

POTENSI PENERAPAN KONSEP EKONOMI SIRKULAR UNTUK PENGEMBANGAN INDUSTRI TAHU YANG BERKELANJUTAN

POTENTIAL APPLICATION OF CIRCULAR ECONOMY CONCEPTS FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF TOFU INDUSTRY

Efri Yulistika^{*}, Suprihatin, dan Purwoko

Sekolah Pascasarjana Teknik Industri Pertanian, Institut Pertanian Bogor
Jl. Raya Dramaga, Kampus IPB Dramaga Bogor 16680, Jawa Barat, Indonesia
Email: efriyulistika@apps.ipb.ac.id

Makalah: Diterima 26 Juni 2023; Diperbaiki 11 September 2023; Disetujui 30 September 2023

ABSTRACT

Tofu is one of the products produced mainly by small and medium industries (SMEs). Along with the production of tofu by SMEs, there are many environmental problems. The industry's main ecological problems are waste management, efficient use of materials, water, and energy, and emissions generated during production. One solution that can be done to solve these problems is through the application of the circular economy concept. This research aimed to characterize the tofu production process, identify problems and analyze the potential application of the circular economy concept for the sustainable development of the tofu industry. The research was conducted through field observation and literature study. The research data were processed, analyzed, and presented in a qualitative descriptive manner. The results of the study show that the circular economy concept that can be adopted in the tofu industry A, B, and C is the utilization of solid waste in the form of tofu dregs as food ingredients (nuggets, tempe gembus, shredded and soy sauce), semi-finished foodstuffs (in the form of dregs flour which can be used as raw material for food processing such as crackers, pastries, and brownies), and as animal feed. Circular economy alternatives are analyzed by considering economic, environmental and social feasibility. Alternatives that are feasible and applicable to the tofu industry A, B, and C are washing soybeans in stages to reduce water use, tofu dregs are processed into tempe gembus or other products, cooking soybean porridge with boiler heating and cooking with a steam system, and liquid waste (whey) can be utilized as raw material for nata de soya, biogas and liquid fertilizer.

Keywords: circular economy, tofu industry, sustainability

ABSTRAK

Tahu merupakan salah satu produk yang sebagian besar diproduksi oleh industri kecil dan menengah (UKM). Seiring dengan meningkatnya produksi tahu oleh UKM, ternyata berpotensi menimbulkan banyak permasalahan lingkungan. Permasalahan lingkungan utama yang dihadapi industri tahu A, B, dan C adalah pengelolaan limbah, efisiensi penggunaan material, air dan energi serta emisi yang dihasilkan selama proses produksi. Salah satu solusi yang dapat dilakukan untuk menyelesaikan permasalahan tersebut ialah melalui penerapan konsep ekonomi sirkular. Penelitian ini bertujuan untuk mengkarakterisasi proses produksi tahu, mengidentifikasi permasalahan dan menganalisis potensi penerapan konsep ekonomi sirkular untuk pengembangan industri tahu yang berkelanjutan. Penelitian dilakukan melalui observasi lapang dan studi literatur. Data hasil penelitian diolah, dianalisis dan disajikan secara deskriptif kualitatif. Hasil kajian menunjukkan bahwa konsep ekonomi sirkular yang dapat diadopsi pada industri tahu A, B dan C seperti pemanfaatan limbah padat yang berupa ampas tahu sebagai bahan pangan jadi (nugget, tempe gembus, abon dan kecap), bahan pangan setengah jadi (berupa tepung ampas yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan kerupuk, kue kering, dan *brownies*) dan sebagai pakan ternak. Alternatif ekonomi sirkular dianalisis dengan mempertimbangkan kelayakan ekonomi, lingkungan dan sosial. Alternatif yang layak dan dapat diterapkan pada industri tahu A, B dan C yaitu pencucian kedelai secara bertahap untuk mengurangi penggunaan air, ampas tahu diolah menjadi tempe gembus atau produk lainnya, pemasakan bubur kedelai dengan pemanas *boiler* dan pemasakan sistem uap, dan limbah cair (*whey*) dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku *nata de soya*, biogas dan pupuk cair.

Kata kunci: ekonomi sirkular, industri tahu, keberlanjutan

PENDAHULUAN

Tahu merupakan salah satu produk berbahan baku kedelai yang banyak diminati masyarakat di Indonesia. Tahu memiliki kandungan protein yang

tinggi dengan kandungan asam amino yang lengkap dan mudah dicerna (Indrawijaya *et al.*, 2017). Menurut data BPS (2022) pada tahun 2020, rata-rata penduduk Indonesia mengkonsumsi produk tahu sebesar 0,138 kg/kapita/minggu dan pada tahun 2021

mengalami kenaikan yaitu mencapai 0,158 kg/kapita/minggu. Peningkatan konsumsi tahu ini diikuti dengan munculnya industri kecil dan menengah (UKM) tahu yang ada di Indonesia. Hal ini tentunya akan berdampak positif bagi perkembangan ekonomi masyarakat, namun dari aspek lingkungan masih banyak menimbulkan dampak negatif yang disebabkan oleh perkembangan UKM tahu yang tidak diikuti dengan pengelolaan limbah yang baik (Hartini *et al.*, 2021).

Produk utama dari produksi tahu adalah tahu, sementara itu produk sampingnya (*by product*) berupa limbah padat, limbah cair dan limbah gas. Limbah padat berupa ampas tahu dihasilkan dari proses penyaringan bubur kedelai, limbah cair dihasilkan dari proses perendaman, pencucian, penggumpalan dan pengepresan tahu dan emisi gas berasal dari penggunaan bahan bakar fosil selama proses produksi. Limbah padat tahu memiliki kandungan nutrisi yang cukup tinggi seperti: air (82,69%), abu (0,55%), lemak (0,62%) protein (2,42%) dan karbohidrat (13,71%) yang biasanya dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan tempe gembus dan pakan ternak (Faishal *et al.*, 2016). Limbah cair memiliki kandungan senyawa organik, COD dan BOD yang tinggi. Kandungan senyawa organik dapat berupa protein (40–60%), karbohidrat (25–50%), minyak dan lemak (10%), serta nutrisi yaitu nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K) (Wang *et al.*, 2018; Anggraini *et al.*, 2020), sedangkan nilai kandungan BOD pada limbah cair tahu sebesar 6.000-8.000 mg/L dan COD sebesar 7.500-14.000 mg/L (Wang *et al.*, 2018). Nilai N, P, dan K yang tinggi dalam air limbah berpotensi merusak lingkungan karena senyawa organik tersebut berkontribusi menyebabkan eutrofikasi (Potter dan Rööös, 2021). Selama proses pengolahan tahu, penggunaan energi yang tinggi juga berpotensi menghasilkan emisi gas rumah kaca (GRK) akibat penggunaan bahan bakar selama proses produksi (Putri dan Waluyo, 2022). Berdasarkan uraian kandungan limbah padat maupun cair dari produksi tahu yang belum dimanfaatkan secara optimal dan memiliki peluang pemanfaatan lebih, salah satu cara yang dapat dilakukan ialah dengan menerapkan konsep ekonomi sirkular pada industri tahu.

