



Efisiensi Penggunaan Air Bersih pada Penyamakan Kulit

Asep Nana Rukmana¹, Reni Amaranti¹, Aviasti^{2*}, Chaznin R Muhammad, Ari Ramdani¹, Deva Akbar Fatur Rahman¹

¹ Program Studi Teknik Industri, Universitas Islam Bandung, Jl. Tamansari No.1, Kota Bandung, Jawa Barat 40116, Indonesia

² Program Studi Pendidikan Profesi Insinyur, Universitas Islam Bandung, Jl. Tamansari No.1, Kota Bandung, Jawa Barat 40116, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Sejarah Artikel:

Artikel Masuk: 28 Juli 2022

Artikel direvisi: 03 Oktober 2022

Artikel diterima: 09 Oktober 2022

Kata kunci

Beam House
Efisiensi Air Bersih
Pemanfaatan Air Limbah
Green Manufacturing

Keywords

Beam House
Water Efficiency
Water Reuse
Green Manufacturing

ABSTRAK

Industri penyamakan kulit membutuhkan banyak air dan berbagai macam bahan kimia terutama pada proses beamhouse. Hal ini akan menghasilkan banyak limbah cair yang mengandung zat berbahaya yang berpotensi mencemari lingkungan. Salah satu upaya yang dapat mengurangi limbah cair yang dibuang adalah dengan mengurangi penggunaan air pada penyamakan kulit terutama pada proses beamhouse. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis efisiensi penggunaan air pada proses penyamakan kulit skala kecil. Tahapan penelitian dilakukan dengan mengidentifikasi volume air yang digunakan dan tahapan mana pada proses beamhouse yang memungkinkan untuk dilakukan reuse air tanpa mempengaruhi kualitas kulit tersamak. Hasil analisis menghasilkan dua alternatif reuse air pada proses beamhouse. Alternatif pertama yaitu menggunakan kembali air pada proses liming (washing 1 dan washing 2) dan pada proses pickling (re-washing dan deliming). Alternatif kedua yaitu menggunakan kembali air pada proses liming (washing 1 dan washing 2) dan pada proses pickling (re-washing, deliming, dan washing pasca deliming). Alternatif pertama menghasilkan penghematan penggunaan air sebesar 33% pada proses liming dan 78% pada proses pickling. Alternatif kedua menghasilkan efisiensi penggunaan air sebesar 33% pada proses liming dan 84% untuk proses pickling. Reuse air tidak hanya mengurangi penggunaan air bersih secara signifikan, akan tetapi juga mengurangi limbah cair yang berpotensi mencemari lingkungan. Hal ini memberikan dampak positif pada upaya perlindungan lingkungan dan untuk terwujudnya industri hijau dengan melakukan kegiatan industri tanpa menimbulkan dampak negatif pada lingkungan.

ABSTRACT

The leather tanning industry requires water and numerous chemicals, particularly in the beam house process. The process will result in a large amount of liquid waste containing dangerous compounds that have the potential to contaminate the environment. One method to decrease the liquid waste volume is to reduce water usage in the beam house tanning process. This study aimed to examine the efficiency of water usage in small-scale tanneries. The study determined the volume of water reused in the beam house processes without affecting the quality of the tanned skin. The investigation resulted in two different water reuse options in the beam house process. The first option is to reuse water in the liming (first and second washing processes) and pickling processes (re-washing and deliming). The second option is to reuse water in the liming (first and second washing processes) and pickling processes (re-washing, deliming, and post-deliming). The first option saved 33% of the water used in the lime process and 78% in the pickling process. The second option uses 33% less water for the lime process and 84% less for the pickling process. Reusing water saves not only pure water but also minimizes wastewater, which has the potential to harm the environment. Therefore, water reuse positively influences environmental preservation efforts and the realization of a green industry by enabling industrial operations to take place without negatively impacting the environment.

* Penulis Korespondensi

Aviasti
E-mail: aviasti98@gmail.com

This is an open-access article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.



