

**KAJIAN PELUANG PENERAPAN PRODUKSI BERSIH DI INDUSTRI TAHU
(Studi Kasus pada Beberapa Industri Tahu di Kota Martapura, Sumatera Selatan)**

**STUDY OF OPPORTUNITY FOR CLEANER PRODUCTION APPLICATION IN
THE TOFU INDUSTRY**

(Case Studies of Tofu Industry in Martapura City, South Sumatera)

Rani Anggraini, Suprihatin Suprihatin^{*}, dan Nastiti Siswi Indrasti

Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor,
Kampus IPB Darmaga, Bogor, Jawa Barat, Indonesia
Email: suprihatin@apps.ipb.ac.id

Makalah: Diterima 16 Agustus 2021; Diperbaiki 12 Februari 2022; Disetujui 10 April 2022

ABSTRACT

The production process in some tofu industries face some problems, both in the production process, industrial management, and environmental management. This research aimed to find out strategies to improve efficiency in tofu production through materials, water and energy saving and to improve environmental quality through minimization and utilization of waste with cleaner production options. The method used was a cleaner production audit by identify problems until analyzing the feasibility of several aspects. The research was conducted in three tofu factories with a daily production capacity of 80 kg/day (Factory A), 220 kg/day (Factory B), and 500 kg/day (Factory C). Based on the research results, some problems were identified on various aspects and some recommendation alternatives of cleaner production in the three factories are identified covering: washing soybeans gradually, re-filtering the remaining washing and soaking water, using a boiler for cooking with steam system (factory A only), Good Manufacturing Practices (GMP), utilization of solid and liquid waste. If cleaner production is implemented, the total energy consumption per kg of soybeans from the three factories could be decreased to 15.87; 20.69 and 8.63 MJ/kg of soybeans, respectively. The percentage reduction in waste water would range from 24.76-36.08%. Tofu production could be increased by 5.19%, the utilization of firewood could be reduced by 64.42% and the savings obtained would range from 2.2-16.9 million rupiah/month. Based on the results of the quantitative feasibility analysis, the five cleaner production options are feasible and should be applied in practices.

Keywords: alternative recommendation, cleaner production, tofu industry

ABSTRAK

Proses produksi di beberapa industri tahu umumnya menghadapi berbagai permasalahan, baik pada proses produksi, tata laksana maupun manajemen lingkungannya. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan strategi dalam meningkatkan efisiensi produksi tahu melalui upaya penghematan penggunaan bahan, air dan energi serta memperbaiki kualitas lingkungan melalui upaya minimisasi dan pemanfaatan limbah dengan opsi produksi bersih. Metode yang digunakan yaitu audit produksi bersih dengan melakukan identifikasi permasalahan hingga analisis kelayakan dari beberapa aspek. Penelitian dilakukan di tiga pabrik tahu dengan kapasitas produksi per hari sebesar 80 kg (Pabrik A), 220 kg (Pabrik B) dan 500 kg (Pabrik C). Berdasarkan hasil penelitian, secara keseluruhan teridentifikasi beberapa permasalahan pada berbagai aspek dan alternatif produksi bersih pada ketiga pabrik yaitu : pencucian kedelai secara bertahap, penyaringan kembali sisa air pencucian dan perendaman, penggunaan boiler untuk pemasakan sistem uap (hanya pabrik A), penerapan *Good Manufacturing Practices* (GMP), pemanfaatan limbah padat dan cair. Jika produksi bersih diterapkan maka, total konsumsi energi per kg kedelai dari ketiga pabrik secara berturut-turut dapat diturunkan menjadi 15,87; 20,69 dan 8,63 MJ/kg kedelai. Persentase limbah cair yang dapat diturunkan berkisar antara 24,76-36,08%. Produksi tahu dapat meningkat hingga 5,19 %, penggunaan kayu bakar dapat berkurang hingga 64,42% serta penghematan yang akan diperoleh berkisar Rp 2,2-16,9 juta/bulan. Berdasarkan hasil analisis kelayakan, kelima alternatif tersebut di atas layak dan perlu diterapkan di industri tahu.

Kata kunci : alternatif rekomendasi, industri tahu, produksi bersih

PENDAHULUAN

Industri tahu merupakan salah satu unit usaha kecil yang mengolah kacang kedelai menjadi tahu putih atau sejenisnya. Badan Pusat Statistik (2018), menyatakan konsumsi tahu per kapita dalam rumah tangga di Indonesia pada tahun 2018 mencapai 8,23 kg dan di prediksi akan naik hingga 8,67 kg per tahun pada tahun 2021. Selain menghasilkan tahu sebagai produk utama, industri tahu juga menghasilkan produk samping (*by product*) berupa limbah padat, cair maupun gas. Limbah tersebut menjadi luaran yang tidak diinginkan karena dapat menimbulkan masalah bagi lingkungan, jika tidak diolah dengan baik.

Kebutuhan air dalam proses produksi tahu sangat bervariasi, tergantung pada proses, peralatan, dan teknologi yang digunakan pada masing-masing pabrik. Djayanti (2015) melaporkan, proses produksi tahu membutuhkan air sebanyak 21,4 L/kg kedelai. Rahayu *et al.* (2016) melaporkan, untuk mengolah 1 kg kedelai menjadi tahu memerlukan air sebanyak 28,8 L, dan jumlah ini belum termasuk kebutuhan air untuk sanitasi. Banyaknya jumlah air yang digunakan dapat menimbulkan masalah bagi lingkungan, karena sisa air produksi maupun sanitasi memiliki andil terhadap pencemaran lingkungan yang terjadi disekitar pabrik. Darmajana *et al.* (2015) menyatakan, karakteristik limbah cair tahu putih dengan kapasitas >100 kg/hari memiliki nilai BOD sekitar 4.100 mg/L, TSS >640 mg/L, pH 3,56 dan DO 1,93 mg/L dengan jumlah limbah cair yang dihasilkan sekitar 1000 /hari, sedangkan karakteristik limbah cair tahu kuning dengan kapasitas >100 kg/hari memiliki nilai BOD sekitar 5.800 mg/L, TSS >800 mg/L, pH 3,66 dan DO 1,2 mg/L dengan jumlah limbah cair yang dihasilkan sekitar 2.000 L/hari.

Selain limbah, teknologi yang yang diterapkan oleh industri tahu masih sangat sederhana, mengandalkan tenaga manusia, rendahnya tingkat kesadaran pelaku industri, rendahnya pengetahuan manajemen lingkungan, proses kurang optimal, inefisiensi penggunaan bahan dan energi serta terkendala kemampuan finansial. Kendala tersebut menyebabkan kurang optimalnya proses produksi, sehingga produktivitas tidak maksimal dan mendorong terjadinya pencemaran di sekitar pabrik dan badan air akibat dari limbah yang langsung dibuang tanpa diolah. Oleh karena itu dibutuhkan cara untuk dapat mengatasi permasalahan yang ada, salah satunya yaitu dengan menerapkan konsep produksi bersih (*cleaner production*) di industri tahu.

Produksi bersih (*cleaner production*) merupakan suatu kegiatan berkelanjutan dari strategi penanggulangan dampak lingkungan secara terpadu yang pelaksanaannya meliputi proses produksi, penanganan produk sampai pemasaran untuk meningkatkan efisiensi sumber daya dan mengurangi dampak bagi manusia dan lingkungan (Darmajana *et al.*, 2015). Fokus dalam produksi bersih adalah meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya dan

mengurangi timbulnya polutan serta bersifat preventif dan terpadu. Limbah atau hasil samping yang terbentuk dari proses tidak diperlakukan sebagai sampah, melainkan dianggap dan dihitung sebagai sumber daya yang masih dapat dimanfaatkan (Darmajana *et al.*, 2015).

