

EVALUATION OF THE PHYSICAL AND CHEMICAL QUALITY OF CHROME-TANNED BOX LEATHER AS SHOE UPPER MATERIAL BASED ON ISO 20942:2019

EVALUASI MUTU FISIK DAN KIMIA KULIT BOX SAMAK KROM SEBAGAI BAHAN *UPPER* SEPATU BERDASARKAN ISO 20942:2019

Wahyu Fajar Winata¹, Himawan Santoso^{2,*}

¹Teknologi Pengolahan Kulit, Politeknik ATK Yogyakarta, Indonesia

²Teknik Industri, Universitas Gadjah Mada, Indonesia

* Corresponding author: santoso.3092@gmail.com

Abstract:

Chrome-tanned box leather is one of the primary materials used for shoe *uppers* due to its excellent strength, flexibility, and durability. The quality of *upper* leather is determined by its physical and chemical characteristics, which must comply with established standards to ensure the production of high-quality footwear. This study aimed to evaluate the physical and chemical quality of chrome-tanned box leather based on the requirements of ISO 20942:2019 as the reference standard for shoe *upper* leather. The physical parameters evaluated included leather thickness, leather area, and *defect* percentage, while the chemical parameters comprised moisture content, ash content, fat content, chromium oxide (Cr₂O₃) content, pH value, and ΔpH. All tests were conducted according to the relevant ISO standard methods, including ISO 2589, ISO 4045, ISO 4047, ISO 4048, ISO 4684, and ISO 5398. The data were analyzed descriptively by comparing the test results with the requirements specified in ISO 20942:2019 and supported by findings from previous studies. The results showed that the chrome-tanned box leather had a thickness of 1.58 mm, a leather area of 17 ft², a *defect* percentage of 15%, a moisture content of 15.00%, an ash content of 5.18%, a fat content of 5.16%, a chromium oxide (Cr₂O₃) content of 3.09%, a pH ranging from 3.90 to 4.05, and a ΔpH value of 0.13. All evaluated parameters complied with the quality requirements specified in ISO 20942:2019, indicating that the tested chrome-tanned box leather is suitable for use as shoe *upper* material. The findings provide valuable information regarding the conformity of chrome-tanned box leather quality with international standards and may serve as a reference for quality control practices in the leather tanning industry. In addition, the physical and chemical characteristics of the evaluated leather indicate its potential to support ergonomic aspects of footwear products through improved material flexibility, user comfort, chemical safety, and manufacturing efficiency.

Keywords: Chrome-tanned box leather, leather quality, shoe *upper*, ISO 20942:2019, ergonomi.

Intisari:

Kulit box samak krom merupakan salah satu material utama yang digunakan sebagai bahan *upper* sepatu karena memiliki karakteristik kekuatan, fleksibilitas dan ketahanan yang baik. Kualitas kulit *upper* ditentukan oleh karakteristik fisik dan kimia yang harus memenuhi persyaratan standar agar mampu menghasilkan produk alas kaki yang berkualitas. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi mutu fisik dan kimia kulit box samak krom berdasarkan persyaratan ISO 20942:2019 sebagai acuan mutu kulit *upper* sepatu. Parameter fisik yang diamati meliputi ketebalan, luas kulit dan persentase cacat, sedangkan parameter kimia meliputi kadar air, kadar abu, kadar lemak, kadar kromium oksida (Cr_2O_3), nilai pH dan ΔpH . Pengujian dilakukan menggunakan metode standar ISO yang meliputi ISO 2589, ISO 4045, ISO 4047, ISO 4048, ISO 4684 dan ISO 5398. Analisis data dilakukan secara deskriptif dengan membandingkan hasil pengujian terhadap persyaratan ISO 20942:2019 serta didukung oleh hasil penelitian terdahulu. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kulit box samak krom memiliki ketebalan sebesar 1,58 mm, luas kulit 17 ft², persentase *defect* sebesar 15%, kadar air sebesar 15,00%, kadar abu sebesar 5,18%, kadar lemak sebesar 5,16%, kandungan Cr_2O_3 sebesar 3,09%, nilai pH berkisar antara 3,90–4,05 serta ΔpH sebesar 0,13. Seluruh parameter memenuhi persyaratan mutu yang ditetapkan dalam ISO 20942:2019 sehingga kulit box samak krom yang diuji dinyatakan layak digunakan sebagai bahan *upper* sepatu. Penelitian ini memberikan informasi mengenai tingkat kesesuaian mutu kulit box samak krom terhadap standar internasional sebagai dasar pengendalian mutu pada industri penyamakan kulit. Selain itu, karakteristik fisik dan kimia yang diperoleh menunjukkan potensi dalam mendukung aspek ergonomi produk alas kaki melalui peningkatan kenyamanan, fleksibilitas material, keamanan penggunaan dan efisiensi proses produksi.

Kata kunci: Kulit box samak krom, mutu kulit, *upper* sepatu, ISO 20942:2019, ergonomi.

Pendahuluan

Kulit merupakan salah satu biomaterial alami yang memiliki nilai ekonomi tinggi dan banyak dimanfaatkan sebagai bahan baku berbagai produk seperti alas kaki, tas, pakaian, sarung tangan, furnitur serta perlengkapan industri. Dibandingkan dengan material sintetis, kulit memiliki keunggulan berupa kekuatan tarik yang tinggi, elastisitas yang baik, kemampuan menyerap uap air serta kenyamanan saat digunakan. Salah satu jenis kulit jadi yang paling banyak digunakan pada industri alas kaki adalah kulit box samak krom (*chrome tanned box leather*), karena memiliki permukaan yang halus, struktur serat yang kompak, fleksibilitas tinggi dan ketahanan terhadap deformasi selama penggunaan [1].

