil laminated leather* pada suhu 100-200 °C dan tekanan 2 MPa selama 5 menit, proses ini dilakukan bergantian antara lapisan foil motif dan lapisan foil warna. Kulit yang telah dilapisi foil, kemudian dimilling kembali, dan proses terakhir spray top coat pada kulit. Pada spray top coat dilakukan tiga perlakuan pada kulit, K1 dengan pelarut water based, K2 menggunakan pelarut solvent based, K3 tanpa dilakukan spray lapisan top coat. Formulasi finishing top coat dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Formulasi top coat finishing laminated leather

Bahan K1 *(water based)*	**Bagian**	**Bahan K2 *(solvent based)***	**Bagian**
H_2O	600	Buthyl acetate	650
Aqualen Top 2031	400	Buthyl Cellosolve	50
HM 183	10	NC 100 clear gloss	300
		HM132	10

Metode pengujian

Pengujian kulit dilakukan dengan pengujian organoleptis untuk mengetahui pengaruh penambahan top coat pada kulit laminasi, adapaun uji yang dilakukan meliputi uji perbedaan permukaan kulit, uji kekilapan kulit, uji pergeseran warna, dan uji kelepasan foil menggunakan solatip. Pengujian organoleptis dilakukan oleh 10 orang responden, diantaranya kepala bagian finishing, kepala bagian research and development (R&D), kepala bagian foil laminated leather, kepala bagian suede, dua orang bagian quality control, dan tiga lainnya yaitu karyawan yang sudah berpengalaman dalam finishing foil laminated leather.

p-ISSN : 1411-7703
e-ISSN : 2746-2625

Hasil dan Pembahasan

Pengaruh aplikasi topcoat terhadap uji kerekatan foil

Hasil pengujian kerekatan foil ditampilkan pada tabel 2. Pada tabel 2 menunjukkan dari 10 responden K1 60% responden memberikan nilai 4 yang berarti tidak ada kelepasan foil pada lakban, sedangakan 40% sisanya memberikan nilai 3 (kelepasan foil sedikit menempel pada lakban), rata-rata kelepasan foil K1 sebesar 3,7. Pada K2 rata-rata kelepasan foil yaitu 2,6 (skala 4), dengan 60% responden memberikan nilai 3 (kelepasan foil sedikit menempel pada lakban) dan 40% memberikan nilai 2 (kelepasan foil banyak menempel pada lakban). Sedangkan kelepasan foil K3 mendapatkan rata-rata 1 dengan parameter kelepasan foil sangat banyak menempel pada lakban. Penggunaan water based (K1) menunjukkan kerekatan yang sangat baik, hal ini sesuai dengan D&A Group [6] yang menyatakan top coat menggunakan *water based polyurethane dispersions* (PUDs) memberikan daya rekat yang unggul pada berbagai substrat, termasuk kulit berlapis foil, sekaligus mengurangi emisi senyawa organik yang mudah menguap. Selain itu water based polyurethan dapat membentuk ikatan hidrogen dan kovalen dinamis dengan gugus hidroksil pada permukaan kolagen kulit. Interaksi ini meningkatkan adhesi lapisan finishing pada kulit [7]. Poliuretan mengandung gugus uretan (-NH-CO-O) yang dapat membentuk ikatan hidrogen dengan gugus polar lain di permukaan kulit suede, seperti gugus hidroksil (-OH), amino ($-NH_2$), atau karboksil (-COOH). Ikatan ini bersifat reversibel namun kuat dan meningkatkan adhesi antarmuka antara coating dan substrat [7].

Tabel 2. Hasil pengujian kerekatan foil

Responden	Kelepasan foil K1 (skala 1-4)	Kelepasan foil K2 (skala 1-4)	Kelepasan foil K3 (skala 1-4)
Responden 1	4	2	1
Responden 2	4	3	1
Responden 3	4	3	1
Responden 4	3	2	1
Responden 5	3	2	1
Responden 6	4	3	1
Responden 7	4	3	1
Responden 8	4	3	1
Responden 9	3	2	1
Responden 10	4	3	1
Rata-rata	**3,7**	**2,6**	**1**

p-ISSN : 1411-7703
e-ISSN : 2746-2625

Kerekatan menggunakan solvent based menujukkan nilai yang lebih rendah dibandingkan water based, hal ini dikarenakan formulasi untuk solvent based harus menggunakan nitroselulosa (NC). Nitroselulosa (NC) adalah polimer hasil nitrasi selulosa, bersifat termoplastik dan larut dalam pelarut organik. Dalam finishing kulit, terutama sebagai top coat solvent based, NC banyak digunakan karena cepat kering, membentuk film keras dan mengkilap. Namun, sifat ikatannya terhadap substrat kulit termasuk kulit foil memiliki keterbatasan, karena NC tidak memiliki banyak gugus polar, ikatannya yang terbentuk dengan permukaan kulit foil bersifat lemah dan tidak spesifik secara kimia [8]. Adhesi NC bergantung pada jenis pelarut yang digunakan dan kekerasan permukaan kulit foil. Jika pelarut cepat menguap seperti solvent, NC bisa membentuk film sebelum terjadi kontak optimal dengan substrat, sehingga mengurangi daya rekat [9]. NC tidak membentuk ikatan kimia langsung dengan kulit. Hal ini membuatnya lebih rentan terhadap delaminasi saat diuji dalam foil adhesion test [10].

Pengaruh aplikasi topcoat terhadap tampilan permukaan kulit foil

Hasil top coat menggunakan water based menghasilkan permukaan yang sedikit kasar, sedangkan pada solvent based menghasilkan permukaan yang lebih halus. Perbedaan tampilan permukaan dari penggunaan pelarut *water based* dan *solvent based* disebabkan oleh perbedaan karakteristik bahan dan pengeringan dari kedua jenis pelapis. Menurut Civi [11], et al (2022), pelapis water based cenderung sensitif terhadap substrat non berpori seperti permukaan kulit yang telah dilaminasi dengan foil, sehingga menghasilkan permukaan yang sedikit kasar karena terbatasnya penetrasi dan perataan lapisan. Sebaliknya, *solvent based* lebih mudah menyebar dan menyesuaikan dengan topografi *foil laminated leather*, menghasilkan permukaan yang lebih halus dan rata. Hasil aplikasi topcoat perhadap tampilan kulit, tampilan kilap dan pergesaran warna dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Pengaruh topcoat terhadap karakteristik tampilan kulit laminasi

Top Coat	Karakteristik Kulit		
	Permukaan	*Shinny*	*Colour*
Water based	Kasar	Cukup kilap	Terjadi perubahan warna terhadap warna asli
Solvent based	Lembut	Kilap	Tidak ada perubahan terhadap warna asli
Tanpa *top coat*	Sedikit kasar	Tidak kilap	Tidak ada perubahan terhadap warna asli

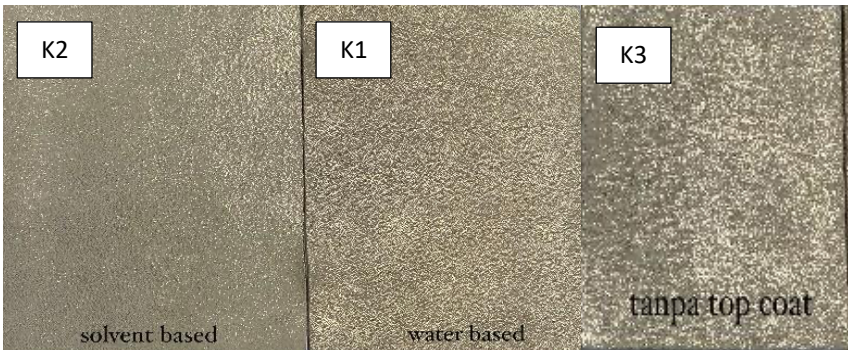
Pengaruh aplikasi topcoat terhadap tampilan kilap (shiny)

Penggunaan top coat water based dengan bahan dasar poliuretan pada kulit suede menghasilkan permukaan yang relatif kasar dengan tingkat kilap yang rendah. Hal ini disebabkan oleh struktur molekul poliuretan yang menutupi permukaan kulit, menghambat pemantulan cahaya secara optimal ke retina mata. Struktur poliuretan mengganggu refleksi cahaya yang

p-ISSN : 1411-7703
e-ISSN : 2746-2625
biasanya memberikan efek mengkilap (shine) pada permukaan kulit. Pantulan cahaya yang mengenai kulit secara tegak lurus dan diterima sempurna oleh mata akan menimbulkan efek kilap sedangkan tertutupnya cahaya oleh lapisan poliuretan justru membuat kulit tampak kusam. Oleh karena itu, penggunaan poliuretan bisa menyebabkan tampilan buram (dull) pada kulit suede [12]. Hal ini berbeda dengan top coat solvent based memberikan hasil akhir yang lebih halus dan mengkilap. Daya sebar yang lebih baik serta karakteristik pelarut yang cepat menguap memungkinkan lapisan top coat membentuk film yang rata dan reflektif, sehingga meningkatkan tampilan shiny pada permukaan kulit. Akan tetapi, dalam tren fashion saat ini, tampilan kulit mengkilap bukan lagi prioritas, khususnya untuk material kulit upper shoes [12], sehingga penggunaan water based tetap relevan meskipun menghasilkan tingkat kilap yang lebih rendah.

Pengaruh aplikasi topcoat terhadap pergeseran warna

Penggunaan top coat berbahan dasar water based polyurethane juga berdampak pada perubahan warna kulit. Penggunaan *water based* pada lapisan *top coat* menyebabkan permukaan kulit cenderung mengalami perubahan warna menjadi lebih gelap. Hal ini disebabkan oleh lapisan poliuretan yang menutupi permukaan kulit, mempengaruhi persepsi warna karena cahaya yang masuk dan keluar dari permukaan kulit menjadi terbatas. Sebaliknya, *solvent based* tidak terlalu mempengaruhi warna asli kulit karena lapisannya yang lebih tipis dan merata, memungkinkan cahaya untuk tetap berinteraksi secara lebih alami dengan kulit [12]. Namun, penggunaan solvent based top coat juga memiliki dampak negatif, terutama pada kesehatan dan lingkungan. Kandungan *volatile organic compounds* (VOCs) dalam pelarut dapat mencemari udara dan memicu gangguan kesehatan, seperti iritasi saluran pernapasan atau efek toksik dalam jangka Panjang [13]. Hasil akhir kulit laminated foil dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Perbandingan kulit *foil laminated leather* setelah perlakuan top coat, K1 (*water-based*), K2 (*solvent-based*), K3 (tanpa pelarut)

Kesimpulan

Penggunaan *top coat water based* dan *solvent based* memberikan hasil perbedaan yang nyata. Penggunaan *water based* memberikan hasil permukaan kulit yang sedikit kasar, sedikit kilap dan mengalami pergeseran warna menjadi lebih gelap. Sebaliknya, penggunaan *top coat solvent based* menghasilkan permukaan yang lebih halus, lebih mengkilap, dan mempertahankan warna asli kulit. Perbedaan ini menunjukkan bahwa jenis pelarut dalam *top coat* berpengaruh langsung terhadap tampilan akhir kulit. Selain itu, jenis *top coat* juga

mempengaruhi kerekatan foil pada *laminated leather*. *Top coat water based* menunjukkan daya rekat paling tinggi dengan nilai rata-rata 3,7 (skala 4). Sebaliknya, *solvent based* hanya mencapai rata-rata 2,6, sementara perlakuan tanpa top coat menunjukkan hasil kerekatan yang paling rendah dengan nilai 1. Hal ini membuktikan bahwa *top coat water based* mampu meningkatkan daya rekat foil secara signifikan pada *laminated leather upper shoes*.

Ucapan terima kasih

Penulis dapat mencantumkan ucapan terima kasih kepada Program Studi Pengolahan Kulit, Politeknik ATK Yogyakarta atas dukungan dan bantuan dalam kegiatan penelitian yang telah dilaksanakan.

Daftar Pustaka

[1] UNECE, *Enhancing the Traceability and Transparency of Sustainable Value Chains in the Garment and Footwear Sector: Business Process Analysis for Sustainability and Circularity in the Leather Value Chain*, 1st ed. 2025.
[2] Thoma. Brock, T. Michae. Brock, and Peter. Mischke, *European Coatings Handbook*. 2014.
[3] "Leather-Environmental footprint-Product Category Rules (PCR) i," 2017.
[4] W. Dukarski, I. Rykowska, P. Krzyżanowski, and M. Gonsior, "Flame Retardant Additives Used for Polyurea-Based Elastomers—A Review," *Fire*, vol. 7, no. 2, p. 50, Feb. 2024, doi: 10.3390/fire7020050
[5] J. Liu, F. Recupido, G. C. Lama, M. Oliviero, L. Verdolotti, and M. Lavorgna, "Recent advances concerning polyurethane in leather applications: an overview of conventional and greener solutions," *Collagen and Leather*, vol. 5, no. 1, p. 8, Dec. 2023, doi: 10.1186/s42825-023-00116-8.
[6] D&A Group, "Empowering High Performance Water-based Leather Coating Products: Technical Control Waterborne Polyurethane Resin for Leather Coating." Accessed: Oct. 31, 2025. [Online]. Available: https://www.dna-group.com/en/empowering-high-performance-water-based-leather-coating-products-technical-control-waterborne-polyurethane-resin-for-leather-coating/
[7] C. Liu *et al.*, "A waterborne polyurethane–based leather finishing agent with excellent room temperature self-healing properties and wear-resistance," *Adv Compos Hybrid Mater*, vol. 4, no. 1, pp. 138–149, Mar. 2021, doi: 10.1007/s42114-021-00206-3.
[8] Z. W. . Wicks, *Organic coatings : science and technology*. Wiley-Interscience, 2007.
[9] X. Cao *et al.*, "Preparation, formation mechanism, and performance of nitrocellulose aqueous coating based on the anti-solvent method," *Colloids Surf A Physicochem Eng Asp*, vol. 684, p. 133214, Mar. 2024, doi: 10.1016/j.colsurfa.2024.133214.
[10] M. Suriya, D. R. Monica, R. Prasanna, M. Sujata, and V. K. Swarna, "Influence of Polyurethane binders on the surface properties of finished leather: Part I - Function as a sealing coat," *Journal of the American Leather Chemists Association*, vol. 119, pp. 295–302, 2024.
[11] S. Çivi, A. Özçelik, and E. Eke Bayramoğlu, "The Effects of Different Lacquers Used in Finishing on Leather Color Change," in *Proceedings of the 9th International Conference*

p-ISSN : 1411-7703
e-ISSN : 2746-2625
on Advanced Materials and Systems, INCDTP - Leather and Footwear Research Institute (ICPI), Bucharest, Romania, Nov. 2022, pp. 297–302. doi: 10.24264/icams-2022.III.7.