© 2022. Some rights reserved

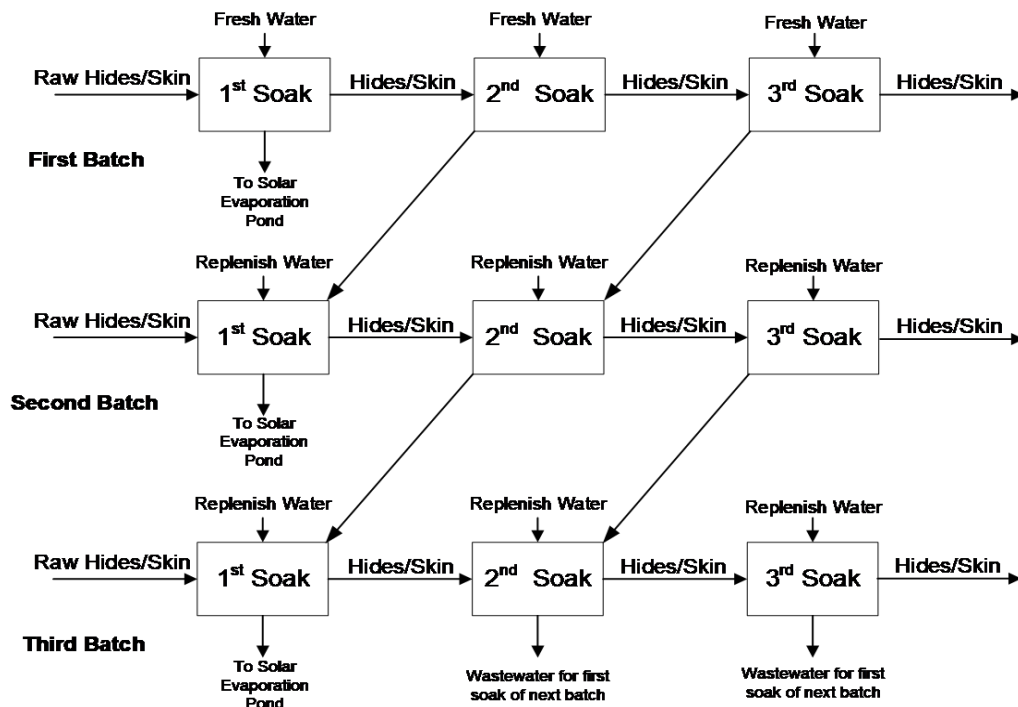
1. PENDAHULUAN

Perkembangan ekonomi dan kesadaran sosial yang meningkat mendorong industri untuk lebih memperhatikan faktor kesehatan dan ekologi. Industri kulit merupakan salah satu industri yang berperan dalam mendorong perkembangan ekonomi lokal, akan tetapi juga mengkonsumsi banyak air menyebabkan pencemaran lingkungan yang luar biasa dan merusak rantai biologis. Di antara rangkaian proses pengolahan kulit, proses *beam house* dan penyamakan (*tanning*) merupakan tahapan pengolahan kulit yang menyebabkan polusi yang tinggi. Proses *beam house* memberikan kontribusi kandungan organik dan sulfida yang tinggi pada limbah cair sedangkan proses penyamakan menghasilkan kandungan garam yang tinggi dalam air limbah penyamakan (seperti *klorida, ammonium, kromium* dan *sulfat*). Oleh karena itu, kulit yang ditangani dengan produksi yang lebih bersih dan limbah yang dikelola lebih baik merupakan masalah utama bagi pembangunan berkelanjutan dari industri kulit (Rajamani et al., 2009).

Salah satu pendekatan yang bisa dilakukan untuk mengurangi dampak negatif dari industri kulit adalah dengan penerapan *Circular Economy* (CE). CE adalah sistem pertumbuhan dan perkembangan ekonomi yang mengintegrasikan sumber daya ekonomi dan faktor lingkungan berdasarkan metabolisme material yang menerapkan mekanisme penggunaan bahan baku yang efisien dan

modifikasi aliran limbah (Cui & Zhang, 2018; Zhou & Smulders, 2021). CE merekomendasikan sistem ekonomi dibangun berdasarkan aliran material dan energi dengan mengubah aliran linier menjadi aliran melingkar. Daur ulang industri bertujuan untuk meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya alam dan mengurangi timbulnya polusi dengan mengubah proses dan aliran material, menerapkan teknologi baru, dan menerapkan manajemen yang tepat.

Prinsip dasar model CE adalah mendorong terciptanya sistem industri dan ekonomi yang mengandalkan kolaborasi aktor dan kontrol aliran material dan energi sehingga mereka dapat menggunakan bahan limbah dan sumber energi satu sama lain untuk mengurangi konsumsi sumber daya alam dan input energi (Hu et al., 2011). CE memiliki karakteristik konsumsi sumber daya yang rendah, pembuangan limbah yang rendah dan efisiensi yang tinggi dengan menggunakan prinsip dasar *Reduce, Reuse* dan *Recycle*. CE dapat membantu meningkatkan produktivitas sumber daya dan *eco-efficiency*, mengubah pengelolaan lingkungan dan mencapai pembangunan berkelanjutan (Geng et al., 2009; Liu et al., 2009). Di Indonesia, konsep CE sedang dipromosikan oleh pemerintah sebagai salah satu upaya untuk meningkatkan peran industri pada ekonomi Indonesia dengan dampak lingkungan yang minimal terutama berkaitan dengan konsumsi sumber daya alam dan energi.