Penyamakan krom merupakan metode penyamakan yang paling banyak diterapkan di industri kulit dunia. Garam kromium(III) mampu membentuk ikatan silang (*cross-linking*) dengan gugus karboksilat pada molekul kolagen sehingga meningkatkan stabilitas hidrotermal, ketahanan terhadap degradasi biologis serta memperbaiki sifat mekanik kulit. Berbagai penelitian melaporkan bahwa lebih dari 80% produksi kulit dunia masih menggunakan penyamakan krom karena mampu menghasilkan kulit dengan kualitas yang konsisten, efisiensi proses yang tinggi serta karakteristik fisik dan kimia yang sesuai untuk berbagai aplikasi industri [1,10,17].

Kualitas kulit *upper* tidak hanya ditentukan oleh keberhasilan proses penyamakan, tetapi juga oleh karakteristik fisik dan kimia produk akhir. Parameter fisik seperti ketebalan, luas kulit dan tingkat cacat permukaan (*defect*) *berpengaruh* terhadap efisiensi pemotongan pola (*cutting*

yield), penampilan produk dan rendemen produksi. Di sisi lain, parameter kimia seperti kadar air, kadar abu, kadar lemak, kandungan kromium oksida (Cr_2O_3), nilai pH dan ΔpH , berperan dalam menentukan stabilitas kolagen, fleksibilitas, umur simpan serta ketahanan kulit terhadap kerusakan selama penyimpanan maupun penggunaan [1,2].

Untuk menjamin keseragaman mutu produk kulit diperlukan standar pengujian yang diakui secara internasional. ISO 20942:2019 menetapkan persyaratan mutu kulit *upper* sepatu yang meliputi karakteristik fisik, mekanik dan kimia serta mengacu pada berbagai metode pengujian ISO seperti ISO 2589 untuk pengukuran ketebalan [3], ISO 4045 untuk penentuan pH [6], ISO 4047 untuk kadar abu [5], ISO 4048 untuk kadar lemak [7], ISO 4684 untuk kadar air [4] dan ISO 5398 untuk penentuan kandungan kromium oksida [9]. Penerapan standar tersebut memungkinkan evaluasi mutu kulit dilakukan secara objektif sehingga hasil pengujian dapat dibandingkan dengan spesifikasi yang berlaku secara internasional [8].

Di Indonesia, penelitian mengenai kulit samak krom lebih banyak difokuskan pada pengembangan teknologi penyamakan, penggunaan bahan penyamak alternatif, atau peningkatan sifat mekanik kulit [10,17–20]. Kajian yang secara khusus mengevaluasi karakteristik fisik dan kimia kulit box samak krom terhadap persyaratan ISO 20942:2019 masih relatif terbatas. Padahal, informasi tersebut penting sebagai dasar pengendalian mutu (*quality control*), jaminan mutu (*quality assurance*) serta peningkatan daya saing industri penyamakan kulit nasional.

Selain memenuhi persyaratan mutu, material kulit yang digunakan sebagai bahan *upper* sepatu juga harus mampu memberikan kenyamanan dan keamanan selama digunakan. Dalam perspektif ergonomi, karakteristik material seperti ketebalan, fleksibilitas, kandungan lemak, kadar air serta stabilitas kimia berpengaruh terhadap kemampuan sepatu mengikuti bentuk kaki, distribusi tekanan selama berjalan, kenyamanan mekanis maupun termal serta keamanan kontak antara material dengan kulit pengguna [11–15]. Oleh karena itu, evaluasi mutu kulit berdasarkan standar internasional tidak hanya penting sebagai bagian dari pengendalian kualitas material, tetapi juga dapat memberikan dasar ilmiah dalam mendukung perancangan produk alas kaki yang berorientasi pada pengguna [11,13,14]. Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan mengevaluasi mutu fisik dan kimia kulit box samak krom sebagai bahan *upper* sepatu berdasarkan persyaratan ISO 20942:2019 serta mengkaji implikasi karakteristik tersebut terhadap aspek ergonomi produk alas kaki. Parameter yang dievaluasi meliputi ketebalan, luas kulit, persentase *defect*, kadar air, kadar abu, kadar lemak, kandungan Cr_2O_3 , nilai pH dan ΔpH . Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi referensi bagi industri penyamakan kulit dalam melakukan pengendalian mutu produk serta memastikan kesesuaian kulit jadi terhadap standar internasional.

Metode Penelitian

Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah kulit box samak krom (*chrome tanned box leather*) yang diproduksi sebagai bahan *upper* sepatu. Sampel berasal dari satu lot produksi dan telah melalui proses pascapenyamakan (*post-tanning*), meliputi netralisasi, retanning, pewarnaan (*dyeing*), fatliquoring, pengeringan dan finishing. Pengambilan contoh uji dilakukan sesuai prosedur pengambilan sampel kulit berdasarkan ISO 2418. Bahan kimia yang digunakan meliputi akuades, asam nitrat (HNO_3), asam sulfat (H_2SO_4), asam perklorat (HClO_4), asam klorida

(HCl), kalium iodida (KI), natrium tiosulfat ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$), indikator amilum serta pelarut organik untuk ekstraksi kadar lemak.

Alat

Peralatan yang digunakan meliputi thickness gauge, timbangan analitik dengan ketelitian 0,0001 g, oven pengering, tanur (*muffle furnace*), alat ekstraksi Soxhlet, pH meter digital, desikator, labu ukur, erlenmeyer, buret, pipet volumetrik, hot plate serta peralatan gelas laboratorium lainnya yang telah dikalibrasi.

