

ANALISIS MATERIAL, ENERGI DAN TOKSISITAS (MET) PADA INDUSTRI PENYAMAKAN KULIT UNTUK IDENTIFIKASI STRATEGI PRODUKSI BERSIH

MATERIAL, ENERGY AND TOXICITY ANALYSES (MET) IN LEATHER INDUSTRY FOR IDENTIFICATION OF CLEANER PRODUCTION STRATEGIES

Aditya Wahyu Nugraha, Ono Suparno^{*}, dan Nastiti S Indrasti

Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor
Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680, Jawa Barat, Indonesia
^{*}E-mail: ono.suparno@ipb.ac.id

Makalah: Diterima 21 Agustus 2017; Diperbaiki 18 November 2017; Disetujui 12 Desember 2017

ABSTRACT

Leather industry is known as industry that unfriendly to the environment, since it produces a lot of wastes in its processes. The objectives of this study were to analyze material, energy and toxicity (MET) and to identify cleaner production strategies which can be applied in leather tannery. This study was survey research. The method used were purposive sampling, MET matrix, wastewater analysis, literature review, dan expert discussion. The study showed some chemical materials which used in processing were irritant, corrosive, and carcinogenic; wastewater of 29.5 m³ and solid wastes of 1,749.14 kg. Hazardous pollutants in the waste water and solid wastes were sulfide, ammonia, and chrome. Ammonia-N produced in deliming and bating process was 4,701.48 mg/L. Cr⁶⁺ produced in the retanning, dyeing and fatliquoring processes was 2.09 mg/L. Sulfide produced in liming process was 646.4 mg/L. Setting out was the highest step to consumed energy, namely 336.37 kWh from 632.08 kWh of total energy consumed. The result of identification showed there were some cleaner production strategies which could be applied in the leather processing. The priority strategies which could be applied were water control and water reuse.

Key words: cleaner production, MET, toxicity, wastes

ABSTRAK

Industri penyamakan kulit dikenal sebagai industri yang tidak ramah lingkungan karena menghasilkan banyak limbah dalam prosesnya. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis material, energi dan toksisitas (MET) dan mengidentifikasi strategi produksi bersih yang dapat diterapkan pada industri penyamakan kulit. Penelitian ini merupakan penelitian survei. Metode yang digunakan meliputi *purposive sampling*, MET matriks, pengujian mutu air limbah, kajian pustaka, diskusi dengan pakar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bahan kimia yang digunakan ada yang bersifat iritan, korosif, dan karsinogenik; limbah cair yang terbentuk 29,5 m³ dan limbah padat 1.749,14 kg (basis basah). Beberapa polutan berbahaya yang terdapat dalam limbah cair maupun padat meliputi sulfida, amonia, dan krom. Amonia-N banyak dihasilkan pada proses *deliming* dan *bating*, yaitu 4.701,48 mg/L, Cr⁶⁺ banyak terbentuk pada proses *retanning*, *dyeing*, *fatliquoring* yakni 2,09 mg/L. Sementara itu, sulfida banyak terbentuk pada proses *liming* yakni 632,08 mg/L. Tahap *setting out* merupakan tahapan yang banyak mengkonsumsi energi dengan total 336,37 kWh dari total 632,08 kWh. Hasil identifikasi menunjukkan terdapat beberapa strategi produksi bersih yang dapat diterapkan dalam proses penyamakan kulit. Dua prioritas strategi yang dapat diaplikasikan adalah pengendalian penggunaan air dan penggunaan kembali air.

Kata kunci: produksi bersih, MET, toksisitas, limbah

PENDAHULUAN

Industri berkelanjutan merupakan suatu kecenderungan yang terjadi saat ini. Adanya peningkatan daya beli konsumen terhadap produk ramah lingkungan merupakan salah satu faktor yang mendorong industri untuk memperbaiki kinerja pada setiap bagian industri. Salah satu kinerja yang perlu diperbaiki adalah bagian produksi. Hal itu dikarenakan dalam setiap proses produksi terdapat limbah yang terbentuk. Salah satu industri yang perlu memperbaiki sistem produksinya adalah industri penyamakan kulit.

Industri penyamakan kulit dikenal sebagai industri yang tidak ramah lingkungan. Menurut Pucini *et al.* (2014), industri penyamakan kulit merupakan industri yang banyak menghasilkan limbah. Pada proses penyamakan kulit dihasilkan limbah cair dan limbah padat dalam jumlah yang sangat tinggi. Hal ini akan memberikan dampak buruk bagi lingkungan yang berada disekitar industri maupun yang berada pada wilayah pembuangan limbah industri kulit samak. Beberapa dampak lingkungan yang timbul dari proses ini adalah GRK (gas rumah kaca), eutrofikasi dan asidifikasi. Selain itu, limbah pada industri penyamakan kulit

mengandung bahan kimia yang bersifat toksik, diantaranya adalah sulfida, amonia, asam, krom dan beberapa bahan kimia lainnya (Ecobichon, 1999; Wang *et al.*, 2012; Black *et al.*, 2013; Madanhire dan Mbohwa, 2015)

Sejauh ini, upaya yang dilakukan industri penyamakan kulit untuk menangani limbah, khususnya limbah cair, adalah dengan IPAL (Instalasi Pengolahan Air Limbah). Namun terdapat sebagian industri yang membuang limbah secara langsung ke lingkungan. Hal tersebut dilakukan karena tingginya biaya operasional dan investasi IPAL. Salah satu langkah yang dapat dilakukan untuk menangani permasalahan ini adalah dengan penerapan strategi produksi bersih di industri penyamakan kulit. Strategi ini diharapkan dapat mengurangi biaya investasi dan operasional dari IPAL.

Strategi produksi bersih dapat dilakukan dengan cara identifikasi langsung di industri penyamakan kulit. Oleh sebab itu, perlu dilakukan identifikasi alur proses produksi sehingga dapat diketahui bagian yang perlu untuk diperbaiki. Identifikasi juga digunakan untuk mengetahui material, energi dan toksisitas yang digunakan maupun yang terbentuk selama proses produksi. Matriks Material, Energi dan Toksisitas (MET) merupakan metode pengukuran kualitatif atau semi kuantitatif yang digunakan untuk memberikan pandangan secara umum mengenai *input* dan *output* dari suatu siklus hidup produk dan menentukan aspek utama dalam perlindungan lingkungan yang dapat dilakukan (Brezet dan Van Hemel, 1997; Lofthouse, 2006). Matriks ini mengorganisasikan informasi pada setiap tahapan siklus hidup, yakni berupa semua *input* yang digunakan, semua tahapan yang menggunakan energi, dan semua *output* yang dihasilkan dengan tujuan untuk penentuan prioritas permasalahan lingkungan selama siklus hidup produk (IHOBE, 1999; Byggeth dan Hochschoer, 2006), sehingga permasalahan tersebut dapat

menjadi prioritas yang harus segera diperbaiki. Metode ini membagi lima langkah tahapan untuk mendefinisikan dampak lingkungan yang muncul pada suatu siklus hidup produk, diantaranya adalah bahan baku, produksi, distribusi, penggunaan dan akhir siklus hidup. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis aliran bahan, energi, dan toksisitas yang ditimbulkan pada proses penyamakan kulit serta mengidentifikasi peluang penerapan produksi bersih di industri penyamakan kulit.

METODE PENELITIAN

Titik Sampling

Penelitian ini dilakukan di industri penyamakan kulit di Magetan, Jawa Timur, Indonesia.

Tahapan Penelitian

Pada penelitian ini terdapat lima tahapan penelitian, yakni pemilihan industri dilakukan menggunakan metode *purposive sampling* (Teddlie dan Yu, 2007), identifikasi material, energi dan toksisitas, analisis limbah cair (APHA, 2012), penyusunan matrik MET (Leal – Yepes, 2013), analisis strategi produksi bersih (Indrasti dan Fauzi 2009) dan penentuan prioritas strategi (Tabel 1).

Ruang Lingkup Penelitian

Kulit samak merupakan komoditas yang menjadi objek penelitian. Pada setiap komoditas memiliki siklus hidup yang memiliki dampak bagi lingkungan. Siklus kulit samak meliputi bahan baku, produksi, distribusi, penggunaan, dan akhir siklus / pembuangan (Stevanov, 2017). Pada penelitian ini, fokus penelitian meliputi neraca massa (*input* dan *output*), energi yang digunakan dan identifikasi toksisitas yang ditimbulkan selama proses produksi. Limbah merupakan bagian dari *output* produksi.