Beberapa industri tahu telah menerapkan produksi bersih, salah satunya yaitu industri tahu di Kabupaten Tegal. Penerapan produksi bersih dapat memberikan manfaat seperti berkurangnya jumlah limbah cair yang dihasilkan, penggunaan listrik menurun, penggunaan bahan bakar seperti minyak tanah dapat dihilangkan, penggunaan sekam padi sebagai bahan bakar berkurang, efisiensi penggunaan bahan baku meningkat dari 89,37% menjadi 91,63% sehingga memperoleh keuntungan sekitar 19,8 juta/bulan.

Sampai saat ini, masih terdapat banyaknya industri tahu yang memiliki permasalahan seperti inefisiensi pada proses produksi, tata laksana dari pekerja kurang baik dan kurangnya kesadaran tentang pentingnya manajemen lingkungan. Untuk mengatasi masalah tersebut, dipandang perlu dilakukan pengkajian dengan pendekatan produksi bersih di industri tahu untuk mencapai efisiensi produksi melalui upaya penghematan penggunaan bahan, air dan energi serta memperbaiki kualitas lingkungan melalui upaya minimisasi dan pemanfaatan limbah dengan opsi produksi bersih.

Penelitian ini bertujuan mendapatkan strategi peningkatan efisiensi produksi tahu melalui upaya penghematan penggunaan bahan, air dan energi serta memperbaiki kualitas lingkungan melalui upaya minimisasi dan pemanfaatan limbah dengan opsi produksi bersih. Pendekatan ini diharapkan menjadi *win-win solution*, dimana pihak industri dapat memperoleh keuntungan seperti peningkatan efisiensi di setiap aspek produksi sekaligus pengurangan dampak lingkungan yang ditimbulkan oleh kegiatan industri tersebut.

METODE PENELITIAN

Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan di tiga pabrik tahu di Kota Martapura, Kabupaten Ogan Komering Ulu Timur, Sumatera Selatan. Pemilihan lokasi didasarkan atas pertimbangan ketersediaan jumlah dan keragaman industri tahu di daerah tersebut. Ada tiga pabrik tahu dengan kapasitas yang berbeda dijadikan sampel pada penelitian ini. Pabrik tahu A berada di Desa Kumpul Sari dengan kapasitas produksi rata-rata sebesar 80 kg kedelai/hari. Pabrik B berada di Kelurahan Sungai Tuha Jaya dengan kapasitas produksi rata-rata sebesar 220 kg kedelai/hari. Pabrik tahu C berada di Kelurahan Veteran Jaya dengan kapasitas produksi rata-rata sebesar 500 kg kedelai/hari.

Tahapan Penelitian

Tahapan analisis pendekatan produksi bersih yang dilakukan pada penelitian meliputi perencanaan dan pengorganisasian, analisis tahapan proses, identifikasi opsi minimisasi limbah, dan analisis alternatif produksi bersih.

Perencanaan dan Pengorganisasian

Tahapan ini meliputi penetapan tujuan dan lingkup program, identifikasi dan pemilihan tahapan proses, serta identifikasi sumber timbulan limbah di setiap tahapan produksi, melalui pemeriksaan tempat produksi, mengidentifikasi perbedaan proses produksi di beberapa pabrik yang dipilih dan membuat daftar tahapan proses pada setiap pabrik.

Analisis Tahapan Proses

Pada tahap ini dilakukan pemetaan proses produksi dengan membuat diagram alir proses untuk memahami aliran bahan, konsumsi energi dan sumber terbentuknya limbah disepanjang rantai produksi. Analisis proses produksi dan analisis neraca massa pada setiap tahapan proses yang terdapat di masing-masing pabrik serta analisis estimasi biaya yang terkait pada perbaikan proses dan penanganan limbah yang ditimbulkan. Identifikasi penyebab timbulnya limbah dilakukan dengan mencatat semua masalah terkait dengan limbah dan menentukan penyebab utama timbulnya limbah dan pencemaran yang terjadi.

Identifikasi Peluang Minimasi Limbah

Identifikasi peluang produksi bersih didasarkan pada hasil kajian dan tinjauan lapangan di tiga pabrik tahu dengan kapasitas yang berbeda. Tahapan ini mencakup identifikasi kemungkinan peningkatan efisiensi dan produktivitas, pencegahan dan pengurangan limbah dari sumbernya. Evaluasi dilakukan terhadap potensi minimasi limbah dan membuat prioritas pilihan untuk penerapannya. Kemudian mengidentifikasi dan mengevaluasi peluang untuk mengurangi pencemaran sehingga dapat memilih peluang yang paling mungkin dikerjakan lebih dahulu.

Analisis Alternatif Produksi Bersih

Analisis ini meliputi aspek kelayakan teknis, kelayakan lingkungan, dan kelayakan ekonomi. Analisis kelayakan teknis meliputi penilaian kemudahan penerapan opsi produksi bersih yang didasarkan pada ketersediaan teknologi proses produksi, bahan, utilitas, peralatan, dan ketersediaan tenaga kerja. Pada analisis ini berisi penjelasan cara penerapan produksi bersih beserta tingkat kemudahan dalam penerapannya. Selain itu juga mencakup manfaat dan dampak yang diberikan pada berbagai teknologi yang digunakan. Tingkat kemudahan penerapan ditentukan berdasarkan hasil pengamatan

langsung di lapangan dan hasil wawancara dengan pengelola pabrik tahu tersebut.

Analisis kelayakan lingkungan mencakup pengaruh atau manfaat yang ditimbulkan pada aspek lingkungan setelah diterapkannya alternatif produksi bersih. Manfaat yang dimaksud berupa berkurangnya jumlah dan konsentrasi limbah yang terbentuk pada serangkaian proses produksi serta tidak terbentuknya limbah baru saat alternatif produksi bersih diterapkan. Analisis ini dilakukan dengan menggunakan metode neraca bahan dan neraca energi.

Analisis kelayakan ekonomi dilakukan untuk mengetahui biaya yang dibutuhkan, penghematan yang dapat dilakukan serta keuntungan yang dapat diperoleh dari penerapan produksi bersih. Kelayakan ekonomi juga digunakan untuk menentukan kelanjutan dari penerapan alternatif produksi bersih. Perhitungan kelayakan ekonomi menggunakan *Payback period* guna untuk mengetahui lama investasi dapat kembali. Kecilnya nilai *payback period* yang dihasilkan menunjukkan semakin cepat tingkat pengembalian investasi yang dilakukan. Hal ini juga menunjukkan penerapan produksi bersih semakin baik untuk dilaksanakan sehingga dapat dijadikan pertimbangan bagi pemilik pabrik dalam menerapkan rekomendasi yang diberikan. Rumus perhitungan yang digunakan dalam analisis kelayakan ekonomi adalah sebagai berikut (Yasuha dan Saifi, 2017) :

$$\text{Payback period} = \frac{\text{Total investasi awal}}{\text{Keuntungan}}$$