[12] S. S. Abdullah, "REPROCESS AND REPAIR COW UPPER LEATHER SUEDE WITH SPRAY FINISH METHOD," *Berkala Penelitian Teknologi Kulit, Sepatu, dan Produk Kulit*, vol. 21, no. 2, pp. 245–254, Dec. 2024, doi: 10.58533/fzpydf97

[13] L. Ollé, A. Frías, S. Sorolla, R. Cuadros, and A. Bacardit, "Study of the impact on occupational health of the use of polyaziridine in leather finishing compared with a new epoxy acrylic self-crosslinking polymer," *Prog Org Coat*, vol. 154, p. 106162, May 2021, doi: 10.1016/j.porgcoat.2021.106162

p-ISSN : 1411-7703
e-ISSN : 2746-2625

DEVELOPMENT OF A MULTIPLE MARKING SYSTEM ON SHOELAST: AN EFFICIENT AND ADAPTIVE SOLUTION FOR MULTI-DESIGN PRODUCTION

PENGEMBANGAN SISTEM MULTIPLE MARKING PADA SHOELAST: SOLUSI EFISIEN DAN ADAPTIF UNTUK PRODUKSI MULTI-DESAIN

Umi Ramadhanti [1], Nunik Purwaningsih [1*]

[1]Program Studi Teknologi Pengolahan Produk Kulit, Politeknik ATK Yogyakarta, Yogyakarta Indonesia

[*] Corresponding author: nunikpurwa@atk.ac.id

Abstract:
The lasting process in the footwear industry is essential for ensuring the accuracy and symmetry of upper placement on the shoelast, which directly affects the final shape and quality of the shoe. In many footwear industries, shoelasts are used without placement guides, leading operators to rely on visual estimation. This condition reduces accuracy, increases defects, and lowers efficiency, particularly when a single shoelast is used for multiple designs. This study aims to develop an adaptive and easily implemented multiple marking system on shoelasts to support various women's footwear designs. The research combines needs analysis through observation of the lasting process with experimental testing of marking creation and application. Markings were designed based on upper dimensions, distinguished by color for each design, and applied using durable yet non-permanent acrylic markers. Testing on two shoe articles (A and B) evaluated upper-position accuracy, lasting time, and operator responses. Results indicate that the multiple marking system significantly improves accuracy in upper placement and reduces lasting time from 8–10 minutes to 5–7 minutes. Operators reported clearer guidance and easier adaptation. Limited production trials further showed defect reduction for article A from 18% to 10% and for article B from 28% to 8%. Overall, the study demonstrates that an adaptive multiple marking system on the shoelast is an effective and economical method to enhance accuracy, improve lasting performance, reduce defects, and maintain flexibility for multi-design footwear production.
Keywords: multiple marking, shoelast, accuracy, lasting, effective, adaptive

Intisari:
Proses *lasting* pada industri alas kaki memiliki peran penting dalam memastikan posisi upper presisi dan simetris pada *shoelast*, sehingga kualitas bentuk akhir sepatu dapat terjaga. Pada banyak industri alas kaki, *shoelast* belum dilengkapi tanda penempatan *upper,* sehingga operator mengandalkan perkiraan visual. Hal ini menyebabkan *upper* tidak presisi, meningkatnya produk cacat, dan menurunnya efisiensi, terutama saat memproduksi desain baru atau ketika satu shoelast digunakan untuk beberapa model. Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem *multiple marking* pada shoelast yang bersifat adaptif, mudah

p-ISSN : 1411-7703
e-ISSN : 2746-2625
diterapkan, dan dapat mengakomodasi berbagai desain sepatu wanita. Penelitian menggunakan metode analisis kebutuhan melalui observasi proses lasting, diikuti eksperimen pembuatan dan penerapan marking. Marking dirancang berdasarkan dimensi *upper*, dibedakan menurut desain menggunakan warna berbeda, dan dibuat menggunakan spidol akrilik yang bersifat tahan lama namun tidak permanen. Pengujian dilakukan pada dua artikel sepatu (A dan B), mencakup akurasi posisi *upper*, waktu lasting, serta respon operator. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa penggunaan multiple marking meningkatkan presisi penempatan *upper*, menurunkan waktu lasting dari 8 sampai dengan 10 menit menjadi 5 sampai dengan 7 menit, serta mendapat respon positif dari operator. Implementasi pengujian pada skala produksi terbatas menghasilkan penurunan defect pada sepatu artikel A dari 18% menjadi 10% dan pada artikel B dari 28% menjadi 8%. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa sistem multiple marking merupakan solusi efektif, adaptif, dan ekonomis untuk mendukung produksi multi-desain, meningkatkan akurasi proses lasting, mengurangi defect, serta menjaga fleksibilitas penggunaan shoelast.
Kata kunci: multiple marking, shoelast, akurasi, lasting, efektif, adaptif

Pendahuluan

Industri alas kaki merupakan salah satu sektor manufaktur yang berkembang pesat dan sangat kompetitif. Persaingan pasar menuntut produsen untuk mampu menghasilkan produk dengan variasi desain yang beragam, tanpa mengorbankan efisiensi dan kualitas produksi. Proses pembuatan sepatu secara umum meliputi beberapa tahapan utama, mulai dari *cutting*, *stitching*, *lasting*, hingga *assembling* [1] [2]. Pada tahap *lasting*, yaitu proses penarikan dan pembentukan *upper* sepatu agar sesuai dengan bentuk acuan sepatu atau *shoelast*, ketelitian menjadi faktor kunci. Tahap ini berfungsi untuk memastikan bahwa bentuk *upper* terpasang dengan tepat dan simetris pada *shoelast* sebelum dilanjutkan ke tahap *assembling*, di mana komponen sepatu seperti *sole*, *insole*, dan bagian-bagian lainnya disatukan menjadi satu kesatuan produk. Keakuratan pada proses *lasting* dan *assembling* sangat menentukan hasil akhir bentuk sepatu, kenyamanan pemakai, serta penampilan produk secara keseluruhan [3]. Pada pembuatan sepatu, *shoelast* memerlukan penambahan tanda atau *marking* yang berfungsi sebagai acuan dalam penempatan *upper* selama proses *lasting*. Keberadaan *marking* tersebut penting untuk memastikan posisi *upper* tetap presisi, simetris, serta sesuai dengan desain sepatu yang diinginkan [4].

Dalam praktik di lapangan, kerap ditemui *shoelast* yang digunakan pada bagian produksi belum memiliki tanda (*marking*) khusus sebagai panduan bagi operator untuk menempatkan *upper* sepatu dengan tepat. Operator sering kali mengandalkan perkiraan visual atau pengalaman pribadi ketika menempatkan *upper* pada *shoelast*, terutama pada awal produksi suatu desain baru.

Ketiadaan tanda panduan ini berdampak pada ketidaktepatan posisi *upper* selama proses *lasting*. Kesalahan kecil pada posisi awal dapat menyebabkan bentuk *upper* menjadi tidak simetris antara sepatu kanan dan kiri, atau tidak sesuai dengan desain yang diharapkan. Produk dengan cacat bentuk seperti ini umumnya tidak lolos tahap pemeriksaan kualitas (*quality control*), sehingga meningkatkan jumlah produk gagal dan menurunkan efisiensi produksi. Walaupun tingkat kesalahan cenderung berkurang seiring dengan meningkatnya pengalaman operator dalam menangani desain tertentu, masalah yang sama akan kembali muncul ketika

p-ISSN : 1411-7703
e-ISSN : 2746-2625
model atau desain baru mulai diproduksi. Dengan demikian, proses adaptasi berulang ini menyebabkan penurunan produktivitas dan potensi pemborosan sumber daya.

Saat ini di beberapa industri alas kaki khususnya pada industri sepatu wanita dengan model yang bervariasi, satu buah *shoelast* sering digunakan untuk memproduksi lebih dari satu desain. Hal ini dilakukan untuk mengoptimalkan sumber daya dan mengurangi kebutuhan pembuatan *shoelast* baru untuk setiap desain. Namun, kondisi ini menimbulkan tantangan tersendiri pada proses *lasting*.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, dibutuhkan adanya sistem penanda atau *marking* pada *shoelast* yang dapat berfungsi sebagai pedoman bagi operator *lasting* dalam menempatkan *upper* secara akurat dan konsisten. Sistem *marking* ini diharapkan dapat membantu menjaga keseragaman hasil, mempercepat proses penyesuaian operator terhadap desain baru, serta mengurangi tingkat kesalahan penempatan *upper*.

Namun, karena satu *shoelast* digunakan untuk lebih dari satu desain sepatu, maka sistem *marking* yang dikembangkan harus mampu mengakomodasi berbagai pola atau posisi penempatan *upper* sesuai dengan setiap desain yang berbeda. Di sisi lain, mengingat variasi desain sepatu dapat berkembang dari waktu ke waktu, sistem *marking* tersebut harus bersifat tidak permanen, agar mudah disesuaikan dengan perubahan desain tanpa perlu membuat *shoelast* baru.

Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada pengembangan sistem *multiple marking* pada *shoelast* sebagai solusi efisien dan adaptif bagi industri alas kaki, khususnya dalam menghadapi kebutuhan produksi multi-desain. Sistem ini diharapkan dapat menjadi inovasi yang mendukung peningkatan akurasi proses *lasting*, efisiensi waktu produksi, serta fleksibilitas dalam pengelolaan variasi desain sepatu.

Metode Penelitian

Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas acuan sepatu (*shoelast*), pita ukur, *upper* sepatu, *bottom* sepatu yaitu sol (*sole*), spidol akrilik (*acrylic marker*), dan sampel produk artikel A dan artikel B. *Shoelast* atau acuan sepatu merupakan objek utama penelitian. *Shoelast* yang digunakan adalah *shoelast* dengan hak 3 cm, terbuat dari bahan plastik keras yang umum digunakan di industri alas kaki. Gambar 1 merupakan *shoelast* yang digunakan. Satu *shoelast* digunakan untuk beberapa desain sepatu wanita dengan bentuk dasar yang sama. *Upper* dan *bottom* dari dua model desain, yaitu artikel A dan artikel B digunakan untuk pengujian, masing-masing sebanyak dua pasang. *Upper* sepatu digunakan dalam tahap uji coba untuk menilai ketepatan posisi terhadap *shoelast*. *Sole* digunakan untuk memastikan hasil *lasting* sesuai dengan bentuk akhir sepatu. Sampel produk digunakan sebagai acuan dalam identifikasi ukuran *upper*.

p-ISSN : 1411-7703
e-ISSN : 2746-2625



Gambar 1. Acuan sepatu

Metode

Metode penelitian yang digunakan dalam studi ini terdiri atas dua pendekatan utama, yaitu analisis dan percobaan (eksperimen). Pendekatan analisis dilakukan untuk mengidentifikasi dan merumuskan secara spesifik kebutuhan pengguna, dalam hal ini adalah operator pada proses *lasting*. Tahap analisis mencakup pengamatan langsung terhadap proses kerja, identifikasi permasalahan yang dihadapi operator, serta penentuan parameter teknis yang dibutuhkan untuk pengembangan sistem *multiple marking* pada *shoelast*.

Selanjutnya, dilakukan percobaan untuk menguji efektivitas solusi yang diusulkan. Tahap ini melibatkan pembuatan dan penerapan sistem *marking* sesuai hasil analisis, kemudian dilakukan pengujian terhadap beberapa skenario penggunaan guna menilai tingkat akurasi, kemudahan penerapan, serta efisiensi proses produksi yang dihasilkan. Melalui kombinasi antara analisis kebutuhan dan pengujian eksperimental, penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan sistem *multiple marking* yang benar-benar sesuai dengan kebutuhan lapangan serta memberikan peningkatan nyata pada kualitas dan efisiensi proses *lasting* di industri alas kaki.

Hasil dan Pembahasan

Hasil Observasi

Observasi dilakukan di salah satu industri sepatu wanita yang menjadi lokasi studi kasus penelitian ini. Tujuan observasi adalah untuk memahami kondisi aktual proses *lasting* dan *assembling*, serta untuk mengidentifikasi kebutuhan spesifik dalam penerapan sistem *multiple marking* pada *shoelast*. Dari hasil pengamatan, diketahui informasi sebagai berikut:

1. Proses *lasting* dilakukan secara manual.
   Seluruh proses *lasting* masih mengandalkan keterampilan operator tanpa bantuan sistem penanda atau alat bantu visual. Operator menempatkan *upper* pada *shoelast* berdasarkan perkiraan visual dan pengalaman, terutama saat memproduksi artikel baru. Hal ini menyebabkan variasi posisi *upper* antar pasang sepatu cukup signifikan, terutama pada tahap awal produksi.
2. Jumlah *shoelast* dan variasi desain.
   Pada lokasi studi kasus terdapat 60 pasang *shoelast* yang digunakan untuk tiga desain sepatu berbeda, sehingga setiap desain memanfaatkan 20 pasang shoelast**.** Kondisi ini menunjukkan bahwa satu set *shoelast* sering kali digunakan bergantian untuk beberapa model atau desain sepatu yang memiliki bentuk dasar serupa.

p-ISSN : 1411-7703
e-ISSN : 2746-2625

3. Perkembangan desain sepatu.
   Desain yang diproduksi mengalami perubahan dan penambahan secara periodik. Pada setiap proses produksi dengan desain sepatu yang baru, operator harus melakukan penyesuaian ulang posisi *upper* pada *shoelast* tanpa adanya panduan yang jelas. Hal ini menyebabkan risiko kesalahan posisi kembali meningkat.
4. Ketidakkonsistenan hasil produksi
   Akibat tidak adanya tanda penempatan yang pasti, ditemukan bahwa hasil *lasting* pada beberapa pasang sepatu menunjukkan ketidaksimetrisan antara sepatu kanan dan kiri. Hal ini berdampak pada bentuk akhir sepatu yang kurang proporsional serta menurunkan tingkat kelulusan pada tahap *quality control*.

Hasil observasi ini menjadi dasar untuk merumuskan kebutuhan sistem penanda (*marking*) yang dapat membantu operator dalam menempatkan *upper* secara akurat dan konsisten pada setiap proses *lasting*.

Kebutuhan Sistem Multiple Marking

Berdasarkan hasil observasi dapat dirumuskan beberapa kebutuhan utama yang harus dipenuhi oleh sistem *multiple marking* yang akan dikembangkan, yaitu:

1. Setiap pasang *shoelast* harus memiliki tanda (*marking*) yang berfungsi sebagai panduan. Tanda ini menjadi acuan bagi operator dalam menentukan posisi *upper* secara tepat pada saat proses *lasting* maupun *assembling*. Keberadaan tanda akan membantu menjaga kekonsistenan posisi antar pasang sepatu dan mengurangi kesalahan akibat perkiraan visual.
2. *Shoelast* harus dapat digunakan untuk lebih dari satu desain sepatu.
   Oleh karena satu *shoelast* digunakan untuk beberapa artikel berbeda, maka pada permukaannya dapat terdapat lebih dari satu tanda. Setiap tanda perlu memiliki pembeda visual, seperti warna atau bentuk garis, agar operator dapat mengenali tanda yang sesuai dengan desain sepatu yang sedang diproduksi.
3. *Marking* bersifat tahan lama namun tidak permanen.
   Karena desain sepatu dapat berubah dari waktu ke waktu, tanda pada *shoelast* perlu dibuat dari bahan yang awet tetapi dapat dihapus atau diubah dengan mudah. Hal ini penting agar tanda dapat diperbarui tanpa merusak permukaan *shoelast*.
4. *Marking* tidak boleh merusak *shoelast* maupun *upper*.
   Bahan dan metode penandaan harus aman bagi permukaan *shoelast* dan tidak meninggalkan bekas yang dapat mempengaruhi tampilan atau bentuk *upper*. Oleh karena itu, sistem *marking* sebaiknya menggunakan bahan dengan daya rekat moderat dan sifat non-abrasif.

Penerapan *multiple marking* pada *shoelast* dapat dijelaskan melalui prinsip dasar *locator* dalam sistem pemosisian benda kerja. Dalam teori pemosisian, *locator* berfungsi sebagai titik acuan yang memastikan benda kerja ditempatkan secara tepat dan berulang, sehingga operator tidak bergantung pada perkiraan visual [5]. Adanya acuan yang jelas membantu mencegah penyimpangan posisi. Selain itu, penggunaan lebih dari satu penanda pada satu objek sejalan dengan konsep sistem pemosisian fleksibel, yang memanfaatkan beberapa *locator* untuk memungkinkan satu peralatan digunakan pada berbagai variasi produk [6]. Pembeda visual antar penanda membantu operator memilih penanda yang tepat sesuai desain yang diproduksi. Dengan demikian, konsep *multiple marking* pada *shoelast* dapat dipahami sebagai penerapan

p-ISSN : 1411-7703
e-ISSN : 2746-2625

flexible locator system dan secara teoretis merupakan pendekatan yang efisien serta adaptif untuk produksi multi-desain pada industri alas kaki.

Rancangan Sistem Multiple Marking

Dari identifikasi kebutuhan kemudian dirancang sistem *multiple marking* yang mampu memenuhi kebutuhan tersebut. Rancangan ini mencakup beberapa aspek penting yaitu posisi, warna, serta pemilihan bahan dan teknik pembuatan marking yang sesuai dengan karakteristik *shoelast* dan kondisi kerja.

Pada studi kasus yang dibahas, setiap *shoelast* diberikan sejumlah set *marking* yang masing-masing set mewakili jenis artikel sepatu berbeda. Dengan demikian, satu *shoelast* dapat digunakan secara bergantian untuk lebih dari satu desain tanpa perlu membuat acuan baru.