Tabel 1. Tahapan penelitian

Kegiatan	Stakeholder	Metode	Output
Pemilihan industri penyamakan kulit	Peneliti	<i>Purposive sampling</i> (Teddlie dan Yu, 2007)	Industri penyamakan kulit
Identifikasi alur produksi, material, energi dan toksisitas	Peneliti dan praktisi industri	Wawancara dan telaah pustaka	Data proses produksi, material yang digunakan, daya dan durasi mesin yang dipakai dan bahan yang bersifat toksik pada proses penyamakan kulit
Analisis limbah cair	Peneliti	pH, krom heksavalen (Cr^{6+}), amonia dan sulfida (APHA, 2012).	Data parameter limbah cair
Penyusunan matrik MET	Peneliti	Matrik MET (Leal – Yepes, 2013)	Sebaran data material, energi, dan toksisitas pada keseluruhan proses penyamakan kulit
Analisis strategi produksi bersih	Peneliti, pakar dan praktisi	Survei, Kajian Pustaka dan MPE (Marimin dan Maghfiroh, 2011)	Strategi produksi bersih sesuai prioritas strategi.

Industri yang dikaji merupakan industri skala kecil menengah. Pemilihan industri ini dikarenakan pada industri masih menghasilkan limbah dalam jumlah yang besar dan belum dimanfaatkan. Selain itu, limbah yang terbuang ke lingkungan mengandung bahan kimia yang bersifat toksik. Penelitian dilakukan dengan observasi lapang ke industri untuk wawancara mengenai material dan energi yang digunakan selama proses produksi. Sementara itu, toksisitas dikumpulkan berdasarkan kumpulan kajian pustaka yang telah dilakukan. Proses wawancara dilakukan dengan mewawancarai pemilik industri dan pekerja. Kemudian dilakukan analisis limbah cair pada beberapa tahapan penyamakan kulit, penyusunan matrik MET (Material, energi and toksisitas) dan analisis strategi produksi bersih. Selanjutnya, analisis prioritas strategi dilakukan menggunakan MPE (Metode Perbandingan Eksponensial).

HASIL DAN PEMBAHASAN

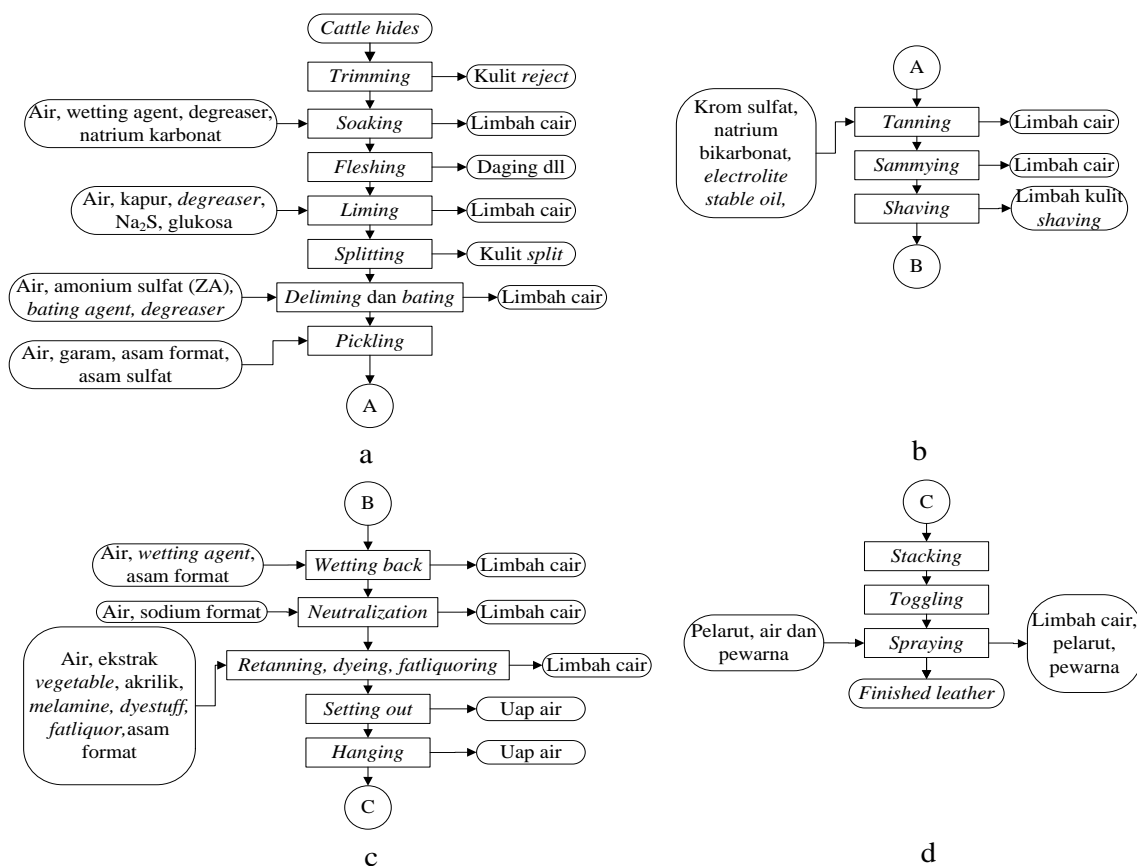
Identifikasi Proses Produksi Kulit Samak

Industri penyamakan kulit merupakan industri yang bergerak dalam bidang konversi kulit mentah menjadi kulit samak. Kulit tersebut akan resisten terhadap perubahan fisik, mekanik, biologi dan kimia. Pada umumnya, proses penyamakan kulit

dikelompokkan kedalam beberapa proses yakni prasamak (*beamhouse*), samak (*tanning*), pasca samak (*posttanning*) dan *finishing* secara berurutan (Covington, 2009). Tahapan tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.

Beamhouse / Prapenyamakan merupakan proses yang paling banyak menggunakan air selama proses berlangsung. Proses ini bertujuan untuk mempersiapkan kulit mentah menjadi kulit pikel yang siap untuk disamak. Dalam proses *beamhouse* terdapat beberapa tahapan, yaitu *soaking*, *liming*, *deliming*, *bating* dan *pickling* (Covington, 2009). Selain itu, juga terdapat perlakuan mekanis yang dilakukan untuk menghasilkan kulit pikel seperti *fleshing* dan *splitting*.

Soaking merupakan proses awal yang dilakukan dalam *beamhouse*. Menurut BASF (2007), tujuan dari tahapan ini adalah untuk merehidrasi kulit menjadi kondisi normal, menghilangkan kotoran, protein terlarut dan *curing agent*. Menurut IL dan SF (2009), kebutuhan air pada *dirt soaking* adalah 300 – 400%, sementara itu pada *main soaking* sebesar 200% (Covington, 2009). Hasil analisis menunjukkan bahwa jumlah limbah cair yang terbentuk di industri penyamakan kulit skala kecil menengah selama *soaking* sebesar 10,73 m³ per 1,5 ton kulit garaman yang digunakan.



Gambar 1. Alur proses produksi kulit samak a) *beamhouse*, b) *tanning*, c) *posttanning*, dan d) *finishing*.

Liming merupakan tahapan proses yang dilakukan untuk menghilangkan jaringan rambut dan epidermis pada kulit (BASF, 2007; IL dan FS, 2009). *Liming* juga merupakan tahapan proses yang banyak menghasilkan limbah cair. Tingginya penggunaan air mempengaruhi jumlah limbah cair yang terbentuk. Menurut Sundar *et al.* (2001), kebutuhan air pada *liming* sebesar 4 – 6 m³ per ton kulit. Sementara itu, hasil analisis limbah cair yang terbentuk selama proses ini sebesar 8,9 m³ per 1,5 ton kulit. Selain itu, dalam proses ini juga dihasilkan senyawa toksik seperti hidrogen sulfida dan nilai pH limbah cair mencapai 11 – 12,5.

Fleshing merupakan tahapan proses yang bertujuan untuk menghilangkan sisa – sisa daging yang masih menempel di kulit dan menghilangkan lapisan antara daging dan kutis. Sementara itu, *splitting* merupakan tahap yang dilakukan untuk menipiskan jaringan kolagen kulit (*hide*) sebelum disamak (Covington, 2009; IL dan FS, 2009). Analisis menunjukkan bahwa limbah padat yang terbentuk sebesar 1.483,1 kg (basis basah).