Ekonomi sirkular merupakan konsep ekonomi yang menerapkan tujuan berkelanjutan yang terkait dengan tingkat konsumsi dan produksi yang bertanggung jawab (Kristianto *et al.*, 2021). The Ellen MacArthur Foundation (2019) mendeskripsikan ekonomi sirkular sebagai kerangka kerja yang dapat menciptakan solusi untuk menghadapi tantangan global seperti perubahan iklim, berkurangnya keanekaragaman hayati, masalah limbah dan polusi. Prinsip dari kerangka kerja ekonomi sirkular diarahkan dengan desain, yaitu menghilangkan limbah dan polusi, menghemat sumber daya alam dengan memperpanjang siklus hidup suatu produk,

bahan baku dan sumber daya yang ada agar dapat dipakai selama mungkin dan berfokus pada sumber daya alam terbarukan yang bersifat regeneratif. Menurut Bappenas *et al.* (2022), prinsip ekonomi sirkular berfokus pada pengurangan konsumsi sumber daya dan material dalam rantai produksi dirangkum dalam kerangka 9R. Kerangka 9R ini terdiri dari 10 prinsip ekonomi sirkular yang diurutkan mulai dari 0 s.d 9 dan dibagi menjadi tiga bagian besar, yaitu membuat dan menggunakan produk dengan lebih cerdas (*refuse, rethink, reduce*), memperpanjang masa pakai produk (*reuse, repair, refurbish, remanufacture, repurpose*), dan mengambil manfaat lain dari material yang ada (*recycle, recover*) (Potting *et al.*, 2017).

Konsep ekonomi sirkular dapat digunakan untuk melihat potensi pemanfaatan hasil samping dari proses produksi tahu. Hasil penelitian ini diharapkan mampu memberikan informasi mengenai potensi-potensi pemanfaatan limbah hasil produksi tahu berdasarkan konsep ekonomi sirkular. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengkarakterisasi proses produksi, mengidentifikasi permasalahan yang terjadi, menganalisis potensi penerapan konsep ekonomi sirkular dan manfaat penerapan ekonomi sirkular untuk pengembangan industri tahu yang berkelanjutan.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah metode deskriptif kualitatif. Pengumpulan data dilakukan dengan cara studi literatur (data sekunder) dan studi lapang (data primer). Studi literatur dimulai dengan mengumpulkan jurnal dan buku-buku acuan yang membahas tentang proses produksi tahu, permasalahan yang muncul, konsep ekonomi sirkular dan implementasinya. Penelitian lapang dilakukan dengan melakukan observasi lapang guna mengumpulkan data terkait meliputi kebutuhan bahan baku dan energi dalam proses produksi. Selanjutnya dilakukan perhitungan neraca massa dan identifikasi tahapan proses yang menghasilkan limbah guna mengetahui inefisiensi proses. Tahap selanjutnya adalah menganalisis potensi implementasi konsep ekonomi sirkular pada proses produksi tahu.

Observasi lapang dilaksanakan dalam Agustus - Oktober 2022 di tiga industri tahu yang memiliki kapasitas produksi yang berbeda yakni industri tahu A, B, dan C yang ada di Desa Tugu Mulyo, Kecamatan Lempuing, Kabupaten Ogan Komering Ilir, Sumatera Selatan. Industri dipilih berdasarkan kapasitas dan teknologi pengolahan yang diterapkan untuk memproduksi tahu. Kapasitas rata-rata produksi industri A, B, dan C secara berturut-turut adalah 50 kg, 80 kg dan 100 kg kedelai per hari. Deskripsi industri tahu pada penelitian ini disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Deskripsi industri tahu

No	Kapasitas	Fasilitas dan teknologi	Deskripsi
1	Industri A (kapasitas 50 kg kedelai per hari)	Lantai produksi dari tanah dan sebagian besar dari beton; penggilingan menggunakan alat giling dengan bahan bakar solar; tempat pemasakan dari plat besi; tungku pembakaran dengan menggunakan kayu bakar; tempat penggumpalan didesain khusus dari beton yang dilapisi keramik; tidak ada fasilitas pengolahan limbah.	Pemisahan sari tahu dan ampas dilakukan dengan menggunakan kain saringan dan digoyangkan dengan tenaga manusia, pengambilan bubur kedelai masak secara manual, pemasakan dengan sumber panas langsung di atas tungku pemasak.
2	Industri B (kapasitas 80 kg kedelai per hari)	Lantai produksi dari tanah dan sebagian terbuat dari beton; penggilingan menggunakan alat giling dengan bahan bakar solar; tempat pemasakan dari plat besi; tungku pembakaran dengan menggunakan kayu bakar secara langsung; tempat penggumpalan terbuat dari beton; tidak ada fasilitas pengolahan limbah.	Pemisahan sari tahu dan ampas dilakukan dengan menggunakan kain saringan (<i>blacu</i>) yang digoyang dengan tenaga manusia, pengambilan bubur kedelai masak secara manual, pemasakan dengan sumber panas langsung di atas tungku pemasak.
3	Industri C (kapasitas 100 kg per hari)	Lantai produksi dirancang khusus dari beton; tempat pemasakan dirancang khusus dari beton; penggilingan menggunakan alat giling dengan energi listrik; pemasakan dengan boiler sederhana dan bahan bakar dengan kayu bakar secara langsung; tidak ada fasilitas pengolahan limbah. Teknologi pemasakan bubur kedelai dengan menggunakan sistem uap.	Pemisahan sari tahu dan ampas dilakukan dengan menggunakan kain saringan (<i>blacu</i>) yang digoyang dengan tenaga manusia, pengambilan bubur kedelai masak menggunakan mesin dan sari tahu dialirkan melalui pipa, pemasakan dilakukan pada tempat masak yang terbuat dari beton, sumber panas berasal dari uap panas yang diperoleh dari boiler sederhana.

Bahan baku yang digunakan pada industri merupakan kedelai impor dan produk yang dihasilkan berupa tahu putih. Konsep ekonomi sirkular yang dapat diterapkan pada industri tahu adalah dengan mengoptimalkan pengolahan ampas tahu dan limbah cair. Pemanfaatan ampas yang selama ini ada di industri tahu adalah memanfaatkannya sebagai bahan baku tempe gembus dan pakan ternak oleh pihak ketiga, sedangkan limbah cair hanya dialirkan ke saluran air hingga bermuara pada sungai yang berada di sekitar industri. Penyusunan konsep ekonomi sirkular pada industri tahu ini dengan melakukan analisis 9R (*refuse, rethink, reduce, reuse, repair, refurbish, remanufacture, repurpose, recycle, recover*) dengan mempertimbangkan tiga aspek yaitu aspek ekonomi, aspek lingkungan dan aspek social.

1. Aspek ekonomi dianalisis dengan melakukan perhitungan kelayakan ekonomi menggunakan perhitungan *B/C Ratio* dan *Payback Period*. Rumus *B/C Ratio* (persamaan 1) dan *Payback Period* (persamaan 2) sebagai berikut:

$$B/C \text{ Ratio} = \frac{PV \text{ benefit}}{PV \text{ cost}} \dots\dots\dots (1)$$

$$PP = \frac{\text{Nilai investasi}}{\text{kas masuk bersih} \times 1 \text{ tahun}} \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan:

B/C ratio > 1 : layak/ untung

B/C ratio < 1 : tidak layak/ rugi

PV benefit : nilai *benefit* yang telah di *discount*

PV cost : nilai *cost* yang telah di *discount*

2. Aspek lingkungan ditinjau dari jenis dan jumlah limbah padat, limbah cair dan limbah gas yang terbentuk selama proses produksi tahu.
3. Aspek sosial ditinjau secara kualitatif terkait dengan penyerapan tenaga kerja dan manfaat sosial lainnya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Proses Produksi Tahu

Proses produksi tahu umumnya melalui beberapa tahapan yang hampir sama. Perbedaan hanya pada urutan kerja atau jenis zat penggumpal protein yang digunakan. Bahan baku kedelai industri tahu A, B, dan C menggunakan kedelai impor. Sistem produksi yang dilakukan pada industri tahu A, B, dan C semuanya menggunakan sistem curah (*batch*). Setiap *batch* berisi 8- 10 kg kedelai. Tahapan proses produksi tahu industri A, B, dan C meliputi: perendaman, pencucian, penggilingan, pemasakan, penyaringan, penggumpalan, pengepresan atau pencetakan, dan pematangan.