1. Penentuan posisi marking.
   Tanda dibuat berdasarkan ukuran *upper* sampel produk dari bagian Development. Variabel yang diukur terdiri atas panjang *upper*, panjang sisi dalam, dan panjang sisi luar. Panjang *upper* diukur dari *toecap* hingga *top line upper*. Posisi tanda pada *shoelast* disesuaikan dengan dimensi ini agar *upper* dapat ditarik dengan presisi saat proses *lasting* berlangsung.
2. Pembedaan warna marking antar desain.
   Untuk memudahkan identifikasi di lapangan, setiap set tanda dibedakan dengan warna yang kontras, misalnya warna merah untuk desain A dan warna hitam untuk desain B. Pembedaan warna ini akan membantu operator dalam mengenali tanda dengan cepat, terutama saat pergantian artikel produksi. Warna berperan penting dalam berbagai aspek yang memengaruhi proses pencarian visual. Sebagai cara pengkodean yang paling langsung dan efisien, informasi warna biasanya menjadi hal pertama yang diperhatikan oleh pengguna [7].
3. Bahan dan teknik pembuatan tanda.
   Tanda dibuat menggunakan spidol akrilik (*acrylic marker*). *Acrylic marker* merupakan jenis spidol yang menggunakan tinta berbasis cat akrilik, yaitu campuran polimer akrilik dalam medium air, untuk menghasilkan goresan yang pekat, tahan lama, dan memiliki warna yang kuat. Secara umum, bahan pengikat pada cat akrilik tersusun dari kopolimer akrilik yang diperoleh melalui proses polimerisasi emulsi. Struktur polimer ini memengaruhi interaksi cat dengan air maupun senyawa volatil, yang berperan dalam menentukan stabilitas dan daya tahannya [8]. Sistem emulsi tersebut memberikan sifat lapisan cat yang baik, seperti daya rekat yang kuat, fleksibilitas, serta ketahanan terhadap gesekan dan kelembapan setelah tinta mengering [9]. Dalam formulasi *acrylic marker*, pigmen warna terdispersi dalam emulsi polimer akrilik bersama dengan bahan tambahan seperti surfaktan, pengental, dan zat penstabil. Kombinasi ini menghasilkan tinta dengan kekentalan yang sesuai untuk mengalir melalui ujung spidol sekaligus membentuk lapisan yang padat setelah kering [10]. Secara aplikatif, *acrylic marker* menggabungkan keunggulan cat akrilik seperti daya tutup tinggi dan ketahanan terhadap air, dalam bentuk yang praktis dan mudah digunakan, sehingga banyak dimanfaatkan dalam kegiatan seni, kerajinan, dekorasi permukaan keras, dan berbagai kebutuhan industri kreatif yang membutuhkan presisi serta kualitas warna yang baik.
   Pemilihan alat ini didasarkan pada beberapa pertimbangan praktis, yaitu:
   a. Spidol akrilik mudah diperoleh dan murah, sehingga dapat digunakan langsung di area produksi tanpa memerlukan peralatan khusus.

p-ISSN : 1411-7703
e-ISSN : 2746-2625

b. Memiliki variasi warna yang beragam, dengan sedikitnya lima pilihan warna berbeda yang memungkinkan pembedaan antar desain.
c. Proses penerapan cepat dan fleksibel, karena operator atau teknisi dapat langsung menambahkan atau memperbarui tanda sesuai kebutuhan desain baru.
d. Dapat dihapus dengan pelarut ringan, seperti alkohol, sehingga tanda bersifat semi permanen dan dapat diubah tanpa merusak permukaan *shoelast*.

Dalam praktiknya, warna hijau dan kuning tidak digunakan karena kurang kontras dengan warna dasar *shoelast* yang juga berwarna hijau. Warna yang paling efektif untuk digunakan adalah merah, hitam, dan biru, karena memberikan kontras visual yang tinggi [11] sehingga bisa dengan cepat dikenali oleh mata manusia [12], dalam hal ini operator saat proses *lasting* berlangsung.

Uji Coba, Implementasi, dan Evaluasi

Dalam uji coba awal, sebagai sampel digunakan 2 produk dengan desain berbeda, yaitu sepatu artikel A dan artikel B yang telah dan sedang diproduksi. Beberapa parameter yang diamati dan diukur adalah sebagai berikut:

a. Akurasi bentuk dan posisi *upper* antara sepatu kanan dan kiri pada hasil akhir sepatu
b. Waktu yang diperlukan untuk melakukan proses *lasting*
c. Respon operator terhadap kemudahan penggunaan sistem *marking*.

Tampilan sepatu artikel A ditampilkan pada Gambar 2, sedangkan Gambar 3 merupakan sepatu artikel B. Kedua artikel tersebut mempunyai desain yang mirip. Meskipun terdapat perbedaan pada ukuran detilnya, namun bentuk dasarnya sama, dan dibuat menggunakan acuan yang sama.



(a) (b)

Gambar 2. Tampilan Sepatu Artikel A, (a) Tampak Atas, (b) Tampak Sisi Samping



(a) (b)

Gambar 3. Tampilan Sepatu Artikel B, (a) Tampak Perspektif, (b) Tampak Sisi Samping

p-ISSN : 1411-7703
e-ISSN : 2746-2625

Tahapan uji coba adalah sebagai berikut:

1. Pengukuran *upper* dan penentuan posisi *marking*.
   Yang diukur adalah panjang *upper* dari ujung sepatu hingga *topline* pada punggung kaki, dan panjang *upper* bagian samping yang terdiri atas sisi dalam (*in*) dan sisi luar (*out*). Di bagian *topline*, panjang *upper* dari ujung sepatu hingga punggung kaki artikel A dan B sama. Sedangkan di sisi *in* dan *out*, terdapat perbedaan ukuran antara sepatu artikel A dan artikel B. Posisi *upper* artikel A lebih dekat dengan *heel* sedangkan artikel B sedikit lebih ke depan (ke arah ujung sepatu). Tabel 1 merupakan data ukuran *upper* sepatu artikel A dan artikel B.

Tabel 1. Ukuran *Upper* Artikel A dan B

Artikel sepatu	Ukuran dari ujung sepatu (cm)		
	Topline	Sisi dalam	Sisi luar
A	9	21,5	22
B	9	19,5	20

2. Proses *marking*.
   Satu buah *shoelast* diberikan *marking* untuk 2 buah artikel sekaligus, menggunakan spidol akrilik warna merah dan hitam. Warna merah untuk marking artikel A dan warna hitam untuk marking artikel B. Posisi marking adalah di bagian *topline*, sisi *in*, dan sisi *out*. Karena ukuran *upper* artikel A dan artikel B di bagian *topline* sama, diperlukan 2 *marking* berbeda pada posisi yang sama. Hal ini diaplikasikan dengan memberikan tanda berupa garis bersegmen, tiap segmen berbeda warna. Sedangkan di sisi *in* dan *out*, posisi *marking* berbeda. Hasil *marking* ditunjukkan pada Gambar 4. Untuk memastikan ketepatan posisi, hasil *marking* diperiksa oleh bagian *pattern maker* dan operator lasting.



(a) (b)

Gambar 4. *Marking* pada *shoelast*, (a) Tampak Atas, (b) Tampak Sisi Samping

3. Proses *lasting* dan *assembling*.
   Proses *lasting* dan *assembling* dilakukan oleh dua orang responden yaitu operator yang berpengalaman di bagian tersebut, setelah sebelumnya diberikan pengarahan mengenai fungsi dan penggunaan *marking* pada *shoelast*. Waktu *lasting* dicatat untuk perbandingan

p-ISSN : 1411-7703
e-ISSN : 2746-2625

dengan *lasting* menggunakan *shoelast* tanpa *marking*. Pada proses *lasting* menggunakan *shoelast* tanpa *marking*, diperlukan waktu antara 8 sampai dengan 10 menit untuk setiap pasang. Sedangkan dengan menggunakan *shoelast* yang ada markingnya, proses *lasting* setiap pasang sepatu memerlukan waktu 5 sampai dengan 7 menit. Hal tersebut menunjukkan terjadi penurunan waktu proses sekitar 33%. Jumlah produk yang dihasilkan untuk uji coba adalah 4 pasang sepatu, terdiri atas 2 pasang artikel A dan 2 pasang artikel B. Dari evaluasi terhadap hasil akhir, diketahui bahwa posisi *upper* presisi untuk semua sepatu tersebut.

4. Pengukuran variabel kualitatif.
   Variabel kualitatif yang diukur adalah penilaian dari operator dan kepala produksi sebagai pengguna, dengan hasil sebagai berikut:
   a) Sistem *multiple marking* pada *shoelast* mudah dipahami dan diterapkan oleh operator sesuai dengan fungsi yang diharapkan
   b) Tingkat percaya diri operator meningkat dengan adanya garis panduan dalam menempatkan *upper* sesuai dengan desain
   c) Pemeriksaan hasil *lasting* oleh kepala produksi lebih mudah dilakukan karena terdapat referensi visual yang lebih jelas
   d) Proses pemberian maupun modifikasi *marking* pada *shoelast* bisa dilakukan relatif mudah dengan alat yang sederhana dan mudah didapatkan
   e) Responsif terhadap kebutuhan produksi. Sistem mampu menyesuaikan perubahan kebutuhan produksi, misal perubahan model *upper*.

   Respon tersebut memperlihatkan bahwa implementasi *multiple marking* pada *shoelast* memberikan berbagai dampak positif.

Berdasarkan temuan awal yang menunjukkan kecenderungan hasil yang baik, langkah berikutnya adalah melakukan uji coba pada skala yang lebih besar. Pada tahap ini sistem diimplementasikan secara langsung di bagian produksi dan dievaluasi sehingga efektivitas, efisiensi, dan keandalan sistem dalam kondisi operasional yang sebenarnya dapat diuji.

Salah satu variabel yang dicatat adalah jumlah *defect upper* tidak presisi. Sebagai perbandingan, digunakan data jumlah produk cacat (*defect*) kesalahan posisi *upper* dari produksi selama tiga bulan yaitu Desember 2024 sampai dengan Februari 2025. Pada periode produksi tersebut, proses lasting dilaksanakan dengan menggunakan *shoelast* tanpa *marking*. Sebagai sampel dipilih dua artikel sepatu yaitu artikel A dan artikel B. Data tersebut ditampilkan pada Tabel 2, yang memperlihatkan bahwa persentase *upper* tidak presisi untuk sepatu artikel A adalah 18% dan sepatu artikel B mencapai 28%.

Tabel 2. Data Cacat Produksi pada Proses Lasting Tanpa Marking (Des 2024–Feb 2025)

Artikel Sepatu	Jumlah Produksi	Defect *Upper* Tidak Presisi	
		Jumlah	Persentase
A	1.340	235	18%
B	80	22	28%

Pengujian implementasi sistem *multiple marking* di bagian produksi dilakukan selama lima hari, dengan jumlah total sepatu artikel A adalah 60 pasang dan artikel B sebanyak 40 pasang.

p-ISSN : 1411-7703
e-ISSN : 2746-2625
Pengamatan dan evaluasi dilakukan terhadap proses *lasting* dan tingkat presisi *upper* yang dihasilkan. Hasil evaluasi ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Data Cacat Produksi pada Proses Lasting dengan Multiple Marking (Uji Coba Produksi)

Artikel Sepatu	Jumlah Produksi	Defect *Upper* Tidak Presisi	
		Jumlah	Persentase
A	60	6	10%
B	40	3	8%

Dibandingkan dengan data pada Tabel 2, terdapat penurunan jumlah *defect upper* tidak presisi. *Defect* artikel A mengalami penurunan dari angka 18% menjadi 10%, sedangkan *defect* artikel B mengalami penurunan dari 28% menjadi 8%. Hal tersebut merupakan indikasi bahwa implementasi *multiple marking* pada *shoelast* merupakan solusi yang efektif dalam meningkatkan akurasi penempatan *upper* pada proses *lasting*.

Variabel lain yang diukur adalah waktu lasting. Dengan menggunakan *multiple marking shoelast*, rerata waktu yang diperlukan operator untuk melakukan *lasting* satu pasang sepatu adalah 5 sampai dengan 7 menit. Waktu tersebut lebih cepat dibandingkan proses lasting tanpa marking pada shoelast, yang membutuhkan 8 sampai dengan 10 menit untuk menyelesaikan satu pasang sepatu. Bisa disimpulkan bahwa selain efektif, sistem *marking* juga meningkatkan efisiensi waktu *lasting*.

Sifat tanda yang tidak permanen membuat *shoelast* tetap dapat digunakan untuk desain lain di masa mendatang tanpa perlu modifikasi besar. Secara keseluruhan, penerapan sistem *multiple marking* terbukti merupakan solusi yang efektif dan adaptif bagi produksi multi-desain di industri alas kaki, selaras dengan tujuan utama penelitian ini.

Kesimpulan

Sistem *multiple marking* dengan media spidol akrilik merupakan metode penandaan yang sederhana, ekonomis, namun efektif, serta tetap memenuhi kriteria utama yaitu tahan lama, tidak merusak *shoelast*, dan dapat disesuaikan dengan perubahan desain baru secara cepat. Implementasi sistem *multiple marking* ini menghasilkan *shoelast* yang lebih fungsional, fleksibel, dan mudah diadaptasi terhadap perubahan desain baru. Proses *lasting* menjadi lebih cepat dan akurat karena operator memiliki panduan visual yang jelas. Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan, terutama terkait implementasi sistem yang dilakukan dalam skala produksi terbatas sehingga performanya pada produksi massal dengan variabilitas operator yang lebih tinggi belum dapat dipastikan. Selain itu juga belum dikaji penerapan sistem *multiple marking* pada berbagai jenis material *shoelast* yang memiliki karakteristik berbeda. Pada penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan uji coba pada skala produksi lebih besar dengan melibatkan lebih banyak operator untuk mengevaluasi konsistensi performa sistem *multiple marking* dalam kondisi variabilitas keterampilan kerja yang lebih tinggi. Selain itu, perlu dilakukan analisis penerapan sistem *marking* pada beragam material *shoelast* guna menilai pengaruh sifat permukaannya terhadap kejelasan dan ketahanan *marking* selama proses *lasting*.

p-ISSN : 1411-7703
e-ISSN : 2746-2625

Ucapan terima kasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada PT. Nuansa Baru Indonesia atas dukungan, fasilitas, dan kesempatan yang diberikan selama proses pengumpulan data dan observasi, mulai bagian development sampai dengan lini produksi. Apresiasi juga disampaikan kepada seluruh tim yang telah membantu menyediakan informasi teknis serta memberi masukan berharga sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik. Terima kasih kepada semua pihak yang mendukung dan berkontribusi dalam penyelesaian penelitian ini.

Daftar Pustaka

[1] L. C. Nhan and A. Chawalit Jeenanunta, "Production planning and scheduling for safety shoe manufacturing," Art. no. 315826, 2022, Accessed: Nov. 18, 2025. [Online]. Available: https://digital.library.tu.ac.th/tu_dc/frontend/Info/item/dc:315826.

[2] G. Oliver, P. Gil, J. F. Gomez, and F. Torres, "Towards footwear manufacturing 4.0: shoe sole robotic grasping in assembling operations," *Int J Adv Manuf Technol*, vol. 114, no. 3, pp. 811–827, May 2021, doi: 10.1007/s00170-021-06697-0.

[3] K. Wrześniowska, "Shoe Last Customization: A Systematic Review.," *International Journal of Engineering & Technology Innovation*, vol. 13, no. 3, p. 230, July 2023, doi: 10.46604/ijeti.2023.11348.

[4] F. Ahmed, M. A. Sufian, M. Rahaman, and H. Dewan, "Analysis of Rejection Data in the Lasting Section of the Footwear Industry," *Australian Journal of Engineering and Innovative Technology*, Mar. 2023, doi: 10.34104/ajeit.023.035057.

[5] A. Y. C. Nee, K. Whybrew, and A. S. kumar, *Advanced Fixture Design for FMS*. Springer Science & Business Media, 2012.

[6] I. Boyle, Y. Rong, and D. C. Brown, "A review and analysis of current computer-aided fixture design approaches," *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, vol. 27, no. 1, pp. 1–12, Feb. 2011, doi: 10.1016/j.rcim.2010.05.008.

[7] M. Zhang, Y. Gong, R. Deng, and S. Zhang, "The effect of color coding and layout coding on users' visual search on mobile map navigation icons," *Front. Psychol.*, vol. 13, Dec. 2022, doi: 10.3389/fpsyg.2022.1040533.