Deliming merupakan salah satu tahap persiapan sebelum kulit disamak. Tujuan utama dari tahap ini adalah untuk menghilangkan kapur yang terdapat pada kulit. Selain itu juga untuk menurunkan pH sebelum masuk ke dalam tahap *bating* serta mengembalikan ukuran kulit setelah terjadinya pembengkakan (Covington, 2009). Menurut IL dan FS (2009), penurunan pH pada *deliming* terjadi pada pH 12,2 – 12,5 menjadi 8 – 8,5. Hal ini bertujuan agar enzim yang akan digunakan pada *bating* dapat bekerja. Penggunaan ammonium pada tahap ini dapat menimbulkan pencemaran pada lingkungan. Amonia / ammonium dapat menyebabkan terjadinya proses eutrofikasi dan asidifikasi di lingkungan (Sutton *et al.*, 2008). Setelah proses ini, dilakukan proses *bating*. *Bating* merupakan tahapan yang terintegrasi dengan *deliming*. Tujuan dari *bating* adalah untuk mendegradasi protein non structural pada kulit. Protein tersebut dapat didegradasi dengan menggunakan enzim protease yang umum (Covington, 2009). *Deliming* dan *bating* merupakan tahapan yang terintegrasi dan tidak menghasilkan limbah.

Pickling merupakan proses yang dilakukan untuk menyesuaikan dengan pH pada proses *tanning*. Selain itu juga digunakan untuk proses pengawetan (BASF, 2007; Covington, 2009; IL dan FS, 2009). Di industri penyamakan kulit, umumnya air yang dihasilkan pada *pickling* akan digunakan langsung pada proses *tanning*. Dengan demikian, tidak ada limbah cair yang terbentuk pada proses ini. Namun pada beberapa industri dengan kejadian tertentu akan membuang limbah cair *pickling*. Menurut Sundar *et al.* (2001), kebutuhan air pada tahap ini sekitar 0,8 – 1 m³ per 1 ton kulit. Hasil analisis yang telah dilakukan di industri penyamakan

kulit menunjukkan bahwa kebutuhan air pada *pickling* sebesar 1,43 m³ per 1,5 ton kulit.

Penyamakan (*tanning*) merupakan proses inti dalam penyamakan kulit (Gambar 1b). Hal ini dikarenakan kulit akan mengalami perubahan sifat fisik, mekanik, kimia, dan biologi. Pada proses ini, senyawa krom akan berikatan dengan gugus aktif pada kolagen sehingga terbentuk ikatan yang kompleks (Covington, 2009). Pada proses penyamakan, input air hanya berasal dari larutan pikel. Dengan demikian, maka limbah cair yang terbentuk selama proses ini juga bersifat asam. Analisis menunjukkan bahwa limbah cair yang terbentuk selama proses penyamakan (*tanning*) sebesar 1,43 m³ limbah cair. Sundar *et al.* (2001) menyatakan bahwa penggunaan air dalam tahap ini sebesar 1,5 – 2 m³ per ton kulit. Pada proses *tanning* juga terdapat perlakuan mekanis seperti *shaving* dan *sammying*. Setelah proses penyamakan (*tanning*), kulit samak (*wet blue*) masuk kedalam proses *sammying* dan *shaving*. Kedua proses ini merupakan proses antara *tanning* dan *posttanning*. *Sammying* merupakan tahapan mekanis untuk mengurangi kelebihan kadar air pada *wet blue*. Sementara itu, *shaving* dilakukan untuk mengecilkan ketebalan kulit (*wet blue*). Pada tahap ini, dihasilkan limbah padat berupa kulit yang telah bereaksi dengan senyawa krom. Analisis menunjukkan bahwa limbah padat yang terbentuk sebesar 261,19 kg per 1,5 ton kulit (berat basah).

Retanning, *dyeing*, dan *fatliquoring* merupakan bagian dari proses *posttanning*. Proses ini memiliki fungsi yang berbeda. *Retanning* merupakan penyamakan ulang. Proses ini bertujuan untuk menyempurnakan penyamakan pada kulit sehingga kulit yang dihasilkan lebih resisten terhadap kerusakan. *Dyeing* merupakan proses pewarnaan dasar pada kulit samak. Proses ini dilakukan setelah proses *retanning*. Sementara itu, *fatliquoring* merupakan proses yang digunakan untuk memberikan minyak pada kulit sehingga kelembapan kulit dapat terjaga dan juga memberikan efek lentur. Ketiga proses ini dilakukan secara berurutan tanpa mengganti air pada setiap pergantian proses. Namun sebelum masuk kedalam tahap ini, terdapat proses *wetting back* dan *neutralization* (Covington, 2009) (Gambar 1c). Sama halnya dengan *beamhouse* dan *tanning*, *posttanning* juga menggunakan air sebagai media reaksi bahan kimia yang digunakan selama proses. Menurut Sundar *et al.* (2001), kebutuhan air pada proses ini sebesar 2,5 – 3 m³ per ton kulit. Namun hasil analisis menunjukkan bahwa kebutuhan air dan limbah cair pada tahap ini sebesar 2,5 m³ per 1,5 ton kulit.

Finishing merupakan tahap akhir dari proses penyamakan yang tidak melibatkan banyak air pada saat berjalannya proses. Pada tahap ini mencakup *stacking*, *toggling*, *embossing*, *buffing*, dan *spraying*. Pada tahap ini dihasilkan limbah padat dan cair, namun dalam jumlah yang sangat kecil.

Industri penyamakan kulit di Magetan umumnya melakukan seperti Gambar 1d.

MET (Material, Energy and Toxicity)

Material

Bahan kimia merupakan faktor keberhasilan produksi kulit samak. Hasil analisis menunjukkan bahwa bahan kimia yang digunakan dalam menghasilkan kulit samak diantaranya adalah kapur / kalsium hidroksida (Ca(OH)₂), natrium sulfida, ammonium sulfat, *bating agent*, *degreaser*, garam, asam format, sodium format, asam sulfat, krom sulfat, pewarna, akrilik, ekstrak *vegetable* dan minyak. Selain itu, komponen yang tidak terpisahkan adalah air (Tabel 2). Air merupakan media reaksi antara bahan kimia dengan kulit. Menurut Buljan *et al.* (2000), air yang digunakan dalam proses produksi kulit samak sekitar 3.500%

dari bobot awal kulit yang digunakan. Air yang dibutuhkan pada industri ini adalah sebanyak 29,3 m³per 1,5 ton kulit (Tabel 2). Berdasarkan data Huber dan Doane (1980), kebutuhan rata – rata air pada proses penyamakan kulit adalah 49,5 m³/ton, disisi lain US EPA (1979), menyatakan bahwa rata – rata kebutuhan air pada proses penyamakan kulit adalah 28 m³/ton. Dengan demikian, maka industri penyamakan kulit di Magetan lebih efisien dalam penggunaan air dibandingkan penelitian sebelumnya.

Limbah merupakan material samping dari proses produksi penyamakan kulit, yakni berupa limbah padat dan limbah cair banyak dihasilkan. Hasil analisis menunjukkan bahwa limbah cair yang terbentuk sebesar 29,5 m³, sedangkan limbah padat yang terbentuk adalah 1.749,14 kg (basis basah) dengan bahan baku kulit mentah sebanyak 1,5 ton (Tabel 2).