Pemilihan Solusi Minimasi Limbah

Pemilihan solusi minimasi limbah didasarkan pada hasil analisis kelayakan teknis, ekonomi dan lingkungan terhadap pilihan produksi bersih. Pertimbangan aspek teknis dapat ditinjau dari kelemahan, keuntungan, kemudahan, kemungkinan penerapan dan kesesuaian dengan kondisi di masing-masing pabrik berdasarkan hasil pengamatan lapangan dan wawancara dengan pengelola pabrik tahu yang bersangkutan. Semakin mudah dilaksanakan suatu alternatif maka semakin besar peluang industri untuk melaksanakannya. Aspek lingkungan dapat dilihat dari dampak yang ditimbulkan terhadap lingkungan setelah alternatif produksi bersih berdasarkan analisis secara teoritis. Pengukuran dampak lingkungan seperti jumlah karakteristik limbah cair (COD, BOD, TSS, TDS, dan lain-lain) secara langsung dapat dilakukan, setelah diimplementasikan opsi tersebut. Penelitian sebelumnya (Romli dan Suprihatin, 2009) menunjukkan bahwa semakin sedikit jumlah limbah cair yang dihasilkan, nilai parameter limbah cair tersebut semakin tinggi. Pertimbangan aspek finansial ditinjau dari perkiraan biaya yang dapat dihemat serta keuntungan finansial dan manfaat lingkungan yang dapat diperoleh dari penerapan produksi bersih

(Indrasti dan Fauzi, 2009; Lolo *et al.*, 2021; Sari *et al.*, 2021). Penilaian opsi dan perumusan rekomendasi produksi bersih dilakukan dengan berdasarkan hasil analisis opsi dan kelayakan penerapan produksi bersih (Zannah, 2017; UNIDO, 2017; Hens *et al.*, 2017; Bantacut dan Zulaikha, 2019).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Tahapan Proses Produksi Tahu

Neraca Massa. Analisis neraca massa di industri tahu kapasitas 80 kg kedelai/hari (Pabrik A), 220 kg kedelai/hari (Pabrik B) dan 500 kg kedelai/hari (Pabrik C) dilakukan di sepanjang proses produksi. Ketiga pabrik tahu tersebut memiliki tahapan proses produksi yang sama meliputi proses pencucian, perendaman, penggilingan, perebusan/pemasakan, penyaringan dan pengepresan, penggumpalan, penyaringan ke-2, pencetakan dan pengepresan, dan pemotongan. Perbedaan proses dari ke-tiga pabrik tersebut hanya pada jumlah bilasan pada proses pencucian, lama waktu perendaman dan lama waktu perebusan/pemasakan.

Pabrik A dan C melakukan pencucian dengan 3 kali pembilasan, sedangkan pabrik B hanya melakukan 2 kali pembilasan. Waktu proses perendaman kedelai pada pabrik A, B dan C secara berturut-turut yaitu 3-5 jam, 3 jam dan 5 jam. Proses perebusan/pemasakan bubur kedelai pada pabrik A membutuhkan waktu 20-25 menit. Sedangkan pada pabrik B hanya membutuhkan waktu 15 menit dan pabrik C membutuhkan waktu 15-20 menit. Waktu perebusan pada pabrik B dan C cenderung lebih cepat karena proses perebusannya sudah menggunakan sistem uap sedangkan pada pabrik A masih menggunakan perebusan konvensional dengan tungku berbahan kayu bakar. Tabel 1 menunjukkan aliran massa dan energi pada setiap tahapan proses untuk pabrik A, B dan C. Termasuk dalam tahapan proses adalah tahapan perendaman, dimana sebagai input adalah kedelai dan air bersih, dan sebagai output adalah kedelai yang sudah lunak dan air bekas perendaman. Terlihat pada Tabel 1 bahwa perbedaan pabrik A, B dan C selain terletak pada kapasitas produksi, juga terletak pada efisiensi produksi dan jumlah timbulan limbah. Semakin besar kapasitas produksi, semakin efisien dan semakin rendah timbulan limbah.

Penggunaan energi. Penggunaan jenis energi di masing-masing pabrik berbeda, dimana pabrik A menggunakan 2 jenis energi dalam proses produksinya, yaitu energi listrik dan energi panas. Proses yang membutuhkan energi panas yaitu proses perebusan/pemasakan. Sedangkan proses yang membutuhkan energi listrik yaitu proses penggilingan untuk menggerakkan mesin penggiling, lampu penerangan produksi dan non produksi dan pompa air. Sedangkan di pabrik B dan C menggunakan 3 jenis energi, yaitu energi listrik, panas dan energi diesel. Proses yang membutuhkan energi panas yaitu

perebusan air pada *boiler* untuk menghasilkan uap yang digunakan untuk proses perebusan/pemasakan. Energi listrik digunakan untuk lampu penerangan produksi dan non produksi dan pompa air. Energi diesel digunakan pada proses penggilingan menggunakan solar untuk menggerakkan mesin penggilingan. Penggunaan energi pada bagian produksi dan non produksi dapat dilihat pada Tabel 2.

Identifikasi Peluang untuk Minimasi Limbah

Identifikasi peluang minimasi limbah dimulai dengan menentukan sumber terbentuknya limbah dan timbulnya inefisiensi penggunaan air dan bahan. Berdasarkan analisis tahapan produksi yang telah dilakukan terdapat beberapa proses yang menjadi sumber penghasil limbah. Di ketiga pabrik tahu yang dianalisis, tahapan yang banyak menghasilkan limbah cair terutama tahapan penyaringan dan pengepresan karena membutuhkan air sangat banyak untuk memisahkan sari kedelai dari ampasnya (ekstraksi). Selain itu, proses yang juga menjadi sumber penghasil limbah cair yaitu proses pencucian dan perendaman kedelai. Perbandingan jumlah limbah dan penggunaan air dari ketiga pabrik disajikan pada Tabel 3. Dari tabel tersebut dapat terlihat tahapan proses produksi tahu beserta input material dan energi serta tahapan-tahapan yang menghasilkan limbah cair dan padat beserta jumlahnya.

Penggunaan air paling banyak terjadi pada proses pencucian di pabrik A, dibandingkan dengan di pabrik B dan C. Sementara itu jumlah air yang digunakan pada proses pencucian di pabrik B dan C relatif sama, dengan jumlah air yang relatif sama pabrik B hanya melakukan 2 kali pembilasan, sedangkan pabrik A dan pabrik C melakukan masing-masing 3 kali pembilasan (Tabel 1). Di ketiga pabrik, pencucian dilakukan dengan air yang mengalir dan air sisa pencucian langsung dibuang ke lingkungan. Rahayu *et al.* (2016) menyatakan, proses produksi tahu memerlukan air sebanyak 28,8 L/kg kedelai. Terlihat di Tabel 1, penggunaan air di ketiga pabrik dapat dikurangi sehingga jumlah limbah yang dihasilkan pun dapat diminimalisir. Penggunaan air pada proses pencucian dapat dikurangi dengan cara melakukan pencucian secara bertahap, dimana air pada bilasan terakhir digunakan kembali sebagai bilasan pertama untuk *batch* selanjutnya sehingga limbah menjadi berkurang.

Air sisa pencucian dan perendaman biasanya langsung dibuang ke saluran pembuangan. Air dari hasil proses pencucian dan perendaman dapat diolah secara fisik dengan penyaringan, dan dapat digunakan kembali untuk kebutuhan sanitasi ruang produksi. Pada proses pencucian, perendaman dan penggilingan banyak terjadi kehilangan bahan (*loss*) terutama di pabrik B dan C, dimana pada proses tersebut banyak serpihan kedelai dan bubur kedelai yang terjatuh dan tercecer dilantai. Selain itu, air yang tumpah pada proses produksi menyebabkan lantai menjadi basah dan licin. Kurangnya kebersihan di pabrik C

menyebabkan lantai produksi menjadi kotor dan berlumut, sehingga membahayakan para pekerja. Inefisiensi penggunaan bahan dan air diakibatkan karena tata cara penanganan bahan oleh pekerja

kurang baik dan kurang terawatnya ruang produksi diakibatkan oleh kurangnya kesadaran pekerja dalam menjaga kebersihan di lingkungan ruang produksi (berdasarkan hasil pengamatan langsung).