[8] A. Iscen, N. C. Forero-Martinez, O. Valsson, and K. Kremer, "Acrylic Paints: An Atomistic View of Polymer Structure and Effects of Environmental Pollutants," *J. Phys. Chem. B*, vol. 125, no. 38, pp. 10854–10865, Sept. 2021, doi: 10.1021/acs.jpcb.1c05188.

[9] B. Ibrahim, Z. Helwani, A. Wiranata, I. Fadhillah, J. Miharyono, and N. -, "Properties of Emulsion Paints with Binders Based on Natural Latex Grafting Styrene and Methyl Methacrylate," *Applied Sciences*, vol. 12, no. 24, p. 12802, Jan. 2022, doi: 10.3390/app122412802.

[10] T. Fardi, V. Pintus, E. Kampasakali, E. Pavlidou, M. Schreiner, and G. Kyriacou, "Analytical characterization of artist's paint systems based on emulsion polymers and synthetic organic pigments," *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, vol. 135, pp. 231–241, Oct. 2018, doi: 10.1016/j.jaap.2018.09.001.

p-ISSN : 1411-7703
e-ISSN : 2746-2625
[11] H. Wang, D. Tao, S. Liu, T. Zhou, and X. Qu, “Application of colour combinations on visual search tasks under vibration environments,” *The Journal of Navigation*, vol. 74, no. 2, pp. 311–327, Mar. 2021, doi: 10.1017/S0373463320000533.

[12] C. G. Healey, K. S. Booth, and J. T. Enns, “High-speed visual estimation using preattentive processing,” *ACM Trans. Comput.-Hum. Interact.*, vol. 3, no. 2, pp. 107–135, June 1996, doi: 10.1145/230562.230563.

p-ISSN : 1411-7703
e-ISSN : 2746-2625

THE EFFECT OF MOLASSES AS AN ADHESIVE MATERIAL FOR MAKING ENVIRONMENTALLY FRIENDLY LIVESTOCK PELLETS

PENGARUH MOLASES SEBAGAI BAHAN PEREKAT UNTUK PEMBUATAN PELET TERNAK YANG RAMAH LINGKUNGAN

Hafitz Noprianto Ramadhan[1], Dimas Betran Saputra[1], Wahyu Fajar Winata[1*]

[1]Program Studi Teknologi Pengolahan Kulit, Politeknik ATK Yogyakarta, Indonesia
[*] Corresponding author: wahyufajarwinata@yahoo.com

Abstract:
This study aims to determine the effect of using molasses and starch adhesives on the physical quality of pellets made from *fleshing* waste generated by the leather tanning industry. The research employed a Completely Randomized Design (CRD) with three treatments: no adhesive (P0), addition of 2.5% molasses (P1), and addition of 2.5% starch (P2), each with three replications. The observed parameters included the physical characteristics of the pellets (color, texture, aroma, and compactness) as well as their reaction response to HCl solution. The results showed that the addition of adhesives significantly improved pellet quality. Treatment P1 produced the most compact, dense, and stable pellets, with a more intense reaction to HCl, while P2 provided moderate improvements and remained superior to P0. Pellets without adhesive (P0) had a loose structure, were less compact, and easily crumbled. Therefore, molasses is identified as the most effective adhesive for improving the physical quality and stability of pellets made from *fleshing* waste, whereas starch can serve as an alternative adhesive with lower effectiveness.
Keywords: fleshing waste, animal feed pellets, molasses, starch, physical quality of pellets.

Intisari:
Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan bahan perekat molases dan tepung kanji terhadap kualitas fisik pelet berbasis limbah *fleshing* dari industri penyamakan kulit. Metode yang digunakan adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan tiga perlakuan, yaitu tanpa perekat (P0), penambahan molases 2,5% (P1), dan penambahan tepung kanji 2,5% (P2), masing-masing dengan tiga ulangan. Parameter yang diamati meliputi karakteristik fisik pelet (warna, tekstur, aroma, dan kekompakan) serta respons reaksi terhadap larutan HCl. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan perekat memberikan perbaikan nyata terhadap mutu pelet. Perlakuan P1 menghasilkan pelet paling kompak, padat, stabil, dan menunjukkan reaksi HCl lebih intens, sedangkan P2 memberikan peningkatan mutu moderat dan lebih baik dibandingkan P0. Pelet tanpa perekat (P0) memiliki struktur yang renggang, kurang kompak, dan mudah hancur. Dengan demikian, molases merupakan bahan perekat yang paling efektif untuk meningkatkan kualitas fisik dan kestabilan pelet berbahan baku limbah *fleshing*, sedangkan tepung kanji dapat digunakan sebagai perekat alternatif dengan efektivitas yang lebih rendah.
Kata kunci: limbah fleshing, pelet pakan ternak, molases, tepung kanji, kualitas fisik pelet.

p-ISSN : 1411-7703
e-ISSN : 2746-2625

Pendahuluan

Industri di berbagai sektor hampir selalu menghasilkan limbah, baik berupa cairan, padatan, maupun emisi gas. Pada industri penyamakan kulit (*tannery*), jenis limbah yang paling dominan adalah limbah padat seperti *flesh* atau *fleshing*, yaitu sisa jaringan daging, lemak, dan serat kulit yang terbuang selama tahap awal proses penyamakan. Berbagai studi melaporkan bahwa limbah padat dari industri ini — termasuk *fleshing, trimming*, dan *shaving* — masih mengandung senyawa berharga seperti protein dan lipid/*fat*, sehingga berpotensi dimanfaatkan kembali sebagai bahan baku alternatif daripada langsung dibuang ke *landfill* [1–3].

Namun demikian, praktik pengelolaan limbah penyamakan di banyak daerah masih belum optimal. Banyak limbah yang langsung dibuang tanpa proses pengolahan memadai sehingga memicu berbagai persoalan lingkungan, antara lain penumpukan sampah, peningkatan beban pencemaran, dan timbulnya bau yang mengganggu. Kurangnya manajemen limbah juga menambah biaya dan risiko pada sisi operasional industri [1], [4]. Padahal, kandungan protein dan lemak dalam limbah *fleshing* sebenarnya memungkinkan untuk diolah menjadi produk bernilai, termasuk bahan baku biodiesel, gelatin, serta produk kimia tertentu melalui proses ekstraksi maupun metode pengolahan biologis dan mekanis [2-3].

Salah satu alternatif pemanfaatan yang semakin mendapat perhatian adalah menjadikan limbah *fleshing* sebagai bahan baku pakan ternak melalui proses peletisasi. Peletisasi memberikan berbagai keunggulan, seperti meningkatkan kerapatan produk, memperbaiki homogenitas, serta memudahkan penyimpanan dan distribusi. Agar pelet yang dihasilkan memiliki sifat fisik yang stabil dan kuat, dibutuhkan bahan pengikat (binder) yang mampu mempererat partikel selama proses pembentukan.

Molases merupakan salah satu produk samping dari industri gula yang dianggap sebagai binder yang menjanjikan [5-7]. Hal ini disebabkan oleh sifatnya yang lengket serta tingginya kandungan gula larut, yang kemudian membentuk "*solid bridges*" ketika campuran mengalami proses pengeringan [8-9]. Ikatan ini membantu menghasilkan struktur pelet yang lebih kompak dan tidak mudah rapuh.

Berbagai penelitian mendukung efektivitas molases dalam proses peletisasi. Pada pakan ternak sapi perah, penambahan molases terbukti meningkatkan kekuatan mekanik, kerapatan, dan keseragaman pelet [10]. Temuan serupa juga dilaporkan pada pelet biomassa dan limbah organik lainnya, di mana molases mampu meningkatkan densitas serta daya tahan fisik pelet secara signifikan [11-12]. Dengan demikian, integrasi limbah *fleshing* dalam pembuatan pelet berbasis binder organik seperti molases menjadi pendekatan yang potensial dalam strategi pemanfaatan limbah penyamakan kulit yang lebih berkelanjutan.

Metode Penelitian

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi penggiling daging, nampan plastik, sendok, spatula, talenan, pisau, gelas plastik, serta gelas beker (*beaker glass*) berkapasitas 250 mL. Proses pengeringan sampel dilakukan menggunakan sinar matahari selama dua hari. Bahan yang digunakan terdiri atas limbah *fleshing* sebanyak 125 gram, jagung kuning 125 gram, bungkul kedelai 112,5 gram, kapur 12,5 gram, bahan perekat berupa molases dan tepung kanji masing-masing 12,5 gram, serta air secukupnya untuk membantu proses pencampuran.

p-ISSN : 1411-7703
e-ISSN : 2746-2625

Metode

Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan tiga perlakuan dan tiga pengulangan. Adapun susunan perlakuan terdiri atas: P0: limbah *fleshing* 25%, jagung kuning 25%, bungkul kedelai 22,5%, dan kapur 2,5% tanpa penambahan bahan perekat (kontrol/blangko); P1: limbah *fleshing* 25%, jagung kuning 25%, bungkul kedelai 22,5%, kapur 2,5%, dan perekat molases 2,5%; serta P2: limbah *fleshing* 25%, jagung kuning 25%, bungkul kedelai 22,5%, kapur 2,5%, dan perekat tepung kanji 2,5%. Tahapan pelaksanaan penelitian meliputi: pengambilan limbah *fleshing* dari fasilitas pengolahan limbah Politeknik ATK Yogyakarta; pencucian limbah menggunakan air mengalir untuk menghilangkan sisa kotoran; pemotongan limbah *fleshing* menggunakan pisau dan talenan; penimbangan seluruh bahan (jagung kuning, limbah *fleshing*, bungkul kedelai, kapur, serta bahan perekat sesuai perlakuan); pencampuran bahan hingga homogen; penggilingan menggunakan penggiling daging sebanyak 3–4 kali hingga mencapai tekstur halus; pengeringan menggunakan sinar matahari selama ±2 hari; serta tahap akhir berupa pengujian dengan larutan HCl.

Karakteristik fisik pelet diamati setelah proses pengeringan selesai dengan mengacu pada metode pengujian mutu fisik pelet pakan. Parameter yang diamati meliputi warna, tekstur, aroma, dan tingkat kekompakan pelet. Pengamatan warna dan aroma dilakukan secara organoleptik, sedangkan tekstur dan kekompakan dinilai berdasarkan kerapatan struktur, keseragaman bentuk, serta ketahanan pelet terhadap tekanan ringan menggunakan tangan. Pelet dikategorikan memiliki kualitas fisik baik apabila menunjukkan struktur padat, permukaan relatif halus, tidak berdebu, dan tidak mudah hancur selama penanganan awal [12],[8]. Efektivitas perekat ditentukan berdasarkan kemampuan bahan perekat dalam meningkatkan ikatan antarpartikel selama proses peletisasi dan pengeringan. Penilaian efektivitas dilakukan dengan membandingkan tingkat kekompakan, kerapuhan, dan stabilitas bentuk pelet antarperlakuan. Perekat dinyatakan efektif apabila mampu menghasilkan pelet yang lebih padat, memiliki tingkat keretakan rendah, serta mempertahankan bentuk selama proses pengeringan dan penanganan. Perbandingan efektivitas antara molases dan tepung kanji dilakukan secara deskriptif dengan mengacu pada karakteristik fisik yang dihasilkan [7], [9]. Stabilitas dan daya tahan pelet diuji melalui pengamatan ketahanan mekanik sederhana, yaitu dengan memberikan tekanan ringan dan uji jatuh dari ketinggian tertentu untuk menilai tingkat kerusakan atau keretakan pelet. Stabilitas penyimpanan diamati dengan menyimpan pelet pada suhu ruang dan mencatat perubahan bentuk serta tingkat kerapuhan selama periode pengamatan. Kadar air pelet ditentukan secara gravimetri dengan metode pengeringan hingga berat konstan, yaitu dengan menimbang bobot awal pelet sebelum pengeringan dan bobot akhir setelah pengeringan, kemudian dihitung sebagai persentase kadar air. Kadar air digunakan sebagai indikator tingkat kekeringan dan kestabilan pelet selama penyimpanan [11].

Hasil dan Pembahasan

1. Pengaruh Penggunaan Perekat terhadap Karakteristik Fisik Pelet

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa penambahan bahan perekat memberikan pengaruh nyata terhadap kualitas fisik pelet. Pada perlakuan tanpa perekat (P0), pelet tampak lebih pucat, bertekstur renggang, dan mudah hancur. Hal ini menandakan lemahnya ikatan antarpartikel

p-ISSN : 1411-7703
e-ISSN : 2746-2625
sehingga struktur yang terbentuk tidak stabil. Selain itu, permukaan pelet terlihat berdebu dan kurang kompak.

Tabel 1. Karakteristik Fisik Pelet pada Berbagai Perlakuan

Parameter Fisik	P0 (Tanpa Perekat)	P1 (Molases)	P2 (Tepung Kanji)
Warna	Pucat, kekuningan	Coklat gelap	Coklat muda
Tekstur	Renggang, kurang padat	Sangat padat, kompak	Sedang padat
Kekompakan	Rendah	Tinggi	Sedang
Tingkat Keretakan	Tinggi (mudah retak)	Rendah	Sedang
Kerapuhan (%)	42%	12%	25%
Stabilitas Bentuk	Rendah	Sangat baik	Baik

Penggunaan molases sebagai perekat (P1) menghasilkan pelet dengan warna lebih gelap dan tekstur lebih padat. Molases memiliki sifat lengket serta kandungan gula terlarut yang membentuk *solid bridges* selama pengeringan, sehingga menghasilkan struktur yang lebih kuat dan tidak mudah rapuh. Aroma manis khas molases juga mengindikasikan pencampuran yang homogen.

Perlakuan tepung kanji (P2) meningkatkan kualitas fisik dibandingkan P0, meskipun masih berada di bawah P1. Tepung kanji berperan melalui proses gelatinisasi yang membantu memperkuat struktur, namun kekuatan ikatnya tidak seoptimal molases. Meskipun demikian, pelet P2 tetap lebih kompak dan stabil daripada P0.

2. Reaksi Pelet terhadap Pengujian HCl

Pengujian menggunakan larutan HCl memperlihatkan perbedaan intensitas reaksi antar perlakuan yang ditandai dengan pembentukan gas dan busa. Pelet P0 dan P2 menunjukkan pembentukan busa dengan intensitas sedang dan waktu reaksi sekitar ±5 menit, sedangkan pelet P1 (molases) menghasilkan busa yang lebih banyak dan reaksi yang lebih cepat. Perbedaan ini menunjukkan adanya variasi respons kimia pelet terhadap kondisi asam.

Secara kimia, gas utama yang dihasilkan dalam pengujian ini adalah karbon dioksida (CO_2), yang berasal dari reaksi antara kapur ($CaCO_3$) yang terdapat dalam formulasi pelet dengan larutan HCl. Reaksi tersebut dapat dituliskan sebagai berikut:

$$CaCO_{3(s)} + 2HCl_{(aq)} \rightarrow CaCl_{2(aq)} + H_2O_{(l)} + CO_{2(g)}$$

Gas CO_2 yang terbentuk kemudian terperangkap di dalam matriks organik pelet (protein, lemak, dan karbohidrat), sehingga tampak sebagai busa di permukaan larutan.

Pada perlakuan P1, keberadaan molases yang kaya akan gula sederhana (sukrosa, glukosa, dan fruktosa) mempercepat penetrasi larutan HCl ke dalam struktur pelet. Molases bersifat higroskopis dan mudah larut, sehingga struktur pelet menjadi lebih cepat terdisintegrasi dalam suasana asam. Kondisi ini memungkinkan kontak yang lebih intensif antara HCl dan partikel kapur, sehingga pelepasan CO_2 berlangsung lebih cepat dan lebih banyak, yang tampak sebagai busa dengan intensitas lebih tinggi.

p-ISSN : 1411-7703
e-ISSN : 2746-2625

Perlu ditegaskan bahwa gula dalam molases tidak secara langsung menghasilkan gas ketika bereaksi dengan HCl, melainkan berperan dalam mempercepat degradasi fisik dan pelarutan matriks pelet. Dengan demikian, molases berfungsi ganda, yaitu sebagai perekat fisik selama pembentukan pelet dan sebagai agen yang meningkatkan reaktivitas pelet dalam kondisi asam dengan memfasilitasi pelepasan gas CO_2 dari reaksi kapur–HCl.