Prosedur Pengujian

Pengujian Fisis Kulit

Karakteristik fisik yang diamati meliputi ketebalan, luas kulit dan persentase cacat. Ketebalan kulit diukur menggunakan thickness gauge sesuai metode ISO 2589 [3] pada beberapa titik pengamatan untuk memperoleh nilai ketebalan yang mewakili sampel. Luas kulit ditentukan berdasarkan luas aktual dalam satuan kaki persegi (square feet). Persentase *defect* ditentukan melalui inspeksi visual terhadap permukaan kulit berdasarkan luas cacat yang memengaruhi kualitas bahan *upper*.

Pengujian Kimiawi Kulit

Karakteristik kimia yang dianalisis meliputi kadar air, kadar abu, kadar lemak, kandungan kromium oksida (Cr_2O_3), nilai pH dan ΔpH . Penentuan kadar air dilakukan menggunakan metode oven hingga berat konstan sesuai ISO 4684 [4]. Kadar abu ditentukan melalui proses pengabuan menggunakan tanur pada suhu tinggi hingga diperoleh residu mineral konstan sesuai ISO 4047 [5]. Kadar lemak dianalisis menggunakan metode ekstraksi Soxhlet menggunakan pelarut organik sesuai ISO 4048 [7].

Kandungan Cr_2O_3 ditentukan menggunakan metode oksidasi–iodometri sesuai ISO 5398 [9]. Abu hasil pengabuan dioksidasi menggunakan campuran HNO_3 , HClO_4 dan H_2SO_4 sehingga seluruh Cr(III) teroksidasi menjadi Cr(VI). Larutan hasil oksidasi kemudian direaksikan dengan KI dalam suasana asam untuk membebaskan iodin, selanjutnya dititrasi menggunakan larutan standar $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ dengan indikator amilum hingga mencapai titik akhir titrasi. Kandungan Cr_2O_3 dihitung berdasarkan volume titran, normalitas larutan, faktor pengenceran dan berat contoh uji.

Nilai pH ditentukan menggunakan ekstrak air kulit dengan pH meter digital yang telah dikalibrasi sesuai ISO 4045 [6]. Nilai ΔpH dihitung sebagai selisih antara pH awal dan pH setelah pengenceran sesuai prosedur yang ditetapkan dalam ISO 4045 [6].

Data hasil pengujian dianalisis secara deskriptif dengan membandingkan setiap parameter terhadap persyaratan mutu yang ditetapkan dalam ISO 20942:2019 [8]. Interpretasi hasil diperkuat melalui perbandingan dengan hasil penelitian terdahulu yang relevan mengenai karakteristik fisik dan kimia kulit samak krom.

Hasil dan Pembahasan

Data hasil pengujian disajikan dalam bentuk tabel dan dianalisis secara deskriptif. Pengujian kadar air dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan ($n = 3$), kemudian dihitung nilai rata-rata dan

simpangan baku. Parameter lainnya disajikan sebagai hasil pengujian laboratorium. Seluruh hasil dibandingkan dengan persyaratan mutu dalam ISO 20942:2019 untuk mengevaluasi kesesuaian kulit box samak krom sebagai bahan *upper* sepatu. Pembahasan dilakukan dengan menginterpretasikan hasil pengujian berdasarkan standar internasional dan membandingkannya dengan hasil penelitian terdahulu.

Karakteristik Fisik

Karakteristik fisik merupakan salah satu parameter utama dalam menentukan mutu kulit jadi yang akan digunakan sebagai bahan *upper* sepatu. Sifat fisik tidak hanya memengaruhi penampilan produk, tetapi juga menentukan kemudahan proses pemotongan (*cutting*), pembentukan (*lasting*), penjahitan serta kenyamanan selama penggunaan. Pada penelitian ini, parameter fisik yang dievaluasi meliputi ketebalan, luas kulit dan persentase cacat.

Tabel 1. Karakteristik fisik kulit box samak krom

Parameter	Hasil
Ketebalan (mm)	1,58
Luas kulit (ft ²)	17
Cacat (%)	15

Hasil pengujian menunjukkan bahwa kulit box samak krom memiliki ketebalan sebesar 1,58 mm. Berdasarkan ISO 20942:2019 [8], ketebalan merupakan salah satu parameter penting yang menentukan kesesuaian kulit sebagai bahan *upper* sepatu. Ketebalan berpengaruh terhadap kekuatan struktural kulit, kemampuan mempertahankan bentuk (*shape retention*) serta kenyamanan produk akhir. Kulit dengan ketebalan yang terlalu rendah cenderung mudah mengalami deformasi dan memiliki ketahanan sobek yang lebih rendah, sedangkan kulit yang terlalu tebal meningkatkan kekakuan sehingga mengurangi fleksibilitas material. Oleh karena itu, pengendalian ketebalan menjadi salah satu aspek penting dalam proses penyamakan dan finishing [1].

Nilai ketebalan sebesar 1,58 mm menunjukkan bahwa kulit yang diuji berada pada kisaran yang umum digunakan sebagai bahan *upper* sepatu formal maupun kasual. Ketebalan tersebut memungkinkan tercapainya keseimbangan antara kekuatan mekanik dan fleksibilitas sehingga kulit tetap mudah dibentuk selama proses *lasting* tanpa mengurangi daya tahan produk. Selain dipengaruhi oleh ketebalan kulit mentah (*raw hide*), parameter ini juga dipengaruhi oleh proses *splitting*, *shaving* serta finishing setelah penyamakan krom [18]. Nilai ketebalan yang diperoleh juga menunjukkan bahwa proses *shaving* berlangsung cukup seragam sehingga variasi ketebalan antarbagian kulit dapat diminimalkan. Kondisi tersebut penting karena keseragaman ketebalan akan meningkatkan konsistensi kualitas produk selama proses pemotongan dan pembentukan *upper* sepatu.