Selama proses produksi, industri tahu menggunakan banyak air. Setiap industri tahu yang disurvei memiliki kuantitas pemakaian air yang berbeda. Hal ini disebabkan karena beberapa unit fasilitas produksi dan kebiasaan atau tradisi kerjanya yang berbeda. Keluaran dari proses produksi berupa tahu putih. Selain itu, setiap industri yang disurvei juga menghasilkan produk samping yaitu limbah cair dan limbah padat berupa ampas tahu dari proses penyaringan. Proses produksi tahu di industri A, B, dan C disajikan pada Tabel 2.

Proses produksi tahu di industri A, B, dan C dengan kapasitas 50 kg, 80 kg dan 100 kg kedelai per hari akan menghasilkan tahu putih kurang lebih 122,4 kg, 194,4 kg dan 360,16 kg. Neraca massa produksi tahu di industri A, B, dan C disajikan pada Tabel 3. Perbedaan kapasitas produksi di industri berpengaruh pada jumlah limbah spesifik yang dihasilkan. Semakin besar kapasitasnya maka semakin rendah limbah yang dihasilkan per satuan bobot tahu yang dihasilkan. Perbandingan penggunaan air dan limbah yang dihasilkan selama proses produksi tahu untuk industri tahun A, B, dan C disajikan pada Tabel 4.

Tabel 2. Proses produksi tahu di industri

No	Proses	Tujuan	Keterangan
1	Perendaman kedelai	Mempermudah proses penggilingan karena tekstur kedelai menjadi lebih lembut.	Perendaman kedelai dilakukan dengan penambahan air bersih selama 4-5 jam.
2	Pencucian kedelai	Membersihkan kedelai dari kotoran yang masih tersisa pada saat perendaman.	Pencucian dilakukan menggunakan air bersih yang diulang sebanyak dua hingga tiga kali.
3	Penggilingan kedelai	Melumatkan biji kedelai agar menjadi bubur kedelai	Penggilingan dilakukan menggunakan alat penggiling kedelai atau <i>blender</i> untuk menghasilkan bubur kedelai. Proses penggilingan kedelai dilakukan penambahan air kurang lebih 2 kali jumlah kedelai yang digiling untuk mempercepat proses penggilingan.
4	Pemasakan bubur kedelai	Mematangkan bubur kedelai agar terjadi proses denaturasi protein dari kedelai sehingga protein mudah terkoagulasi.	Proses pemasakan di industri A dan B masih dilakukan secara tradisional dengan menggunakan tungku berbahan kayu bakar, sedangkan di industri C pemasakan bubur kedelai dilakukan dengan menggunakan uap panas yang dihasilkan dari ketel uap dengan kayu bakar sebagai pemanasnya. Proses pemasakan dilakukan selama 15-30 menit.
5	Penyaringan bubur kedelai	Memisahkan antara ampas dan sari kedelai dari bubur kedelai.	Proses penyaringan bubur kedelai di industri tahu A dan B bubur kedelai diambil menggunakan wadah oleh pekerja secara manual. Sedangkan di industri tahu C sari kedelai yang telah dimasak dialirkan menggunakan pipa, kemudian disaring menggunakan kain blacu. Proses penyaringan dilakukan terus-menerus dengan penambahan air hingga didapatkan sari kedelai dan ampas.
6	Penggumpalan sari kedelai	Menggumpalkan sari kedelai dengan penambahan koagulan.	Proses penggumpalan dilakukan dengan menambahkan air asam/ <i>whey</i> tahu dari proses produksi sebelumnya sebagai koagulan yang berfungsi untuk mengendapkan dan menggumpalkan protein. Proses penggumpalan dilakukan sekitar 15 menit dan pada saat proses tersebut dilakukan pengadukan agar air asam/ <i>whey</i> yang ditambahkan dapat tercampur rata.
7	Pengepresan/ pencetakan	Menghasilkan tahu dengan tekstur dan bentuk tertentu.	Pengepresan tahu dilakukan menggunakan cetakan persegi yang terbuat dari kayu dan dilapisi kain blacu, dan pada saat pengepresan, cetakan tahu diberi pemberat untuk mempercepat proses pengeluaran air dari dalam bahan.
8	Pemotongan	Menghasilkan ukuran tahu sesuai dengan yang diinginkan	Pemotongan dilakukan setelah tahu menjadi padat, kain blacu dibuka kemudian tahu ditiriskan dan dipotong dengan ukuran tertentu. Pemotongan di industri A ukuran 20 g, industri B 15 g, dan industri C 25 g dan 38 g.

Tabel 3. Neraca massa produksi tahu di industri A, B, dan C

Tahapan Proses	Industri A (kapasitas 50 kg per hari)		Industri B (kapasitas 80 kg per hari)		Industri C (kapasitas 100 kg per hari)	
	Input	Output	Input	Output	Input	Output
Perendaman	kedelai: 50 kg air: 250 L	KB: 92 kg air: 208 L	kedelai: 80 kg air: 456,1 L	KB: 144 kg air: 392,1 L	kedelai: 100 kg air: 456,1 L	KB: 193 kg air: 363 L
Pencucian	KB: 92 kg air: 456 L	KB: 98,5 kg air: 449,5 L	KB: 144 kg air: 1.112 L	KB: 159 kg air: 1.097 L	KB: 193 kg air: 912,2 L	KB: 213 kg air: 892, 2 L
Penggilingan	KB: 98,5 kg air: 216,2 L	BK: 314,65 kg	KB: 159 kg air: 318 L	BK: 477 kg	KB: 213 kg air: 532,5 L	BK: 745,5 kg
Pemasakan	BK: 314,65 kg air: 273,5 L	BK: 570,65 kg uap: 17,5 L	BK: 477 kg air: 308 L	BK: 755 kg uap: 30 L	BK: 745,5 kg air: 100 L	BK: 805,5 kg uap: 40 L
Penyaringan	BK: 570,65 kg air: 207,5 L	SK: 670,65 kg ampas : 107,5 kg	BK: 755 kg air: 415 L	SK: 965 kg ampas: 205 kg	BK: 805 kg air: 910 L	SK: 1.495,5 kg ampas: 220 kg
Penggumpalan	SK: 670,65 kg air asam: 277,25 L	curd: 667,9 kg whey: 280 L	SK: 965 kg air asam: 605 L	curd: 960 kg whey: 610 L	SK:1.495,5 kg air asam: 763,2 L	curd:1.490,8 kg whey: 770,0 L
Pencetakan / pengepresan	curd: 667,9 kg	whey: 545,5 L tahu: 122,4 kg	curd: 960 kg	whey: 765,6 L tahu: 194,4 kg	curd: 1.490,8 kg	whey:1.130,6 L tahu: 360,2 kg
Pemotongan	tahu: 122,4 kg	tahu (@20g): 6.120 buah	tahu: 194,4 kg	tahu (@15g): 12.960 buah	tahu: 360,16 kg	tahu (@25g): 7.840 buah tahu (@38g): 4.320 buah

Keterangan :

KB : Kedelai basah
BK : Bubur kedelaiSK : Sari kedelai
ST&BT : Sari tahu dan bubur tahu

Tabel 4. Perbandingan jumlah penggunaan air dan limbah dalam proses pengolahan tahu per 1 kg kedelai

Parameter	Industri tahu		
	A	B	C
Tahu (kg)	2,448	2,43	3,60
Proses perendaman (L)	5	5,7	4,56
Proses pencucian (L)	9,12	13,9	9,12
Proses penggilingan (L)	4,33	3,975	5,33
Proses pemasakan (L)	5,47	3,85	1
Proses Penyaringan (L)	4,15	5,19	9,1
Penggumpalan menggunakan air asam/whey (L)	5,55	7,56	7,65
Limbah padat :			
Ampas (kg)	2,15	2,5625	2,20
Limbah cair :			
• Whey (L)	16,51	17,195	19,0
• Proses perendaman (L)	4,16	4,90125	3,63
• Proses pencucian (L)	8,99	13,7125	8,92
Sanitasi peralatan dan ruang produksi (L)	525	850	910

Penggunaan energi di industri tahu A, B, dan C berbeda. Industri tahu A dan B menggunakan tiga jenis energi yaitu energi listrik, energi panas dan energi diesel. Energi listrik digunakan untuk proses penerangan tempat produksi dan pompa air. Energi panas yang bersumber dari kayu bakar digunakan untuk proses pemasakan bubur kedelai dan energi diesel yang menggunakan solar dipakai untuk proses penggilingan kedelai. Industri tahu C menggunakan dua energi yaitu energi listrik dan energi panas. Energi listrik digunakan untuk penerangan tempat produksi, mesin penggiling, pompa air panas, pompa air sumur dan *blower*. Energi panas yang diperoleh

dari proses pembakaran kayu bakar pada boiler sederhana digunakan dalam proses pemasakan bubur kedelai (pemasakan sistem uap) dan memanaskan air untuk perendaman tahu yang telah dipotong. Penggunaan energi pada proses produksi dan non produksi di industri tahu ditunjukkan pada Tabel 5.