Tabel 1. Neraca massa pada tahapan proses pembuatan tahu di pabrik A, B dan C

Tahapan proses	Pabrik A (kapasitas 80 kg kedelai/ hari)		Pabrik B (kapasitas 220 kg kedelai/ hari)		Pabrik C (kapasitas 500 kg kedelai/ hari)	
	Input	Output	Input	Output	Input	Output
Pencucian	kedelai: 80 kg air: 680 L	kedelai: 87 kg air: 673 L	kedelai : 220 kg air : 1560 L	kedelai : 242,5 kg air : 1537,5 L	kedelai : 500 kg air : 3510 L	kedelai : 560 kg air : 3450 L
Perendaman	kedelai: 87 kg air: 217 L	kedelai: 170 kg air: 134 L	kedelai : 242,5 kg air : 780 L	kedelai : 412,5 kg air : 610 L	kedelai : 560 kg air : 1400 L	kedelai: 1130 kg air : 830 L
Penggilingan	kedelai: 170 kg air: 170 L	BK: 340 kg	kedelai : 412,5 kg air : 1305 L	BK: 1717,5 kg	kedelai : 1130 kg air : 3156 L	BK:4286 kg
Perebusan/ pemasakan	BK: 340 kg air: 300 L	BK: 571 kg A&U: 69 L	BK : 1717,5 kg A&U:1282 L	BK : 2817,5 kg A&U: 182 L	BK : 4286 kg A&U: 2720 L	BK: 6568,5 kg A&U: 437,5 L
Penyaringan dan pengepresan	BK: 571 air: 1800 L	ampas: 186 kg SK: 2185 kg	BK : 2817,5 kg air : 2242 L	ampas : 490 kg SK : 4569,5 kg	BK : 6568,5 kg air : 4893,5 L	ampas : 1150 kg SK : 10312 kg
Penggumpalan	SK: 2185 kg air asam: 320 L	curd: 2505 kg	SK : 4569,5 kg air asam : 528 L	curd : 5097,5 kg	SK : 10312 kg air asam : 1020 L	curd : 11332 kg
Penyaringan ke II	curd: 2505 kg	whey: 2144,8 L curd : 360,2 kg	curd : 5097,5 kg	whey : 3728 L curd : 1369,5 kg	curd : 11332 kg	whey : 9743,5 L curd : 1588,5 kg
Pencetakan dan pengepresan	curd: 360,2 kg	air asam: 129 L tahu: 231,2 kg	curd : 1369,5 kg	air asam : 520 L tahu : 849,5 kg	curd : 1588,5 kg	air asam : 360 L tahu : 1948,5 kg
Pemotongan	tahu: 231,2 kg	tahu: 5780 buah	tahu: 849,5 kg	tahu: 20800 buah sisa tahu : 17,5 kg	tahu: 1948,5 kg	tahu: 42666 buah sisa tahu: 28,5 kg

Keterangan :

BK : bubur kedelai

A& U : air dan uap

SK : sari kedelai

Tabel 2. Penggunaan energi pada bagian produksi dan non produksi di pabrik A, B dan C

Sumber Energi	Konsumsi energi (MJ/kg kedelai)			Keterangan
	Pabrik A (80 kg kedelai/ hari)	Pabrik B (220 kg kedelai/ hari)	Pabrik C (500 kg kedelai/hari)	
Listrik	0,5095	0,0938	0,0509	Non produksi
Kayu bakar	38,5875	23,3863	14,7	Produksi
Solar		1,086	0,6689	Produksi
Total input energi	39,097	24,5661	15,5198	

Tabel 3. Perbandingan jumlah limbah dan penggunaan air dalam 1 kg kedelai

Parameter	Pabrik Tahu A	Pabrik Tahu B	Pabrik Tahu C
Tahu (kg)	2,89	3,78	3,84
Ampas tahu (kg)	2,325	2,227	2,3
Limbah cair:			
- Whey (L)	28,423	19,309	20,21
- Proses pencucian (L)	8,41	6,99	6,9
- Proses perendaman (L)	1,675	2,77	1,66
- Pemasakan (L)	0,8625	0,8273	0,88
Penggunaan air untuk produksi/ekstrasi sari kedelai (L)	43,59	34,99	33,40
proses pencucian (L)	8,5	7,09	7,02
proses perendaman (L)	2,71	3,545	2,8
penyaringan dan pengepresan (L)	22,5	10,19	9,787
Sanitasi alat dan ruang produksi (L)	700	1.000	1.500

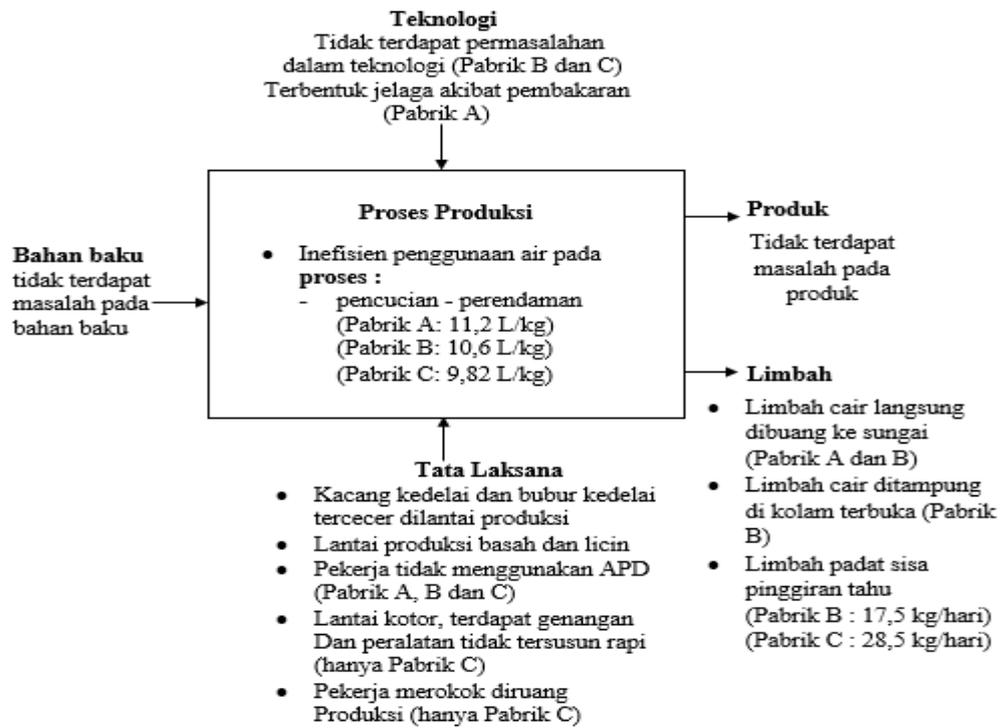
Proses pemasakan bubur kedelai masih menggunakan tungku, sehingga menimbulkan masalah seperti timbulnya jelaga pada atap produksi. Hal ini dapat dihindari dengan melakukan perubahan sistem pemasakan tungku menjadi sistem uap dengan menggunakan *boiler*. Meskipun pemanasan boiler juga berpotensi menghasilkan jelaga, tetapi ruang boiler dapat dipisahkan dari ruang produksi tahu. Pada proses penyaringan dan pengepresan di ketiga pabrik menghasilkan ampas tahu yang jumlahnya cukup banyak. Namun hal ini tidak menjadi masalah, karena pemilik pabrik menjual ampas tahu yang dihasilkan kepada pihak ketiga untuk dijadikan pakan ternak. Proses penggumpalan menghasilkan *whey* dalam jumlah besar, dimana *whey* yang dihasilkan di ketiga pabrik langsung dibuang ke lingkungan bercampur dengan limbah cair dari proses lainnya. *Whey* sebenarnya dapat dimanfaatkan sebagai bahan untuk pembuatan *nata de soya* atau dapat dijadikan bahan pembuatan biogas karena mengandung bahan organik yang dapat dikonversi menjadi gas metana. Sarjono *et al.* (2017) menyatakan, *whey* dari proses pembuatan tahu mengandung total protein 0,14%, total pati 0,86% dan total gula 1,13% serta isoflavan sebesar 20,77%. Soeprijanto *et al.* (2019) menyatakan, produksi biogas dari limbah cair tahu dengan HRT (*Hydraulic Retention Time*) selama 30 hari dapat menghasilkan biogas sebesar 1,815 L/hari dengan kandungan metana sebesar 35,64%, sedangkan produksi harian biogas dengan HRT 20

hari menghasilkan 2,75 L/hari dengan kandungan metana sebesar 39,37%.