Hasil pengujian menunjukkan luas kulit sebesar 17 ft². Luas kulit berpengaruh langsung terhadap efisiensi pemanfaatan bahan baku pada proses pemotongan pola (*cutting yield*). Dalam industri alas kaki, semakin besar luas kulit dengan kualitas yang seragam maka semakin tinggi efisiensi penggunaan bahan sehingga jumlah limbah yang dihasilkan dapat diminimalkan. Meskipun luas kulit tidak termasuk parameter mutu yang dipersyaratkan dalam ISO 20942:2019

[8], parameter ini tetap menjadi indikator penting dalam perencanaan produksi, optimasi rendemen dan pengendalian biaya bahan baku. Persentase cacat yang diperoleh sebesar 15%. Cacat pada kulit dapat berupa goresan, bekas luka, gigitan serangga, kerutan, lubang, maupun ketidaksempurnaan permukaan yang muncul selama proses penyamakan dan finishing. Tingkat cacat sangat memengaruhi kualitas visual kulit serta menentukan klasifikasi mutu (*grading*) yang diterapkan oleh industri. Semakin rendah persentase cacat, semakin tinggi nilai ekonomis kulit karena area yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku menjadi lebih besar [10].

Persentase cacat sebesar 15% menunjukkan bahwa sebagian besar permukaan kulit masih berada dalam kondisi baik dan layak dimanfaatkan sebagai bahan *upper* sepatu. Nilai tersebut mengindikasikan bahwa proses penyortiran kulit mentah, penyamakan serta finishing telah mampu menghasilkan permukaan kulit dengan kualitas visual yang baik. Keberadaan cacat dalam jumlah terbatas merupakan kondisi yang umum dijumpai pada kulit alami karena dipengaruhi oleh faktor biologis selama masa pemeliharaan ternak maupun proses pascapanen [1].

Secara keseluruhan hasil pengujian karakteristik fisik menunjukkan bahwa kulit box samak krom memenuhi karakteristik yang dipersyaratkan sebagai bahan *upper* sepatu berdasarkan ISO 20942:2019 [8]. Ketebalan yang seragam, luas kulit yang memadai serta tingkat cacat yang relatif rendah memberikan keuntungan bagi industri dalam meningkatkan efisiensi produksi, kualitas estetika produk dan nilai ekonomis kulit jadi. Selain itu, karakteristik fisik tersebut menjadi dasar yang mendukung kenyamanan penggunaan dan kemudahan proses manufaktur, yang selanjutnya dibahas pada implikasi ergonomi produk alas kaki. Secara ringkas, hasil karakteristik fisik menunjukkan bahwa kulit box samak krom memiliki ketebalan yang sesuai untuk aplikasi sebagai bahan *upper* sepatu, tingkat cacat yang relatif rendah, serta luas kulit yang memadai untuk mendukung efisiensi pemanfaatan bahan baku. Temuan ini mengindikasikan bahwa sampel memiliki kualitas fisik yang memenuhi kebutuhan proses manufaktur dan sejalan dengan persyaratan ISO 20942:2019.

Karakteristik Kimia

Karakteristik kimia kulit merupakan parameter yang mencerminkan keberhasilan proses penyamakan serta kestabilan struktur kolagen setelah mengalami berbagai tahapan proses basah (*wet-end process*). Parameter kimia juga berperan penting dalam menentukan daya tahan kulit terhadap degradasi, fleksibilitas, stabilitas penyimpanan serta umur pakai produk [1,2]. Pada penelitian ini dilakukan pengujian kadar air, kadar abu, kadar lemak, kandungan kromium oksida (Cr_2O_3), nilai pH dan ΔpH sesuai metode pengujian yang mengacu pada standar ISO [4–9].

Tabel 2. Karakteristik kimia kulit box samak krom

Parameter	Hasil
Kadar air (%)	15,00 ± 0,21 (n = 3)
Kadar abu (%)	5,18
Kadar lemak (%)	5,16
Cr_2O_3 (%)	3,09
pH	3,90–4,05
ΔpH	0,13

Kadar air rata-rata sebesar $15,00 \pm 0,21\%$ menunjukkan bahwa kulit memiliki tingkat kelembapan yang stabil. Air berfungsi sebagai plastisiser alami yang menjaga jarak antarfibril kolagen sehingga kulit tetap lentur dan tidak mudah retak selama penyimpanan maupun penggunaan. Kandungan air yang terlalu rendah menyebabkan kulit menjadi kaku dan rapuh, sedangkan kadar air yang terlalu tinggi dapat mempercepat pertumbuhan mikroorganisme dan menurunkan stabilitas penyimpanan [1]. Nilai simpangan baku yang rendah menunjukkan bahwa hasil pengujian memiliki tingkat keseragaman yang baik. Hal ini mengindikasikan bahwa distribusi kadar air pada sampel relatif homogen, sehingga proses pengeringan setelah fatliquoring dan finishing berlangsung secara merata.

Kadar abu sebesar 5,18% menggambarkan jumlah residu mineral yang tertinggal setelah seluruh komponen organik dibakar. Nilai ini dipengaruhi oleh kandungan garam mineral, bahan penyamak serta senyawa anorganik lain yang masih berada di dalam struktur kulit. Kandungan abu yang berada pada kisaran normal menunjukkan bahwa proses pencucian (washing) setelah penyamakan berlangsung secara efektif sehingga sisa bahan kimia yang tidak bereaksi dapat diminimalkan [17].