Gambar 1. Skema Proses Penggunaan Air Kembali pada Tahap Soaking pada Metode Counter-Current Soaking

Industri yang berwawasan lingkungan juga menjadi perhatian penting dalam pengembangan industri kulit di Indonesia, termasuk didalamnya industri penyamakan kulit. Industri penyamakan kulit adalah industri yang mengolah kulit mentah menjadi kulit siap samak (kulit jadi). Penyamakan kulit bertujuan agar kulit menjadi awet dan tidak mudah rusak yang diakibatkan oleh faktor fisika, kimia, maupun biologi. Proses penyamakan kulit awalnya dilakukan secara tradisional dengan bahan-bahan nabati dan menggunakan alat yang sederhana. Saat ini, proses penyamakan kulit banyak menggunakan mesin-mesin produksi yang modern serta bahan tambahan unsur kimia seperti kapur, natrium sulfida, garam dapur, asam sulfat, dan krom (Rosilawati, 2011). Secara statistik, kapasitas pengolahan kulit adalah sekitar $1,5 \times 10^{10}$ kg kulit per tahun dengan debit air limbah rata-rata lebih dari $1,5 \times 10^{10}$ kg per hari dan limbah padat diperkirakan 6×10^9 kg per tahun (Rajamani et al., 2009). Banyaknya konsumsi air pada industri ini juga perlu mendapat perhatian karena menimbulkan kerugian seperti meningkatnya komponen biaya penggunaan air dan semakin banyaknya limbah cair yang dihasilkan. Umumnya, 1×10^3 kg kulit mentah membutuhkan $1,5 \times 10^4$ atau $1,2 \times 10^5$ kg air, bahkan dengan teknologi terbaru saat ini, air yang diperlukan berkisar $1,5 - 5 \times 10^4$ kg, jumlah ini tergolong sangat besar (Hu et al., 2011). Literatur lain menyebutkan bahwa industri kulit membutuhkan sekitar 30-40 L air per kg kulit yang diproses, 35% dikonsumsi untuk pencucian, dan 57% pada tahap penyamakan dan penyamakan ulang (Rao et al., 2003).

Pengurangan air limbah dari proses penyamakan kulit dapat dilakukan dengan beberapa cara diantaranya pengurangan penggunaan jumlah air bersih dan kontrol kondisi teknis pada proses penyamakan (de Aquim et al., 2019). Kontrol kondisi teknis misalnya mengatur jumlah air yang digunakan dikombinasikan dengan pengaturan kecepatan putar drum atau mesin sehingga proses dapat berjalan dengan baik dengan menggunakan air sedikit mungkin. Daur ulang dan penggunaan kembali air pada setiap tahap penyamakan kulit memungkinkan dilakukan dengan tujuan pengurangan air limbah. *Counter-current soaking* dan penggunaan kembali (langsung tanpa *pre-treatment*) air dari proses *non-critical* dapat menjadi pilihan dalam mengurangi jumlah penggunaan air bersih pada tahapan penyamakan kulit. Metode *counter-current soaking* memungkinkan penghematan jumlah air dimana kulit bergerak ke satu arah namun air mengalir berlawanan arah dalam diagram prosesnya (Gambar 1). Teknik ini dapat memberikan penghematan bersih sekitar 67% dari air yang umumnya digunakan untuk proses perendaman (Rao et al., 2003).

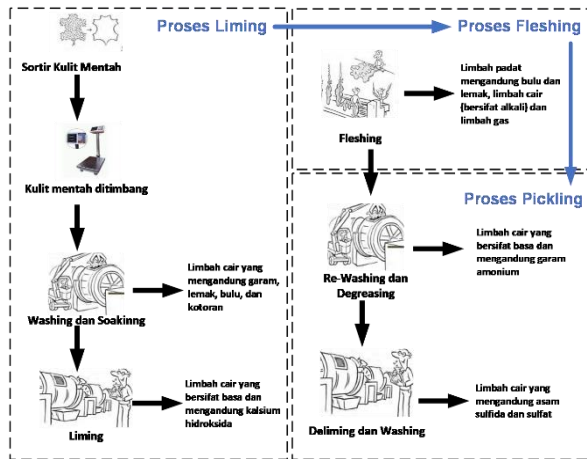
Penelitian lain membahas mengenai penggunaan kembali air limbah dari tahap retanning setelah penyaringan pada limbah kulit dari proses pencukuran. Kulit yang diperoleh dengan penggunaan kembali air ini menunjukkan karakteristik yang mirip dengan kulit yang diawetkan kembali dengan air tawar bersih (Kanagaraj et al., 2015; Romero-Dondiz et al., 2016). Penggunaan air laut sebagai pengganti air tawar untuk pengolahan kulit dibahas oleh Vedaraman et al. (2003). Hasilnya penelitian menunjukkan bahwa air laut yang telah diolah sebelumnya dapat digunakan untuk operasi tertentu dalam pemrosesan kulit tanpa penurunan kualitas kulit, sedangkan penelitian yang membahas mengenai limbah penyamakan kulit di Indonesia sebagian besar membahas mengenai cara pengolahan dan teknologi yang digunakan untuk mengurangi kadar zat berbahaya pada limbah cair dari penyamakan kulit (Nugraha et al., 2018; Rosilawati, 2011; Sutyasmi, 2014; Yuliatmo & Udkhiyati, 2020).