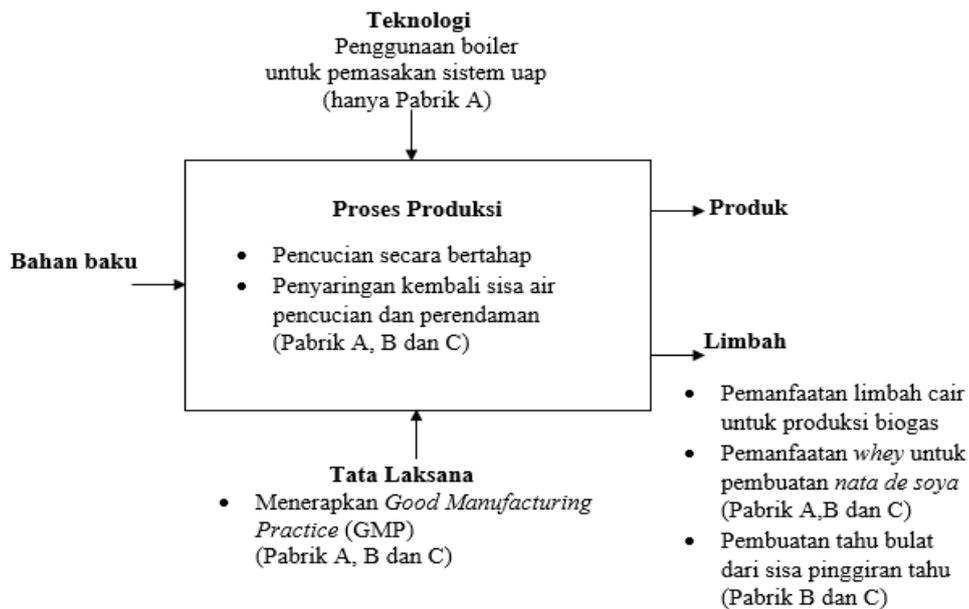
Proses pemotongan tahu di pabrik B dan C meninggalkan sisa pinggiran tahu yang seringkali terjatuh dan terbuang. Sisa pinggiran tahu yang terjatuh menyebabkan lantai produksi menjadi kotor dan mengundang unggas masuk kedalam ruang produksi untuk memakan sisa pinggiran tahu yang terjatuh dilantai. Sisa pinggiran tahu sendiri dapat dimanfaatkan untuk pembuatan tahu bulat sehingga limbah ini tidak terbuang dan mencemari lingkungan. Berdasarkan uraian permasalahan di atas, diketahui proses produksi di ketiga pabrik masih belum optimal, sehingga perlu dilakukan perbandingan dengan literatur sebagai acuan untuk melakukan perbaikan. Perbandingan kondisi yang terdapat dimasing-masing pabrik dengan kondisi optimum berdasarkan literatur disajikan pada Tabel 4. Hasil identifikasi permasalahan secara keseluruhan yang mencakup bahan baku, teknologi, tata laksana, produk dan limbah yang ditemukan di ketiga pabrik dapat dilihat pada Gambar 1.

Alternatif Produksi Bersih

Alternatif produksi bersih mencakup perbaikan secara keseluruhan untuk memperbaiki kualitas proses, mutu produk akhir dan penanganan limbah yang ditimbulkan. Alternatif produksi bersih pada pabrik A, B dan C dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 1. Identifikasi permasalahan di pabrik tahu A, B dan C



Gambar 2. Alternatif produksi bersih pada pabrik A, B dan C

Tabel 4. Kondisi proses yang ada dibandingkan kondisi optimum proses menurut literatur untuk beberapa parameter proses

No	Parameter	Pabrik A	Pabrik B	Pabrik C	Kondisi Optimum
1	Proses Produksi				
	a) Pencucian				
	-Penggunaan air	0,68 m ³ /80 kg kedelai 3 kali dengan air mengalir	1,56 m ³ /220 kg kedelai 2 kali dengan air mengalir	3,51 m ³ /500 kg kedelai 3 kali dengan air mengalir	4 kali pencucian Bertahap (Djayanti, 2015)
	b) Perendaman				
	-Penggunaan air	0,217 m ³ /80 kg kedelai	0,78 m ³ /220 kg kedelai	1,4 m ³ /500 kg kedelai	
	-Waktu	3-5jam	3 jam	5 jam	5 jam suhu, 50°C (Darmajana, 2012)
	c) Penggilingan				
	-Penggunaan air	0,17 m ³ /80 kg kedelai dengan air biasa	1,35 m ³ /220 kg kedelai Dengan air biasa	3,156 m ³ /500 kg kedelai dengan air biasa	Ditambahkan air panas (60°C) (Fatisa dan Maslinda, 2011)
2	Tata Laksana	<ul style="list-style-type: none"> • kacang kedelai dan bubur kedelai tercecer dilantai • lantai produksi basah dan licin • pekerja tidak menggunakan APD 	<ul style="list-style-type: none"> • kacang kedelai dan bubur kedelai tercecer dilantai • lantai produksi basah dan licin • pekerja tidak menggunakan APD 	<ul style="list-style-type: none"> • kacang kedelai dan bubur kedelai tercecer dilantai • lantai produksi basah, licin dan kotor • pekerja tidak menggunakan APD • pekerja merokok diruang produksi • peletakan peralatan tidak rapi 	Diterapkannya SOP dan perkerja diberikan APD (Djayanti, 2015)
3	Limbah cair	3,77 m ³ limbah cair dibuang ke sungai di lingkungan pabrik	7,68 m ³ limbah cair dibuang ke sungai di lingkungan pabrik	16,725 m ³ limbah cair dibuang ke sungai di lingkungan pabrik	1 m ³ per > 100 kg kedelai/hari untuk tahu putih; 2 m ³ />100 kg kedelai/hari untuk tahu kuning (Darmajana <i>et al.</i> , 2015)
4	Teknologi	Terbentuk jelaga akibat pembakaran	Tidak ada masalah	Tidak ada masalah	Pemasakan dengan sistem uap (Darmajana, 2013)

Alternatif rekomendasi untuk perbaikan di ketiga pabrik tahu adalah sebagai berikut:

1) Menerapkan *Good Manufacturing Practice* (Gmp)

Pelatihan GMP bagi pekerja dimaksudkan untuk memperbaiki kinerja pekerja, mengurangi resiko *human error* sehingga dapat mengoptimalkan efisiensi penggunaan bahan, air dan mencegah *loss* disepanjang proses produksi seperti tercecernya kedelai dan bubur kedelai dilantai, penggunaan air

secara berlebih, penggunaan dan pemeliharaan peralatan yang kurang baik dan lain sebagainya.