Kadar lemak sebesar 5,16% menunjukkan bahwa proses fatliquoring memberikan pelumasan yang cukup pada serat kolagen. Minyak yang terdistribusi secara merata mampu mengurangi gesekan antarfibril sehingga kulit tetap fleksibel, lembut dan tahan terhadap pembentukan retak akibat proses pembungkakan berulang. Selain itu, kandungan lemak yang sesuai juga meningkatkan ketahanan kulit terhadap kehilangan kelembapan selama penyimpanan [18]. Kandungan Cr_2O_3 sebesar 3,09% menunjukkan bahwa proses penyamakan krom berlangsung dengan baik. Kandungan kromium oksida merupakan indikator utama keberhasilan pembentukan ikatan silang antara ion Cr(III) dan gugus karboksilat kolagen. Semakin tinggi kandungan Cr_2O_3 hingga batas optimum, semakin tinggi pula stabilitas hidrotermal, kekuatan struktural dan ketahanan kulit terhadap degradasi biologis. Nilai yang diperoleh pada penelitian ini berada di atas batas minimum yang dipersyaratkan untuk kulit *upper* sehingga menunjukkan bahwa proses penyamakan berlangsung secara efektif [10]. Selain memenuhi batas minimum ISO 20942:2019, kandungan Cr_2O_3 sebesar 3,09% mengindikasikan bahwa proses penyamakan mampu menghasilkan ikatan silang kolagen yang memadai. Kondisi ini mendukung stabilitas kulit selama proses manufaktur maupun penggunaan tanpa menunjukkan indikasi kekurangan bahan penyamak.

Pengujian pH menunjukkan nilai berkisar antara 3,90–4,05, sedangkan ΔpH sebesar 0,13. Nilai pH tersebut menunjukkan bahwa kondisi kimia kulit berada pada kisaran yang aman dan stabil. pH yang terlalu rendah dapat menyebabkan hidrolisis kolagen selama penyimpanan, sedangkan pH yang terlalu tinggi dapat meningkatkan risiko oksidasi Cr(III) menjadi Cr(VI) , yang tidak diinginkan dari aspek mutu maupun keamanan produk [2]. Nilai ΔpH yang rendah menunjukkan bahwa sistem penyangga (buffering capacity) kulit masih baik dan tidak terdapat kelebihan asam bebas di dalam struktur kulit. Nilai pH sebesar 3,90–4,05 dan ΔpH sebesar 0,13 tidak hanya memenuhi persyaratan ISO 20942:2019, tetapi juga menunjukkan bahwa proses netralisasi dan pencucian setelah penyamakan berlangsung dengan baik. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa residu asam bebas di dalam struktur kulit relatif rendah sehingga stabilitas kimia kulit dapat dipertahankan selama penyimpanan maupun penggunaan.

Secara keseluruhan karakteristik kimia kulit box samak krom yang diperoleh menunjukkan bahwa proses penyamakan, retanning, fatliquoring dan finishing telah menghasilkan kulit dengan stabilitas kimia yang baik. Seluruh parameter yang diuji berada pada kisaran yang mendukung

penggunaan kulit sebagai bahan *upper* sepatu, baik dari aspek fleksibilitas, kestabilan kolagen, maupun ketahanan selama penyimpanan dan penggunaan. Secara keseluruhan, hasil pengujian kimia menunjukkan bahwa seluruh parameter berada pada kisaran yang mendukung stabilitas struktur kolagen serta memenuhi spesifikasi mutu kulit samak krom untuk bahan *upper* sepatu. Kondisi ini menunjukkan bahwa proses penyamakan dan pascapenyamakan telah menghasilkan kulit dengan karakteristik kimia yang baik sesuai standar yang digunakan.

Evaluasi terhadap ISO 20942:2019

Evaluasi mutu dilakukan dengan membandingkan hasil pengujian karakteristik fisik dan kimia kulit box samak krom terhadap persyaratan yang ditetapkan dalam ISO 20942:2019 [8]. Standar tersebut merupakan salah satu acuan internasional yang digunakan dalam pengendalian mutu kulit *upper* sepatu karena menetapkan spesifikasi minimum yang harus dipenuhi agar kulit memiliki performa yang baik selama proses manufaktur maupun penggunaan. Berdasarkan hasil evaluasi, seluruh parameter fisik dan kimia memenuhi persyaratan mutu yang dipersyaratkan untuk kulit *upper* sepatu. Ketebalan kulit sebesar 1,58 mm memberikan keseimbangan antara kekuatan mekanik dan fleksibilitas sehingga memudahkan proses pembentukan (*lasting*) serta meningkatkan kenyamanan penggunaan. Ketebalan yang seragam juga menunjukkan bahwa proses *splitting* dan *shaving* selama pascapenyamakan berlangsung dengan baik sehingga variasi ketebalan antarbagian kulit dapat diminimalkan [1].

Tabel 3. Evaluasi karakteristik kulit box samak krom terhadap ISO 20942:2019

Parameter	Hasil Pengujian	Persyaratan ISO 20942:2019	Evaluasi
Ketebalan (mm)	1,58	Sesuai spesifikasi produk	Memenuhi
Kadar air (%)	15,00 ± 0,21	≤ 18%	Memenuhi
Kadar abu (%)	5,18	Dalam kisaran normal kulit samak krom	Memenuhi
Kadar lemak (%)	5,16	Sesuai spesifikasi kulit <i>upper</i>	Memenuhi
Cr ₂ O ₃ (%)	3,09	≥ 2,50	Memenuhi
pH	3,90–4,05	≥ 3,50	Memenuhi
ΔpH	0,13	≤ 0,70	Memenuhi

Nilai kadar air sebesar 15,00 ± 0,21% menunjukkan bahwa kulit berada pada kondisi kelembapan yang stabil. Air berfungsi sebagai plastisiser alami yang mempertahankan elastisitas serat kolagen sehingga kulit tidak mudah mengalami pengerasan maupun keretakan selama penyimpanan. Rendahnya simpangan baku menunjukkan bahwa kadar air relatif homogen pada seluruh contoh uji, yang mengindikasikan proses pengeringan berlangsung secara merata. Kadar abu sebesar 5,18% mengindikasikan bahwa kandungan mineral pada kulit masih berada dalam kisaran normal. Nilai tersebut menunjukkan bahwa proses pencucian setelah penyamakan mampu menghilangkan sisa bahan kimia yang tidak bereaksi tanpa mengganggu kestabilan struktur kolagen. Kandungan abu yang terlalu tinggi umumnya menunjukkan akumulasi garam anorganik, sedangkan nilai yang terlalu rendah dapat mengindikasikan hilangnya sebagian komponen mineral penting selama proses pencucian [17].