Permasalahan dan Potensi Pengembangan

Proses produksi tahu di industri A, B, dan C tergolong sederhana karena masih menggunakan alat konvensional dan menggunakan tenaga manusia, sehingga menimbulkan beberapa permasalahan (Tabel 6).

Tabel 5. Penggunaan energi untuk produksi dan non produksi tahu di industri A, B, dan C

Sumber energi	Konsumsi energi (MJ/kg kedelai)			Keterangan
	Industri A (50 kg kedelai per hari)	Industri B (80 kg kedelai per hari)	Industri C (100 kg kedelai per hari)	
Listrik	0,1678	0,1109	0,8183	Produksi dan non produksi
Kayu bakar	17,2700	18,3494	15,5430	Produksi
Solar	0,8961	0,7468	-	Produksi
Total input energi	18,3339	19,2701	16,3613	

Tabel 6. Permasalahan yang ada di industri tahu A, B, dan C

No	Tahapan proses produksi	Uraian permasalahan
1	Pencucian	Masih ada inefisiensi penggunaan air
2	Penyaringan	Ampas tahu belum dimanfaatkan secara optimum
3	Pemasakan	Terbentuknya jelaga dan inefisiensi bahan bakar
4	Pengepresan dan pencetakan	Menghasilkan limbah tahu/ <i>whey</i> yang langsung dibuang ke lingkungan

Proses produksi tahu menghasilkan hasil samping berupa ampas tahu (limbah padat) dan sari tahu/ *whey* (limbah cair). Limbah padat berupa ampas tahu dihasilkan dari proses penyaringan, dan limbah cair diperoleh dari proses pencucian kedelai, pemasakan, pengepresan dan pencetakan tahu pada ketiga industri. Ampas tahu yang dihasilkan ketiga industri belum dimanfaatkan secara optimum. Ampas tahu oleh industri langsung dijual kepada pihak ketiga dengan yakni pengrajin tempe gembus dan kepada peternak sebagai pakan ternak dengan harga yang murah yaitu Rp 20.000,- per karung (\pm 90 kg ampas basah). Limbah cair berupa *whey* dihasilkan dari proses penggumpalan dan pengepresan tahu, pada ketiga industri tahu limbah *whey* langsung dialirkan ke lingkungan yang bercampur dengan limbah cair proses produksi lainnya. Masalah lingkungan yang muncul seperti bau busuk, pencemaran air, penyebaran penyakit dan menjadi salah satu faktor penyebab menurunnya produktivitas pertanian (Hartini *et al.*, 2021).

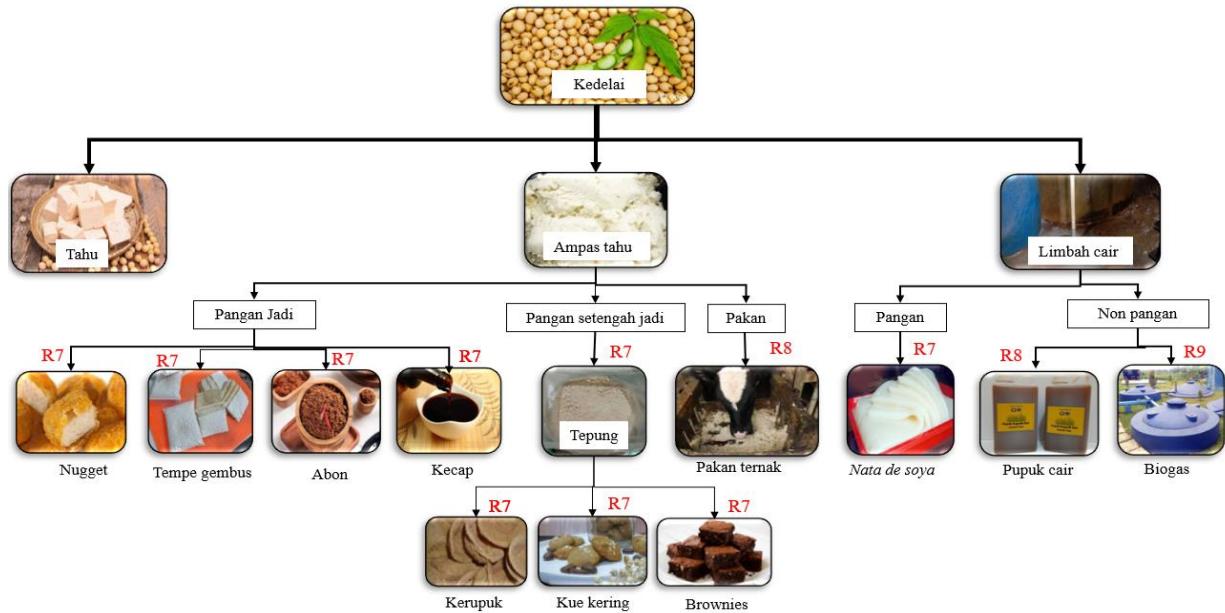
Potensi Penerapan Konsep Ekonomi Sirkular pada Industri Tahu

Prinsip utama konsep ekonomi sirkular adalah meminimalisasi output negatif, berupa limbah buangan hasil konsumsi dan produksi untuk diregenerasikan kembali menjadi produk yang bernilai manfaat). Poin-poin penting model ekonomi sirkular menggunakan pendekatan sistem dalam kegiatan produksi hingga konsumsi suatu produk, meminimalisir penggunaan sumber daya dan limbah yang dihasilkan, mempertahankan nilai guna material dan bersifat regeneratif. Implementasi ekonomi sirkular dapat membantu meningkatkan ketahanan lingkungan, kesejahteraan sosial masyarakat, mengurangi kerusakan lingkungan, dan meningkatkan pembentukan *new product added value* sekaligus dapat meningkatkan pertumbuhan

ekonomi hijau yang searah dengan tujuan pembangunan berkelanjutan (Lakshmi *et al.*, 2020).

Limbah padat (ampas tahu) masih memiliki nutrisi yang tinggi. Menurut Sina *et al.* (2021) ampas tahu mengandung energi 393 kal, protein 17,4 g, lemak 5,9 g, karbohidrat 67,5 g, dan serat kasar 3,23g. Kandungan gizi ampas tahu yang tinggi berpeluang untuk dijadikan produk pangan dengan nilai ekonomis jual yang tinggi. Limbah cair tahu juga memiliki kandungan organik yang tinggi. Menurut Sarjono *et al.* (2017) *whey* tahu mengandung total protein 0,14%, total pati 0,86%, total gula 1,13% dan isoflavon 20,77%. potensi implementasi konsep ekonomi sirkular pada industri tahu A, B dan C cukup besar.