Tabel 2. Intensitas Reaksi Pelet terhadap HCl

Perlakuan	Intensitas Busa	Waktu Reaksi (menit)	Catatan
P0	Sedang	5 menit	Struktur mulai hancur perlahan
P1	Tinggi	3 menit	Reaksi cepat akibat molases
P2	Sedang	5 menit	Busa terbentuk stabil, tidak berlebihan

3. Perbandingan Efektivitas Antar Perekat

Secara keseluruhan, penambahan perekat meningkatkan kualitas fisik pelet secara signifikan. Perlakuan P1 (molases) menunjukkan efektivitas tertinggi dari segi kekompakan, kestabilan, dan respons terhadap HCl. Karakteristik ini sejalan dengan literatur yang menyatakan bahwa molases merupakan perekat organik efektif berkat kandungan gulanya yang membentuk ikatan antarbahan.

Perlakuan P2 (tepung kanji) juga meningkatkan kualitas fisik dibandingkan P0, walaupun tidak sekuat P1. Kekuatan mekanis struktur kanji setelah pengeringan lebih rendah dibandingkan perekat berbasis gula, tetapi tetap dapat digunakan sebagai alternatif perekat yang cukup efektif.

Tabel 3. Efektivitas Perekat dalam Pembentukan Pelet

Parameter	P0	P1	P2
Kekuatan Mekanik (N)	18	42	30
Stabilitas Penyimpanan	Rendah	Sangat baik	Baik
Tingkat Kerapuhan (%)	42	12	25
Konsistensi Tekstur	Tidak stabil	Sangat stabil	Cukup stabil

4. Stabilitas dan Daya Tahan Pelet

Pengeringan selama dua hari di bawah sinar matahari membantu menurunkan kadar air pelet, sehingga meningkatkan stabilitas fisik selama penyimpanan. Pelet P1 dan P2 menunjukkan stabilitas lebih tinggi dibandingkan P0. Pelet tanpa perekat (P0) lebih cepat rapuh dan mudah hancur ketika diberikan tekanan ringan.

Molases (P1) memberikan stabilitas dan ketahanan tertinggi karena struktur yang lebih kompak pasca pengeringan. Tepung kanji (P2) juga berkontribusi terhadap peningkatan daya tahan, meskipun tidak seoptimal molases. Hal ini menegaskan bahwa jenis perekat sangat

berpengaruh terhadap kekuatan mekanik serta daya tahan pelet terhadap tekanan dan penyimpanan.

Tabel 4. Stabilitas dan Daya Tahan Pelet

Parameter Stabilitas	P0	P1	P2
Daya Tahan Tekan (N)	18	45	32
Waktu Hancur (detik)	9	25	18
Stabilitas Penyimpanan	Rendah	Sangat baik	Baik
Kadar Air Setelah Kering (%)	11.5	9.2	10.1

Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan bahan perekat berpengaruh signifikan terhadap kualitas fisik, stabilitas, dan daya tahan pelet berbasis limbah *fleshing*. Pelet tanpa perekat (P0) memiliki tekstur yang renggang, mudah hancur, serta menunjukkan stabilitas rendah baik selama penanganan maupun penyimpanan. Penggunaan molases sebagai perekat (P1) memberikan hasil terbaik, ditandai dengan warna lebih gelap, tekstur paling kompak, tingkat kerapuhan rendah, serta respon reaksi HCl yang lebih kuat. Hal ini menunjukkan bahwa molases tidak hanya efektif sebagai pengikat fisik, tetapi juga memiliki sifat reaktif yang mendukung integritas pelet. Sementara itu, tepung kanji (P2) juga meningkatkan kualitas fisik dan daya tahan pelet dibandingkan tanpa perekat, meskipun masih di bawah efektivitas molases. Secara keseluruhan, molases terbukti menjadi perekat paling optimal untuk meningkatkan mutu pelet limbah *fleshing*, sedangkan tepung kanji dapat menjadi alternatif perekat yang cukup efektif namun dengan kemampuan pengikatan yang lebih moderat. Hasil ini menegaskan pentingnya pemilihan bahan perekat yang tepat dalam proses pembuatan pelet untuk memperoleh produk yang stabil, kompak, dan tahan lama.

Daftar Pustaka

[1] K. Chojnacka, F. Saied, M. Witek-Krowiak, D. Moustakas, & A. Diniz, “Progress in sustainable technologies of leather wastes valorization as solutions for the circular economy,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 313, pp. 127826, 2021. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127902

[2] P. Puhazhselvan, A. Pandi, P. B. Sujiritha, G. S. Antony, S. N. Jaisankar, N. Ayyadurai, P. Saravanan, “Recycling of tannery *fleshing* waste by a two-step process for preparation of retanning agent,” *Process Safety and Environmental Protection*, vol. 157, pp. 59–67, 2022. https://doi.org/10.1016/j.psep.2021.11.003

[3] S. K. Banik, T. E. Nafis, U. K. Roy, M. S. Islam, “Leather processing industry waste (lime *fleshing*): A prospective substrate for production of biodiesel,” *Bangladesh Journal of Scientific and Industrial Research*, vol. 57, no. 4, pp. 245–252, 2022. https://doi.org/10.3329/bjsir.v57i3.62015

p-ISSN : 1411-7703
e-ISSN : 2746-2625

[4] S. Tahiri & M. DeLaGuardia, “Treatment and valorization of leather industry solid wastes: A review,” *Journal of the American Leather Chemists Association*, vol. 109, no. 2, pp. 44–55, 2014.

[5] João Nunes de Vasconcelos," Chapter 15 - Ethanol Fermentation,” Editor: Fernando Santos, Aluízio Borém, Celso Caldas, Sugarcane, Academic Press, Pages 311-340, 2015, https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802239-9.00015-3

[6] A. Larangahen, B. Bagau, M. R. Imbar, H. Liwe,” Pengaruh Penambahan Molases Terhadap Kualitas Fisik Dan Kimia Silase Kulit Pisang Sepatu (Mussa Paradisiaca Formatypica),” *Jurnal Zootek (“Zootek” Journal)* Vol. 37 No. 1 : 156 - 166, 2017. https://doi.org/10.35792/zot.37.1.2017.14419

[7] T. Wang, Z. Wang, Y. Zhai, S. Li, X. Liu, B. Wang, C. Li, Y. Zhu,” Effect of molasses binder on the pelletization of food waste hydrochar for enhanced biofuel pellets production,” *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, Volume 14, 100183, 2019. https://doi.org/10.1016/j.scp.2019.100183

[8] A. Tumuluru, “Effect of binders and moisture on biomass pelletization,” Fuel Processing Technology, vol. 104, pp. 189–198, 2012.

[9] M. Carone, A. Pantaleo & A. Pellerano, “Influence of raw material characteristics on the quality of pelletized biomass,” *Fuel,* vol. 103, pp. 836–844, 2013. https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2008.07.001

[10] D. Wang, T. W. Smith & M. R. Murphy, “Effect of molasses level and pellet quality on dairy cattle feed intake,” *Animal Feed Science and Technology*, vol. 136, pp. 202–210, 2007.

[11] F. Mediavilla, J. Fernández & J. E. Esteban, “Optimization of pellet manufacturing from barley straw,” *Fuel Processing Technology*, vol. 92, pp. 278–283, 2011. https://doi.org/10.13031/aim.20162447920

[12] A. Kaliyan & R. Vance Morey, “Factors affecting strength and durability of densified biomass products,” *Biomass & Bioenergy*, vol. 33, pp. 337–359, 2009. https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2008.08.005

p-ISSN : 1411-7703
e-ISSN : 2746-2625

EVALUATION OF MANUAL SHOE REFERENCE DESIGNS FOR FOOT COMFORT

EVALUASI DESAIN ACUAN SEPATU MANUAL TERHADAP KENYAMANAN KAKI

Abimanyu Yogadita Restu Aji[1],*, Achmad Basri[1], Delia Agustin Indrayanto[1]

[1]Teknologi Pengolahan Produk Kulit, Politeknik ATK Yogyakarta, Indonesia

* Corresponding author: abimanyuyr@gmail.com

Abstract:
The handcrafted shoe industry, or traditional shoemaking, holds significant cultural and economic value, yet still faces challenges in ergonomics and user comfort. Currently, many artisans rely on experience and intuition when creating shoe molds. Mismatches between the mold shape and the user's foot anatomy can lead to uneven pressure distribution. This study aimed to evaluate the suitability of a wooden handcrafted shoe mold design for wearer comfort. Testing was conducted by comparing the mold contour to foot anatomy data and a five-day wear test to observe user comfort responses. The evaluation results indicated that the manual mold met general size requirements for length and heel, but inaccuracies were found in the ball girth and waist arch, which tended to be narrow and asymmetrical. This condition causes excessive pressure on the instep and little toe, leading to pain and potential irritation during repeated wear. Furthermore, the less flexible nature of the upper material makes the shoe's adjustment process to the foot shape take longer and hinders even pressure distribution. Based on these findings, refinement of the mold design is needed to adjust the mold dimensions based on local anthropometric data to improve shoe comfort and ergonomic performance.
Keywords: shoe last, plantar pressure distribution, ergonomics

Intisari:
Industri sepatu manual atau kriya sepatu tradisional memiliki nilai budaya dan ekonomi yang tinggi, namun masih menghadapi tantangan dari sisi ergonomi dan kenyamanan pengguna. Saat ini, banyak perajin masih mengandalkan pengalaman dan intuisi dalam membuat acuan. Ketidaksesuaian antara bentuk acuan dan anatomi kaki pengguna dapat menyebabkan distribusi tekanan yang tidak merata. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kesesuaian desain acuan sepatu manual berbahan kayu terhadap kenyamanan pemakai. Pengujian dilakukan dengan membandingkan kontur acuan terhadap data anatomi kaki serta uji pakai selama lima hari untuk mengamati respons kenyamanan pengguna. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa acuan manual telah memenuhi kesesuaian ukuran secara umum pada bagian panjang dan tumit, namun ditemukan ketidaktepatan pada area ball girth dan lengkung waist yang cenderung sempit dan asimetris. Kondisi tersebut memicu tekanan berlebih pada punggung kaki dan jari

p-ISSN : 1411-7703
e-ISSN : 2746-2625

kelingking hingga menimbulkan rasa sakit serta potensi iritasi saat pemakaian berulang. Selain itu, karakter material upper yang kurang fleksibel menyebabkan proses penyesuaian sepatu terhadap bentuk kaki berlangsung lebih lama dan menghambat distribusi tekanan yang merata. Berdasarkan temuan tersebut, diperlukan penyempurnaan desain acuan agar menyesuaikan dimensi acuan berdasarkan data antropometri lokal sehingga kenyamanan dan kinerja sepatu dapat ditingkatkan secara ergonomis.
Kata kunci: acuan sepatu, distribusi tekanan kaki, ergonomi.

Pendahuluan

Industri sepatu merupakan salah satu sektor penting yang memiliki nilai seni, fungsionalitas, serta nilai ekonomi. Dalam proses produksinya, baik proses pembuatan sepatu secara manual atau tradisional (handmade), terdapat banyak tahapan penting yang menentukan kualitas akhir dari sepatu yang dihasilkan. Salah satu tahapan utama yang sangat menentukan adalah pembuatan dan penggunaan acuan sepatu atau shoe last. Acuan sepatu atau shoe last berfungsi sebagai dasar bentuk sepatu yang sedang dibuat, menentukan proporsi dari sepatu, dan dimensi keseluruhan dari hasil akhir sepatu [1]. Dalam praktik pembuatan sepatu secara custom ataupun tradisional, banyak yang masih menggunakan acuan yang dibuat berdasarkan ukuran langsung dari pemesannya. Proses pembuatan acuan sering kali dibuat berdasarkan pengalaman, intuisi, dan kebiasaan perajin yang diwariskan secara turun-temurun [2]. Meskipun metode ini memiliki keunikan dan nilai budaya tinggi, namun pendekatan tersebut cenderung mengabaikan prinsip-prinsip ilmiah, khususnya yang berkaitan dengan antropometri (pengukuran dimensi tubuh manusia) dan ergonomi. Ketidaksesuaian antara acuan sepatu dan bentuk kaki pengguna dapat menimbulkan masalah kenyamanan pada produk yang nanti akan dihasilkan. Salah satu konsekuensi dari acuan yang tidak ergonomis adalah distribusi tekanan yang tidak merata pada telapak kaki saat sepatu digunakan. Tekanan yang terpusat pada area tertentu dan tidak sesuai dengan kebutuhan anatomi manusia dapat menyebabkan ketidaknyamanan, hingga risiko cedera jangka panjang. Tekanan untuk bagian atas sepatu menunjukkan bahwa penurunan gaya dan tekanan punggung berhubungan dengan penurunan kenyamanan bagian atas [3].

Sementara itu, sepatu yang dirancang dengan memperhatikan distribusi tekanan yang seimbang terbukti mampu meningkatkan kenyamanan, kestabilan, dan performa gerak penggunanya [4]. Sementara itu, penelitian lain membuktikan bahwa penggunaan insole khusus yang dirancang berdasarkan morfologi kaki dapat secara signifikan mengurangi tekanan puncak di area sensitif, sehingga meningkatkan kenyamanan dan mencegah cedera akibat penggunaan sepatu dalam jangka panjang [5]. Dalam konteks ini, penting untuk melakukan penelitian lebih dalam mengenai pendekatan perancangan acuan dalam kriya sepatu manual agar menghasilkan acuan yang sesuai terhadap kebutuhan anatomi manusia. Di tengah meningkatnya kesadaran masyarakat terhadap pentingnya kenyamanan alas kaki dan tren personalisasi produk, pembuatan sepatu secara manual memiliki peluang besar untuk berkembang jika mampu melakukan inovasi berdasarkan kenyamanan dari penggunanya. Dalam penelitian lain, menekankan pentingnya integrase data antropometri dan ergonomic dalam desain sepatu, terlebih lagi dalam hal produksi sepatu custom [6].

p-ISSN : 1411-7703
e-ISSN : 2746-2625

Penerapan prinsip ergonomi, pemanfaatan data antropometri lokal, serta integrasi teknologi sederhana seperti pemetaan tekanan kaki dapat menjadi solusi antara nilai-nilai tradisional dan tuntutan fungsional modern. Evaluasi terhadap kesesuaian desain acuan dari sisi kenyamanan pengguna dan distribusi tekanan bukan hanya menjadi kebutuhan teknis, tetapi juga berfungsi dalam hal peningkatan mutu produk alas kaki yang berdaya saing tinggi. Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada evaluasi desain acuan sepatu manual dengan memfokuskan pada aspek kenyamanan kaki saat pemakaian. Tujuan dari penelitian ini adalah memberikan rekomendasi perbaikan desain yang relevan dan dapat diterapkan secara langsung dalam proses pembuatan acuan sepatu secara manual. Melalui pendekatan yang mengkombinasikan teknik kriya tradisional dengan prinsip ergonomi, penelitian ini diharapkan mampu menghasilkan acuan sepatu yang tidak hanya nyaman dipakai, tetapi juga tetap mencerminkan kekayaan nilai lokal. Hasil penelitian ini diharapkan dapat mendorong pengembangan inovasi dalam industri sepatu manual serta memperkuat keberlanjutan kriya lokal di tengah persaingan pasar nasional maupun global.

Metode Penelitian

Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat ukur antropometri seperti meteran, jangka sorong, dan penggaris. Bahan yang digunakan meliputi acuan sepatu kayu tradisional dari perajin lokal, bahan pelapis sepatu seperti kulit atau kanvas, serta insole standar dan modifikasi.

