

SIFAT FISIK, KIMIA, DAN MORFOLOGIK KULIT JAKET KAMBING TERSAMAK MENGGUNAKAN KROM HASIL RECOVERY AIR LIMBAH PENYAMAKAN

PHYSICAL, CHEMICAL, AND MORPHOLOGICAL PROPERTIES OF TANNED GOAT JACKET LEATHER USING RECOVERED CHROME FROM TANNING WASTE WATER

Sri Sutyasmi

Balai Besar Kulit, Karet, dan Plastik, Jl. Sokonandi No. 9, Yogyakarta 55166, Indonesia

Telp.: +62 274 512929, 563939; Fax.: +62 274 563655

E-mail: srisutyasmi@ymail.com

Diterima: 9 Juni 2015 Direvisi: 20 Oktober 2015 Disetujui: 19 November 2015

ABSTRACT

The purpose of this study was to recover chrome in tanning waste water to reduce environmental pollution and to utilize chrome as tanning agent. Chrome in tanning waste water leaching out of the drum was filtered and put in the tank and subsequently it was added with NaOH to generate chrome hydroxide. Furthermore, chrome hydroxide was converted to chrome sulfate as tanning agent by addition of concentrated sulfuric acid. Cr₂O₃ content of chrome sulfate was determined before being used for tanning. The result showed that Cr₂O₃ content was 3958.6 mg/l. Variation of recovered chrome sulfate concentrations for tanning jacket leather were 25, 50, 75 and 100% respectively. Controls were made with the use of 100% of industrial grade chrome sulfate. The best result were goat jacket leather tanned with recovered chrome of 75 and 100 % for its physical properties and 25% for its chemical properties. Test results of SEM showed that chrome was morphologically presence in tanned goat leather mass.

Keywords: *tanning, jackets leather, chrome recovery, physical and chemical properties, leather morphology.*

ABSTRAK

Tujuan dari penelitian ini adalah mengambil kembali krom dalam air limbah penyamakan krom untuk mengurangi pencemaran lingkungan dan menghemat pembelian puder krom sebagai bahan penyamak krom. Air limbah penyamakan krom yang keluar dari drum, disaring dan dimasukkan dalam tangki dan ditambah NaOH untuk diendapkan menjadi krom hidroksida. Selanjutnya krom hidroksida dialirkan ke tangki yang lain dan ditambahkan asam sulfat pekat menjadi krom sulfat yang digunakan untuk menyamak. Hasil diuji kadar Cr₂O₃ terlebih dahulu sebelum digunakan untuk menyamak. Hasil uji kadar Cr₂O₃ adalah rata-rata sebesar 3958,6 mg/l. Variasi konsentrasi krom sulfat hasil *recovery* untuk penyamakan kulit jaket berturut-turut 25, 50, 75, dan 100%. Krom sulfat pasaran dengan konsentrasi 100% digunakan sebagai kontrol. Hasil uji sifat fisis kulit jaket kambing terbaik adalah konsentrasi krom berturut-turut 75 dan 100 % dan untuk sifat kimia kulit jaket terbaik 25 % yang disamak dengan krom sulfat hasil *recovery*. Hasil uji SEM menunjukkan bahwa secara morfologi krom dijumpai dalam kulit tersamak.

Kata kunci: penyamakan, kulit jaket, *chrome recovery*, sifat fisik dan kimia, morfologi kulit.

PENDAHULUAN

Perkembangan industri penyamakan kulit di Indonesia berdampak pada peningkatan jumlah limbah yang dihasilkan, baik limbah cair maupun limbah padat. Bahkan perkembangan tersebut juga diikuti oleh kenaikan resiko dengan meningkatnya jumlah limbah dari penyamakan kulit yang dihasilkan (Harmami *et al.*, 2014). Industri peny-

makan kulit mengolah kulit mentah (*hides* atau *skins*) menjadi kulit tersamak (*leather*) dengan menggunakan bahan penyamak, dan dari bahan penyamak tersebut akan dihasilkan limbah cair. Ditinjau dari jenis bahan penyamak yang dipakai, maka terdapat beberapa cara penyamakan yaitu (1) penyamakan nabati, (2) penyamakan mineral, dan (3) penyamakan minyak (Dettmer *et al.* 2010).