Tabel 2. MET pada proses penyamakan kulit

Proses	Input		Output		Energi (kWh)	Toksisitas
	Bahan	Jumlah	Jenis	Jumlah		
Beamhouse / prasmak	Kulit (kg)	1.500	Limbah padat (kg)	1.614,53	110,80	Klorida Biosida ^d Amonia N ^b Sulfida ^c Sulfat ^c
	Air (L)	26.748,6	Limbah cair (L)	22.854,1		
	<i>Wetting agent</i> (kg)	3,00	Kulit piket (kg)	1.425,90		
	<i>Degreaser</i> (kg)	7,35	Air piket (L)	1.425,90		
	Natrium karbonat (kg)	3,83				
	Kapur (kg)	60,00				
	Natrium sulfida(kg)	22,50				
	Glukosa (kg)	3,00				
	Ammonium sulfat (kg)	28,52				
	<i>Bating agent</i> (kg)	4,28				
	NaCl (kg)	142,59				
	Asam format (kg)	7,13				
	Asam sulfat (kg)	2,85				
	Tanning	Kulit piket (kg)	1.425,90	Kulit <i>wet blue</i> (kg)		
Air piket (L)		1.425,90	Limbah padat (kg)	261,19		
Krom sulfat (kg)		99,81	Limbah cair (L)	2.256,94		
Natrium bikarbonat (kg)		21,39				
<i>Oil</i> (kg)		2,85				
Posttanning dan finishing	Kulit <i>wet blue</i> (kg)	609,43	Kulit samak (kg)	347,01	430,01	Asam ^{a, c} Krom ^a
	Air (L)	2.498,02	Limbah cair (L)	2.974,88		
	<i>Wetting agent</i> (kg)	0,61	Limbah padat (kg)	3,85		
	Natrium format (kg)	9,14				
	Akrilik (kg)	12,19				
	Ekstrak tanaman (kg)	12,19				
	Mimosa (kg)	12,19				
	Quebracho (kg)	12,19				
	Chessnut (kg)	12,19				
	Melamin (kg)	12,19				
	<i>Dyestuff</i> (kg)	37,51				
	<i>Fatliquor</i> (kg)	36,57				
	Asam format (kg)	12,19				
	Pelarut (L)	49,74				
	Total	Air (L)	29.296,36	Limbah cair (L)		
Limbah padat (kg)				1.749,14		

Sumber : ^a = Black *et al.* (2013); ^b = Wang *et al.* (2012); ^c = Madanhire dan Mbohwa (2015); ^d = Ecobichon (1999)

Tingginya limbah cair pada proses penyamakan kulit disebabkan karena banyaknya kebutuhan air pada proses penyamakan. Menurut Rao *et al.* (2003), tingginya penggunaan air berkorelasi terhadap limbah cair yang dihasilkan. Menurut Madhan *et al.* (2010), sekitar 60 – 70% limbah cair dihasilkan pada proses *beamhouse* (prasamak). Menurut Sundar *et al.* (2001), kebutuhan air dalam memproses 1 kg kulit adalah 40 - 45 L. Bhargavi *et al.* (2015) menyatakan bahwa setiap 1 kg kulit menghasilkan limbah cair sebanyak 30 -35 liter. Sementara itu, menurut Sekaran *et al.* (2007), dalam 1 kg bahan baku yang digunakan akan menghasilkan kulit sebanyak 0,7 kg dan menurut Kanagaraj *et al.* (2006), *output* dari 1 ton kulit garaman akan dihasilkan limbah padat kulit sebanyak 850 kg dan hanya 150 kg yang digunakan dalam proses penyamakan.

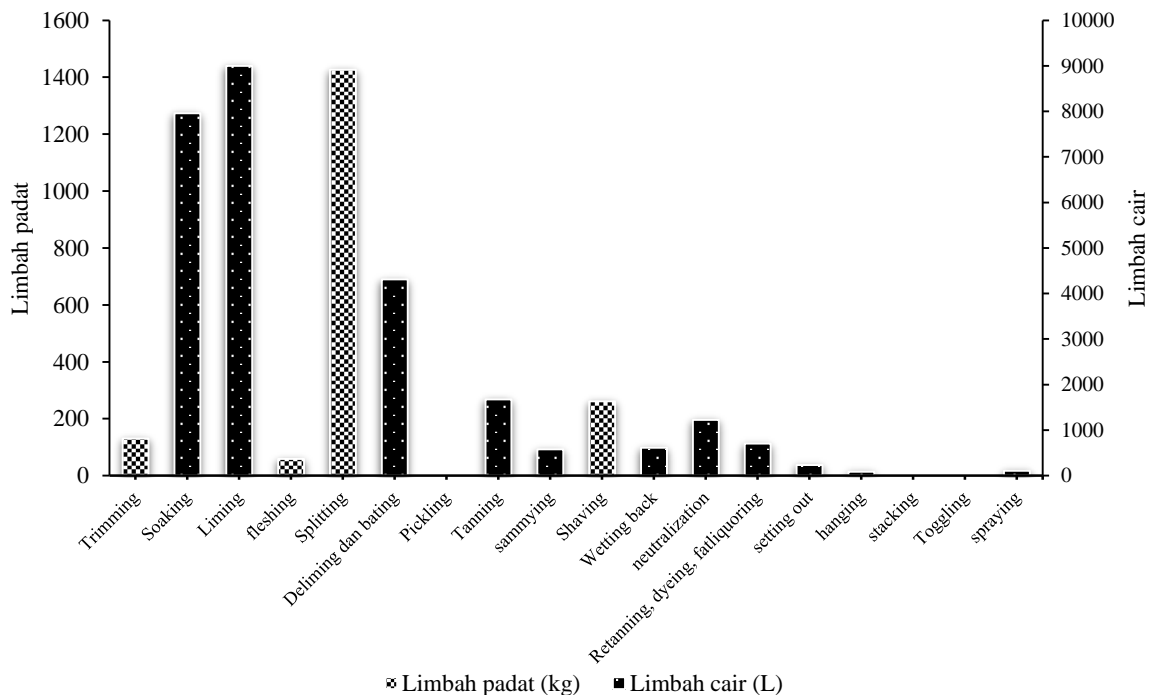
Limbah cair umumnya berasal dari setiap proses yang menggunakan air. Kuantitas limbah cair akan bertambah seiring banyaknya bahan kimia yang digunakan dalam proses penyamakan. Bahan kimia akan diakumulasi kedalam limbah cair pada *output* proses. Pada industri penyamakan kulit di Magetan, limbah cair banyak dihasilkan pada tahapan *soaking*, *liming*, dan *deliming* dan *bating* secara berturut – turut (Gambar 2).

Limbah padat pada proses penyamakan kulit berasal dari proses *trimming*, *splitting*, *fleshing*, *shaving* dan *spraying* (Gambar 2). Kanagaraj *et al.* (2006), limbah padat banyak dihasilkan pada *fleshing* (50 – 60%); *chrome shaving*, *splitting* dan *buffing* (35 – 40%); *trimming* (5-7%); dan berasal dari rambut (2 -5%). Menurut Sekaran *et al.* (2007),

limbah padat kulit diklasifikasikan kedalam tersamak dan tidak tersamak. Limbah padat pada proses penyamakan kulit merupakan limbah yang cukup berbahaya karena mengandung bahan kimia yang berbahaya. Menurut Lupo (2006), limbah padat *fleshing* mengandung komponen kapur dan sulfida, sedangkan limbah setelah proses *tanning* mengandung senyawa krom. Namun, limbah padat di industri dimanfaatkan oleh pihak ke tiga. Limbah padat pada *trimming*, *fleshing* dan *splitting* dimanfaatkan sebagai bahan makanan ataupun dapat digunakan sebagai pakan ternak. Menurut Kanagaraj *et al.* (2006), limbah padat *fleshing* dapat digunakan sebagai hidrolisat. Sementara limbah padat yang telah terpapar oleh krom seperti *shaving* dan *buffing*, dimanfaatkan oleh pengerajin kulit sebagai bahan baku kerajinan tangan. Kanagaraj *et al.* (2006) menyatakan bahwa limbah yang telah terpapar oleh krom dapat dimanfaatkan sebagai *glue*, pakan dan pupuk.

Energi

Proses penyamakan kulit tidak lepas dari penggunaan energi, khususnya listrik. Listrik diperoleh dari sumber – sumber pembangkit listrik. Sumber pembangkit listrik tersebut ada yang berasal dari bahan bakar minyak, batu bara, gas dan nuklir (Lubis, 2008). Pembangkit ini berkontribusi terhadap pencemaran yang terjadi di lingkungan. Dengan demikian, setiap jumlah energi yang digunakan akan berkontribusi terhadap kerusakan lingkungan.



Gambar 2. Distribusi limbah padat dan cair

Hasil analisis pada industri penyamakan kulit di Magetan menunjukkan bahwa penggunaan energi pada industri penyamakan kulit sekitar 632,08 kWh per *batch* (Tabel 2). Penggunaan energi pada industri ini tidak hanya berasal dari listrik, namun juga berasal dari penggunaan LPG. Kontribusi terbesar penggunaan energi pada proses penyamakan kulit terdapat pada proses *setting out*. Pada proses *setting out* membutuhkan energi sebesar 2 tabung LPG 12 kg yang setara dengan 315,3 kWh. Penggunaan energi listrik bersumber dari proses penyamakan kulit yang menggunakan mesin, meliputi molen, pompa air, mesin *splitting*, mesin *sammying*, mesin *setting out*, mesin *shaving*, mesin *spraying*, dan mesin *toggling* (Tabel 3). Penggunaan energi listrik pada setiap peralatan penyamakan kulit memiliki kebutuhan yang berbeda – beda. Perbedaan ini dikarenakan adanya perbedaan durasi penggunaan mesin dan daya mesin yang digunakan selama proses produksi.