2) Penggunaan *Boiler* Untuk Pemasakan Sistem Uap

Proses pemasakan bubur kedelai di pabrik B dan C sudah menggunakan sistem uap sedangkan di pabrik A masih menggunakan pemasakan dengan tungku berbahan bakar kayu. Penggunaan *boiler* bertujuan untuk mengurangi penggunaan kayu bakar sehingga dapat menghemat biaya produksi. Romli

dan Suprihatin (2009) menyatakan, penggunaan *boiler* dalam pemasakan sistem uap dapat mengurangi penggunaan bahan bakar kayu sebesar 50-70%. Selain menghemat bahan bakar, pemasakan dengan sistem uap membutuhkan waktu relatif cepat dibandingkan dengan pemasakan dengan tungku sehingga dapat mempercepat proses dan meningkatkan produktivitas.

3) Pencucian Secara Bertahap

Proses pencucian di ketiga pabrik menggunakan air yang mengalir sehingga volume yang digunakan cukup besar untuk proses pencucian yang seharusnya dapat lebih diefisienkan. Berdasarkan hasil pengamatan langsung, di pabrik A pencucian dilakukan sebanyak 3 kali pembilasan dengan total penggunaan air sebesar 680 L. Di pabrik B, pencucian dilakukan dengan 2 kali pembilasan, namun volume air yang digunakanpun cukup besar yaitu 1560 L. Sementara itu di pabrik C, air yang digunakan untuk proses pencucian yaitu 3510 L dengan 3 kali pembilasan. Perbedaan penggunaan air tersebut disebabkan oleh perbedaan kapasitas produksi diantara pabrik tahu tersebut. Proses pencucian di ketiga pabrik masih dapat diperbaiki untuk meningkatkan efisiensi penggunaan air bersih. Menurut Djayanti (2015), pencucian kedelai dilakukan empat kali secara bertahap dengan pemanfaatan kembali air pencucian ke empat untuk pencucian pertama. Hal tersebut tidak akan berpengaruh pada kualitas tahu yang dihasilkan.

4) Penyaringan Sisa Air Pencucian Dan Perendaman

Air sisa pencucian dan perendaman di ketiga pabrik selama ini langsung dibuang begitu saja, padahal air tersebut dapat difiltrasi kembali karena hanya mengandung kotoran-kotoran yang dapat dipisahkan secara fisik melalui lapisan bahan berpori yang dilakukan dengan memanfaatkan tekanan hidrolik (Sitasari dan Khoironi, 2021). Bahan dan peralatan yang digunakan untuk filtrasi cukup sederhana, hanya menggunakan 2 bak penampungan yang terdiri dari bak pengendapan dan penyaringan yang ukurannya disesuaikan dengan jumlah limbah yang ada.

5) Pembuatan *Nata De Soya* Dari *Whey*

Whey dihasilkan dari proses penggumpalan yang apabila langsung dibuang ke lingkungan akan menimbulkan bau disekitar pabrik. Opsi produksi bersih untuk ketiga pabrik yaitu pemanfaatan *whey* untuk produksi *nata de soya* dengan menggunakan bakteri *Acetobacter xylinum* (Azhari 2015). Selain mengurangi volume *whey*, opsi ini juga dapat memberikan keuntungan tambahan bagi pabrik tahu.

6) Konversi Limbah Cair Tahu Menjadi Biogas

Limbah cair terutama dari proses penggumpalan dan dari proses lainnya memiliki potensi untuk dijadikan biogas, karena mengandung bahan organik yang dapat dikonversi menjadi gas metana melalui proses anaerobik (Adisasmito 2018; Budiyo 2020). Darmajana *et al.* (2015) menyatakan, limbah cair tahu putih memiliki nilai BOD sekitar 4.100 mg/L, TSS > 640 mg/L, pH 3,56 dan DO 1,93 mg/L. Opsi ini dapat mengurangi pencemaran lingkungan yang diakibatkan oleh limbah tahu, dan menghasilkan bahan bakar terbarukan yang dapat mengurangi penggunaan bahan bakar fosil maupun kayu yang selama ini digunakan di ketiga pabrik tersebut. Selain itu, efluen dari proses anaerobik dapat digunakan sebagai pupuk cair untuk tanaman.

7) Pembuatan Tahu Bulat Dari Sisa Pinggiran Tahu

Proses pemotongan menghasilkan sisa pinggiran tahu cukup banyak di pabrik B dan C. Setiap harinya sisa pinggiran tahu yang terkumpul di pabrik B sebanyak 17,5 kg sedangkan di pabrik C sebanyak 28,5 kg. Pabrik tahu A tidak melakukan pemotongan pinggiran tahu. Sisa pinggiran tahu tersebut dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan tahu bulat. Proses dan peralatan yang digunakan dalam pembuatan tahu bulat cukup sederhana dan ini menjadi opsi yang baik untuk memperoleh keuntungan tambahan bagi kedua pabrik. Berdasarkan opsi yang ditawarkan, ringkasan analisis kelayakan produksi bersih dari aspek teknis, lingkungan dan ekonomi disajikan pada Tabel 5

Tabel 5. Ringkasan analisis kelayakan aspek teknis, lingkungan dan ekonomi dalam penerapan produksi bersih di pabrik A, B dan C

Aspek	Permasalahan	Alternatif	Hasil Analisis Kelayakan		
			Teknis	Lingkungan	Ekonomi
Teknologi	Terbentuknya jelaga akibat pembakaran (Pabrik A)	Penggunaan <i>boiler</i> untuk pemasakan sistem uap	Cukup mudah untuk dilaksanakan dengan membeli seperangkat alat <i>boiler</i> dari pihak lain	Mengurangi penggunaan kayu bakar	Investasi: Rp 12.000.000 Hemat: Rp 825.000/bulan PBP: 14,08 bulan
	Inefisien penggunaan air pada proses pencucian dan Perendaman (Pabrik A: 11,2 L/kg) (Pabrik B: 10,6 L/kg) (Pabrik C: 9,82 L/kg)	Melakukan pencucian secara bertahap	Mudah untuk dilakukan karena hanya diperlukan ember tambahan untuk proses pencucian	limbah cair berkurang karena penggunaan air berkurang	Pabrik A : Investasi: Rp 110.000 Hemat: Rp 34.800/bulan PBP: 3,16 bulan Pabrik B : Investasi: Rp 110.000 Hemat: Rp 79.852/bulan PBP: 1,38 bulan Pabrik C: Investasi: Rp 220.000 Hemat: Rp 239.557/bulan PBP: 28 hari
Proses produksi		Penyaringan kembali sisa air pencucian dan perendaman	Membutuhkan badan uji dan alat filtrasi tambahan seperti tawas, kaporit, ijuk dan sebagainya	limbah cair berkurang dan penggunaan air juga berkurang	Pabrik A : Investasi: Rp 509.360 Hemat :Rp 143.530/bulan PBP: 3,55 bulan Pabrik B : Investasi: Rp 997.620 Hemat: Rp 205.466/bulan PBP: 4,86 bulan Pabrik C: Investasi: Rp 1.496.430 Hemat: Rp 547.706/bulan PBP: 2,73 bulan
	-Kacang dan bubur kedelai tercecer Dilantai -Lantai produksi licin dan basah -Pekerja tidak	Penerapan dan pelatihan <i>Good Manufacturing Practice</i> (GMP)	Cukup mudah dilakukan dengan mengirim 1 pekerja untuk pelatihan GMP	-Mengurangi bahan yang tercecer, lantai produksi dan peralatan tersusun rapi dan bersih sehingga mengurangi penggunaan air untuk sanitasi	Pabrik A : Investasi: Rp 4.250.000 Untung:Rp750.000/bulan PBP: 5,67 bulan Pabrik B : Investasi: Rp 4.250.000
Tata	menggunakan APD			-Meningkatkan	Untung:Rp 3.186.000/bulan