Bahan penyamak jenis senyawa krom digunakan untuk menyamakan kulit yang di kelompokkan sebagai penyamakan mineral. Kandungan krom dalam limbah yang keluar dari drum penyamakan kulit relatif tinggi yang diindikasikan oleh warna limbah yang gelap. Selain mencemari lingkungan, senyawa krom merupakan bahan beracun dan berbahaya (B3), maka krom juga mengganggu pengolahan limbah cair khususnya pada pengolahan limbah cair sistem biologi (Fuck *et al.*, 2011; Hyder, 2013; Bestawy *et al.*, 2013). Senyawa kromium (Cr) dalam limbah cair industri penyamakan kulit berasal dari unit penyamakan kulit, yang menggunakan senyawa krom sulfat antara dengan konsentrasi 60-70%. Krom sulfat tersebut tidak seluruhnya dapat diserap oleh kulit saat penyamakan berlangsung dengan demikian sisanya dikeluarkan dalam bentuk limbah cair (Harmami *et al.*, 2014). Keberadaan senyawa krom kadar tinggi dalam limbah cair industri penyamakan kulit berdampak pada pencemaran lingkungan (Mutlu *et al.*, 2014).

Senyawa krom bersifat karsinogenik, membulkan gatal, iritasi dan inflamasi pada kulit dan selaput lendir, serta mencemari lingkungan (Christianna *et al.*, 2013; Belay, 2010). Oleh karena itu diperlukan upaya pemanfaatan limbah cair penyamakan kulit tersebut melalui proses *recovery* krom (Wardhani *et al.*, 2013; Bestawy *et al.*, 2013).

Senyawa krom pada limbah cair penyamakan kulit perlu diperoleh kembali (*recovery*) mengingat (1) krom dalam limbah cair mengandung krom trivalen relatif tinggi, (2) senyawa krom limbah cair dari penyamakan kulit berkisar 10000-50000 ppm (Sundar, 2011). Menurut Ludvik (2000), konsentrasi asam sulfat yang dicapai untuk *recovery* krom pH larutan adalah 2,0-2,8. Larutan yang diperoleh dianalisis kandungan krom(III)-nya untuk menentukan tingkat efektivitas *recovery* (Belay, 2010). Proses pengendapan krom(III) dari limbah cair akan lebih efektif jika dikerjakan pada pH larutan=8 dengan persentase efisiensi *recovery*=52%, sedangkan waktu pengendapan yang optimal adalah 24 jam dengan persentase efisiensi *recovery* sebesar 77,63%. (Hastutiningrum, 2010). Pelarutan kembali endapan krom(III) yang diperoleh agar dapat digunakan kembali sebagai bahan penyamak krom menggunakan asam sulfat pekat (El-Sabbagh & Mohamed, 2011).

Pengenapan krom yang optimal adalah 24 jam dengan persentase efisiensi *recovery* sebesar

77,63%. Pelarutan kembali endapan krom(III) yang diperoleh dengan menggunakan asam sulfat dimaksudkan agar dapat digunakan kembali sebagai bahan penyamak krom (Mukherjee *et al.*, 2010)

Tujuan penelitian ini adalah mengambil kembali krom dari limbah cair penyamakan krom untuk mengurangi potensi pencemaran lingkungan dan pemanfaatan kembali krom hasil *recovery* penyamakan kulit serta mengetahui sifat fisik, kimia an morfologi kulit yang dihasilkan.

BAHAN DAN METODE

Bahan Penelitian

Bahan penelitian adalah kulit kambing, limbah cair krom dari drum penyamakan, asam sulfat teknis, NaOH, dan bahan kimia untuk pengujian krom.

Peralatan penelitian

Peralatan untuk penelitian terdiri atas satu unit perangkat *recovery* krom dan drum eksperimen penyamak kulit dengan kapasitas 850 kg.