Berdasarkan penelitian-penelitian tersebut, beberapa cara dapat diterapkan pada industri penyamakan kulit di Sukaregang untuk efisiensi penggunaan air bersih tanpa mengurangi kualitas produk akhir kulit yang dihasilkan. Untuk itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efisiensi penggunaan air bersih dengan memanfaatkan kembali air limbah pada perusahaan penyamakan kulit skala kecil. Penggunaan air bersih maupun air limbah yang dimanfaatkan kembali hanya untuk tahapan proses basah (*beam house*) sebelum dilakukan proses *chroming* (*tanning*).

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Perusahaan penyamakan kulit skala kecil di Sukaregang, Garut, Jawa Barat, Indonesia. Perusahaan ini merupakan salah satu perusahaan penyamakan kulit yang hanya melakukan penyamakan kulit domba atau kambing. Proses penyamakan kulit sangat erat kaitannya dengan penggunaan air dalam proses penyamakan kulit. Salah satu proses yang banyak menggunakan air adalah proses *Beamhouse*. Daerah Sukaregang Garut merupakan daerah yang memiliki sumber air melimpah. Hal ini menyebabkan para penyamak kulit tidak pernah menjadikan ketersediaan air sebagai faktor yang harus diperhatikan dalam melakukan proses penyamakan. Kondisi ini berdampak pada penggunaan air bersih dalam jumlah banyak untuk proses penyamakan yang berujung pada jumlah limbah cair yang banyak pula. Apabila hal ini tidak diperhatikan maka akan berdampak pada pencemaran sungai yang semakin parah dan berkurangnya cadangan air tanah. Gambar 2 menunjukkan tahapan industri penyamakan kulit yang dilakukan salah satu

perusahaan penyamakan kulit skala kecil di Sukaregang, Garut, dimana setiap tahapannya banyak menggunakan air serta bahan kimia pada berbagai unit operasinya, akibatnya air dalam jumlah besar keluar sebagai limbah.

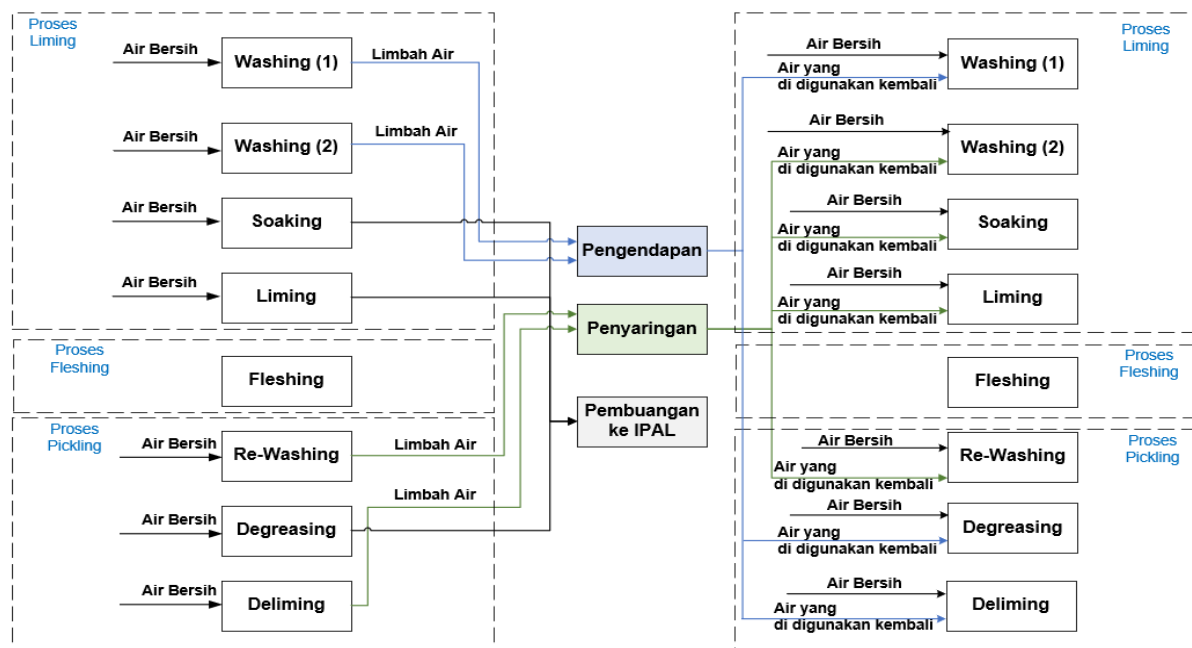


Gambar 2. Proses *Beam House* yang dilakukan di Penyamakan Kulit Sukaregang-Garut