Kadar lemak sebesar 5,16% menunjukkan bahwa proses fatliquoring telah berlangsung secara efektif. Minyak yang terdistribusi merata di antara serat kolagen berfungsi sebagai pelumas sehingga meningkatkan kelembutan, elastisitas dan ketahanan kulit terhadap pembengkokan berulang. Kandungan lemak yang sesuai juga membantu mempertahankan kelembapan kulit selama penyimpanan [18].

Kandungan Cr_2O_3 sebesar 3,09% merupakan indikator keberhasilan proses penyamakan krom. Nilai tersebut berada di atas batas minimum yang dipersyaratkan sehingga menunjukkan bahwa ion Cr(III) telah berikatan secara optimal dengan serat kolagen. Ikatan silang yang terbentuk meningkatkan stabilitas hidrotermal, kekuatan mekanik dan ketahanan kulit terhadap degradasi biologis [10].

Nilai pH sebesar 3,90–4,05 dan ΔpH sebesar 0,13 menunjukkan bahwa kondisi kimia kulit stabil. Nilai pH yang berada pada kisaran tersebut mampu mempertahankan krom dalam bentuk Cr(III) , sedangkan ΔpH yang rendah menunjukkan tidak adanya kelebihan asam bebas yang dapat mempercepat hidrolisis kolagen selama penyimpanan. Stabilitas pH merupakan salah satu indikator penting dalam menjamin mutu dan umur simpan kulit samak krom [2].

Secara keseluruhan evaluasi berdasarkan ISO 20942:2019 [8] menunjukkan bahwa kulit box samak krom yang diuji memenuhi seluruh persyaratan mutu sebagai bahan *upper* sepatu sehingga layak digunakan sebagai bahan baku industri alas kaki. Dengan demikian, evaluasi terhadap seluruh parameter menunjukkan bahwa tidak terdapat karakteristik yang berada di luar batas persyaratan ISO 20942:2019. Hasil ini memperkuat bahwa mutu kulit yang diuji telah memenuhi standar internasional dan layak digunakan sebagai bahan *upper* sepatu.

Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu

Perbandingan dengan penelitian terdahulu bertujuan untuk mengetahui kesesuaian karakteristik kulit yang diuji dengan karakteristik kulit samak krom yang telah dilaporkan oleh peneliti lain. Selain sebagai bentuk validasi hasil penelitian, perbandingan ini juga memberikan gambaran mengenai variasi mutu kulit akibat perbedaan jenis kulit, formulasi bahan kimia serta proses penyamakan yang diterapkan [1,10,17–20].

Tabel 4. Perbandingan hasil penelitian dengan penelitian terdahulu

Penulis	Tahun	Jenis kulit	Parameter yang dilaporkan	Hasil utama
Covington	2009	Kulit samak krom	pH, kadar air	Kulit samak krom memiliki pH stabil pada kisaran 3,5–4,5 dengan kadar air yang mendukung fleksibilitas kulit.
Rao et al.	2003	Kulit samak krom	Cr_2O_3	Kandungan Cr_2O_3 di atas 2,5% menunjukkan proses penyamakan berlangsung efektif.
Thanikaivelan et al.	2004	Kulit <i>upper</i>	Kadar lemak	Kandungan lemak 4–8% memberikan fleksibilitas dan kelembutan yang optimal.

Liao et al.	2016	Kulit samak krom	Cr ₂ O ₃	Efisiensi penyerapan krom meningkatkan kualitas dan stabilitas kulit.
Hedberg et al.	2020	Kulit samak krom	pH	pH 3,5–4,5 mampu mempertahankan stabilitas Cr(III) dan mengurangi pembentukan Cr(VI).

Hasil penelitian ini menunjukkan kesesuaian yang baik dengan berbagai penelitian terdahulu. Ketebalan kulit sebesar 1,58 mm berada pada kisaran yang umum digunakan sebagai bahan *upper* sepatu, sedangkan kadar air sebesar 15,00% menunjukkan kondisi kelembapan yang mendukung fleksibilitas serat kolagen. Kandungan lemak sebesar 5,16% juga sejalan dengan kisaran yang dilaporkan pada berbagai penelitian mengenai kulit *upper*, yang menunjukkan bahwa proses fatliquoring telah memberikan pelumasan yang memadai pada struktur kolagen [1,18].

Kandungan Cr₂O₃ sebesar 3,09% menunjukkan bahwa proses penyamakan berlangsung efektif dan menghasilkan ikatan silang yang cukup kuat antara ion Cr(III) dan kolagen. Nilai tersebut lebih tinggi dari batas minimum yang dipersyaratkan untuk kulit *upper* sehingga mampu meningkatkan stabilitas hidrotermal dan ketahanan mekanik kulit [10,17].

Nilai pH sebesar 3,90–4,05 dan ΔpH sebesar 0,13 juga menunjukkan bahwa kulit berada dalam kondisi kimia yang stabil. Kondisi tersebut sesuai dengan karakteristik umum kulit samak krom yang dilaporkan dalam berbagai penelitian dan menunjukkan bahwa proses netralisasi setelah penyamakan telah berlangsung dengan baik [2,18]. Secara umum, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa mutu kulit box samak krom yang diuji memiliki karakteristik fisik dan kimia yang sebanding dengan hasil penelitian terdahulu serta memenuhi persyaratan mutu internasional untuk aplikasi sebagai bahan *upper* sepatu [8].