Pemanfaatan limbah padat yang berupa ampas tahu dapat dibagi menjadi tiga kelompok produk yaitu sebagai bahan pangan jadi, pangan setengah jadi dan pakan. Produk pangan jadi yang dapat diproduksi dengan memanfaatkan ampas tahu adalah tempe gembus (Prayitno 2020; Amaro *et al.*, 2023), nugget (Sari *et al.*, 2019; Komna *et al.*, 2022), abon (Sentia *et al.*, 2021) dan kecap (Hikmah *et al.*, 2019). Bahan pangan setengah jadi berupa tepung ampas yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan kerupuk (Pratiwi *et al.*, 2019), kue kering (Yekti dan Suryaningsih, 2017), brownies (Rohman dan Budiretnani, 2018), dan sebagai pakan ternak (Muhlasin dan Suparno, 2015). Sedangkan sari tahu/ *whey* dibagi menjadi dua kelompok produk yaitu produk pangan seperti *nata de soya* (Hikmah *et al.*, 2019) dan non pangan seperti biogas (Subekti, 2011; Ridhuan, 2012; Nisrina dan Andarani, 2018) dan pupuk cair (Aliyena *et al.*, 2015; Saenab *et al.*, 2018; Marian *et al.*, 2019; Suhairin *et al.*, 2020; Setiawan *et al.*, 2021; Amalia *et al.*, 2022; Putra *et al.*, 2022; Putri *et al.*, 2022). Skema pemanfaatan hasil samping produksi tahu Gambar 1.



Gambar 1. Skema pemanfaatan hasil samping tahu

Analisis alternatif manfaat penerapan ekonomi sirkular ditentukan berdasarkan pada hasil studi literatur dan observasi lapang di industri tahu A, B, dan C. Alternatif-alternatif tersebut disusun dengan mempertimbangkan tiga aspek manfaat yaitu ekonomi, lingkungan dan sosial. Manfaat ekonomi dari penerapan sirkular ekonomi adalah adanya sumber pendapatan baru dari hasil samping proses produksi tahu karena menghasilkan produk pangan maupun non pangan yang bernilai ekonomi. Manfaat lingkungan didapatkan dari proses pemanfaatan limbah padat untuk mengurangi pencemaran lingkungan, seperti pencemaran udara (bau tidak sedap), pencemaran air dan berkontribusi menimbulkan efek rumah kaca. Manfaat sosial yang didapatkan adalah membuka peluang tenaga kerja baru dan membantu memenuhi masyarakat kebutuhan pangan, peternak untuk pakan ternaknya dan sebagai energi alternatif untuk memenuhi kebutuhan energi.

Alternatif ekonomi sirkular di industri tahu A, B, dan C juga disusun dengan memperhatikan tingkat sirkularitas dari opsi yang ditawarkan. Tingkat sirkularitas ditentukan oleh 10 prinsip ekonomi sirkular yang dirangkum dalam kerangka 9R (Tabel 6).

Penentuan alternatif penerapan konsep ekonomi sirkular dilakukan dengan pertimbangan aspek ekonomi, aspek lingkungan dan aspek sosial. Tabel 6 menunjukkan bahwa tingkat sirkularitas dari alternatif ekonomi sirkular pada industri tahu seperti R2/ *Reduce* dan R8/ *Recycle* penggunaan air dengan melakukan pencucian berulang atau pencucian bertahap guna meminimalisir penggunaan air. R7/ *Repurpose* ampas tahu sebagai bahan baku tempe

gembus, abon, kecap, kue kering, *brownies*, dan R8/ *Recycle* ampas menjadi pakan ternak. Pemasakan menggunakan pemanas *boiler* dan sistem uap dapat menghemat penggunaan energi (R2/ *Reduce*). R7/ *Repurpose* limbah cair (*whey*) sebagai bahan baku *nata de soya*, dan R8/ *Recycle* menjadi pupuk cair, dan R9/ *Recover* menjadi biogas.

Manfaat penerapan ekonomi sirkular ini adalah adanya sumber pendapatan baru bagi industri tahu yang diperoleh dari pengolahan hasil samping proses produksi tahu menjadi produk pangan maupun non pangan yang bernilai ekonomi. Pemanfaatan limbah padat dan cair dapat mengurangi pencemaran lingkungan, seperti pencemaran udara (bau tidak sedap), pencemaran air dan mengurangi efek rumah kaca sehingga manfaat lingkungan dapat dirasakan. Manfaat sosial ekonomi sirkular industri tahu seperti, membuka peluang tenaga kerja baru dan membantu memenuhi masyarakat kebutuhan pangan, peternak untuk pakan ternaknya, dan sebagai energi alternatif untuk memenuhi kebutuhan energi, serta meningkatkan kesadaran pelaku usaha tentang pentingnya menghemat sumberdaya.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Tahapan proses produksi tahu industri A, B, dan C meliputi: pencucian, perendaman, penggilingan, pemasakan, penyaringan, penggumpalan, pengepresan atau pencetakan, dan pengirisan. Permasalahan utama yang dihadapi industri tahu A, B, dan C adalah pengelolaan limbah yang dihasilkan selama proses produksi.

Tabel 6 Alternatif sirkular ekonomi di industri tahu A, B, dan C

No	Permasalahan	Solusi	Tingkat sirkularitas	Manfaat nyata bagi sekitar
1	Inefisiensi penggunaan air	Pencucian kedelai secara bertahap (Jaya <i>et al.</i> , 2018; Djayanti, 2015)	R2/ <i>Reduce</i> Air bekas pencucian ditampung ke dalam bak besar dengan tiga kali pembilasan dan menggunakan air bilasan terakhir untuk mencuci kedelai bilasan pertama di <i>batch</i> berikutnya (Anggraini <i>et al.</i> , 2022).	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ekonomi: menghemat pengeluaran biaya listrik karena penggunaan airnya berkurang. 2. Lingkungan: menghemat penggunaan sumber daya air dan mengurangi pencemaran lingkungan akibat pembuangan air perendaman dan pencucian dalam jumlah yang banyak 3. Sosial: meningkatkan kesadaran pelaku usaha tentang pentingnya menghemat sumberdaya.
2	Menghasilkan limbah padat (ampas tahu)	Nugget (Sari <i>et al.</i> , 2019)	R7/ <i>Repurpose</i> Memanfaatkan ampas tahu sebagai bahan baku nugget ampas tahu Resep bahan pembuatan nugget (Komna <i>et al.</i> , 2022)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ekonomi: sebagai sumber pendapatan baru karena terciptanya produk baru. Perhitungan per 45 kg ampas tahu yang telah dipress. <ul style="list-style-type: none"> • Biaya investasi: Rp 1.805.000 • Biaya tetap: Rp 87.864.150/tahun • Biaya tidak tetap: Rp 878.461.000/tahun • Total biaya produksi: Rp 966.325.150/tahun • Hasil produksi: 85.800 pcs/tahun • Harga jual: Rp 13.000 • Penghasilan: 1.115.400.000/tahun • Keuntungan: Rp 149.074.850/tahun • Net B/C ratio: 7,42 > 1 (layak) • <i>Payback period</i>: 0,03 tahun 2. Lingkungan: mengurangi pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh limbah ampas tahu. 3. Sosial: membuka peluang tenaga kerja baru,
		Tempe gembus (Prayitno, 2020; Amaro <i>et al.</i> , 2023)	R7/ <i>Repurpose</i> Memanfaatkan ampas tahu menjadi bahan baku pembuatan tempe gembus. Proses pembuatan tempe gembus dinilai cukup sederhana dan mudah untuk diterapkan.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ekonomi: Sebagai sumber pendapatan baru. Perhitungan per 150 kg ampas tahu basah diolah menjadi ± 30 kg. <ul style="list-style-type: none"> • Biaya investasi: Rp 2.190.000 • Biaya tetap: Rp 5.069.670/tahun • Biaya tidak tetap: 50.477.700/tahun • Total biaya produksi: Rp 55.547.370/tahun • Hasil produksi: 300.000 pcs/tahun • Harga jual: Rp 250 • Penghasilan: Rp 75.000/tahun • Keuntungan: Rp 19.452.630/tahun • Net B/C ratio: 3,73 > 1 (layak) • <i>Payback period</i>: 0,12 tahun. 2. Lingkungan: mengurangi pencemaran lingkungan seperti bau yang tidak sedap karena kandungan bahan organik pada ampas tahu. 3. Sosial: membuka peluang tenaga kerja baru dan membantu memenuhi kebutuhan pangan untuk masyarakat
		Abon (Sentia <i>et al.</i> , 2021)	R7/ <i>Repurpose</i> Memanfaatkan ampas tahu menjadi abon. Perbandingan bahan (ikan tandeman 60% : ampas tahu 40%) dengan kombinasi bahan sesuai penelitian (sentia <i>et al.</i> 2021)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ekonomi: sebagai sumber pendapatan baru. Perhitungan per 8 kg ampas tahu kering. <ul style="list-style-type: none"> • Biaya investasi: Rp 2.090.000 • Biaya tetap: Rp 68.147.700/tahun • Biaya tidak tetap: 681.268.000/tahun • Total biaya produksi: Rp 749.415.700/tahun • Hasil produksi: 60.000 pcs/tahun • Harga jual: Rp 16.000 • Penghasilan: Rp 960.000.000/tahun • Keuntungan: Rp 210.584.300/tahun • Net B/C ratio: 4,533 > 1 (layak) • <i>Payback period</i>: 0,02 tahun. 2. Lingkungan: mengurangi pencemaran lingkungan yang disebabkan ampas tahu. 3. Sosial: membuka peluang tenaga kerja baru dan meningkatkan kesadaran