Beberapa dampak yang ditimbulkan dari penggunaan energi listrik adalah terbentuknya GRK (Gas Rumah Kaca), asidifikasi dan eutrofikasi di lingkungan. Sumber pembangkit listrik dari batu bara menurut Stamford dan Azapagic (2012) merupakan sumber pembangkit listrik yang memberikan dampak lingkungan gas rumah kaca yang paling tinggi. Selain itu, juga memberikan dampak yang paling buruk dalam hal asidifikasi dan eutrofikasi. Hal tersebut juga didukung dengan penelitian Santoyo – Castelazo *et al.* (2011), bahwa penggunaan bahan bakar fosil merupakan bahan penyumbang terbesar pada GRK, asidifikasi dan eutrofikasi. GRK banyak disumbang dari emisi CO₂ sebesar 94%, 4,2% CH₄ dan 1,2% N₂O. Dengan demikian penggunaan listrik selama proses produksi kulit samak akan memberikan dampak buruk bagi lingkungan.

Toksisitas

Selain bertujuan untuk menghasilkan kulit samak dengan kualitas yang baik, proses penyamakan kulit juga menghasilkan limbah selama proses produksi. Limbah tersebut mengandung senyawa yang bersifat toksik dengan tingkat toksisitas yang berbeda. Toksisitas limbah industri penyamakan kulit ada yang hanya bersifat memberikan efek iritasi, korosif sampai dengan tingkat yang berbahaya seperti kanker dan kematian. Bahan yang bersifat toksik ini membahayakan kesehatan pekerja yang kontak langsung dengan bahan – bahan kimia yang digunakan (Tabel 4). Natrium sulfida, asam sulfat, dan asam format dapat menyebabkan korosi atau efek terbakar pada kulit dan sistem pernafasan. Terhirupnya uap asam sulfat dan asam format dapat menyebabkan terjadinya akumulasi cairan pada paru – paru. Natrium karbonat juga dapat menyebabkan iritasi. Selain mengiritasi sistem pencernaan, natrium metabisulfid juga dapat menyebabkan terjadinya reaksi yang menyerupai asma jika terhirup (Anonim, 2005).

Limbah cair proses penyamakan kulit mengandung berbagai macam komponen senyawa yang dapat mengganggu keseimbangan lingkungan, salah satunya adalah bahan kimia yang mempengaruhi derajat keasaman (pH). Hasil analisis menunjukkan bahwa limbah pada proses *beamhouse* dominan cenderung bersifat netral sampai dengan basa, sedangkan pada proses *tanning* dan *posttanning* bersifat asam.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa pH limbah cair paling rendah adalah 4,08 sedangkan pH paling tinggi adalah 11,89 (Tabel 5). Kandungan asam dan basa dalam limbah cair bersifat korosif bagi lingkungan sekitar. pH tertinggi limbah cair yang dihasilkan selama proses produksi kulit samak terdapat pada *liming*, sedangkan pH terendah pada tahap *tanning* (Tabel 5).

Tabel 3. Identifikasi jenis mesin pada industri penyamakan kulit

Identifikasi		Pengukuran	
Alat/mesin	Sumber	Daya (kW)	Durasi (jam)
Molen <i>soaking</i>	Listrik	7,46	4,17
Molen <i>liming</i>	Listrik	7,46	3,67
Molen <i>deliming</i> dan <i>bating</i>	Listrik	7,46	2,00
Molen <i>pickling</i>	Listrik	7,46	2,00
Molen <i>tanning</i>	Listrik	7,46	9,50
Molen <i>wettingback</i>	Listrik	7,46	0,50
Molen <i>retanning</i> , <i>dyeing</i> dan <i>fatliquoring</i>	Listrik	7,46	6,00
Mesin <i>splitting</i>	Listrik	14,92	0,63
Mesin <i>sammying</i>	Listrik	11,19	0,16
Mesin <i>shaving</i>	Listrik	29,84	0,63
Mesin <i>setting out</i>	LPG	2 tabung LPG 12 kg	2 jam
Mesin <i>stacking/milling</i>	Listrik	11,19	1,00
Mesin <i>toggling</i>	Listrik	7,46	3,00
Mesin <i>spraying</i>	Listrik	2,57	0,83
Mesin pompa	Listrik	1,1	6,77

Tabel 4. Jenis bahan kimia dan toksisitasnya

Bahan kimia	Toksitas
Natrium karbonat	Iritan ^a
Natrium Metabisulfat	Iritan ^a
<i>Degreaser</i>	Iritan ^b
<i>Wetting agent</i>	Iritan ^b
Kapur	Iritan dan korosif ^a
Natrium sulfida	Iritan, permeator dan korosif ^a
Ammonium sulfat	Iritan ^a
NaCl	Iritan ^a
Asam format	Iritan, permeator dan korosif ^a
Asam sulfat	Iritan, permeator, korosif dan efek karsinogenik ^a
Kromium sulfat	Iritan ^a
Natrium bikarbonat	Iritan ^a
Natrium format	Iritan ^a
<i>Fatliquor</i>	Iritan ^b
<i>Formaldehyde</i>	Potensial karsinogenik ^a

Sumber: ^a = anonim, 2005; ^b = anonim, 2012.

Bahan – bahan yang bersifat basa dalam proses penyamakan berasal dari kapur, NaOH, dan sodium bikarbonat, sedangkan bahan yang bersifat asam berasal dari asam format dan asam sulfat. Selain bahan – bahan tersebut, khususnya dalam limbah cair, juga ditemukan bahan yang bersifat toksik dan karsinogenik seperti sulfida, amonia dan krom heksavalen (Cr⁶⁺) (Tabel 5).

Toksitas Sulfida

Sulfida merupakan salah satu polutan yang berbahaya bagi lingkungan. Bahan ini digunakan dan dihasilkan pada proses *unhairing/liming* (Madanhire dan Mbohwa, 2015). Fungsi dari penggunaan sulfida adalah untuk menghilangkan bulu / rambut pada kulit. Hasil analisis menunjukkan kadar sulfida pada limbah cair proses *liming* adalah sebesar 646,40 mg/L. Sementara itu, pada tahap lain seperti *soaking*, *deliming* dan *bating*, *tanning* dan *retanning*, *dyeing*, *fatliquoring*, masing – masing sebesar 30,24 mg/L, 56,95 mg/L, 16,41 mg/L dan 16,90 (Tabel 5). Adanya kandungan sulfida pada tahap yang lain diduga karena terdapat penggunaan bahan yang mengandung sulfat pada proses yang dilakukan. Senyawa sulfat akan tereduksi menjadi sulfida dalam kondisi limbah cair yang kadar oksigennya rendah (Madanhire dan Mbohwa, 2015). Selain itu, proses

pencucian kulit yang tidak baik pada *liming* menyebabkan adanya kandungan sulfida yang terbawa pada proses selanjutnya. Hasil analisis juga menunjukkan bahwa kadar sulfida pada limbah cair *outlet* yakni sebesar 1,02 mg/L, nilai tersebut masih berada diatas maksimum yang telah ditetapkan oleh KLH yaitu sebesar 0,8 mg/L.

Kandungan sulfida dalam limbah cair umumnya stabil dalam konsisi basa kuat, namun dalam proses penyamakan kulit limbah cair asam dan basa tercampur sehingga sulfida terkonversi menjadi hidrogen sulfida (Valeika *et al.*, 2006). Sementara itu, limbah cair juga mengandung sulfida dalam jumlah yang besar dan menyebabkan timbul bau busuk pada limbah cair (Kim *et al.*, 2003; Han *et al.*, 1999; Yang dan Lee, 1994; Midha dan Dey, 2008). Kandungan sulfida dalam air juga menurunkan kandungan oksigen terlarut (Sayers dan Langlais, 1977; Midha dan Dey, 2008; Kothiyal *et al.*, 2016). Selain itu, efek toksik yang ditimbulkan sulfida membahayakan organisme hidup dan tumbuhan (Rattanapan dan Ounsaneha, 2012), hal ini dikarenakan jika terpapar hidrogen sulfida dalam jumlah 10 mg/L akan terjadi gangguan pada sistem saraf sentral. Menurut Midha dan Dey (2008), konsentrasi sulfida dalam 1 ppm akan menyebabkan timbulnya aroma telur busuk dan apabila terpapar diatas 10 mg/L menyebabkan sakit kepala pada manusia. Jika terpapar lebih dari 500 ppm dapat menyebabkan hilangnya kesadaran manusia (ATSDR, 2016). Hidrogen sulfida juga menyebabkan kematian dalam waktu 30 menit jika terpapar konsentrasi 800 – 1.000 mg/L dan kematian seketika diatas konsentrasi tersebut (Speece, 1996).