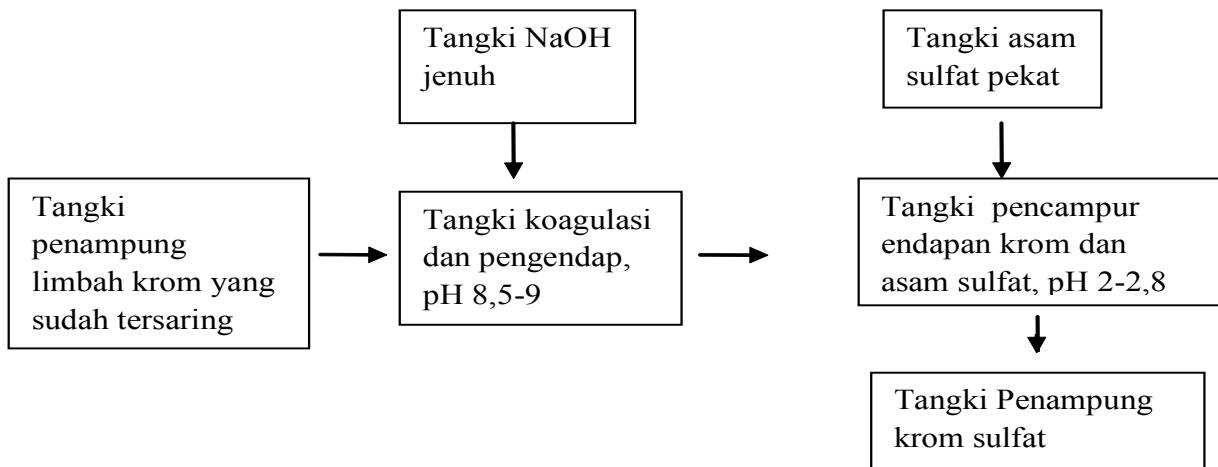
Alat untuk pengujian fisik seperti kuat tarik, kemuluran, dan kuat sobek menggunakan Material Testing Zwick/Roell 2020 model 2007, alat untuk pengujian tebal SG 300, alat untuk pengujian penyamakan suhu kerut, *Softness Tester* ST 300, dan alat untuk uji tembus uap air menggunakan *Water Permeability Tester* STM 473.

Alat untuk pengujian kimia terdiri atas pH meter merk Toledo, kadar air menggunakan Dean-stark *Apparatus*, kadar abu menggunakan Furnace NEY M 525 Series II, kadar lemak menggunakan Soxlet, labu dan electromantel, dan pemeriksaan krom menggunakan metode yodometri yaitu menggunakan titrasi.

Alat uji yang digunakan untuk uji Morfologi adalah *Scanning Electron Microscopy* (SEM) JEOL-JSM-6510 LV.

Metode Penelitian

Limbah cair dari drum penyamakan krom disaring dan dimasukkan dalam rangkaian alat untuk *recovery* krom, selanjutnya, krom yang ada dalam limbah tersebut diambil kembali. Rangkaian tersebut terdiri atas tangki penampung krom, tangki NaOH jenuh, tangki koagulasi dan pengendap, tangki asam sulfat pekat, tangki pencampur endapan krom dengan asam sulfat pekat dan tangki penampung krom sulfat. Urutan kerja *recovery* krom tersebut seperti disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir proses krom *recovery* senyawa krom.

Selanjutnya krom sulfat yang dihasilkan diuji kadar Cr_2O_3 nya untuk menentukan berapa liter tiap kg kulit krom sulfat yang digunakan untuk menyamak kulit jaket.

Krom yang digunakan untuk menyamak kulit adalah 6 %, sedangkan variasi penyamakan krom sulfat yang digunakan untuk menyamak kulit adalah 25, 50, 75, dan 100% dari 6 % puder krom/murni yang digunakan. Kontrol dibuat dari 100% krom murni. Kulit jaket diuji sifat fisis, kimia se-suai dengan SNI 4593:2011, yaitu SNI untuk kulit jaket domba/kambing. Selain itu juga diuji SEM dari kulit jaket tersebut untuk mengetahui morfologi kulit jaket yang disamak dengan krom hasil *recovery*.

HASIL DAN PEMBAHASAN Krom Hasil *Recovery*

Krom hasil *recovery* yang akan digunakan untuk penyamakan kulit jaket adalah sebagai berikut. Kandungan krom limbah cair yang keluar dari drum penyamakan kulit sebesar 3.998,6 mg/l. Kandungan krom hasil *recovery* dalam krom sulfat sebesar 3.672,4 mg/l. Perhitungan penggunaan krom *recovery* untuk penyamakan kulit di-dasarkan pada bobot kulit dan jumlah krom untuk penyamakan kulit (% dari bobot kulit). Persentase krom murni yang digunakan untuk penyamakan sudah diketahui, sehingga dapat diketahui berapa kg krom yang digunakan. Selanjutnya Cr_2O_3 olahan dikalikan dengan jumlah Cr_2O_3 untuk penyamakan.