No	Permasalahan	Solusi	Tingkat sirkularitas	Manfaat nyata bagi sekitar
				masyarakat akan pemanfaatan limbah padat tahu menjadi produk pangan
	Kecap (Hikmah <i>et al.</i> , 2019)	R7/ <i>Repurpose</i> Memanfaatkan ampas tahu sebagai bahan baku pembuatan kecap. Perhitungan ekonomi telah dilakukan oleh Hikmah <i>et al.</i> (2019)		<ol style="list-style-type: none"> Ekonomi: sebagai sumber pendapatan baru karena memanfaatkan ampas menjadi produk kecap. <ul style="list-style-type: none"> Biaya produksi kecap: 33.000 per liter Hasil produksi: 5 liter Kualitas kecap grade B Penghasilan: Rp 75.500 Keuntungan kotor: Rp 42.000 BEP (unit): 2,2 Liter kecap Lingkungan: mengurangi pencemaran lingkungan yang disebabkan limbah ampas tahu. Sosial: membuka peluang tenaga kerja baru dan membantu memenuhi kebutuhan pangan untuk masyarakat
	Kerupuk (Pratiwi <i>et al.</i> , 2019)	R7/ <i>Repurpose</i> Memanfaatkan ampas tahu sebagai salah satu bahan baku pembuatan kerupuk		<ol style="list-style-type: none"> Ekonomi: sebagai sumber pendapatan baru dari hasil penjualan kerupuk. Perhitungan per 50 kg ampas tahu) <ul style="list-style-type: none"> Biaya investasi: Rp 2.490.000 Biaya tetap: Rp 27.449.700/tahun Biaya tidak tetap: Rp 274.248.000/tahun Total biaya produksi: Rp 301.697.700/tahun Hasil produksi: 22.500 pcs/kg/tahun Harga jual: Rp 16.000 Penghasilan: Rp 360.000.000/tahun Keuntungan: Rp 58.302.300/tahun Net B/C ratio: 6,08 > 1 (layak) <i>Payback period</i>: 0,06 tahun Lingkungan: mengurangi pencemaran lingkungan oleh ampas tahu. Sosial: membuka peluang tenaga kerja baru dan dapat meningkatkan inovasi masyarakat terhadap pengolahan limbah padat ampas tahu
	Tepung ampas tahu	R7/ <i>Repurpose</i> Memanfaatkan ampas tahu sebagai bahan baku pembuatan tepung ampas tahu.		<ol style="list-style-type: none"> Ekonomi: Meningkatkan pendapatan bagi pelaku usaha dari hasil penjualan tepung ampas tahu. Perhitungan per 200 kg ampas tahu basah. <ul style="list-style-type: none"> Biaya investasi: Rp 3.890.000 Biaya tetap: Rp 7.148.640/tahun Biaya tidak tetap: Rp 71.097.400/tahun Total biaya produksi: Rp 17.753.960/tahun Hasil produksi: 12.000 kg/tahun Harga jual: Rp 8.000/kg tepung ampas Penghasilan: Rp 96.000.000/tahun Keuntungan: Rp 17.753.960/tahun Net B/C ratio: 5,08 > 1 (layak) <i>Payback period</i>: 0,03 tahun Lingkungan: meminimalisasi pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh limbah ampas tahu. Sosial: membuka peluang tenaga kerja baru dan mengedukasi masyarakat untuk pemanfaatan ampas tahu menjadi tepung ampas.
	Kue kering (Yekti dan Suryaningih, 2017)	R7/ <i>Repurpose</i> Memanfaatkan ampas tahu sebagai bahan baku pembuatan kue kering (<i>cookies</i>)		<ol style="list-style-type: none"> Ekonomi: sebagai sumber pendapatan baru karena ampas tahu dimanfaatkan sebagai bahan pembuatan kue kering yaitu <i>cookies</i>. <ol style="list-style-type: none"> Lingkungan: mengurangi pencemaran lingkungan oleh ampas tahu. Sosial: membuka peluang tenaga kerja baru dan dapat memenuhi kebutuhan gizi masyarakat.
	<i>Brownies</i> (Rohman dan Budiretnani, 2018)	R7/ <i>Repurpose</i> Memanfaatkan ampas tahu menjadi bahan campuran pembuatan		<ol style="list-style-type: none"> Ekonomi: sebagai sumber pendapatan baru untuk industri tahu dari penjualan