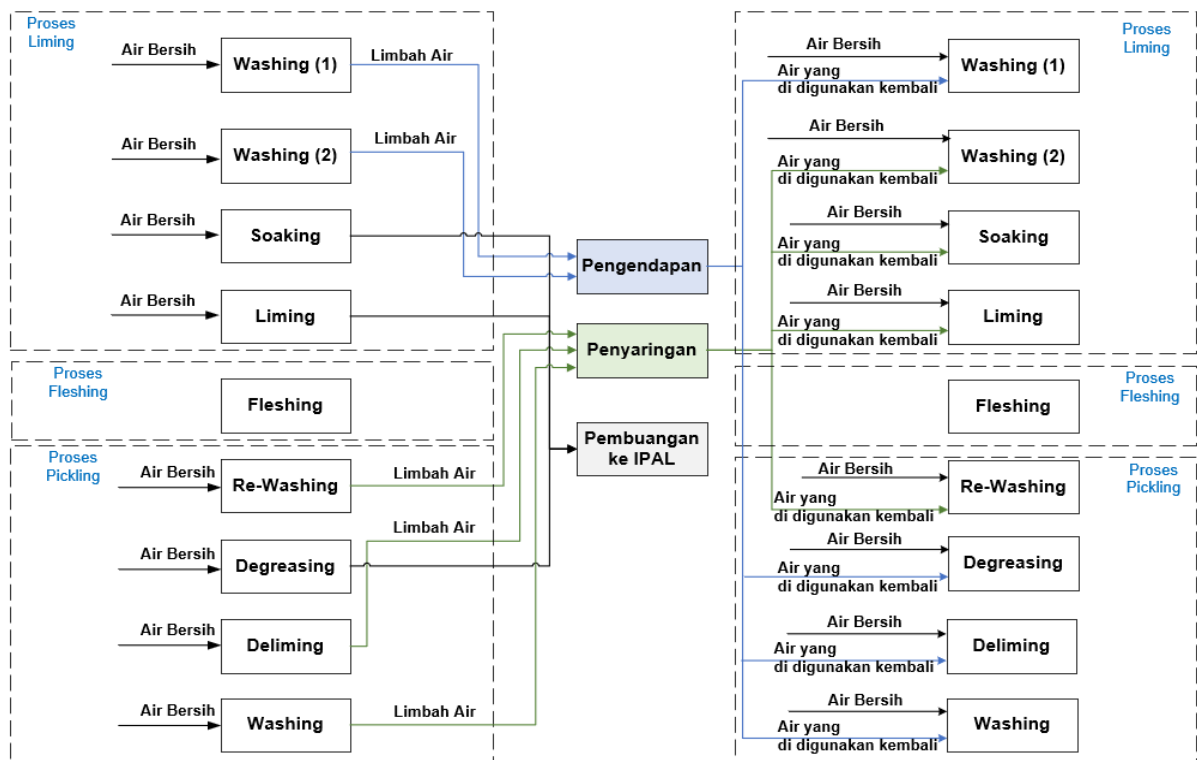
Penelitian ini mencoba mengidentifikasi dan menganalisis alternatif yang dapat dilakukan oleh penyamak kulit untuk menghemat penggunaan air bersih. Cara yang diambil adalah menganalisis alternatif pengurangan konsumsi air bersih dengan menggunakan kembali limbah cair pada proses-proses non kritis. Alternatif tersebut dilakukan berdasar pada hasil penelitian sebelumnya yang menjelaskan mengenai kemungkinan

penggunaan kembali air bekas suatu tahap pada proses *beam house* pada proses untuk *batch* selanjutnya. Menurut Hu et al. (2011), secara teoritis bagian dari cairan kapur daur ulang atau cairan pencuci dapat ditambahkan untuk proses perendaman berikutnya, karena sisa-sisa basa dapat mempercepat proses perendaman. Alternatif penggunaan kembali air (*water reuse*) dari tahap *non-critical* juga mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh Nazer et al. (2006) yang menjelaskan bahwa *water reuse* dari tahap *non-critical* tidak mempengaruhi kualitas organoleptik kulit samak (Gutterres et al., 2010).