Hasil Uji Sifat Fisik

Hasil uji sifat fisis kulit jaket kambing dapat dilihat pada Tabel 1. Tabel 1 menunjukkan

bahwa sifat fisik kulit jaket yang disamak dengan krom sulfat hasil *recovery* limbah cair samak krom, maka parameter tebal dan kekuatan sobek memenuhi ketentuan SNI 4593:2011 untuk kulit jaket domba/kambing. Sedangkan parameter penyamakan yang memenuhi SNI 4593:2011 adalah penyamakan dengan 75 dan 100% krom sulfat hasil *recovery*. Kulit samak krom dikatakan masak atau matang bila kulit tersebut telah tersamak sempurna. Tanda-tanda kulit tersamak sempurna adalah kulit mengalami pengerasan saat dimasukkan ke air mendidih selama 3-5 menit atau *boiling test*.

Untuk parameter kekuatan tarik yang memenuhi SNI 4593:2011 adalah kulit yang disamak dengan konsentrasi 25 dan 100% krom sulfat hasil *recovery*. Sedangkan parameter kemuluran yang memenuhi persyaratan SNI 4593:2011 adalah kulit hasil penyamakan dengan konsentrasi krom hasil *recovery* 75 dan 100 %. Pada parameter tembus uap air dan kelemasan, semua perlakuan percobaan memenuhi SNI 4593:2011.

Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa penyamakan terbaik yang memenuhi SNI 4593:2011 adalah kulit jaket samak krom dengan konsentrasi 75 dan 100 %. Hal ini ditunjukkan oleh parameter fisik yang diuji semuanya memenuhi persyaratan. Sedangkan kontrol (penggunaan krom murni 100 %) justru tidak memenuhi persyaratan SNI 4593:2011 (SNI kulit jaket domba/kambing). Dimungkinkan hal ini sangat tergantung proses penyamakannya. Hal ini dapat terjadi karena pemberian serbuk krom tidak sesuai ukuran yaitu kadar Cr_2O_3 tidak diperhitungkan. Kadar Cr_2O_3 dalam senyawa krom sebesar 25 %, sehingga apabila penyamakan kulit menggunakan

kan krom 6 %, maka seharusnya senyawa krom untuk penyamakan kulit adalah setara dengan $25 / 100 \times 6\% = 1,5\%$.

Hasil Uji Sifat Kimia

Hasil uji sifat kimia kulit jaket dari penyamakan dengan krom hasil *recovery* dapat dilihat pada Tabel 2. Tabel 2 menunjukkan bahwa kadar

air kulit tersamak memenuhi persyaratan SNI 4593:2011 untuk kulit jaket domba/kambing. Sedangkan hasil uji krom oksida menunjukkan bahwa semua perlakuan tidak memenuhi syarat SNI 4593:2011. Hal ini kemungkinan karena penggunaan krom hasil *recovery* tidak didasarkan pada kadar Cr_2O_3 dalam krom sulfat hasil *recovery* seperti yang diutarakan di atas. Dengan demikian

Tabel 1. Hasil uji sifat fisis kulit jaket samak krom hasil *recovery*.

Parameter Uji	Kode sampel	Hasil uji	Metode uji	SNI Kulit jaket domba/kambing
Tebal, mm	1	0,60	SNI 06-7128-2005	0,4-0,8
	2	0,52		
	3	0,52		
	4	0,48		
	5	0,56		
Kekuatan sobek, N/mm	1	21,89	SNI 06-1794-1990	Min 12,5
	2	20,72		
	3	18,72		
	4	27,12		
	5	20,71		
Penyamakan, % penyeutuan	1	21,89	SNI 06-0253-1989	Maks 10
	2	20,71		
	3	10,03		
	4	5,31		
	5	20,71		
Kekuatan tarik, N/mm ²	1	17,63	SNI 06-1795-1990	Min 14
	2	10,08		
	3	10,50		
	4	14,99		
	5	13,42		
Kemuluran, %	1	78,88	SNI 06-1795-1990	Maks 60
	2	67,83		
	3	59,13		
	4	59,12		
	5	92,23		
Tembus uap air, mg/cm ² /jam	1	15,29	ISO 5403;2002	Min 2,50
	2	9,88		
	3	10,06		
	4	8,64		
	5	6,20		
Kelemasan ($\Phi 20$ mm), mm	1	5,93	SNI ISO 17235:2002	5,0-7,6
	2	6,00		
	3	5,43		
	4	5,80		
	5	6,20		