Toksitas Amonia

Adanya amonia pada limbah cair dapat menyebabkan terjadinya asidifikasi dan eutrofikasi serta terjadi penurunan kandungan oksigen pada ekosistem air (Istas *et al.*, 1988; Zeng *et al.*, 2011). Kandungan amonia pada limbah cair banyak ditemukan pada proses *deliming* dan *bating*. Hal tersebut dikarenakan bahan kimia yang digunakan pada proses tersebut adalah ammonium sulfat atau lebih sering dikenal sebagai pupuk ZA.

Tabel 5. Hasil analisis parameter limbah cair

Proses	Parameter			
	Amonia (mg/L)	Sulfida (mg/L)	Cr6+ (mg/L)	pH
<i>Soaking</i>	187,78	30,24	0,00	8,35
<i>Liming</i>	95,41	646,40	0,00	11,89
<i>Deliming</i> dan <i>bating</i>	4.701,48	56,95	0,00	8,46
<i>Tanning</i>	109,56	16,41	0,62	4,08
<i>Retanning</i> , <i>dyeing</i> , <i>fatliquoring</i>	156,26	16,90	2,09	4,24
<i>Outlet</i>	59,4	1,02	0,03	8,07
Baku mutu limbah cair*	0,5	0,8	-	6 - 9

*Baku mutu limbah cair industri penyamakan kulit (KLH, 2014)

Kadar amonia pada pada proses *deliming* dan *bating* sebesar 4.701,5 mg/L (Tabel 5). Sementara itu, pada proses yang lain juga teridentifikasi mengandung amonia. Kadar amonia pada proses yang lain berkisar 59,4 – 187,8 mg/L (Tabel 5), meskipun pada beberapa proses tersebut tidak menggunakan bahan kimia yang mengandung amonia. Menurut Wang *et al.* (2012), amonia pada limbah cair berasal dari penggunaan penggunaan garam amonia dan juga adanya kontribusi yang berasal dari amonia nitrogen.

Menurut Wang *et al.* (2012), kandungan amonia yang teridentifikasi dari analisis limbah cair proses *soaking* berasal dari amonia nitrogen. Hal itu disebabkan adanya dekomposisi protein selama proses penyimpanan dan adanya penggunaan bakterisida. Lalu pada proses *liming* disebabkan adanya hidrolisis protein jenis keratin dan kolagen akibat adanya campuran bahan yang bersifat basa kuat. Sementara itu, kandungan amonia pada proses *tanning* diduga karena kulit masih mengandung amonia akibat dari proses pencucian yang tidak bersih. Hasil analisis menunjukkan adanya peningkatan kadar amonia pada limbah cair proses *retanning*, *dyeing* dan *fatliquoring* (Tabel 5), hal tersebut dikarenakan pada proses ini ditambahkan anti jamur maupun antibakteri. Menurut Wang *et al.* (2012), bakterisida mengandung amonia nitrogen sebanyak 14,5 mg/g. Lalu limbah cair yang dibuang dari *outlet* industri menunjukkan bahwa kandungan amonia masih belum memenuhi syarat baku mutu air limbah. KLH (2014) menyatakan bahwa kandungan tertinggi amonia pada limbah cair adalah 0,5 mg/L, sementara limbah cair pada *outlet* mengandung sebesar 22,98 mg/L (Tabel 5). Hal ini juga mengindikasikan bahwa IPAL yang digunakan di industri tidak berjalan efektif.

Toksisitas Krom

Kromium atau krom merupakan salah satu bahan penting yang digunakan untuk proses penyamakan. Pada kondisi kristal seperti krom sulfat, krom tidak memberikan efek yang berbahaya bagi lingkungan maupun manusia. Menurut Oral *et al.* (2007), sulfida dan kromium merupakan bahan toksik pada limbah. *International Agency for Research on Cancer* (IARC) (1987) menambahkan bahwa krom dikategorikan sebagai bahan karsinogenik nomer satu.

Kromium dapat bersifat berbahaya jika terjadi perubahan pada bilangan oksidasinya. Perubahan tersebut dapat dengan mudah jika krom mengalami oksidasi (Prado *et al.*, 2016). Faktor yang dapat menyebabkan terjadinya oksidasi pada senyawa krom adalah karena terpapar oleh senyawa oksidator dan sinar ultraviolet (Tegtmeyer dan Kleban, 2013). Krom mempunyai bilangan oksidasi (-2 sampai +6), tetapi Cr^{6+} dan Cr^{3+} merupakan bentuk yang paling stabil di alam (Ashraf *et al.*, 2017) dan memiliki sifat biokimia yang berbeda

(Shahid *et al.*, 2017). Kedua jenis bentuk tersebut memiliki toksisitas yang berbeda. Cr^{6+} memiliki tingkat toksisitas 100 kali lebih tinggi dibandingkan dengan Cr^{3+} . Akumulasi Cr^{6+} pada organ penting tubuh dapat merusak fungsi metabolisme dan juga mempunyai dampak karsinogenik, mutagenik dan teratogenik (Ashraf *et al.*, 2017). Dengan demikian, adanya kandungan krom pada limbah cair penyamakan kulit akan membahayakan makhluk hidup, khususnya manusia. Hal tersebut dikarenakan krom berpotensi menyebabkan munculnya penyakit kanker. Menurut Sarker *et al.* (2013), sifat karsinogenik krom yang terbuang bersamaan dengan limbah cair tidak hanya mengancam manusia, namun juga pada hewan dan tanaman, secara keseluruhan adalah lingkungan. Menurut Shahid *et al.* (2017) masuknya senyawa krom kedalam tubuh melalui beberapa cara. Pertama adalah melalui makanan yang telah terkontaminasi krom dan yang kedua adalah terpapar dan terhirup secara langsung. Menurutnya krom masuk melalui makanan lebih besar dibandingkan dengan pernapasan dan kontak dengan lapisan kulit (Wang *et al.*, 2011; Xiong *et al.*, 2014). Hal tersebut dikarenakan, tanaman sebagai penghasil makanan telah terakumulasi krom. Krom terakumulasi pada setiap bagian tanaman (Shahid *et al.*, 2017).

Hasil analisis penelitian menunjukkan bahwa krom hexavalent terbentuk pada tahap *tanning* dan *retanning*, *dyeing*, dan *fatliquoring*, masing – masing berjumlah 0,03 mg/L dan 2,09 mg/L (Tabel 5). Dalam peraturan KLH (2014), batas maksimum untuk total krom pada limbah cair yang dibuang ke lingkungan adalah 0,6 mg/L. Dengan demikian dibutuhkan suatu pencegahan agar kandungan krom yang terbuang dapat diminimalkan. Menurut Midha dan Dey (2008), krom pada limbah cair yang dihasilkan selama proses penyamakan jumlahnya sangatlah tinggi yakni 3 – 350 mg/L. Hal tersebut dikarenakan 40% garam krom yang digunakan selama proses penyamakan kulit akan terbuang bersamaan limbah cair (Chowdhury *et al.*, 2013).

Analisis Strategi Produksi Bersih

Produksi bersih merupakan strategi pengelolaan lingkungan yang digunakan untuk pencegahan terjadinya pencemaran lingkungan. Tindakan pencegahan dapat dilakukan dengan substitusi bahan, perubahan teknologi, *good house keeping*, dan *on site reuse* serta merubah produk. Hasil identifikasi yang telah dilakukan di industri penyamakan kulit di Magetan, terdapat 8 strategi yang dapat digunakan untuk mengurangi pencemaran lingkungan (Tabel 6).

Pada kesepuluh strategi tersebut dikerucutkan menjadi beberapa strategi yang potensial memberikan dampak baik bagi lingkungan. Selain itu, faktor teknis dan ekonomi juga diperhatikan dalam pengambilan keputusan strategi.