Penelitian ini dilakukan dengan 5 tahapan yaitu: 1) penentuan lingkup penelitian yaitu proses *beamhouse*; 2) pengumpulan data (observasi proses produksi dan wawancara); 3) identifikasi kebutuhan air bersih, bahan-bahan kimia yang ditambahkan pada setiap tahap proses *beam house*; 4) identifikasi limbah yang dihasilkan di setiap tahapan proses *beam house*; dan 5) perhitungan efisiensi penggunaan air untuk proses *beam house*. Alternatif pengurangan jumlah air bersih yang digunakan untuk proses *beam house* dirumuskan berdasarkan pada perhitungan penggunaan air di setiap tahap pada proses *beam house* dan berdasarkan hasil penelitian sebelumnya. Pada penelitian ini, ada dua alternatif pengurangan penggunaan air bersih yang dihitung. Alternatif ini hanya membahas berapa jumlah air yang masuk dan keluar dan apakah secara teori dapat digunakan kembali atau tidak.



Gambar 3. Diagram Alir *Water-Reuse* (Alternatif 1)



Gambar 4. Diagram Alir Water-Reuse (Alternatif 2)

Alternatif pertama yaitu menggunakan kembali air dari pencucian/*washing* pertama dan kedua (pada proses *liming*) dan air dari proses *re-washing* dan *deliming* pada tahap *pickling* (Gambar 3). Air yang digunakan kembali sebanyak 75% dari volume air bersih yang masuk. Air limbah dari proses *washing* 1 dan *washing* 2 ditampung terlebih dahulu untuk mengendapkan limbah padat yang terkandung dalam limbah cair seperti lemak, daging, serta bulu. Air limbah dari tahap *pickling* disaring dulu sebelum digunakan kembali karena limbah cair dari tahap *pickling* cenderung lebih bersih dibanding air limbah dari tahap *liming*. Air limbah ini (dari proses *liming* dan *pickling*) kemudian digunakan untuk proses *batch* dicampur dengan air bersih.

Alternatif kedua, hampir sama seperti alternatif pertama yaitu menggunakan kembali air limbah dari tahap *liming* dan tahap *pickling*. Untuk alternatif kedua, air limbah yang digunakan kembali dari *washing* pertama dan kedua (pada tahap *liming*) dan air limbah dari proses *re-washing*, *deliming*, dan proses *washing* setelah *deliming* (pada tahap *pickling*). Aliran air pada alternatif kedua ini digambarkan pada Gambar 4.

Pada penelitian ini belum dilakukan uji laboratorium mengenai karakteristik air limbah yang digunakan kembali dari kedua alternatif tersebut dan seberapa besar pengaruhnya pada kualitas

kulit hasil samak. Akan tetapi, berdasarkan hasil dari beberapa penelitian menyatakan bahwa penggunaan kembali air limbah dari proses yang tidak kritis tidak akan mempengaruhi kualitas kulit tersamak secara keseluruhan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebagaimana dijelaskan sebelumnya, penyamakan kulit memerlukan air dalam jumlah besar terutama pada proses *beam house* atau dikenal dengan proses basah. Pada proses *beam house*, air digunakan untuk perendaman pencucian kulit mentah yang masih kotor, proses perontokan bulu, dan pembersihan/pemisahan kulit dari lemak dan daging yang menempel. Jumlah air yang diperlukan untuk proses penyamakan tergantung jumlah kulit yang disamak dan ukuran drum yang digunakan. Umumnya, untuk proses pengolahan kulit di dalam drum memerlukan air paling sedikit setengah dari volume drum. Semakin besar ukuran drum akan semakin banyak jumlah kulit yang diolah dan semakin banyak pula jumlah air yang digunakan. Kuantitas kulit yang disamak juga bergantung pada pasokan kulit mentah. Perusahaan menerima pasokan kulit mentah rata-rata 50 ton atau 20000 lembar kulit per bulan. Berdasar proses yang dilakukan di perusahaan kulit di tempat penelitian, dapat diketahui bahwa penggunaan air terbesar pada

proses *liming* adalah untuk pencucian (*washing*) begitu juga pada proses *pickling* (Tabel 1).

Tabel 1. Volume Penggunaan Air Bersih pada Proses *Beamhouse* (Satu Kali Proses)

Proses	Sub proses	Kebutuhan air/proses (m ³)	Kebutuhan air/bulan (m ³)
<i>Liming</i>	<i>Washing</i>	28.85	
	<i>Soaking</i>	14.42	
	<i>Liming</i>	14.42	
	Jumlah	57.70	1154
<i>Pickling</i>	<i>Washing</i>	14.72	
	<i>Degreasing</i>	7.36	
	<i>Deliming</i>	7.36	
	Jumlah	29.44	736

Pada alternatif pertama, volume air yang dapat digunakan kembali untuk satu kali proses diuraikan pada Tabel 2. Limbah cair yang sudah melalui pengendapan kemudian dialokasikan penggunaannya dalam proses *beam house*. Air tidak sepenuhnya digunakan kembali tapi dicampur air bersih dengan jumlah sebagaimana diuraikan pada Tabel 3. sedangkan alokasi air per bulan pada setiap proses *beam house* diuraikan pada Tabel 4.