Keterangan kode sampel:

- 1 = Kulit jaket dengan konsentrasi 25 % krom sulfat hasil *recovery*
- 2 = Kulit jaket dengan konsentrasi 50 % krom sulfat hasil *recovery*
- 3 = Kulit jaket dengan konsentrasi 75 % krom sulfat hasil *recovery*
- 4 = Kulit jaket dengan konsentrasi 100% krom sulfat hasil *recovery*
- 5 = Kulit jaket dengan konsentrasi 0% krom *recovery* (kontrol)

kadar krom kulit jaket melebihi ketentuan syarat mutu SNI 4593:2011 untuk kulit jaket domba/kambing. Kadar abu kulit jaket samak krom yang memenuhi syarat mutu SNI 4593:2011 adalah kulit jaket dengan konsentrasi 25% krom hasil *recovery*. Sedangkan kadar lemak/minyak kulit jaket kambing hasil samak krom untuk semua konsentrasi memenuhi syarat mutu SNI 4593:2011. Hasil uji pH dari kulit jaket samak krom semua variasi memenuhi SNI 4593:2011.

Sutiyasmi & Supraptinginingsih (2014) menyatakan bahwa penyamakan krom melalui empat tahapan reaksi yang terjadi secara bersamaan. Reaksi tersebut antara ligan koordinasi pada kromium kompleks. Dengan pengaturan kondisi

pH, suhu, dan konsentrasi senyawa krom maka dominasi dari masing-masing reaksi dapat dikendalikan. Keempat reaksi dimaksud adalah reaksi antara gugus OH⁻ dan krom, reaksi antara kation senyawa krom dan sulfat, reaksi dari masing-masing bahan misalnya formiat, reaksi antara protein kulit dan bahan senyawa.

Pada pH rendah maka konsentrasi OH⁻ larutan relatif rendah dan basisitas krom juga rendah. Reaksi pertama menyebabkan kenaikan pH se-hingga reaksi ke kanan. Koordinasi ion-ion sulfat cenderung tidak dipengaruhi oleh pH dan ion sulfat akan masuk dalam senyawa kompleks pada pH rendah. Pembentukan ikatan koordinasi asam organik lemah atau *masking agent* dengan

Tabel 2. Hasil uji sifat kimia kulit jaket hasil penyamakan dengan krom hasil *recovery*.

Parameter uji	Sampel	Hasil uji	Metode uji	SNI Kulit jaket domba/kambing
Kadar air, % (b/b)	1 2 3 4 5	17,00 17,00 17,00 16,98 16,99	SNI 06-0644-1989	Maks 18
Kadar krom oksida, % (b/b)	1 2 3 4 5	3,56 3,60 3,36 3,34 3,49	SNI 06-0645-1989	2,5-3,0
Kadar abu, % (b/b)	1 2 3 4 5	1,63 2,20 2,84 2,89 11,28	SNI 06-0564-1989	Maks, 2% di atas kadar Cr ₂ O ₃
Kadar lemak/minyak, % (b/b)	1 2 3 4 5	9,60 9,94 11,55 11,34 11,28	SNI -6-0564-1989	8,0-15,0
pH	1 2 3 4 5	4,25 4,23 4,27 4,25 4,06	SNI ISO 4045-2011	3,5-7,0

Keterangan kode sampel:

- 1 = Kulit jaket dengan konsentrasi 25 % krom sulfat hasil *recovery*
- 2 = Kulit jaket dengan konsentrasi 50 % krom sulfat hasil *recovery*
- 3 = Kulit jaket dengan konsentrasi 75 % krom sulfat hasil *recovery*
- 4 = Kulit jaket dengan konsentrasi 100% krom sulfat hasil *recovery*
- 5 = Kulit jaket dengan konsentrasi 0% krom *recovery* (kontrol)

senyawa krom kompleks, tergantung asam dan pH. pH tinggi akan menaikkan reaktivitas protein kulit, dan ionisasi tersebut menjadikan pH turun dan reaktifitas terhadap krom lebih kecil. Reaksi gugus karboksil pada protein sama dengan asam lemah tetapi cenderung lebih dipengaruhi oleh perubahan pH (Beltrán *et al.*, 2011).