Aspek	Permasalahan	Alternatif	Teknis	Hasil Analisis Kelayakan	
				Lingkungan	Ekonomi
Laksana	(Pabrik A, B dan C) - Lantai kotor dan terdapat genangan, peralatan tidak tersusun rapi -Pekerja merokok diruangan (pabrik C) - limbah cair langsung dibuang ke sungai	Pemanfaatan limbah cair untuk biogas	Bisa dilakukan dengan membuat/membeli digester yang sudah siap Opsi ini dapat diterapkan, namun harus dilakukan pelatihan untuk memahami proses pemanfaatan limbah cair menjadi biogas	produktivitas	PBP: 1,33 bulan Pabrik C: Investasi: Rp 4.250.000 Untung:Rp 3.000.000/bulan PBP: 1,42 bulan
	Pencemaran akibat limbah cair dapat diminimalisir dan biogas yang dihasilkan dapat digunakan sebagai bahan bakar terbarukan sehingga menghemat penggunaan bahan bakar yang tidak ramah lingkungan			Pabrik A : Investasi: Rp 32.507.165 Hemat: Rp 509.250/bulan Pabrik B : PBP: 55 bulan Pabrik B : Investasi: Rp 32.824.165 Hemat: Rp 1.622.400/bulan PBP: 20,23 bulan Pabrik C: Investasi: Rp 64.926.330 Hemat: Rp 3.689.160/bulan PBP: 17,6 bulan	
Limbah	(Pabrik A dan B) -limbah cair ditampung di kolam terbuka (pabrik C)	Memanfaatkan <i>whey</i> untuk pembuatan <i>nata de soya</i>	Cukup sulit dilakukan karena membutuhkan tempat, peralatan dan pekerja baru	Mengurangi pencemaran dan bau akibat adanya bahan organik yang terkandung dalam <i>whey</i> serta mengurangi jumlah limbah cair	Pabrik A: Investasi: Rp 2.411.000 Untung:Rp 882.126/bulan PBP: 2,7 bulan Pabrik B : Investasi: Rp 3.355.500 Untung:Rp 3.177.410/bulan PBP: 1,06 bulan Pabrik C: Investasi: Rp.5.300.500 Untung:Rp11.423.678/bln PBP: 14 hari
	Mengurangi bahan			Pabrik B :	
	Limbah sisa	Dimanfaatkan untuk	Cukup mudah dilakukan		

Aspek	Permasalahan	Alternatif	Hasil Analisis Kelayakan		
			Teknis	Lingkungan	Ekonomi
	Potongan pinggiran		karena membutuhkan	polutan pada limbah cair	Investasi: Rp. 477.000
	Tahu Pabrik B : 17,5 kg Pabrik C : 28,5 kg	membuat tahu bulat	peralatan sederhana		Untung:Rp 5.390.000/bln PBP: 3 hari Pabrik C: Investasi: Rp. 447.000 Untung:Rp 9.512.000/bln PBP: 2 hari

Tabel 6. Kinerja sebelum dan setelah penerapan produksi bersih di Pabrik A, B dan C

No	Parameter	Pabrik A			Pabrik B			Pabrik C		
		Sebelum	Setelah	Persentase	Sebelum	Setelah	Persentase	Sebelum	Setelah	Persentase
1	Produksi tahu (kg)	231,2	243,2	5,19%	832	853,24	2,55%	1920	1946,97	1,40%
2	Penggunaan air produksi dan sanitasi (L/kg kedelai)	52,34	38,46	26,52%	39,53	31,95	19,18%	36,399	30,204	17,02%
3	Limbah produksi dan sanitasi (L/kg kedelai)	47,26	35,56	24,76%	33,62	21,49	36,08%	31,77	22,487	29,22%
4	Kayu bakar (kg kayu bakar/kg kedelai)	2,625	0,934	64,42%	1,59	1,03	35,22%	0,8	0,42	47,50%
5	Penggunaan pompa (kWh)	0,045	0,027	40%	0,0458	0,0327	28,60%	0,0648	0,0504	22,22%
6	Energi (MJ/kg kedelai)	39,115	15,8686	59,43%	24,5988	20,6857	15,91%	12,5381	8,6322	31,15%
7	Penghematan (Rp/bulan)		2.262.500			10.483.600			16.988.400	

Rekomendasi Produksi Bersih Hasil Analisis

Berdasarkan hasil analisis kuantitatif dari 7 alternatif, terdapat 5 alternatif yang dapat diterapkan dimasing-masing pabrik. Pengerucutan pilihan alternatif tersebut didasarkan pada kriteria kelayakan teknis, serta manfaat lingkungan dan ekonomi. Pada pabrik A, alternatif yang dapat diterapkan dalam memperbaiki sistem produksi dan minimasi limbah yaitu penerapan *Good Manufacturing Practice* (GMP), penggunaan *boiler* untuk proses pemasakan sistem uap, pencucian kedelai secara bertahap, penyaringan kembali sisa air pencucian dan perendaman, serta konversi limbah cair menjadi biogas, sedangkan lima alternatif yang dapat diterapkan pada pabrik B dan C yaitu penerapan GMP, pencucian kedelai secara bertahap, penyaringan kembali sisa air pencucian dan perendaman, konversi limbah cair menjadi biogas dan pemanfaatan limbah sisa pinggiran tahu menjadi tahu bulat. Kelima alternatif tersebut dapat dilakukan oleh pihak pabrik dengan bantuan tenaga ahli dalam pembuatan peralatan digester biogas dan penggunaan *boiler*. Sementara alternatif yang lainnya dapat dilakukan sendiri oleh pihak pabrik, karena bahan dan peralatan yang diperlukan cukup sederhana. Pada aspek lingkungan, alternatif dapat mengurangi inefisiensi penggunaan bahan, air dan energi serta mengurangi limbah yang dihasilkan, sehingga dampak yang ditimbulkan dari limbah cair pabrik tahu pada lingkungan sekitar pabrik menjadi berkurang. Pada aspek ekonomi, masing-masing alternatif memberikan keuntungan yang cukup besar dengan *payback period* yang relatif singkat (lihat Tabel 5).

Alternatif pemanfaatan *whey* menjadi *nata de soya* belum dapat diterapkan di ketiga pabrik saat ini karena alasan ekonomis. Namun dalam penetapan prioritas, pertimbangannya tidak hanya berdasarkan aspek ekonomi, tetapi juga aspek kelayakan teknik dan kelayakan lingkungan. Berdasarkan pada analisis aspek teknis, dimana alternatif pemanfaatan *whey* untuk produksi *nata de soya* sulit diterapkan karena membutuhkan tempat yang cukup luas dan pekerja tambahan yang mengerti proses pembuatannya. Selain itu, pembuatan *nata de soya* membutuhkan waktu fermentasi selama 14 hari untuk mengolah 1 *batch whey* yang dihasilkan dalam 1 hari. *Whey* tersebut dihasilkan setiap hari dengan jumlah yang sangat besar, sehingga alternatif ini belum cukup efektif dan efisien apabila diterapkan untuk mengurangi jumlah *whey* yang ada jika dibandingkan dengan alternatif yang mengkonversi *whey* menjadi biogas. Berdasarkan hasil analisis aspek teknis, lingkungan dan ekonomi secara keseluruhan, alternatif produksi bersih yang layak untuk diterapkan di masing-masing pabrik sebagaimana ditunjukkan