Metode

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan metode eksperimen. Metode eksperimen dipandang sebagai pendekatan penelitian yang memiliki kredibilitas tinggi secara ilmiah, sebab pelaksanaannya melibatkan pengawasan yang ketat terhadap faktor-faktor luar yang berpotensi mengganggu variabel utama yang sedang diuji [7]. Penelitian eksperimen merupakan bentuk penyelidikan ilmiah yang bertujuan mengidentifikasi variabel serta memahami keterkaitan atau hubungan yang terjadi di antara variabel-variabel tersebut. Dalam pandangan klasik, metode ini digunakan untuk menguji bagaimana suatu perlakuan tertentu memberikan pengaruh terhadap variabel lain yang menjadi sasaran dalam sebuah pengamatan [8]. Metode kerja pada penelitian ini adalah dengan cara melakukan eksperimen terhadap sampel sepatu dengan menggunakan acuan yang dibuat dengan menggunakan teknik manual sebagai cetakannya. Diawali dengan penggunaan pola yang dibalut pada acuan tersebut, kemudian akan dilakukan eksperimen dengan membuat upper sepatu hingga selesai. Dari data hasil pengamatan, kemudian dibuat perbandingan secara langsung dengan karakteristik acuan manual untuk melihat bagian yang tidak sesuai dengan anatomi kaki pengguna. Temuan ini menjadi dasar rekomendasi perbaikan terkait proporsi, bentuk, dan dimensi acuan.

p-ISSN : 1411-7703
e-ISSN : 2746-2625

Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini merupakan kegiatan penelitian dengan menggunakan metode eksperimen. Obyek penelitian berupa pengaruh kenyamanan sepatu yang dihasilkan dari cetakan acuan yang dibuat secara manual. Acuan sepatu manual yang dibuat oleh perajin lokal memiliki karakter yang kuat, terlihat dari bentuk, proporsi, serta ketelitian detailnya yang mengikuti kontur kaki manusia, dalam penelitian ini contoh ukuran yang diambil adalah untuk ukuran 41. Bagian ujung depan dirancang dengan lekukan halus dan volume yang membulat, mencerminkan estetika desain sepatu wanita yang bersifat klasik. Kelanjutan garis lengkung dari punggung kaki hingga tumit menunjukkan harmonisasi bentuk, meskipun pada observasi mendalam masih ditemukan sedikit perbedaan kesamaan bentuk dan ukuran antara sisi kiri dan kanan. Material kayu mahoni berkualitas dengan serat padat digunakan sebagai dasar pembentuk acuan, memberikan daya tahan yang baik terhadap benturan selama proses pengerjaan. Permukaannya telah diamplas hingga halus, namun belum diberi finishing pelindung seperti vernis. Bagian punggung acuan dilengkapi potongan khusus sebagai dudukan pengait besi dan sistem penguncian ketika proses lasting berlangsung. Selain itu, konstruksi acuan yang dapat dibuka pada bagian punggung memudahkan pelepasan dari sepatu setelah tahap pembentukan selesai. Karakteristik fungsional ini selaras dengan pendapat yang menegaskan bahwa acuan buatan manual tetap mengedepankan mekanisme sederhana agar kompatibel dengan metode lasting tradisional tanpa mengandalkan mesin otomatis, sehingga seluruh proses dapat dijalankan sepenuhnya oleh keterampilan tangan perajin [9].

Untuk memastikan kesesuaian acuan sepatu manual dengan bentuk kaki pengguna, dilakukan pengukuran antropometri pada kaki model uji. Sampel pengukuran kaki menggunakan 1 narasumber untuk diambil ukuran kakinya dengan kondisi memiliki size yang sama dengan acuan. Data ini menjadi acuan untuk menilai kecocokan bentuk acuan sekaligus mengidentifikasi kemungkinan titik tekanan yang dapat memengaruhi kenyamanan dan kestabilan pemakaian. Dengan membandingkan dimensi kaki sebenarnya dengan ukuran acuan, dapat diketahui apakah acuan telah sesuai dengan karakter anatomi atau masih membutuhkan penyesuaian. Data berikut menyajikan hasil perbandingan tersebut.

Tabel 1. Hasil Pengukuran

No	Lokasi Pengukuran	Rata-rata Kaki (mm)	Dimensi acuan manual (mm)	Selisih (mm)	Selisih(%)
1	Panjang kaki	269	270	-1	-0.37%
2	Lebar forefoot	100	98	+2	+2.04%
3	Gemuk kaki	218	210	+8	+3.81%
4	Pinggang kanan	188	190	-2	-1.05%
5	Pinggang kiri	193	190	+3	+1.58%
6	Lebar tumit	55	56	-1	-1.79%
7	Lingkar mata kaki	199	200	-1	-0.50%

p-ISSN : 1411-7703
e-ISSN : 2746-2625

Dari hasil pengukuran, menunjukkan bahwa acuan manual telah memenuhi ukuran dasar seperti panjang, lebar, dan lingkar pergelangan kaki. Secara umum bentuk tumit dan instep juga sudah mengikuti kontur kaki pengguna dengan cukup baik, sehingga area belakang acuan terlihat seseuai. Namun, pemeriksaan lebih mendalam menunjukan adanya dua ketidaksesuaian utama yang berpengaruh langsung terhadap kenyamanan. Pertama, dimensi ball girth pada acuan lebih sempit dibanding ukuran anatomis kaki pengguna, dengan selisih sekitar 8 mm. Kedua, bentuk pinggang kaki memperlihatkan kontur yang tidak sepenuhnya simetris antara sisi kiri dan kanan. Temuan ini menegaskan bahwa kenyamanan tidak cukup ditentukan oleh kecocokan ukuran makro, melainkan juga ketepatan kontur acuan dalam mengikuti bentuk alami kaki, adapun perbandingan kenyamanan sepatu dapat dilihat pada tabel 2 berikut.

Tabel 2. Perbandingan tingkat kenyamanan

No	Area	Kondisi pada acuan manual	Distribusi tekanan	Dampak
1	Panjang acuan	Ukuran sesuai	Merata	Nyaman
2	Lebar acuan	Ukuran sesuai	Merata	Nyaman
3	Gemuk acuan	Lebih sempit jika dibandingan dengan acuan pabrikan	Tinggi	Rasa tekanan pada bagian gemuk acuan, cepat lelah
4	Penggang acuan	Total panjang bagian punggung acuan sama, namun terdapat bentuk yang asimetris	Asimetris	Tekanan lateral kurang seimbang/tidak sama antara kanan dan kiri
5	Tumit acuan	Sesuai dengan kontur kaki	Stabil	Nyaman
6	Lingkar mata kaki	Ukuran sesuai	Merata	Nyaman

Dari hasil analisis dapat dilihat bahwa penyebaran tekanan pada sepatu berbasis acuan manual masih belum berjalan dengan baik. Penilaian kenyamanan dinilai dari apakah kaki bisa masuk ke sepatu tanpa adanya unsur paksaan. Kenyamanan pada tahap ini belum melihat efek dari material yang timbul. Analisis menunjukkan bahwa meskipun acuan manual telah memenuhi ukuran dasar seperti panjang, lebar, tumit, dan lingkar pergelangan kaki, terdapat ketidaksesuaian penting pada bagian depan dan tengah kaki yang berdampak langsung pada kenyamanan. Ball girth yang lebih sempit menyebabkan tekanan terpusat pada area metatarsal, sementara bentuk lengkung pinggang kaki yang tidak sepenuhnya simetris menghasilkan tekanan lateral yang tidak merata. Kondisi ini menandakan bahwa ruang fungsional pada area kaki yang paling aktif menahan beban belum terpenuhi dengan baik, meskipun ukuran global sepatu tampak sesuai. Akibatnya, pengguna berpotensi merasakan rasa sempit, gesekan, dan kelelahan lebih cepat ketika sepatu digunakan dalam durasi panjang atau aktivitas berat.

Pola sebaran tekanan tersebut memperlihatkan keterbatasan acuan manual dalam mengikuti kontur anatomi lokal yang lebih kompleks, terutama pada bagian forefoot dan waist yang

p-ISSN : 1411-7703
e-ISSN : 2746-2625

membutuhkan tingkat ketelitian lebih tinggi dalam pengerjaannya dibanding bagian tumit atau instep. Ketidakseimbangan distribusi beban selama pemakaian menjadi indikator bahwa kontur acuan belum sepenuhnya selaras dengan gerakan kaki. Oleh karena itu, pembesaran pada area ball girth dan koreksi pada lengkung pinggang kaki menjadi dua rekomendasi utama untuk meningkatkan kenyamanan serta mendekatkan hasil akhir sepatu ke standar ergonomi acuan pabrikan.

Distribusi tekanan tidak hanya mencerminkan bagaimana berat tubuh dialihkan ke setiap area kaki, tetapi juga memperlihatkan sejauh mana konstruksi sepatu, baik dari bentuk acuan maupun karakter material dapat mendukung gerak alami pemakai. Oleh karena itu, pengamatan terhadap perubahan tekanan saat melangkah serta respons kenyamanan pengguna menjadi bagian penting dalam menilai efektivitas acuan manual. Adapun data hasil uji pemakaian disajikan pada tabel 3 berikut ini.

Tabel 3. Hasil Uji Pengguna

No	Hari ke-	Yang dirasakan oleh pengguna
1	1	Penyesuaian dengan kaki, tidak nyaman ketika dipakai saat jalan, seluruh bagian pada kaki merasa sakit, terutama bagian tumit merasa sakit dan bagian depan upper merasa sakit ketika bersentuhan dengan kulit.
2	2	Mulai sedikit berkurang rasa sakit yang muncul ketika menggunakannya, tidak terlalu terasa sakit seperti pada hari pertama
3	3	Sama seperti hari kedua saat digunakan, tapi pada saat jalan mulai terasa sakit pada bagian punggung kaki, dan pada jari kelingking mulai terasa sakit saat digunakan berjalan (seperti umumnya memakai flatshoes lainnya karna terlalu sering jalan).
4	4	Mulai terbiasa dan fleksibel saat digunakan di kaki tapi ketika berjalan merasakan sakit pada bagian kelingking dan bagian punggung kaki.
5	5	Sama seperti hari sebelumnya, tapi jari kelingking mulai terasa sakit ketika berjalan (mulai muncul benjolan), bagian punggung kaki saat bersentuhan dengan sepatu sama seperti hari sebelumnya yaitu sakit (mungkin apabila sering digunakan lebih lanjut akan lecet) 

Uji pemakaian selama lima hari menunjukkan adanya proses penyesuaian antara kaki dan sepatu. Pada awal penggunaan, sepatu terasa tidak nyaman terutama pada punggung kaki dan area forefoot karena material masih kaku dan ruang sepatu bagian depan terasa sempit.

p-ISSN : 1411-7703
e-ISSN : 2746-2625

Memasuki hari kedua dan ketiga, tingkat ketidaknyamanan mulai berkurang, namun muncul tekanan baru di punggung kaki kiri dan jari kelingking akibat gesekan. Hingga hari kelima, sepatu mulai mengikuti bentuk kaki, tetapi tekanan pada titik tertentu tetap terasa dan kaki bahkan sempat mengalami pembengkakan pada bagian kelingking sehingga pengujian dihentikan untuk mencegah lecet. Secara keseluruhan, penyesuaian telah terjadi namun masih terdapat area yang menimbulkan ketidaknyamanan lokal yang berpotensi mengganggu pemakaian jangka panjang. Distribusi tekanan pada telapak kaki (plantar pressure distribution) berperan penting dalam menentukan kenyamanan suatu desain sepatu. Selama proses berjalan, tekanan berpindah secara bertahap mulai dari tumit saat pertama menyentuh permukaan, lalu ke bagian tengah kaki, hingga akhirnya ke ujung jari ketika kaki mendorong tubuh ke depan. Area tumit dan kepala metatarsal merupakan titik dengan beban tertinggi, sedangkan bagian tengah kaki biasanya menerima tekanan paling rendah. Apabila pola tekanan ini tidak seimbang, pengguna dapat mengalami nyeri, iritasi jaringan lunak, hingga perubahan bentuk kaki dalam jangka panjang. Sebuah studi juga mengungkap bahwa sepatu yang terlalu kaku dapat meningkatkan puncak tekanan pada tumit dan metatarsal hingga 20% dibandingkan sepatu yang menggunakan material lebih fleksibel [10].

Temuan uji pemakaian dalam penelitian ini memperlihatkan pola distribusi tekanan yang sejalan dengan studi sebelumnya. Pada awal penggunaan, tekanan tinggi muncul di area tumit, forefoot, dan bagian gemuk kaki karena sepatu belum mengikuti bentuk kaki secara optimal, sehingga menimbulkan nyeri dan potensi iritasi akibat gesekan. Seiring waktu, material sepatu mulai melunak dan mengikuti kontur kaki, membuat tekanan menjadi lebih seimbang dan ketidaknyamanan berkurang. Meski demikian, tekanan lateral berlebih masih dirasakan pada jari kelingking akibat ruang toe-box yang kurang lebar. Karena itu, desain sepatu perlu memperhatikan variasi anatomi serta karakter material agar dapat mengurangi potensi masalah pada jari dan metatarsal dalam jangka panjang. Pendekatan tersebut akan menghasilkan sepatu yang lebih ergonomis dan nyaman digunakan [11].

Kenyamanan kaki ketika memakai sepatu merupakan gabungan dari distribusi tekanan yang merata, pemilihan material yang tepat, serta konstruksi desain yang mendukung gerak kaki secara alami. Sepatu yang terlalu kaku cenderung membatasi kelenturan langkah dan menimbulkan tekanan berlebih pada area tertentu, sedangkan sepatu yang lebih lentur mampu menyesuaikan bentuk kaki sehingga tekanan dapat tersebar dengan lebih baik dan risiko cedera dapat ditekan. Penggunaan insole berbahan lunak terbukti menurunkan tekanan puncak di zona tumit dan metatarsal, sekaligus memperbaiki pengalaman kenyamanan pengguna. Dengan demikian, pendekatan ergonomi yang memperhatikan aspek anatomi dan respons material terhadap gaya selama berjalan menjadi kunci utama dalam perancangan alas kaki yang nyaman [12].

Temuan ini menegaskan bahwa perbaikan utama perlu difokuskan pada akurasi acuan sebagai dasar pembentukan sepatu. Kekurangan ruang pada ball girth dan ketidaktepatan lengkung pinggang kaki menunjukkan bahwa acuan manual belum sepenuhnya mengikuti kebutuhan fungsional kaki. Penambahan volume pada area forefoot serta koreksi kontur pinggang kaki diperlukan untuk mengurangi tekanan berlebih dan menstabilkan distribusi beban. Dengan penyempurnaan pada titik-titik tersebut, acuan dapat menghasilkan bentuk sepatu yang lebih nyaman dan lebih sesuai dengan dinamika gerak kaki. Pada akhirnya, kualitas kenyamanan sepatu bergantung pada sejauh mana acuan mampu mereplikasi anatomi kaki

p-ISSN : 1411-7703
e-ISSN : 2746-2625

secara tepat, sehingga revisi acuan menjadi langkah penting untuk meningkatkan ergonomi produk.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian ini dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu, meskipun ukuran dasar acuan manual sudah mendekati ukuran kaki pengguna, terdapat ketidaktepatan pada ball girth dan kontur waist yang menyebabkan tekanan tidak merata saat sepatu dipakai. Ruang yang kurang pada forefoot serta lengkung pinggang yang tidak sepenuhnya mengikuti bentuk kaki terbukti menjadi sumber ketidaknyamanan utama. Dengan demikian, penyempurnaan acuan perlu difokuskan pada penyesuaian volume dan kontur pada kedua area tersebut agar distribusi beban lebih seimbang dan kenyamanan pemakaian meningkat. Penyempurnaan desain acuan perlu dilakukan dengan menyesuaikan dimensi acuan berdasarkan data antropometri lokal sehingga kenyamanan dan kinerja sepatu dapat ditingkatkan secara ergonomis.