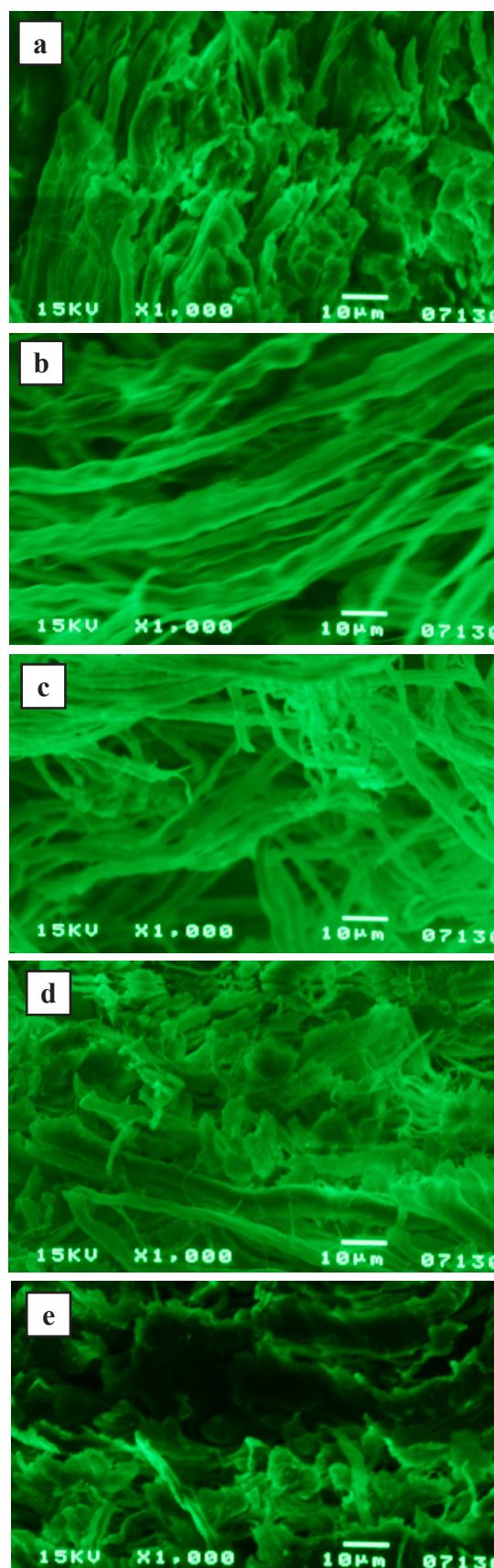
Menurut Garg *et al.* (2012), kenaikan pH akan menaikkan basisitas senyawa krom kompleks (lebih banyak OH⁻ yang masuk dalam kompleks). Dengan kenaikan nilai pH, maka reaktivitas protein juga meningkat dan tahap awal penyamakan tercapai. Pada akhir kenaikan basisitas yang berarti basisitas tinggi dan ion sulfat sebagian sudah meninggalkan senyawa kompleks. Penggabungan senyawa krom kompleks secara sempurna dengan protein kulit akan menghasilkan ikatan silang (Bellay, 2010). Dengan kenaikan basisitas, 2 senyawa krom saling bergabung antara satu dengan lainnya melalui gugus OH⁻.

Dalam penyamakan menggunakan senyawa krom maka reaksi dengan garam krom menjadi serat kulit sangat stabil dan tahan terhadap kerusakan oleh mikroba dan suhu tinggi. Walaupun pemakaian garam krom dalam penyamakan kulit dapat mencemari lingkungan, namun terdapat kelebihan apabila penggunaan samak krom antara lain warna kulit lebih terang, kekuatan tarik lebih tinggi, mempunyai stabilitas yang baik terhadap bahan kimia, waktu penyamakan relatif singkat, tahan terhadap air dan pencucian, dan daya serap air dan udara cukup baik (Krishna, 2014).