pada Tabel 6, dimana kinerja sebelum dan setelah penerapan produksi bersih di ketiga pabrik dibandingkan secara langsung. Kinerja setelah penerapan produksi bersih diperkirakan perhitungan teoritis.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Hasil identifikasi terhadap proses produksi pada pabrik tahu A, B dan C menunjukkan bahwa umumnya pabrik tahu tersebut memiliki beberapa kelemahan yang memerlukan perbaikan untuk meningkatkan kinerjanya. Melalui analisis neraca massa diperoleh beberapa tahapan kritis dan permasalahan utama yang menyebabkan terbentuknya limbah. Secara umum kelemahan yang ada di ketiga pabrik yaitu inefisiensi penggunaan bahan dan air, tata laksana produksi yang kurang baik, tidak memiliki pedoman manajemen lingkungan, teknologi pemasakan yang digunakan kurang baik sehingga menimbulkan jelaga dan membutuhkan energi yang cukup besar pada pabrik tahu A, serta kurangnya kesadaran akan kebersihan, kesehatan dan keselamatan kerja di lingkungan pabrik.

Penerapan opsi produksi bersih yang dihasilkan dari penelitian ini dapat meningkatkan produksi tahu, baik pada kasus pabrik A, B maupun C. Peningkatan ini berkisar antara 1,40-5,29%. Penerapan produksi bersih tersebut juga dapat menurunkan penggunaan air bersih, produksi air limbah, penurunan penggunaan energi, serta jumlah produksi air limbah dan emisi. Tingkat manfaat yang dapat diperoleh dipengaruhi oleh skala produksi dan praktik produksi yang selama ini telah diterapkan. Manfaat ekonomi berkisar antara Rp 2 juta – Rp 16 juta per bulan, tergantung pada skala produksi dan praktik yang diterapkan pada saat ini.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian disarankan mengkaji lebih lanjut untuk mengaplikasikan biodigester yang sesuai dengan karakteristik pabrik tahu yang bersangkutan. Banyak pabrik tahu yang disurvei berkeinginan mempunyai instalasi produksi biogas sendiri namun belum dapat terealisasi.

DAFTAR PUSTAKA

Adisasmito A, Rasrendra CB, Chandra H, Gunartono MA. 2018. Anaerobic Reactor for Indonesian Tofu Wastewater Treatment. *International Journal of Engineering & Technology*, 7 (3.26) (2018) 30-32 *International Journal of Engineering & Technology Website:*

- www.sciencepubco.com/index.php/IJET
(Diakses 10 Juli 2022).
- Azhari M, Sunarto, dan Wiryanto. 2015. Pemanfaatan limbah cair tahu menjadi *nata de soya* dengan menggunakan air rebusan kecambah kacang tanah dan bakteri *Acetobacter xylinum*. *Jurnal Ekosains*. 7(1): 1-14.
- Bantacut T dan Zulaikha SK. 2019. Study on Possibility of Cleaner Production Application at Small Scale Bakery Industry in Pekalongan Indonesia. *Chemical and Process Engineering Research*. 59: 1-12.
- BPS. 2018. *Survei Sosial Ekonomi Nasional, Konsumsi Kalori dan Protein Penduduk Indonesia Tahun 2018*. Jakarta: BPS RI.
- Budiyono B dan I Syaichurrozi. 2020. A review: Biogas production from tofu liquid waste IOP *Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 845 012047.
- Darmajana DA, Nok A, Novrinaldi, Umi H, Andi T. 2013. Efisiensi penggunaan air dan energi berbasis produksi bersih pada industri kecil tahu: Studi Kasus IKM Tahu “Sari Rasa” Subang. *Jurnal Pangan*. 22(4): 373-384.
- Darmajana DA, Sholichah E, Afifah N, Luthfiyanti R, Amdriana Y. 2015. Pemanfaatan *Teknologi Tepat Guna dalam Penerapan Cleaner Production di Industri Kecil Pengolahan Tahu di Subang dan Sumedang*. Jakarta: LIPI Press.
- Darmajana DA. 2012. Pengaruh Suhu dan Waktu Perendaman terhadap Bobot Kacang Kedelai sebagai Bahan Baku Tahu. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian dan PKM : Sains, Teknologi dan Kesehatan Tahun 2012*. 3(1): 159-164.
- Djayanti S. 2015. Kajian penerapan produksi bersih di industri tahu di desa Jimbaran, Bandung, Jawa Tengah. *Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri*. 6(2): 75-80.
- Fatasa Y dan Maslinda. 2011. Pengaruh suhu air pada proses penggilingan kedelai (*Glycin Max* (L) Merrill) terhadap kadar protein susu dengan metode spektrofotometri UV-Vis. *Jurnal Sain dan Kesehatan*. 2(1): 23-26.
- Indrasti NS dan Fauzi AM. 2009. *Produksi Bersih*. Bogor: IPB Press.
- Lolo EU, Gunawan RI, Krismani AY, Pambudi YS. 2021. Penilaian dampak lingkungan industri tahu menggunakan life cycle assessment (Studi Kasus: Pabrik Tahu Sari Murni Kampung Krajan, Surakarta). *Serambi Engineering*, VI (4) : 2337 – 2347.
- Rahayu SS, Purwanto, dan Budiyono. 2016. Pengolahan lingkungan industri kecil tahu dengan menerapkan produksi bersih dalam upaya efisiensi air dan energi. *Prosiding Seminar Nasional inovasi IPTEKS Perguruan Tinggi untuk Meningkatkan Kesejahteraan Masyarakat*. Denpasar, Bali. 29-30 Agustus 2016.
- Romli M dan Suprihatin. 2009. Beban pencemaran limbah cair industri tahu dan analisis alternatif strategi pengelolaannya. *Jurnal Purifikasi*. 10(2): 141-154.
- Sari IP, Kuniawan W, dan Sia FL. 2021. Environmental impact of tofu production in West Jakarta using a life cycle assessment approach. *IOP Conf Ser Earth Environ Sci*. 896(1):012050. doi:10.1088/1755-1315/896/1/012050 (Diakses 10 Juli 2021).
- Sarjono P, Aminin A, dan Mulyani NZ. 2017. Profil kandungan protein dan tekstur tahu akibat penambahan fitrat pada proses pembuatan tahu. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*. 20(1): 9-12.
- Sitasari AN dan Khoironi A. 2021. Evaluasi efektivitas metode dan media filtrasi pada pengolahan air limbah tahu. *Jurnal Ilmu Lingkungan*. 19 (3): 565-575.
- Soeprijanto, Tristanto VA, Revandra M, Rohmah ER, Febrianto E. 2019. The use of liquid waste of tofu industry for biogas production using an anerobic digester. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia “Kejuangan”-Pengembangan Teknologi Kimia untuk Pengolahan Sumber Daya Alam Indonesia*. Yogyakarta. 25 April 2019.
- UNIDO, 2017. Resource Efficient and Cleaner Production. *Journal Cleaner Production* 2: 254-268.
- Yasuha JXL dan Saifi M. 2017. Analisis kelayakan investasi atas rencana penambahan aktiva tetap: Studi kasus pada PT Pelabuhan Indonesia III (Persero) Cabang Tanjung Perak Terminal Nilam. *Jurnal Administrasi Bisnis*. 46(1):113-121.
- Zannah N. 2017. Kajian Peluang Penerapan Produksi Bersih di Industri Tahu (Studi Kasus di Industri Tahu Bandung Raos Cap Jempol) Bogor: Institut Pertanian Bogor.