Tabel 2. Volume Sumber *Water-Reuse* dari Setiap Sub-Proses

Sumber air yang digunakan kembali	Volume Air (m ³)
<i>Washing</i> (1)	10.82
<i>Washing</i> (2)	10.82
<i>Re-Washing</i>	11.04
<i>Deliming</i>	5.52
Jumlah	38.20

Tabel 3. Alokasi Penggunaan *Water-Reuse* Setiap Sub-Proses

Proses	<i>Water reuse</i> (m ³)	Air bersih (m ³)
<i>Washing</i> (1)	4.77	9.65
<i>Washing</i> (2)	4.77	9.65
<i>Soaking</i>	4.77	9.65
<i>Liming</i>	4.77	9.65
<i>Washing</i>	9.55	5.17
<i>Degreasing</i>	4.77	2.58
<i>Deliming</i>	4.77	2.58
Jumlah	38.20	48.94

Tabel 4. Volume Penggunaan *Water-Reuse* dalam Satu Bulan

Proses	<i>Water reuse</i> (m ³)	Air bersih (m ³)
<i>Washing</i> (1)	95.49	193.00
<i>Washing</i> (2)	95.49	193.00
<i>Soaking</i>	95.49	193.00
<i>Liming</i>	95.49	193.00
<i>Washing</i>	238.72	129.25
<i>Degreasing</i>	119.36	64.62
<i>Deliming</i>	119.36	64.62
Jumlah	859.39	1030.50

Pada alternatif kedua, volume air yang dapat digunakan kembali pada setiap sub-proses beserta volume air bersih yang diperlukan (Tabel 5). Alokasi penggunaan air kembali dalam satu kali proses *beam house* dan total kebutuhan air 1 bulan (Tabel 6 dan Tabel 7). Alternatif kedua menghasilkan penghematan sebesar 381,95 m³ untuk proses *liming* atau setara dengan tingkat efisiensi sebesar 33%. Untuk proses *pickling* diperkirakan dapat mengurangi penggunaan air sebanyak 738,51 m³ persentase sebanyak 84%.

Tabel 5. Volume Sumber *Water-Reuse* Setiap Sub-Proses (Alternatif 2)

Sumber Air yang akan digunakan kembali	Volume Air (m ³)
<i>Washing</i> (1)	10.82
<i>Washing</i> (2)	10.82
<i>Re-Washing</i>	6.00
<i>Deliming</i>	6.00
<i>Washing</i>	6.00
Jumlah	49.23

Tabel 6. Alokasi *Water-Reuse* dalam Setiap Sub-Proses (Alternatif 2)

Proses	<i>Reuse water</i> (m ³)	Air bersih (m ³)
<i>Washing</i> (1)	4.92	9.50
<i>Washing</i> (2)	4.92	9.50
<i>Soaking</i>	4.92	9.50
<i>Liming</i>	4.92	9.50
<i>Washing</i>	9.85	4.87
<i>Degreasing</i>	4.92	2.44
<i>Deliming</i>	4.92	2.44
<i>Washing</i>	9.85	4.87
Jumlah	49.23	52.62

Tabel 7. Volume *Water-Reuse* Dalam Satu Bulan (Alternatif 2)

Proses	<i>Water-Reuse</i> (m ³)	Air bersih (m ³)
<i>Washing</i> (1)	95.49	190.02
<i>Washing</i> (2)	95.49	190.02
<i>Soaking</i>	95.49	190.02
<i>Liming</i>	95.49	190.02
<i>Washing</i>	246.17	121.80
<i>Degreasing</i>	123.09	60.90
<i>Deliming</i>	123.09	60.90
<i>Washing</i>	246.17	121.80
Jumlah	1120.46	1125.47

4. KESIMPULAN

Efisiensi air yang digunakan dengan cara menggunakan kembali air dari hasil beberapa proses yang selanjutnya melalui penyaringan dan pengendapan. Diketahui jika dari skema pertama *water-reuse* yang dengan total yang digunakan

sebesar 859,39 m³ hasil tersebut mendapatkan efisiensi sebesar 33% pada *liming* dan 78% pada *pickling*. Kemudian untuk skema kedua *water-reuse* yang dapat digunakan adalah 1120.46 m³ dan efisiensi sebanyak 33% pada *liming* dan untuk *pickle* persentase sebanyak 84%. Berdasarkan uji laboratorium pada penelitian sebelumnya terhadap kualitas hasil akhir pada proses *beamhouse* (sebelum proses penyamakan *Chrome*), baik dengan menggunakan air bersih maupun penggunaan kembali air limbah maka hasilnya tidak mengalami perubahan yang signifikan (masih dalam batas toleransi).