Hasil Uji Morfologi Kulit

Morfologi kulit dapat dilihat berdasarkan hasil uji SEM. SEM merupakan mikroskop elektron yang dapat digunakan untuk mengamati morfologi permukaan skala mikro dan nano. Teknik analisis SEM menggunakan elektron sebagai sumber pencitraan dan medan elektromagnetik sebagai lensanya (Rianita *et al.*, 2014).

Hasil uji SEM dari kulit jaket yang disamak dengan konsentrasi berturut-turut 25, 50, 75, dan 100% krom sulfat hasil *recovery* dapat dilihat pada Gambar 2. Sifat morfologi kulit jaket kambing hasil penyamakan dengan variasi konsentrasi senyawa krom hasil *recovery* melalui uji SEM menunjukkan bahwa penggunaan senyawa krom hasil *recovery* konsentrasi 25% maka serat kulit vertikal terlihat kuat karena bereaksi dengan senyawa krom. Hal ini menunjukkan bahwa konsentrasi 25% pemakaian krom sulfat olahan serat



Gambar 2. SEM kulit jaket tersamak dengan krom hasil *recovery* sebesar (a) 25%, (b) 50%, (c) 75%, (d) 100%, dan (e) 0% (kontrol).

kulit dan krom masih baik dan kuat. Sedangkan penggunaan krom *recovery* sebesar 50% menunjukkan bahwa warna lebih terang karena penggunaan krom *recovery* lebih banyak, dan serat kulit masih kuat dan panjang. Pada penggunaan krom *recovery* konsentrasi 75% menunjukkan warna lebih terang karena penggunaan senyawa krom makin banyak dan kemungkinan kandungan Cr_2O_3 kulit makin berkurang, dan serat kulit masih terlihat kuat. Sedangkan penggunaan krom *recovery* sebesar 100%, warna kulit cukup terang dan serat kulit masih kuat. Pada penyamakan tanpa krom *recovery* maka warna lebih gelap dan serat kulit tampak padat. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa penggunaan krom *recovery* tidak mempengaruhi mutu serat kulit.

Penggunaan senyawa krom kompleks secara sempurna dengan protein kulit menghasilkan ikatan silang. Dengan naiknya basisitas maka 2 senyawa krom saling bergabung antara satu dengan lainnya melalui gugus OH^- . Selain basisitas maka mutu bahan penyamak dalam bentuk senyawa krom dapat dipengaruhi oleh kadar krom yang lazim digunakan (Mukherjee, 2012).

Sifat dari larutan krom adalah sebagai berikut: dalam larutan pekat molekulnya kecil, sehingga penetrasinya mudah; dalam larutan encer molekulnya besar, sehingga penetrasinya sukar; pada basisitas rendah daya ikat (fiksasi) rendah; pada basisitas tinggi daya ikat (fiksasi) tinggi; pada basisitas rendah mudah larut dan pada basisitas tinggi akan mengendap (*El-Sabbagh et al.*, 2011). Dengan demikian karena penggunaan krom sulfat yang lebih encer maka daya ikat rendah.

KESIMPULAN

Dari hasil uji sifat fisis, kimia dan morfologik kulit yang disamak dengan krom hasil *recovery* tidak berbeda jauh dengan penggunaan krom murni/puder krom. Penggunaan krom hasil *recovery* untuk sifat fisis terbaik adalah variasi 75 dan 100%. Sedangkan untuk sifat kimia terbaik adalah penggunaan variasi krom *recovery* sebanyak 25%, karena semua parameter memenuhi SNI 4593:2011. Hasil uji morfologi kulit dari uji SEM semua variasi masih terlihat serat kulit dan krom yang berikatan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kepala Balai Besar Kulit, Karet, dan Plastik