No	Permasalahan	Solusi	Tingkat sirkularitas	Manfaat nyata bagi sekitar
			<i>brownies</i> . Perhitungan ekonomi mengikuti hasil penelitian Rhohman dan Budiretnani (2018)	<p>brownies ampas tahu. Perhitungan per 1 kg ampas tahu kering.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Biaya produksi: Rp 100.000 • Hasil produksi: 150 cup • Harga jual: Rp 1.500 • Penghasilan per hari: Rp 150.000 • Keuntungan per hari: Rp 50.000 <p>2. Lingkungan: mengurangi pencemaran lingkungan oleh ampas tahu .</p> <p>3. Sosial: membuka peluang tenaga kerja baru dan dapat mengubah persepsi masyarakat terhadap limbah ampas tahu yang dapat dimanfaatkan sebagai produk pangan yang bernilai tinggi seperti brownies.</p>
		Pakan ternak (Muhlasin dan Suparno, 2015)	R8/ <i>Recycle</i> Memanfaatkan ampas tahu menjadi bahan pakan ternak sebagai hasil daur ulang limbah ampas tahu	<p>1. Ekonomi: menambah manfaat ekonomi bagi industri tahu. Hasil temuan di lapang, ampas tahu dari industri dijual dengan harga Rp 40.000 per karung (berat sekitar 70-80 kg ampas basah).</p> <p>2. Lingkungan: meminimalisir terbentuknya pencemaran lingkungan akibat ampas tahu.</p> <p>3. Sosial: meningkatkan kesadaran pelaku usaha terhadap ampas tahu yang masih memiliki banyak manfaat secara sosial.</p>
3	Terbentuknya jelaga dan inefisiensi penggunaan bahan bakar	Modifikasi tungku dan cerobong asap (Djayanti, 2015) serta pemasakan dengan sistem uap (Darmajana, 2013)	R2/ <i>Reduce</i> Energi panas dihasilkan dari boiler dan pemasakan menggunakan sistem uap agar tidak terbentuk jelaga di atap tempat produksi dan menghemat penggunaan bahan bakar sehingga dapat mengurangi emisi karbon.	<p>1. Ekonomi: menghemat pengeluaran untuk biaya pembelian kayu bakar, karena penggunaan boiler dapat menghemat bahan bakar.</p> <p>2. Lingkungan: mengurangi terbentuknya jelaga di atap produksi dan mengurangi emisi karbon akibat dari penggunaan bahan bakar.</p> <p>3. Sosial: meningkatkan kesadaran pelaku usaha tentang pentingnya menghemat sumberdaya.</p>
4	Menghasilkan limbah cair (<i>whey</i>)	<i>Nata de soya</i> (Hikmah et al., 2019)	R7/ <i>Repurpose</i> <i>Whey</i> tahu digunakan sebagai bahan baku pembuatan <i>nata de soya</i> dengan bantuan yang bakteri <i>acetobacter A, B dan C xylinum</i> untuk fermentasi. <i>Nata de soya</i> dapat dimanfaatkan sebagai <i>nata de coco</i> dalam pembuatan es. Perbandingan bahan dan cara kerja mengikuti penelitian Hikmah et al. (2019).	<p>1. Ekonomi: sebagai sumber pendapatan baru. Perhitungan per 475 L <i>whey</i> tahu dan asumsi rendemen 40%.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Biaya investasi: Rp 6.985.000 • Biaya tetap: Rp 34.908.450/tahun • Biaya tidak tetap: Rp 348.386.000/tahun • Total biaya produksi: Rp 383.294.450/tahun • Hasil produksi: 42.750 kg/tahun • Harga jual: Rp 11.000 • Penghasilan: Rp 470.250.000/tahun • Keuntungan: Rp 86.995.550/tahun • Net B/C ratio: 1,22 > 1 (layak) • <i>Payback period</i>: 0,11 tahun <p>2. Lingkungan: mengurangi pencemaran lingkungan seperti bau yang tidak sedap disebabkan kandungan organik di dalam <i>whey</i> dan mengurangi jumlah limbah cair yang terbuang ke lingkungan.</p> <p>3. Sosial: membuka peluang tenaga kerja baru dan menghasilkan produk baru yang dapat membantu memenuhi kebutuhan pangan untuk masyarakat</p>
		Biogas (Subekti, 2011; Ridhuan, 2012; Nisrina dan Andarani, 2018)	R9/ <i>Recover</i> Memanfaatkan limbah cair hasil pengolahan tahu menjadi biogas. Proses pembuatan biogas dimulai dengan penguraian oleh mikroorganisme untuk menguraikan bahan-bahan organik secara anaerob. Proses anaerob proses meliputi empat tahap yakni: hidrolisis, pembentukan asam, pembentukan asetat dan pembentukan metana. Perhitungan kelayakan ekonomi	<p>1. Ekonomi: menghemat pengeluaran untuk biaya listrik industri tahu. Perhitungan limbah tahu yang diolah sebesar 5.676 L per hari.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kapasitas produksi: 109.500 kg/tahun • Biaya investasi: Rp 34.718.165 • Biaya produksi: Rp 800.460.000 per tahun • Hasil produksi: 5,174 m³ per hari • HPP: Rp7.342 per kg • BEP 109.500 kg/tahun • <i>Payback period</i>: 0,48 tahun

No	Permasalahan	Solusi	Tingkat sirkularitas	Manfaat nyata bagi sekitar
			mengikuti hasil penelitian Nisrina dan Andarani (2018)	<ol style="list-style-type: none"> 2. Lingkungan: meminimalisir pencemaran lingkungan akibat limbah cair, mengurangi polusi berupa bau yang dihasilkan dari limbah tahu, mengurangi polusi limbah cair yang masuk ke tanah yang dapat merusak air tanah 3. Sosial: sebagai salah satu alternatif untuk membantu memenuhi kebutuhan energi untuk masyarakat dan diharapkan masyarakat tidak terganggu lagi dengan adanya limbah cair tahu yang menyebabkan bau sangat menyengat.
		Pupuk cair (Aliyena <i>et al.</i> , 2015; Saenab <i>et al.</i> , 2018; Marian <i>et al.</i> , 2019; Suhairin <i>et al.</i> , 2020; Setiawan <i>et al.</i> , 2021; Silvia <i>et al.</i> , 2021; Amalia <i>et al.</i> , 2022; Putra <i>et al.</i> , 2022; Putri <i>et al.</i> , 2022)	R8/ <i>Recycle</i> <i>Whey</i> tahu sebagai produk hasil daur ulang limbah cair tahu sebagai bahan produksi pupuk cair yang dapat digunakan pada banyak jenis tanaman. Perhitungan analisis ekonomi berdasarkan hasil penelitian Silvia <i>et al.</i> (2021)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ekonomi: sebagai sumber pendapatan baru untuk industri tahu dari proses penjualan pupuk cair. Perhitungan dilakukan per 826 L limbah cair tahu per hari) <ul style="list-style-type: none"> • Investasi awal: Rp 3.600.000 • Biaya tetap: Rp139.074.000/tahun • Biaya tidak tetap: Rp 1.390.380.000/tahun • Penghasilan: Rp 2.230.200.000/tahun • Keuntungan: Rp 700.746.000/tahun • Net B/C rasio: 3,18 > 1 (layak) • <i>Payback period</i>: 0,01 tahun 2. Lingkungan: mengurangi pencemaran lingkungan akibat limbah cair industri tahu dan mengurangi jumlah limbah cair yang terbuang ke lingkungan. 3. Sosial: sebagai salah satu alternatif untuk membantu memenuhi kebutuhan pupuk untuk petani/ pekebun.

Konsep ekonomi sirkular dapat diadopsi pada industri tahu, seperti misalnya melalui pemanfaatan limbah padat yang berupa ampas tahu sebagai bahan pangan jadi (nugget, tempe gembus, abon dan kecap), bahan pangan setengah jadi (berupa tepung ampas yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan kerupuk, kue kering, *brownies*) atau sebagai pakan ternak. Pemanfaatan limbah cair (*whey*) berupa produk pangan (*nata de soya*), non pangan (pupuk cair dan biogas). Alternatif ekonomi sirkular dianalisis dengan mempertimbangkan kelayakan ekonomi, lingkungan dan sosial. Alternatif yang dapat diterapkan pada industri tahu A, B dan C yaitu pencucian kedelai secara bertahap untuk mengurangi penggunaan air, ampas tahu diolah menjadi tempe gembus atau produk pangan lainnya, pemasakan bubur kedelai dengan pemanas *boiler* dan pemasakan sistem uap, dan limbah cair (*whey*) dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku *nata de soya*, biogas dan pupuk cair.

Saran

Konsep ekonomi sirkular pada ini dapat diterapkan pada industri tahu A, B, dan C karena dapat memberikan keuntungan baik aspek ekonomi, lingkungan maupun sosial. Opsi yang dapat diterapkan meliputi pemanfaatan secara optimum limbah padat dan cair sebagai bahan pangan maupun non-pangan, sehingga manfaat kedelai meningkat dan produksi limbah menurun.