Tabel 6. Analisis peluang penerapan strategi produksi bersih di Magetan dan nilai MPE

Strategi	Aktivitas	Rata Nilai Alternatif
Pengurangan pada sumber atau <i>on site reuse</i>	Penggunaan air pencucian untuk pencucian pada <i>batch</i> berikutnya / <i>water reuse</i> .	932,76
	<i>Chrome recovery</i> .	208,64
<i>Good house keeping</i>	Pemantauan penggunaan air.	1.622,19
	Pembuatan saluran pipa IPAL yang langsung menghubungkan ke molen	270,13
	Penggabungan beberapa tahapan pada proses <i>beamhouse</i> .	567,37
<i>Material substitution</i>	Penggunaan <i>Dust collector</i> untuk mengurangi debu	184,28
	Mengganti krom menggunakan bahan penyamak ramah lingkungan seperti silika dan <i>vegetable tannin</i> .	712,66
	Mengganti bahan pada proses <i>beamhouse</i> dengan bahan ramah lingkungan.	795,93

Strategi terpilih diperoleh dengan menggunakan Metode perbandingan eksponensial (MPE) berdasarkan nilai tertinggi pada perhitungan MPE. Nilai diperoleh dari pengisian kuisioner oleh pakar. MPE merupakan metode yang mampu mengurangi ias dalam analisis dan mengkuantifikasikan pendapat para pakar dalam skala tertentu (Marimin dan Magfiroh, 2011). Berdasarkan hasil perhitungan MPE (Tabel 6). Lima strategi yang dipilih untuk diterapkan disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Peluang strategi produksi bersih yang dipilih menggunakan MPE

No	Strategi Hasil Analisis MPE
1	Pemantauan penggunaan air (<i>water control</i>)
2	Penggunaan air pencucian untuk pencucian pada <i>batch</i> berikutnya / <i>water reuse</i>
3	Mengganti bahan pada proses <i>beamhouse</i> dengan bahan ramah lingkungan.
4	Mengganti krom menggunakan bahan penyamak ramah lingkungan seperti silika dan <i>vegetable tannin</i>
5	Penggabungan proses beberapa tahapan pada proses <i>beamhouse</i> .

Pada kelima strategi tersebut, *water control* dan *water reuse* merupakan dua strategi prioritas hasil perhitungan MPE. Berdasarkan diskusi pakar, *water control* dan *water reuse* merupakan strategi paling sederhana untuk mengontrol limbah cair yang terbuang ke lingkungan. Hal tersebut dikarenakan permasalahan yang sering dihadapi industri penyamakan kulit adalah jumlah limbah cair yang terbentuk. Meskipun tidak memberikan dampak dalam hal mengurangi polutan yang terkandung dalam limbah cair, namun strategi tersebut dapat mengurangi volume limbah cair yang dibuang ke lingkungan serta mengurangi penggunaan air bersih dalam proses produksi kulit samak. Menurutnya, strategi tersebut merupakan langkah awal yang harus dilakukan sebelum menerapkan strategi – strategi yang lain. Pengontrolan

penggunaan air (*water control*) merupakan upaya pencegahan dalam penggunaan air dalam proses produksi sehingga dapat meminimasi limbah cair yang terbuang ke lingkungan. Namun menurut Tunay *et al.* (1999), minimisasi penggunaan air pada proses penyamakan kulit akan menyebabkan terjadinya peningkatan salinitas, bahan toksik, TSS, COD dan beberapa parameter cemaran lainnya. Sementara itu, Gutierrez *et al.* (2010) menyatakan bahwa *water reuse* merupakan sebuah langkah yang dapat digunakan untuk mengurangi jumlah limbah cair yang terbuang ke lingkungan. Strategi ini merupakan upaya minimisasi penggunaan air pada proses penyamakan kulit. Sama halnya dengan Tunay *et al.* (1999), strategi ini juga mendorong terjadinya peningkatan konsentrasi polutan pada limbah cair, namun hasil analisis kulit samak menunjukkan tidak ada perbedaan dengan perlakuan yang dilakukan secara konvensional. Untuk saat ini, kedua strategi tersebut merupakan strategi sederhana yang dapat diterapkan bagi para pelaku industri.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Kesimpulan penelitian ini adalah proses penyamakan kulit menggunakan berbagai macam bahan kimia berbahaya. Bahan kimia yang digunakan ada yang bersifat iritan, korosif dan karsinogenik. Limbah cair yang terbentuk pada proses penyamakan kulit sebanyak 29,5 m³ dan limbah padat sebesar 1.749,14 kg (basis basah). Hasil analisis menunjukkan bahwa tahap *setting out* merupakan tahapan yang banyak mengkonsumsi energi dengan total 336,37 kWh dari total 632,08 kWh. Beberapa polutan berbahaya yang terdapat dalam limbah cair maupun padat meliputi sulfida, amonia dan krom. Amonia N banyak dihasilkan pada proses *deliming* dan *bating* yakni sebesar 4.701,48 mg/L, Cr⁶⁺ banyak terbentuk pada proses *retanning*, *dyeing*, *fatliquoring* yakni 2,09 mg/L. Sementara Sulfida banyak terbentuk pada proses *liming* yakni sekitar 646,4 mg/L. Selain itu, *water reuse* (penggunaan ulang air) dan pengontrolan penggunaan air merupakan alternatif strategi

produksi bersih potensial yang dapat diterapkan ke industri.

Saran

Adapun saran bagi penelitian ini adalah perlu dilakukannya aplikasi strategi produksi bersih untuk mengetahui seberapa besar dampak yang didapatkan dari strategi – strategi yang telah direncanakan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi (Indonesia) yang telah membiayai penelitian ini dan memberikan beasiswa PMDSU. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada pihak – pihak yang membantu pelaksanaan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2005. *Material Safety Data Sheet Listing*. <https://www.sciencelab.com/msdsList.php>, [7 November 2017].
- Anonim. 2012. *Leather chemical*. <http://www.faks.com/Leather%20chemicals.htm>, d[7 November 2017].
- APHA. 2012. *Standard methods for the examination of water and waste water*. Washington DC: APHA.
- Ashraf A, Bibi I, Niazi NK, Ok YS, Murtaza G, Shahdid M, Kunhikrishnan A, Li D, Mahmood T. 2017. Chromium (VI) sorption efficiency of acid – activated banana peel over organo – montmorillonite in aqueous solution. *International Journal of Phytoremediation*. 19 (7) :605-613. doi: 10.1080/15226514.2016.1256372.
- [ATSDR] Agency for Toxic Substances and Disease Registry. *Toxicological profile for Hydrogen Sulfide*. Atlanta, Georgia: ATSDR.
- [BASF] Badische Anilin und Soda Fabrik. 2007. *Pocket Book for the Leather Technologist fourth edition*. German: BASF.
- Bhargavi NRG, Jayakumar GC, Sreeram KJ, Rao JR, Nair BU. 2015. Towards sustainable leather production: vegetable tanning in non – aqueous medium. *Journal of the American Leather Chemists Association*. 110.
- Black M, Canova M, Rydin S, Scalet BM, Roudier S, Sancho LD. 2013. *Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Tanning of Hides and Skins*. Luxembourg, European Union: JRC reference reports.
- Brezet H, Van Hemel C. 1997. *Ecodesign – a promising approach to sustainable production and consumption*. Netherlands: Delf University of technology.
- Buljan J, Reich G, Ludvik J. 2000. *Mass Balance In Leather Processing*. UNIDO.
- Byggeth S dan Hochsomer E. 2006. Handling traded – off in ecodesign tools for sustainable product development and procurement. *Journal Cleaner Production*. 14: 1420 – 1430.
- Chowdhury M, Mostafa MG, Biswas TK, Saha AK. 2013. Treatment of leather industrial effluents by filtration and coagulation processes. *Water resources and industry*. 3: 11 – 22.
- Covington AD. 2009. *Tanning Chemistry: the science of leather*. Cambridge, UK: RSC Publishing.
- Ecobichon DJ. 1999. *Occupational Hazards of pesticide exposure, sampling, monitoring, measuring*. USA: MI.
- Gutterres M, Aquim PM, Passos JB, Trierweiler JO. 2010. Water reuse in tannery beamhouse process. *Journal Cleaner Production*. 18: 1545 – 1552.
- Han KD, Kim MW, Han HS. 1999. *Leather Process Chemistry*. Seoul, Korea: Sun Jin Publishing. 140 – 191.
- Huber CV dan Doane TA. 1980. A case study – tannery meets EPA pretreatment standards. *Proceedings 35th Industrial Wastes Conference*. Indiana, USA: Purdue University. 13 – 15 May 1980
- [IARC] International Agency for Research on Cancer. 1987. *Overall evaluations of carcinogenicity: an updating of IARC Monographs Volume 1 to 42*. World Health Organization.
- IHOBE. 1999. *A practical manual of ecodesign*. IHOBE. Holland: Sociedad Publica Gestion Ambiental.
- IL dan SF. 2009. *Technical EIA guidance manual for leather/skin/hide processing industry*. Hyderabad: IL&FS Ecosmart Limited.
- Indrasti NS dan Fauzi AM. 2009. *Produksi Bersih*. Bogor, Indonesia: IPB Pr.
- Istas JR, De Borger R, De Temmerman L, Guns, Meeus-Verdinne K, Ronse A, Scokart P and Termonia M. 1988. *Effect of ammonia on the acidification of the environment*. Brussels: ECSC-EEC-EAEC.
- Kanagaraj J, Velappan KC, Babu NKC, Sadulla S. 2006. Solid wastes generation in leather industry and its utilization for cleaner environment – a review. *Journal Science India Research*. 65: 541 – 548.
- Kim, Woo C, Park JS, Cho SK, Oh KJ, Kim YS, Kim D. 2003. Removal of Hydrogen Sulfide, Ammonia, and Benzene by Fluidized Bed Reactor and Biofilter. *Journal Microbiol Biotechnology*. 1 (2): 301 – 304.
- [KLH] Kementerian Lingkungan Hidup. 2014. *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia No 5 Tahun 2014: Baku Mutu Air Limbah*. Jakarta, Indonesia: KLH