DAFTAR PUSTAKA

- Cui, T., & Zhang, J. (2018). Bibliometric and review of the research on circular economy through the evolution of Chinese public policy. *Scientometrics*, *116*(2), 1013–1037. <https://doi.org/10.1007/s11192-018-2782-y>
- de Aquim, P. M., Hansen, É., & Gutterres, M. (2019). Water reuse: An alternative to minimize the environmental impact on the leather industry. *Journal of Environmental Management*, *230*, 456–463. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.09.077>
- Geng, Y., Zhu, Q., Doberstein, B., & Fujita, T. (2009). Implementing China's circular economy concept at the regional level: A review of progress in Dalian, China. *Waste Management*, *29*(2), 996–1002. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2008.06.036>
- Gutterres, M., Aquim, P. M., Passos, J. B., & Trierweiler, J. O. (2010). Water reuse in tannery beamhouse process. *Journal of Cleaner Production*, *18*(15), 1545–1552. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.06.017>
- Hu, J., Xiao, Z., Zhou, R., Deng, W., Wang, M., & Ma, S. (2011). Ecological utilization of leather tannery waste with circular economy model. *Journal of Cleaner Production*, *19*(2), 221–228. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.09.018>
- Kanagaraj, J., Senthilvelan, T., Panda, R. C., & Kavitha, S. (2015). Eco-friendly waste management strategies for greener environment towards sustainable development in leather industry: a comprehensive review. *Journal of Cleaner Production*, *89*, 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.11.013>
- Liu, Q., Li, H., Zuo, X., Zhang, F., & Wang, L. (2009). A survey and analysis on public awareness and performance for promoting circular economy in China: A case study from Tianjin. *Journal of Cleaner Production*, *17*(2), 265–270. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2008.06.003>
- Nazer, D. W., Al-Sa'Ed, R. M., & Siebel, M. A. (2006). Reducing the environmental impact of the unhairing-liming process in the leather tanning industry. *Journal of Cleaner Production*, *14*(1), 65–74. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2005.04.002>
- Nugraha, A. W., Suparno, O., & Indrasti, N. S. (2018). Analisis material, energi dan toksisitas (MET) pada industri penyamakan kulit untuk identifikasi strategi produksi bersih. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, *28*(1), 48–60. <https://jurnal.ipb.ac.id/index.php/jurnaltin/article/view/23255>
- Rajamani, S., Chen, Z. G., Zhang, S. H., & Su, C. (2009). Recent developments in cleaner production and environment protection in world leather sector. *30th IULTCS Congress*, 1–6. https://icams.ro/icamsresurse/2012/proceedings/IV_Environment_06.pdf
- Rao, J. R., Chandrababu, N. K., Muralidharan, C., Nair, B. U., Rao, P. G., & Ramasami, T. (2003). Recouping the wastewater: a way forward for cleaner leather processing. *Journal of Cleaner Production*, *11*(5), 591–599. [https://doi.org/10.1016/S0959-6526\(02\)00095-1](https://doi.org/10.1016/S0959-6526(02)00095-1)
- Romero-Dondiz, E. M., Almazán, J. E., Rajal, V. B., & Castro-Vidaurre, E. F. (2016). Comparison of the performance of ultrafiltration and nanofiltration membranes for recovery and recycle of tannins in the leather industry. *Journal of Cleaner Production*, *135*, 71–79. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.096>
- Rosilawati, I. (2011). Analisis Strategi Pemasaran Industri Penyamakan Kulit PT Mandiri Karya Mulya di Kabupaten Garut [Bogor Agricultural University (IPB)]. In *Thesis*. <https://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/87872>
- Sutyasmi, S. (2014). Pemanfaatan kembali air limbah terolah dengan sistem wetland untuk pembuatan kulit glace. *Majalah Kulit, Karet, Dan Plastik*, *30*(1), 15–22. <http://bpkimi1.kemenperin.go.id/mkpk/article/view/119/0>
- Vedaraman, N., Iyappan, K., Ramalingam, S., Muralidharan, C., & Rao, P. G. (2003). Use of seawater in leather processing. *The Journal of the American Leather Chemists Association*, *98*(9), 333–336. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?co>

[digo=3381466](#)

Yuliatmo, R., & Udkhiyati, M. (2020). Aplikasi Enzim Bakteri Pada Penyamakan Kulit: Review Dalam Pengolahan Kulit Mutakhir. *Seminar Nasional Teknologi Industri Hijau*, 2(1), 183–189. <https://www.researchgate.net/publication/34>

[8575901](#)

Zhou, S., & Smulders, S. (2021). Closing the loop in a circular economy: Saving resources or suffocating innovations? *European Economic Review*, 139, 103857. <https://doi.org/10.1016/j.euroecorev.2021.103857>