Ucapan terima kasih

Politeknik ATK Yogyakarta, Kementerian Perindustrian Republik Indonesia

Daftar Pustaka

[1] Thornton, J.H., Textbook of footwear manufacture, National Trade Press, 1953.
[2] Basuki, Dwi A., Teknologi dan Produksi Sepatu Jilid I, Citra Medika, Yogyakarta, 2013.
[3] Jordan, C., & Bartlett, R.. Pressure distribution and perceived comfort in casual footwear. Gait & Posture, 3, 215–220. 1995
[4] Sun, X., Lam, W.-K., Zhang, X., Wang, J., & Fu, W., Systematic Review of the Role of Footwear Constructions in Running Biomechanics: Implications for Running-Related Injury and Performance. http://www.jssm.org ,2020
[5] Simon, S., Dully, J., Dindorf, C., Bartaguiz, E., Becker, S., & Fröhlich, M.. Impact of Fatigue on Ergonomic Risk Scores and Foot Kinetics: A Field Study Employing Inertial and In-Shoe Plantar Pressure Measurement Devices. *Sensors*, 24(4), https://doi.org/10.3390/s24041175.
[6] Ma, X., & Luximon, A.. Design and manufacture of shoe lasts. In Handbook of Footwear Design and Manufacture. Woodhead Publishing Limited, 2021, https://doi.org/10.1016/b978-0-12-821606-4.00009-0.
[7] Borg, W. R., & Gall, M. D., Educational research: an introduction, London: Longman, Inc., 1983.
[8] Jaedun dan Amat, Metodologi Penelitian Eksperimen, Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta, 2011.
[9] Restu Aji, A. Y., Nugraha, V. S., & Sulistianto. “Modifikasi Acuan Sepatu Berbahan Kayu Secara Manual”, *Jurnal Seni Kriya*, 13(1), 2024, https://doi.org/10.24821/corak.v13i1.9716.

p-ISSN : 1411-7703
e-ISSN : 2746-2625

[10] Mirando M, Pavese C, Pingue V, Sozzi S, and Nardone A.,"Can plantar pressure distribution during gait be estimated from quiet stance in healty individuals?", *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*, 2025, https://doi.org/10.3390/jfmk10030301.

[11] Bousie J, Blanch P, McPoil T, and Vincenzo B., "Hardness and posting of foot orthoses modify plantar contact area, plantar pressure, and perceived comfort when cycling", *Journal of Scince and Medicine in Sport*, 21, 2018, https://doi.org/10.1016/j.jsams.2017.11.013.

[12] Elgohary H, Allam I, Tolba A, Ali F, Alwhaibi R, Zakaria H, Ragab W, and Elbalawy Y., "Effect of Foot Insole on Planter Pressure Distribution in Patients with Neuropathic Diabetic Foot Ulcer: A Prospective, Randomized, Double-Blinded, Controlled Clinical Trial", *Medicina*, 60,2066, 2024, https://doi.org/10.3390/medicina60122066.

p-ISSN : 1411-7703
e-ISSN : 2746-2625

ADDITION OF DISPERSING AGENTS IN THE POST TANNING PROCESS TO REDUCE COD (Chemical Oxygen Demand) LEVELS

PENAMBAHAN DISPERSING AGENT PADA PROSES POST TANNING UNTUK MENGURANGI KADAR COD (Chemical Oxygen Demand)

Sofwan Siddiq Abdullah[1*], Renita Wahyu Meydasari, Swatika Juhana.[1] dan Fadzkurisma Robbika[1]

[1]Program Studi Teknologi Pengolahan Kulit, Politeknik ATK, Yogyakarta, Indonesia

[*] Corresponding author: sofwan_s_abdullah@atk.ac.id

Abstract:
In the leather tanning industry, post tanning process generates liquid waste. One of the parameters of liquid waste is Chemical Oxygen Demand (COD). The chemicals used in the post tanning process have an impact on COD levels of the wastewater. The purpose of this study is to investigate the addition of a dispersing agent during the post tanning stage to reduce the Chemical Oxygen Demand (COD) content in the process effluent. Based on the stages of post-tanning, the fatliquoring fixation process contains a large amount of organic substances, which is indicated by the high COD value. The higher the COD, the lower the dissolved oxygen content in water. Elevated COD levels can have adverse impacts on the environment. The method used in this study was a trial involving the addition of a dispersing agent during the post tanning process. COD measurements were carried out using a UV-Vis spectrophotometer. The addition of 10% dispersing agent calculated from the weight of the weblue hides reduced COD levels from 62,200 mg/L to 56,550 mg/L (reduction of 9.08%). The results of the experiment demonstrate that the addition of a dispersing agent in the post tanning process can reduce the wastewater treatment load in the leather tanning industry.
Keywords: *Post Tanning, COD, Dispersing agent, Fixation, Spectrophotometer UV-Vis*

Intisari:
Pada industri penyamakan kulit, proses *post tanning* menghasilkan limbah yang berujud cairan. Salah satu parameter limbah cair adalah *Chemical Oxygen Demand (COD).* Bahan kimia yang digunakan pada proses *post tanning* berpengaruh terhadap kadar COD limbah cair. Tujuan penelitian adalah mengetahui penambahan *dispersing agent* pada tahap proses *post tanning* untuk menurunkan kandungan *Chemical Oxygen Demand (COD)* pada buangan limbah proses. Berdasarkan tahapan proses *post tanning* tersebut, pada proses fiksasi *fatliquoring* mengandung banyak bahan organik sehingga ditandai dengan tingginya nilai COD. Semakin tinggi COD, maka kandungan oksigen terlarut dalam air semakin rendah. Kadar COD yang tinggi dapat memiliki pengaruh yang buruk bagi lingkungan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu trial dengan menambahkan *dispersing agent* pada proses *post-tanning*. Pengukuran COD dilakukan dengan spektrofotometer UV-Vis. Penambahan *dispersing agent* sebanyak 10% dihitung dari berat kulit *weblue* dapat menurunkan kadar COD dari 62200 mg/L menjadi 56550 mg/L (ada penurunan

p-ISSN : 1411-7703
e-ISSN : 2746-2625
9,08%). Hasil dari percobaan dengan penambahan *dispersing agent* pada proses *post tanning* dapan menurunkan beban proses pengolahan limbah pada industri penyamakan kulit.
Kata Kunci: COD, *Post-tanning*, *Dispersing agent*, Fiksasi, Spektrofotometer UV-Vis

Pendahuluan

Proses penyamakan kulit yang membuat kulit hewan mentah *(animal hides)* menjadi kulit jadi *(leather)* merupakan rangkaian proses panjang, menggunakan banyak *chemical* dan proses mekanik *(mechanical processes).* Secara umum proses tersebut melalui tahapan proses persiapan rumah basah *(Beam House Operation/BHO), tanning, post tanning* sampai proses finishing. Proses *Post tanning* juga disebut sebagai *pasca tanning* atau *wet end* [1]. Proses *post tanning* meliputi proses *neutralizing, retanning, dyeing, fatliquoring,* dan *fixing* [2]. Proses *post tanning* merupakan proses basah yang menggunakan bahan kimia dengan jenis dan jumlah yang beragam sehingga proses *post tanning* berpotensi menghasilkan limbah cair.

Salah satu masalah yang sering terjadi dalam pengolahan limbah cair industri pengolahan kulit yaitu kadar *Chemical Oxygen Demand (COD)* yang dihasilkan belum sesuai dengan standar buangan limbah dari proses *post tanning*. *Chemical Oxygen Demand* (*COD)* adalah jumlah oksigen yang diperlukan agar bahan buangan yang ada di dalam air dapat teroksidasi melalui reaksi kimia [3]. COD merupakan sistem pengukuran kandungan organik dengan zat pengoksidasi. Konsumsi oksigen ditunjukkan dalam miligram per liter (mgO_2/l) [4]. Dalam definisi lain COD adalah jumlah oksigen yang diperlukan untuk mengurai seluruh bahan organik yang terkandung dalam air [5]. Semakin tinggi COD, maka kandungan oksigen terlarut dalam air semakin rendah.

Dispersing agent merupakan suatu bahan yang dapat ditambahkan pada suatu proses yang membantu penetrasi dan distribusi *chemical* yang digunakan kedalam kulit sehingga bisa mengurangi *chemical* yang terbuang dan menjadi limbah. Kadar COD yang tinggi dapat memiliki pengaruh yang buruk bagi lingkungan, sehingga pada proses *post tanning* perlu usaha untuk menurunkan nilai COD pada kandungan limbah cair.

Oleh karena itu, untuk mengurangi kadar COD pada buangan air limbah yang dihasilkan dari proses *post-tanning*, maka dalam penelitian ini akan dilakukan penambahan dispersing agent pada proses *post tanning* untuk mengurangi kadar cod (*Chemical Oxygen Demand*).

Metode Penelitian

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah drum proses *post tanning* , prodomix/system mixing bahan kimia, pH meter, thckness gauge, timbangan, botol plastik, labu ukur, tabung reagent, *thermoreaktor,* spektrofotometer *UV-Vis.* Bahan yang digunakan adalah kulit sapi wet blue kualitas G (good), tebal 2,00 mm dan bahan kimia yang terdiri dari air, dispersing agent, reagent uji *COD* (COD Solution A & B), $HgSO_4$, *neutralizing agent, retanning agent, fatliquoring agent, dyestuff, fixing agent*.

Metode

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan melakukan trial proses *post tanning* menggunakan kulit *wet blue* sapi *import* dengan kualitas G (*good*), dengan jumlah 334 *side*, tebal 2,0 mm dengan menambahkan 10% *dispersing agent* dihitung dari berat kulit *wet blue*. Bahan analisis kadar COD menggunakan material limbah cair yang dihasilkan. Pengukuran COD dilakukan dengan mangambil sampel cairan buangan limbah proses *post tanning* dan diuji dengan spektrofotometer

p-ISSN : 1411-7703
e-ISSN : 2746-2625
UV-Vis. Hasil pengukuran COD dari cairan limbah formula standar dan formulasi dengan penambahan dispersing agent pada proses retanning dibandingkan nilai ujinya.

Proses *post tanning* yang dilakukan pada penelitian ini melalui beberapa tahapan proses yaitu, *wetting back, rechroming dan pre-dyeing, netralisasi, retanning, dyeing, fatliquoring, top fatliquoring, dan fixing*. Limbah cair buangan proses *post tanning* kemudian diuji kadar COD di laboratorium kimia dengan spektrofotometer UV-Vis. Langkah selanjutnya adalah membandingkan hasil pengujian COD menggunakan standar formula dengan hasil pengujian COD menggunakan penambahan *dispersing agent*. Skema proses *trial post-tanning*, dapat dilihat pada Gambar 1.

Hasil dan Pembahasan.

Kadar COD dari limbah setelah fiksasi *fatliquoring* dengan penambahan *dispersing agent* diukur menggunakan alat *spektrofotometer UV-Vis*. Hasil uji kadar COD pada laboratorium sampel limbah cair pada proses *fatliquoring* fiksasi dengan formulasi standar dan formulasi *trial* dapat dilihat pada pada tabel 1:

Tabel 1. Hasil Kadar COD

Metode	Sampel air limbah	COD (mg/L)	Penurunan COD (%)
Standar	Fiksasi *Fatliquoring*	62.200	9,08%
Trial (*Dispersing agent* 10%)	Fiksasi *Fatliquoring*	56.550	

(Sumber : Hasil uji Lab. Kimia)

Berdasarkan tabel 1, dapat diketahui bahwa dengan *trial* penambahan 10% *dispersing agent* dari berat kulit wet blue dapat menurunkan kadar COD. Kadar COD yang diturunkan sebesar 9,08% atau dengan penurunan dari 62.200 mg/L menjadi 56.550 mg/L. Angka persentase tersebut didapatkan dari perhitungan:

$$\text{Persentase COD} = \frac{\text{hasil standar COD}\left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) - \text{hasil trial COD}\left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right)}{\text{hasil standar proses COD}\left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right)}$$

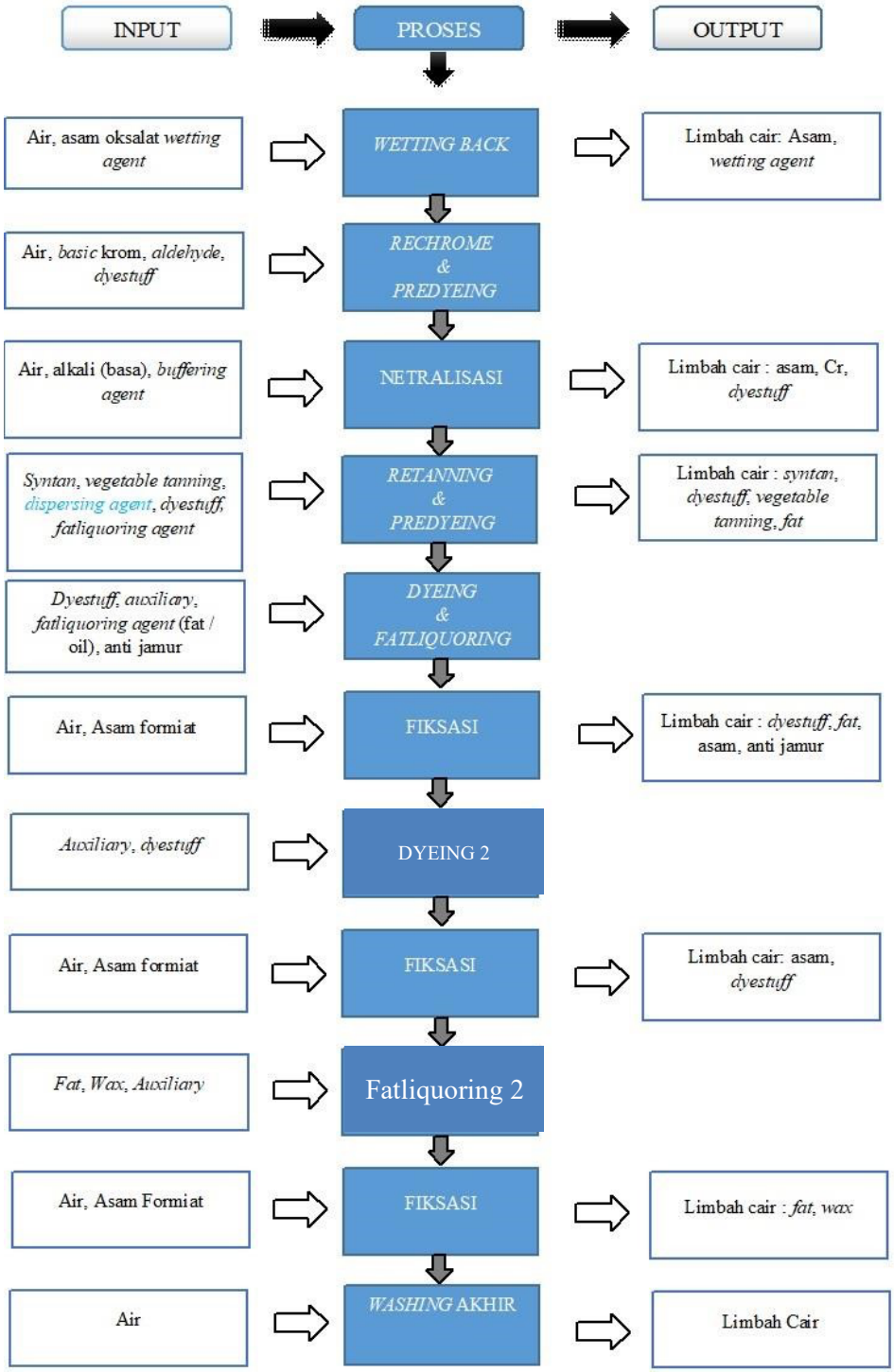
$$\text{Persentase COD} = \frac{62.250 - 56.550}{56.550} \times 100\%$$

$$\text{Persentase COD} = 9{,}08\%$$

Post tanning merupakan proses basah yang mengacu pada proses penyamakan primer atau utama proses penyamakan ini dengan *chrome* (III) yang digunakan pada industri, tetapi juga menggunakan penyamak nabati dan penyamak lainnya untuk memberikan stabilisasi pada kulit [6]. Kombinasi pada proses *post tanning* tidak selalu sama untuk semua penyamakan, pemilihian proses *post tanning* tergantung pada bahan penyamak utama dan tipe kulit yang akan dibuat. Proses *post tanning* ini terdiri dari beberapa tahapan proses diantaranya: *Ageing*, netralisasi, *retanning*, *dyeing*, *fatliquoring* dan fiksasi [7]. Tahapan proses *post tanning* tersebut akan membentuk karakteristik sesuai dengan artikel yang akan dibuat. Proses *post tanning* disebut juga proses basah yang dilakukan

p-ISSN : 1411-7703
e-ISSN : 2746-2625

setelah proses *tanning*, sehingga pada proses ini menggunakan air dalam prosesnya. Air yang digunakan dalam proses berfungsi untuk mempermudah distribusi bahan kimia pada kulit serta sebagai media masuknya bahan kimia pada kulit. Dapat diketahui bahwa air digunakan sebagai media masuknya bahan kimia kedalam kulit, maka setelah proses air tersebut akan terbuang dan akan menjadi limbah atau yang sering disebut *waste water*.