- Kothiyal M, Kaur M, dan Dhiman A. 2016. A Comparative Study on Removal Efficiency of Sulphide and COD from The Tannery Effluent by Using Oxygen Injection and Aeration. *International Journal Environmental Research*. 10 (4): 525 – 530.
- Leal – Yepes AM. 2013. Evaluating the effectiveness of design for the environment tools to help meet sustainability and design goals. [Thesis]. USA: Rochester Institut of Technology.
- Lofthouse V. 2006. Ecodesign tools for designers: defining the requirements. *Journal Cleaner Production*. 14: 1386-1395.
- Lubis E. 2008. Kontribusi pembangkit energi listrik terhadap efek rumah kaca. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Pengolahan Limbah VI ISSN 1410-6086*.
- Lupo R. 2006. Fleshing treatment and compacting. *Proceedings of IULTCS II Eurocongress*. Istanbul, Turki. 24 – 27 Mei 2006.
- Madanhire I, Mbohwa C. 2015. Investigation of waste management practices and cleaner production application in a tannery: Case study. *Proceedings of the World Congress on Engineering 2015*. London, UK. 1 – 3 Juli 2015.
- Madhan B, Rao JR, dan Nair BU. 2010. Studies on the removal of interfibrillary materials part I: removal of protein, proteoglycan, glycosaminoglycans from conventional beamhouse process. *Journal American Leather Chemists Association*. 105:145-149.
- Marimin dan Maghfiroh N. 2011. *Aplikasi Teknik Pengambilan Keputusan Dalam Manajemen Rantai Pasok*. Bogor, Indonesia: IPB Pr.
- Midha V dan Dey A. 2008. Biological Treatment of Tannery Wastewater for Sulfide Removal. *International Journal Chemical Science*. 6(2): 472 – 486.
- Oral R, Meric S, Nicola ED, Petruzelli, Rocca CD, Pagano G. 2007. Multi – species toxicity evaluation of a chromium – based leather tannery wastewater. *Desalination*. 211: 48 – 57.
- Prado C, Ponce SC, Pagano E, Prado FE, Rosa M. 2016. Differential physiological responses of two salvinia species to hexavalent chromium at a glance. *Aquat Toxicol*. 175: 213 – 221.
- Puccini M, Seggiani M, Castiello, Vitolo S. 2014. Sustainability in process innovation: development of a green tanning process supported by LCA methodology. *Journal American Leather Chemists Association*. 109:110.
- Rao JR, Chandrababu NK, Muralidharan C, Nair BU. 2003. Recouping the wastewater: a way forward for cleaner leather processing. *Journal Cleaner Production*. 11: 591 – 599.
- Rattanapan C dan Ounsaneha W. 2012. Removal of hydrogen sulfide gas using biofiltration. *Walailak Journal Science and Technology*. 9(1): 9 – 18.
- Santoyo – Castelazo E, Gujba H, Azapagic A. 2011. Life cycle assessment of electricity generation in Mexico. *Energy*. 36: 1488 – 1499.
- Sarker BC, Basak B, dan Islam MdS. 2013. Chromium effects of tannery waste water and appraisal of toxicity strength reduction and alternative treatment. *International Journal Agronomy and Agricultural Research*. 3 (11): 23 – 35.
- Sayers RH dan Langlais LJ. 1977. Removal and recovery of sulfide from tannery wastewater. EPA – 600/2-77-03.
- Sekaran G, Swarnalatha S, dan Srinivasulu T. 2007. Solid waste management in leather sector. *Journal Design and Manufacturing Technologies*. 1 (1): 47 – 52.
- Shadid M, Shamsad S, Rafiq M, Bibi I, Niazi NK, Dumat C, Rashid MI. 2017. Chromium speciation, bioavailability, uptake, toxicity and detoxification in soil – plant system: a review. *Chemosphere*. 178: 513 – 533.
- Speece RE. 1996. *Anaerobic biotechnology for industrial wastewater*. Tennessee, US: Archae Press.
- Stamford L dan Azapagic A. 2012. Life cycle sustainability assessment of electricity options for the UK. *International Journal Energy Research*. DOI: 10.1002/er.2962.
- Stevanov S. 2017. Application of “MET MATRIX” method in outlining the environmental aspects of a new insulation composite material. *Journal Chemical Technology and Metallurgy*. 52 (5): 969 – 974.
- Sundar VJ, Ramesh R, Rao PS, Saravan P, Sridharmath B, Muralidharan. 2001. Water management in leather industri. *Journal Science India Research*. 60: 443 – 450.
- Sutton MA, Erisman JW, dan Dentener F. 2008. Ammonia in the environment: From ancient time to the present (review). *Environmental Pollution*. 156: 583 – 604.
- Teddle C dan Yu F. 2007. Mixed Methods Sampling: A Typology With Examples. *Journal Mixed Methods Research*. 1: 77.
- Tegtmeyer D dan Kleban M. 2013. *Chromium and leather research: A balanced view of scientific facts and figures*. International Union of Leather Technologists and Chemists societies (IULTCS).
- Tunay O, Kabdasli I, Orhon D, Cansever G. 1999. Use and minimization of water in leather tanning processes. *Water Science and Technology*. 40(1): 237 – 244.
- US EPA. 1979. *Development Document for Effluent Limitations Guidelines and Standards:*

- Leather Tanning and Finishing Point Sources Category*. EPA 440/1-79/016.
- Valeika V, Beleska K, dan Valeikiene V. 2006. Oxidation of sulfide in tannery wastewater by use of manganese (IV) Oxide. *Polish Journal Environmental Studies*. 15(4): 623 – 629.
- Wang ZZ, Chen JQ, Chai LY, Yang ZH, Huang SH, Zheng Y. 2011. Environmental impact and site specific human health risk of chromium in the vicinity of a ferro alloy manufactory, China. *Journal Hazard Mater*. 190:980 – 985.
- Wang Y, Zeng Y, Chai X, Liao X, He Q, Shi B. 2012. Ammonia nitrogen in tannery wastewater: distribution, origin and prevention. *Journal American Leather Chemists Association*. 107: 40 -50.
- Xiong T, Leveque T, Shahid M, Foucault Y, Mombou S, Dumat C. 2014. Lead and cadmium phytoavailability and human bioaccessibility for vegetables exposed to soil or atmospheric pollution by process ultrafine particles. *Journal Environmental Quality*. 43: 1593 - 1600.
- Yang SB dan Lee SH. 1994. *Composition of the Odor*. Dong Hwa. Seoul. Korea. Pg 6 – 16.
- Zeng Y, Lu J, Liao X, He Q, Shi B. 2011. Non – ammonia delimiting using sodium hexametaphosphate and boric acid. *Journal American Leather Chemists Association*. 106: 257 – 263.