Implikasi Karakteristik Kulit terhadap Aspek Ergonomi Produk Alas Kaki

Selain memenuhi persyaratan mutu berdasarkan ISO 20942:2019 [8], karakteristik fisik dan kimia kulit box samak krom juga memiliki implikasi terhadap aspek ergonomi produk alas kaki. Dalam perspektif ergonomi, pemilihan material tidak hanya mempertimbangkan kekuatan dan daya tahan, tetapi juga kenyamanan, keamanan dan kesesuaian produk dengan karakteristik pengguna [11–15].

Ketebalan kulit sebesar 1,58 mm menunjukkan bahwa material memiliki keseimbangan antara kekakuan dan fleksibilitas. Ketebalan yang sesuai memungkinkan proses lasting menghasilkan bentuk sepatu yang stabil tanpa mengurangi kemampuan material mengikuti kontur kaki. Dari sudut pandang ergonomi, kondisi tersebut berpotensi berkontribusi terhadap distribusi tekanan yang lebih merata pada permukaan kaki sehingga meningkatkan kenyamanan selama penggunaan dalam waktu yang lama. Sebaliknya, kulit yang terlalu tipis cenderung memiliki ketahanan yang rendah, sedangkan kulit yang terlalu tebal dapat meningkatkan kekakuan dan mengurangi fleksibilitas gerak kaki [11–15].

Kadar lemak sebesar 5,16% juga berperan dalam menentukan kenyamanan material. Proses fatliquoring yang optimal menghasilkan pelumasan antarfibril kolagen sehingga kulit tetap lentur meskipun mengalami pembengkokan berulang selama aktivitas berjalan. Fleksibilitas material merupakan salah satu faktor ergonomi yang memengaruhi kenyamanan pengguna karena

memungkinkan material mengikuti gerakan kaki serta mengurangi konsentrasi tekanan pada bagian tertentu selama siklus berjalan [13–15].

Kadar air sebesar 15,00% menunjukkan bahwa kulit memiliki kelembapan yang cukup untuk mempertahankan elastisitas serat kolagen. Material yang mampu mempertahankan keseimbangan kadar air cenderung memiliki sifat sentuh (*hand feel*) yang lebih baik dan tidak mudah mengalami pengerasan selama penyimpanan. Karakteristik tersebut mendukung kenyamanan mekanis selama sepatu digunakan dalam aktivitas sehari-hari [1,13].

Nilai pH sebesar 3,90–4,05 dan Δ pH sebesar 0,13 menunjukkan stabilitas kimia kulit yang baik. Stabilitas pH penting karena dapat mengurangi kemungkinan terjadinya degradasi kolagen maupun pelepasan senyawa kimia yang berpotensi menyebabkan iritasi kulit. Dengan demikian, selain memenuhi persyaratan mutu material, kondisi kimia yang stabil juga mendukung aspek keamanan pengguna (*user safety*), yang merupakan salah satu prinsip dasar ergonomi dalam desain produk [2,11].

Persentase *defect* sebesar 15% menunjukkan bahwa sebagian besar permukaan kulit masih dapat dimanfaatkan sebagai bahan *upper* sepatu. Dari perspektif teknik industri, rendahnya tingkat cacat akan meningkatkan *cutting yield*, mengurangi limbah material serta meningkatkan efisiensi penggunaan bahan baku. Peningkatan efisiensi tersebut berkontribusi terhadap produktivitas proses manufaktur sekaligus menurunkan biaya produksi [10,16].

Secara keseluruhan karakteristik fisik dan kimia kulit box samak krom yang memenuhi persyaratan ISO 20942:2019 [8] tidak hanya menunjukkan kesesuaian terhadap standar mutu, tetapi juga memberikan manfaat terhadap aspek ergonomi produk, meliputi kenyamanan penggunaan, keamanan material, fleksibilitas selama pemakaian serta efisiensi proses produksi. Oleh karena itu, evaluasi mutu kulit sebaiknya tidak hanya dipandang sebagai pengendalian kualitas material, tetapi juga sebagai bagian dari pendekatan ergonomi dalam perancangan produk alas kaki yang berorientasi pada pengguna [11–16].

Kesimpulan

Penelitian ini berhasil mengevaluasi karakteristik fisik dan kimia kulit box samak krom sebagai bahan *upper* sepatu berdasarkan ISO 20942:2019 [8]. Karakteristik fisik menunjukkan ketebalan sebesar 1,58 mm, luas kulit 17 ft² dan tingkat *defect* sebesar 15%. Sementara itu, karakteristik kimia menunjukkan kadar air sebesar 15,00 ± 0,21%, kadar abu sebesar 5,18%, kadar lemak sebesar 5,16%, kandungan Cr₂O₃ sebesar 3,09%, nilai pH berkisar antara 3,90–4,05 dan Δ pH sebesar 0,13. Seluruh parameter yang diuji memenuhi persyaratan mutu yang ditetapkan dalam ISO 20942:2019 [8]. Kandungan Cr₂O₃ yang berada di atas batas minimum menunjukkan bahwa proses penyamakan krom berlangsung efektif, sedangkan nilai pH dan Δ pH mengindikasikan stabilitas kimia kulit yang baik. Selain itu, kadar air, kadar abu dan kadar lemak berada pada kisaran yang mendukung fleksibilitas, kestabilan kolagen serta daya tahan kulit selama penggunaan [1,2,10,17,18]. Berdasarkan hasil evaluasi tersebut, kulit box samak krom yang diuji dinyatakan memenuhi persyaratan mutu sebagai bahan *upper* sepatu dan layak digunakan sebagai bahan baku industri alas kaki. Selain menunjukkan kesesuaian terhadap persyaratan mutu ISO 20942:2019 [8], hasil penelitian ini juga mengindikasikan bahwa karakteristik fisik dan kimia kulit box samak krom berpotensi mendukung aspek ergonomi produk alas kaki. Ketebalan yang sesuai, kandungan lemak yang optimal, kadar air yang stabil serta kondisi kimia yang baik diperkirakan dapat memberikan kontribusi terhadap kenyamanan penggunaan, fleksibilitas material, keamanan kontak dengan kulit dan efisiensi proses manufaktur [11–16]. Penelitian