Gambar 1. Skema Proses *Trial post tanning*

p-ISSN : 1411-7703
e-ISSN : 2746-2625

Waste water atau limbah cair merupakan limbah yang dihasilkan dari suatu proses dalam bentuk cair. Limbah cair yang dihasilkan dari proses *post tanning* mengandung parameter limbah salah satunya COD. COD atau *Chemical Oxygen Demand* merupakan kebutuhan oksigen (mg) dalam mengoksidasi bahan organik dalam 1 liter air. Parameter menggunakan reaksi kimiawi untuk mengetahui kadar COD dalam air. Beberapa tahapan proses *post tanning* memiliki kadar COD yang berbeda-beda, dari berbagai tahapan proses tersebut pada proses fiksasi setelah proses *fatliquoring* memiliki kadar COD yang paling tinggi. Proses fiksasi ini dilakukan setelah proses *retanning*, *dyeing* dan *fatliquoring*. Hal ini dapat diketahui bahwa dalam proses tersebut menggunakan berbagai jenis *chemical*, pada proses *retanning* yang bertujuan memberikan karakteristik khusus sesuai dengan artikel yang dikehendaki menggunakan bahan penyamak yaitu bahan penyamak nabati, *formaldehyde*, *syntan*. Proses *dyeing* merupakan proses yang berfungsi memberikan warna dasar pada kulit menggunakan *dyestuff* dan *penetrating agent*, sedangkan *fatliquoring* merupakan proses yang berfungsi memberikan kelemasan pada kulit dengan penambahan *fat*. Setiap proses menggunakan karakteristik serta bahan yang berbeda sehingga dapat menghasilkan kulit *crust*. Meningkatnya kadar COD disebabkan karena adanya penetrasi bahan yang belum optimal sehingga buangan *chemical* meningkat dan menjadi bahan organik atau pencemar pada air. Percobaan untuk meminimalisir terbuangnya *chemical* yaitu dengan penambahan bahan *dispersing agent*.

Dispersing agent merupakan bahan yang dapat membantu penetrasi dan distribusi suatu zat penyamak atau lainnya ke penampang kulit. Hal ini bertujuan agar memaksimalkan kinerja dari bahan *dispersing agent* dalam membantu mend*isperse* bahan penyamak nabati dan membantu penetrasi dari bahan lainnya, serta juga membantu dalam pengikatan *dyestuff* dan *fatliquor* sehingga diharapkan mampu mengurangi buangan dari *chemical* pada proses. Zat penyamak akan berikatan dengan protein sehingga dapat mempengaruhi struktur, stabilitas, kapasitas reaksi dan semua sifat dan karakter protein yang disebut Ikatan silang atau *bridge linkages*. Bahan penyamak yang digunakan dalam proses yaitu bahan penyamak krom, nabati, *formaldehyde* dan *syntan* sehingga bisa disebut penyamakan kombinasi. Ikatan *hydrogen* pada zat penyamak nabati akan terbentuk karena adanya gugus aktif pada serat protein ($-NH_3^+$) dan gugus aktif pada zat samak (-OH) disisi yang lain. Jenis ikatan silang antara zat penyamak nabati dengan gugus amina protein adalah ikatan hydrogen. Proses penyamakan kulit dengan *vegetable tanning* dipengaruhi oleh valensi sekunder melalui jembatan *hydrogen* dengan gugus *phenolic* (OH) dari molekul bahan penyamak. Zat penyamak nabati memiliki gugus aktif hidroksil (-OH) yang terdapat pada komponen aromatis polifenol. Gugus inilah yang nantinya membentuk ikatan hydrogen dengan amina pada ujung rantai samping bebas (dari asam amino–diamina) atau cabang. Bahan *dispersing agent* yaitu memiliki zat aktif berupa *condensation aryl sulphonic acid* dan *hidroxyaryl sulphone*. Gugus sulfonat pada bahan *dispersing agent* ini dapat yang mempermudah penetrasi bahan penyamak nabati karena mengandung gugus (SO_3^-). Berdasarkan *technical data sheet* bahan *dispersing agent* dapat digunakan sebagai *retanning agent*, *dispersing agent* untuk bahan penyamak nabati serta *fixing agent* untuk *fatliquor* dan *dyestuff*. Berdasarkan fungsi tersebut bahan *dispersing* ini termasuk golongan *combination syntan*. *Combination syntan* merupakan salah satu golongan *syntan* yang dapat digunakan sebagai *retanning agent* dan *auxiliaries*. Reaktivitas *syntan* karena ketersediaan gugus hidroksil (OH) pada senyawa *phenolic* yang akan membentuk ikatan hydrogen dengan kolagen, sehingga *syntan* dapat digunakan sebagai *retanning agent*. Ikatan silang akan terjadi antara gugus sulfonat dengan kulit baik kemungkinan membentuk kompleks dengan krom atau membentuk ikatan ionik dengan gugus amina bebas sehingga syntan ini diasumsikan akan terikat lebih kuat dengan

p-ISSN : 1411-7703
e-ISSN : 2746-2625
wetblue dari pada dengan kulit mentah[8]. Akibat pembentukan komplek dengan krom menyebabkan muatan positif pada kulit *wetblue* akan berkurang dan sehingga mempermudah distribusi bahan kimia yang bermuatan negatif seperti *syntan replacement*, *fatliquoring* dan *dyestuff*. Ketika pH turun maka gugus amina akan mengalami protonisasi menjadi (-NH_3^+) dan pada saat yang sama asam sulfonat akan ter-ion sehingga terjadi interkasi anatara amina kolagen dan sulfonat dan keadaan ini yang menimbulkan efek samak. Difusi adalah proses masuknya partikel molekul zat penyamak kedalam kulit (penetrasi) [9]. Selain penambahan *Auxiliaries*, untuk mempermudah bahan kimia atau zat penyamak penetrasi dipengaruhi oleh beberapa hal diantaranya: Suhu atau temperatur, mekanik, konsentrasi, pH. Pada proses *retanning* dengan bahan penyamak nabati, konsentrasi sangat berpengaruh terhadap penetrasi bahan. Pada penyamakan nabati dengan konsentrasi tinggi akan menyebabkan daya penetrasi ke kulit rendah. Zat penyamak nabati pada konsentrasi yang tinggi memiliki molekul yang lebih besar dibandingkan dengan konsentrasi rendah, daya samak tinggi namun penetrasi kedalam kulit rendah [8]. Sedangkan pada penyamakan krom, makin sedikit air yang digunakan (konsentrasi tinggi) maka makin kecil molekul dan penetrasi makin cepat dan waktu makin pendek. pH juga berpengaruh terhadap penetrasi, hal ini tergantung pada bahan penyamak yang digunakan [10]. Penyamakan nabati pH larutan akan berpengaruh terhadap besar kecilnya molekul serta membantu dalam polimerisasi. Suhu atau temperatur juga berpengaruh terhadap penetrasi, hal ini berkaitan dengan reaktifitas bahan penyamak serta mempercepat terjadinya polimerisasi. Pengaruh mekanik juga mempengaruhi terhadap penetrasi bahan kimia, karena *mechanical action* akan memberikan energi mekanik berupa bantingan kulit pada drum sehingga bisa mempercepat penetrasi. Dari sudut pandang ekologi dan ekonomi, distribusi dan pengikatan bahan-bahan kimia pada proses post tanning semaksimal mungkin harus dicapai [11].

Pengambilan sampel untuk uji COD dilakukan pada proses fiksasi setelah proses *fatliqouring*. Dari beberapa pengamatan yang sudah dilakukan pada proses fiksasi setelah *fatliquoring* ini menghasilkan kadar COD yang tinggi mencapai 62200 mg/L sehingga dilakukan pengambilan sampel pada proses tersebut. Pengujian kadar COD dilakukan di laboratorium dengan menggunakan metode spektrofotometri. Metode spektrofotometri merupakan metode pengujian menggunakan serapan cahaya dalam pengukuran sampel menggunakan spektrofotometer. Pengujian COD berdasarkan ISO 6060 tentang *Chemical Oxigen Demand*, metode ISO 6060 dapat menjadi alternatif yang tepat dalam pengukuran COD dengan mempertimbangkan relatif sederhana, biaya laboratorium lebih rendah dan dapat diaplikasikan dalam pengukuran konsentrasi COD yang lebih redah, hingga 10 mg $L^{-1.}$ Pengujian COD dilakukan dengan metode refluks tertutup [11]. Untuk sampel uji yang bersifat volatil, atau bahan organik yang teroksidasi secara sempurna dilakukan dengan menggunakan metode refluks tertutup [13]. Pengujian COD menggunakan oksidator kalium dikromat ($K_2Cr_2O_7$), kalium dikromat digunakan sebagai bahan oksidator yang dapat mengoksidasi bahan organik serta digunakan sebagai sumber oksigen pada kondisi asam dan panas dengan katalisator perak. Kelebihan kalium dikromat dititrasi sehingga bisa diketahui banyaknya kalium dikromat yang dipakai untuk mengoksidasi bahan orgaik dalam sampel sehingga nilai COD dapat dihitung [13].

$$C_aH_bO_c + {Cr_2O_7}^{2-} + H^+ \xrightarrow[Ag_2SO_4]{} CO_2 + H_2O + 2Cr^{3+}$$

Prinsip kerja dalam pengukuran COD yaitu reaksi antara $K_2Cr_2O_7$ dengan zat organik pada sampel dengan penambahan perak sulfat sebagai katalisator. Proses oksidasi dapat mengoksidasi bahan organik secara maksimal maka reaksi harus bersifat asam dan panas (temperatur tinggi) menggunakan panas selama 2 jam pada suhu 148°C. Dilakukan penambahan merkuri sulfat pada

p-ISSN : 1411-7703
e-ISSN : 2746-2625
sampel agar mempermudah pembacaan sampel pada spektrofotometer, merkuri sulfat juga untuk menghilangkan gangguan klorida yang umumnya terdapat pada air buangan [11]. Hasil uji penetapan COD nantinya bisa digunakan untuk penentuan beban cemaran, besarnya kebutuhan oksigen total yang akan mengoksidasi bahan organik dalam limbah menjadi CO2 dan H2O. Pengujian COD berfungsi sebagai parameter penduga jumlah total bahan organic yang mudah atau sulit terurai [15]. Pengujian COD menggunakan pengenceran 10 kali atau 5 ml sampel limbah diencerkan pada 50 ml air. Pada prinsipnya pengenceran terbaik dilakukan pengenceran dengan volume terkecil agar hasil lebih akurat. Pengukuran kadar COD dilakukan dengan spektrofotometer. Metode ini sering kita sebut metode spektrofotometri. Proses ini menggunakan serapan cahaya yang dilewatkan dalam larutan untuk menentukan konsentrasi dari zat yang terdapat dalam sampel [16]. Penetapan COD dengan metode fotometri ini berdasarkan pada penentuan sisa oksidator, yaitu ke dalam larutan yang dianalisis dilewatkan berkas sinar monokromatis. Energi sinar yang melewati larutan tersebut hanya dapat diabsorb oleh dikromat. Besarnya energi yang diabsorbsi oleh dikromat berbanding lurus dengan konsentrasi dikromat dalam larutan. Proses analisis dengan metode ini kuvet atau tabung COD yang digunakan harus bersih, kuvet yang digunakan harus bebas dari goresan pada kaca karena apabila tabung kotor akan menghasilkan pengukuran yang tidak akurat.

Hasil dari penambahan bahan tersebut, kadar COD mengalami penurunan sebesar 5650 mg/L dari kadar COD sebesar 62.200 mg/L menjadi 56.550 mg/L. Persentase penurunan kadar COD sebesar 9,08% dihitung dari kadar COD sebelum dilakukan *trial*. Kadar COD yang dihasilkan pada proses *post tanning* ini, akan dilakukan *treatment* lebih lanjut pada proses pembuangan limbah akhir atau WWTP (*Waste Water Treatment Process*) agar memenuhi baku mutu limbah cair yang aman bagi lingkungan.

Kesimpulan

Hasil pengujian menggunakan standar proses diperoleh hasil 62.200 mg/L dan hasil pengujian percobaan dengan penambahan *dispersing agent* sebanyak 10% dihitung dari berat kulit *weblue* diperoleh hasil 56.550 mg/L. Hasil menunjukkan bahwa modifikasi formula pada proses *post tanning* menurunkan COD pada limbah buangan sebesar 5650 m/L atau 9,08%.

Ucapan terima kasih

PT STUVW dan Politeknik ATK yang telah memberikan dukungan, fasilitas alat dan bahan penelitian, serta sarana laboratorium pengujian.

Daftar Pustaka

[1] Standar Nasional Indonesia, SNI 0391:2020 "*Kulit-istilah dan definisi*", Badan Standarisasi Nasional, 2020.
[2] Purnomo, E, *Teknologi Penyamakan*, Yogyakarta:Politeknik ATK Yogyakarta, 2014.
[3] Lumaela, A.K., Bambang W. O., dan Sutino, "Permodelan Chemical Oxygen Demand (COD Sungai di Surabaya dengan Metode Mixed Geographically Weighted Regression", *Jurnal Sains dan Semi Pomits*, Vol. 2, No.1, 2013, https://doi.org/10.12962/j23373520.v2i1.3204.
[4] BASF, , *Pocket Book For Leather Technologist*. Publishing by BASF Aktiengesellschaft 67056 Ludwigshafen, Germany, 2007.
[5] Atima, W., "BOD dan COD Sebagai Parameter Pencemaran Air dan Baku Mutu Air Limbah", *Jurnal Biology Science & Education*, Vol. 4 No. 1, 2015, https://doi.org/10.33477/bs.v4i1.532.
[6] Covington, *Tanning Chemistry The Science of leather*, Northampton:RSC Publishing., 2015.

p-ISSN : 1411-7703
e-ISSN : 2746-2625
[7] Hermawan, P., Abdullah S.S., Purnomo E., *Teknologi Pengolahan Kulit,* Puspita Komunikasi:Yogyakarta, 2014.
[8] Purnomo, E., *Teknologi Post-tanning*, Yogyakarta:Politeknik ATK Yogyakarta, 2017.
[9] Purnomo, E., *Tanning Processing Beam House Operation*, Yogyakarta, Politeknik ATK Yogyakarta, 2015.
[10] Kasmudjiastuti, E., "Pengaruh Jumlah Air terhadap Jumlah Serapan Cr_2O_3 pada Proses Penyamakan krom Kulit Kambing", *Majalah Kulit, Karet dan Plastik*, Vol. 24 No. 1, 2014, https://doi.org/10.20543/mkkp.v24i1.321.
[11] John, G., *Possible Deffects in Leather Production,* Druck Partner Rubelmann, GmbH Carl-Benz-Strasse Hembach, 1997.
[12] Mahvi, A.H., E. Bazrafshan, Gh. R. Jahed "Evaluation of COD Determination by ISO, 6060 Method, Comparing with Standard Method (5220,B)", *Pakistan Journal of Biological Sciences,* 8(6):892-894, 2005, https://doi.org/10.3923/pjbs.2005.892.894.
[13] Erpina. Epi, "Evaluasi Konsentrasi Senyawa Uji Pada Prosedur Operasional Standar Biodegradasi Bahan Kimia Dengan Metode Botol Tertutup," Skripsi, Institut Pertanian Bogor, Bogor, Indonesia, 2007.
[14] Nuraini, E., Fauziah, T, Lestari F., "Penentuan Nilai BOD dan COD Limbah Cair Inlet Laboratorium Pengujian Fisis Politeknik ATK Yogyakarta", *Integrated Lab Journal*, Vol. 07 No. 02, 2019. https://doi.org/10.5281/zenodo.3490306.
[15] Kustiasih, Tuti., "Penentuan Angka Kebutuhan Oksigen Kimia Air Limbah dengan Mempertimbangkan Faktor Ketidakpastian Kasus IPAL di Pusat Litbang Permukiman", *Jurnal Permukiman*, Vol. 6 No. 3 : 121-128, 2011, https://doi.org/10.31815/jp.2011.6.121-128.
[16] Dwinovantyo, Angga*, Verifikasi Metode COD secara ASTM D-1252, Photometri SQ 118 dan EPA 410.3, Salinitas berdasarkan Standard Method 16th Edition dan Horiba U-10, dan DO secara yodometri dengan metode SNI 06-6989.14-2004*, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor, 2011, https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1595.5606.