atas fasilitas yang diberikan selama penelitian ini dan kepada semua pihak yang membantu terselesaikannya tulisan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Belay, A. A. (2010). Impacts of chromium from tannery effluent and evaluation of alternative treatment options. *Journal of Environmental Protection*, 1(1), 53-58.
- Beltrán-Prieto, J. C., Veloz-Rodríguez, R., Pérez-Pérez, M. C., Navarrete-Bolaños, J. L., Vázquez-Nava, E., Jiménez-Islas, H., & Botello-Álvarez, J. E. (2012). Chromium recovery from solid leather waste by chemical treatment and optimisation by response surface methodology. *Chemistry and Ecology*, 28(1), 89-102.
- Bestawy, E. L. E., Al-Fassi, F., & Aburokba, R. A. R. (2013). Biological treatment of leather tanning industrial wastewater using free living bacteria. *Advances in Life Science and Technology*, 12, 46-65.
- BSN (Badan Standardisasi Nasional). (2011). *Standard Nasional Indonesia SNI 4593:2011: Kulit jaket domba/kambing*, Jakarta, Indonesia: BSN.
- Christianna, R., Samudro, G., & Handayani, D. S. (2013). Studi penurunan konsentrasi kromium dan seng dalam limbah cair elektroplating artificial dengan metoda elektrokoagulasi. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 2(3), 1-6.
- Dettmer, A., Nunes, K., Gutterres, M., & Marcilio, N., (2010). Tanning using basic chrome sulfate obtained from SASH produce in the thermal treatment of leather wastes. *JALCA*, 105(9), 280-288.
- El-Sabbagh, S. H., & Mohamed, O. A. (2011). Recycling of chrome-tanned leather waste in acrylonitrile butadiene rubber. *Journal of Applied Polymer Science*, 121(2), 979-988.
- Fuck, W. F., Gutterres, M., Marcílio, N. R., & Bordingnon, S. (2011). The influence of chromium supplied by tanning and wet finishing processes on the formation of Cr(VI) in leather. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 28(2), 221-228.
- Garg, S. K., Manikant, T., & Thirureelakantan, S. (2012). Strategies for chromium bioremediation of tannery effluent. *Review of Environmental Contamination and Toxicology*, 217, 75-140.
- Harmami, H., Ulfin, I., & Setyowuryani, R. (2014). Penurunan kadar kromium dari limbah cair industri penyamakan kulit dengan metode elektrokoagulasi. Dalam *Prosiding Seminar Nasional Kimia*, Surabaya, Indonesia: Jurusan Kimia FMIPA, Universitas Negeri Surabaya.
- Hastutiningrum, S. (2010). *Studi recovery krom (III) dari limbah cair penyamakan kulit dengan metode pengendapan* (Disertasi). Universitas Gajah Mada,

- Indonesia.
- Hyder, A. H. M. G. (2013). Sorption characteristics of hexavalent chromium [Cr(VI)] on to bone char and bio-char. *TRITA-LWR Degree Project*, 13, 09-47.
- Krishna, M. S. (2014). *Studies on treatment and reuse of tannery waste water by embedded system* (Thesis). Anna University, India.
- Ludvík, J. (2000). *Chrome balance in leather processing*. Vienna, Austria: United Nations Industrial Development Organization.
- Mukherjee, G. (2012). Modification of chrome tanned waste with epichlorohydrin. *Journal of Indian Leather technologists Association*, 62(10), 902-908.
- Mutlu, M. M., Crudu, M. S., Maier, S., Deselnicu, D., Albu, L., Gulumser, G., Oral, B., Basaran, B., Tosun, C. C., & Zengin, A. C. A. (2014). Eco-leather: Properties of chromium-free leathers produced with titanium tanning materials obtained from the wastes of the metal industry. *Ekoloji*, 23(91), 83-90.
- Rianita, Y., Chomsin, S., Widodo, W., & Masruroh, M. (2014). Studi identifikasi komposisi obat dan limbah balur benzoquinon (bq) hasil terapi pembaluran dengan scanning electron microscopy (SEM). *Physics Student Journal*, 2(1), 42-47.
- Sundar, V. J. (2011). Recovery and utilization of chromium-tanned proteinous wastes of leather making: A review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 41(22), 2048-2075.
- Sutyasmi, S., & Supraptiningsih, S. (2014). Pemanfaatan kembali krom limbah shaving untuk penyamakan kulit. *Majalah Kulit, Karet, dan Plastik*, 30(2), 87-93.
- Wardhani, E., Dirgawati, M., & Valyana, K. P. (2012). Penerapan metode elektrokoagulasi dalam pengolahan air limbah industri penyamakan kulit. Dalam *Seminar Ilmiah Nasional Penelitian Masalah Lingkungan di Indonesia*. Yogyakarta, Indonesia: Universitas Gadjah Mada.