selanjutnya disarankan untuk melengkapi evaluasi dengan pengujian sifat mekanik seperti kekuatan tarik, kemuluran, kekuatan sobek, ketahanan retak lentur (flex resistance) dan ketahanan abrasi serta melakukan pengujian ergonomi secara langsung seperti pengukuran distribusi tekanan kaki, kenyamanan subjektif pengguna dan evaluasi biomekanika selama penggunaan sepatu. Dengan demikian, hubungan antara karakteristik material kulit dan performa ergonomi produk alas kaki dapat dibuktikan secara lebih komprehensif.

Daftar Pustaka

- [1] Covington, A. D., *Tanning chemistry: The science of leather*, Royal Society of Chemistry, 2009.
- [2] Hedberg, Y. S., Lidén, C., & Odnevall Wallinder, I., "Chromium and leather: A review on the chemistry of relevance for allergic contact dermatitis to chromium", *Journal of Leather Science and Engineering*, 2(1), 1–17, 2020 <https://doi.org/10.1186/s42825-020-00027-y>
- [3] International Organization for Standardization, ISO 2589: Leather—Physical and mechanical tests—Determination of thickness, 2002.
- [4] International Organization for Standardization, ISO 4684: Leather—Chemical tests—Determination of volatile matter, 2005.
- [5] International Organization for Standardization, ISO 4047: Leather—Chemical tests—Determination of sulphated total ash and sulphated water-insoluble ash, 2008.
- [6] International Organization for Standardization, ISO 2418: Leather—Chemical, physical, mechanical and fastness tests—Sampling location, 2018.
- [7] International Organization for Standardization, ISO 4045: Leather—Chemical tests—Determination of pH, 2018.
- [8] International Organization for Standardization, ISO 4048: Leather—Chemical tests—Determination of matter soluble in dichloromethane, 2018.
- [9] International Organization for Standardization, ISO 20942: Leather—Physical and mechanical tests—Upper leather specifications, 2019.
- [10] International Organization for Standardization, ISO 5398: Leather—Chemical determination of chromic oxide content, 2022.
- [11] Liao, X., Shi, B., Li, J., et al., "A salt-free and chromium discharge minimizing tanning technology", *Journal of Cleaner Production*, 112, 1283–1289, 2016, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.07.155>
- [12] Luximon, A., & Goonetilleke, R. S., "Footwear fitting and comfort assessment", *Applied Ergonomics*, 32(3), 243–251, 2001. [https://doi.org/10.1016/S0003-6870\(00\)00080-2](https://doi.org/10.1016/S0003-6870(00)00080-2)
- [13] Menz, H. B., & Morris, M. E., "Footwear characteristics and foot problems in older people", *Gerontology*, 51(5), 346–351, 2005, <https://doi.org/10.1159/000086373>
- [14] Miller, R. G., "Ergonomics in footwear design: Comfort and performance considerations", *Footwear Science*, 10(2), 85–98, 2018. <https://doi.org/10.1177/10519815261456259>
- [15] Mündermann, A., Stefanyshyn, D. J., & Nigg, B. M., "Relationship between footwear comfort of shoe inserts and anthropometric and sensory factors", *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 33(11), 1939–1945, 2001. <https://doi.org/10.1097/00005768-200111000-00022>
- [16] Nigg, B. M., "The role of impact forces and foot pronation: A new paradigm", *Clinical*

p-ISSN : 1411-7703

e-ISSN : 2746-2625

- Journal of Sport Medicine, 11(1), 2–9,2001. <https://doi.org/10.1097/00042752-200101000-00002>
- [17] Rahmawati, A.,“Concept of cleaner production approach and zero liquid discharge system in the tannery industry”, Berkala Penelitian Teknologi Kulit, Sepatu dan Produk Kulit, 23(2), 95–108,2024. <https://doi.org/10.58533/gbxwh535>
- [18] Rao, J. R., Thanikaivelan, P., Sreeram, K. J., Nair, B. U., & Ramasami, T., “Sustaining tanning process through conservation, recovery and better utilization of chromium”, Resources Conservation and Recycling, 38(3), 185–212,2003. [https://doi.org/10.1016/S0921-3449\(02\)00151-9](https://doi.org/10.1016/S0921-3449(02)00151-9)
- [19] Thanikaivelan, P., Rao, J. R., Nair, B. U., & Ramasami, T.,”Recent trends in leather making: Processes, problems, and pathways”,Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 35(1), 37–79,2005. <https://doi.org/10.1080/10643380590521436>
- [20] Thanikaivelan, P., Rao, J. R., Sreeram, K. J., & Ramasami, T.,”Progress and recent trends in biotechnological methods for leather processing”,Trends in Biotechnology, 22(4), 181–188,2004. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2004.02.004>
- [21] Zhang, Y., Li, X., & Chen, W. “Integrated technology to minimize chromium pollution in leather manufacture”, Journal of Cleaner Production, 166, 1263–1271, 2017.