DAFTAR PUSTAKA

- Agung TR dan Hanry SW. 2010. Pengolahan limbah industri tahu dengan menggunakan teknologi plasma. *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*. 2(2): 19-28.
- Aliyena, Napoleon A, dan Yudono B. 2015. Pemanfaatan limbah cair industri tahu sebagai pupuk cair organik terhadap pertumbuhan dan produksi tanaman kangkung darat (*Ipomoea reptans Poir*). *Jurnal Penelitian Sains*. 17(3). <https://doi.org/10.56064/jps.v17i3.57>.
- Angraini R, Suprihatin, dan Indrasti NS. 2022. Kajian penerapan produksi bersih di industri tahu (Studi Kasus pada Beberapa Industri Tahu di Kota Martapura, Sumatera Selatan). *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*. 32 (2): 107-120. <https://doi.org/10.24961/j.tek.ind.pert.2022.32.2.107>.
- Amalia RN, Devy SD, Kurniawan AS, Hasanah N, Salsabila ED, Ratnawati DAA, Fadil FM, Syarif NA, Aturdin GA. 2022. Potensi limbah cair tahu sebagai pupuk organik cair di RT 31 Kelurahan Lempake Kota Samarinda. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Universitas Mulawarman* 1(1): 36-41. <https://doi.org/10.32522/abdiku.v1i1>.
- Amaro M, Ariyana MD, Rahayu TI, Handayani BR, Nazaruddin. 2023. Upaya peningkatan nilai ekonomis ampas tahu dengan pelatihan pembuatan tempe ampas tahu. *Jurnal Pepadu*. 4(1):158-164. <https://doi.org/10.29303/pepadu.v4i1.2264>.

- Anggraini W, Zulfa M, Prihantini NN, Batubara F, Indriyani R. 2020. Utilization of tofu wastewater for the growth of red spinach (*alternantheraamoenovoss*) in floating raft hydroponic cultures. *Journal of Physics: Conference Series*. 1467 012005. doi:10.1088/1742-6596/1467/1/012005.
- Bappenas. 2022. *The Future Is Circular: Langkah Nyata Inisiatif Ekonomi Sirkular Di Indonesia*. Cleanomic: Jakarta. <https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/2022-08/INS-The-Future-is-Circular-for%20upload.pdf>.
- 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. <https://doi.org/10.33964/jp.v22i4.140>.
- 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. doi:10.21771/jrtpi.2015.v6.no2.p75 - 80.
- Ellen Macarthur Foundation. 2019. The Butterfly Diagram: Visualising the Circular Economy. <https://ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy-diagram>.
- Faisal M, Gani A, Maulana F, Daimon H. 2016. Treatment and utilization tofu waste in Indonesia. *Asian Journal of Chemistry* 28(3): 501–507. <https://doi.org/10.14233/ajchem.2016.19372>.
- Hartini S, Ramadan BS, Purwaningsih R, Sumiyati S, Kesuma MAA. 2021. Environmental impact assessment of tofu production process: case study in SME Sugihmanik, Grobogan. *IOP Conf Ser Earth Environ Sci*. 894 (2021) 012004. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/894/1/012004>.
- Hikmah SF, Rahman A, Kholiq IN, Andriani ZZD. 2019. Teknologi pengolahan limbah industri tahu sebagai upaya pengembangan usaha kecil menengah (UKM) di Kecamatan Gambiran Kabupaten Banyuwangi. *Jurnal Istiqro: Jurnal Hukum Islam, Ekonomi dan Bisnis*. 5(1):53. <https://doi.org/10.30739/istiqro.v5i1.342>.
- Indrawijaya B, Paradiba A, dan Murni SA. 2017. Uji organoleptik dan tingkat ketahanan produk tahu berpengawet kitosan. *Jurnal Ilmiah Teknik Kimia*. 1(2): 1–7.
- Jaya DJ, Ariyani L, dan Hadijah. 2018. Perencanaan produksi bersih industri pengolahan tahu di UD. Sumber Urip Pelahhari. *Jurnal Agroindustri*. 8(2): 105-112. <https://doi.org/10.31186/j.agroind.8.2.105-112>.
- Komna HT, Pawenang HM, Dinata C, Kertapradja N, Mulk MM. 2022. Analisa peningkatan nilai ekonomi ampas tahu melalui diversifikasi pada kegiatan PKM. *Jurnal IKRATH-ABDIMAS*. 5(3):149-155. <https://doi.org/10.37817/ikrathabdimas.v5i3.2230>.
- Kristianto AH, Nadapdap JP. 2021. Dinamika Sistem Ekonomi Sirkular Berbasis Masyarakat. *Sebatik* 25(1): 59–67. <https://doi.org/10.46984/sebatik.v25i1.1279>.
- Lakshmi VV, Aruna DD, dan Jhansi RKP. 2020. Wealth from poultry waste. *Waste management as Economic Industry Towards Circular Economy*. Springer: Singapore.
- Marian E dan Tuhumateru S. 2019. Pemanfaatan limbah cair sebagai pupuk organik cair pada pertumbuhan dan hasil tanaman sawi putih (*Brasica pekinensis*). *Jurnal Agritrop: Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian (Journal of Agricultural Science)*. 17(2):134–144. <https://doi.org/10.32528/agritrop.v17i2.2663>.
- Muhlasin M dan Suparno. 2015. Potensi limbah ampas tahu sebagai sumber pakan ternak sapi potong di kecamatan Pamekasan Kabupaten Pamekasan. *Maduranch*. 24(2): 23–28. <http://dx.doi.org/10.53712/maduranch.v1i1.46>.
- Nisrina H dan Andarani P. 2018. Pemanfaatan limbah tahu skala rumah tangga menjadi biogas sebagai upaya teknologi bersih di laboratorium pusat teknologi lingkungan-BPPT. *Jurnal Presipitasi: Media Komunikasi dan Pengembangan Teknik Lingkungan*. 15(2): 139-147. <https://doi.org/10.14710/presipitasi.v15i2.139-140>.
- Potter HK dan Rööös E. 2021. Multi-criteria evaluation of plant-based foods –use of environmental footprint and LCA data for consumer guidance. *Journal of Cleaner Production*. 280(1): 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124721>.
- Potting J, Hekkert M, Worrell E, Hanemaaijer A. 2017. Circular Economy: Measuring Innovation In The Product Chain. PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, The Hague 2017. <https://www.pbl.nl/en/publications/circular-economy-measuring-innovation-in-product-chains>.
- Pratiwi DN dan Pravasanti YA. 2019. Inovasi kerupuk tepung ampas tahu guna peningkatan pendapatan ibu-ibu purwogondo, Kartasura. *Jurnal BUDIMAS*. 1(1):9-12. <https://doi.org/10.29040/budimas.v1i1.705>.
- Prayitno S. 2020. Analisis usaha agroindustri tempe gembus (kasus pada usaha tempe gembus pak slamet) di desa sako margasasi kecamatan logas tanah darat Kabupaten Kuantan Singingi Provinsi Riau. [Skripsi]. Pekanbaru: Universitas Islam Riau.
- Putra CA, Rachmadi D, Widodo RAR, Devanty SA. 2022. Pengolahan limbah cair industri tahu menjadi pupuk organik cair di Kelurahan Pakunden Kota Blitar. *I-Com: Indonesian*

- Community Journal*. 2(2): 195-202. <https://doi.org/10.33379/icom.v2i2.1438>.
- Putri AMH, Waluyo J. 2022. Analisis Potensi Emisi Gas Rumah Kaca dari Industri Tahu dan Mitigasinya di Indonesia. *Jurnal Teknologi Lingkungan*. 23(1):62-70. doi.org/10.29122/jtl.v23i1.4963.
- Putri YE, Nggina AS, Tanul TT, Alus AH, Rofita D. 2022. Pemanfaatan limbah cair tahu menjadi pupuk organik cair (POC) di Ruteng Kecamatan Langke Rembong Kabupaten Manggarai. *Jurnal Pendidikan dan Konseling*. 4(5): 145-149.
- Rhohman F dan Budiretnani DA. 2018. Optimasi proses produksi tahu untuk peningkatan kesejahteraan produsen tahu. *Jurnal Panrita Abdi* 2(2): 113-118.
- Ridhuan K. 2012. Pengolahan limbah cair tahu sebagai energi alternatif biogas yang ramah lingkungan. *Turbo: Jurnal Program Studi Teknik Mesin*. 1(1): 1-9. <https://doi.org/10.24127/trb.v1i1.81>.
- Saenab S, Henie M, Al I, Rohman F, Arifin AN. 2018. Pemanfaatan Limbah Cair Industri Tahu sebagai Pupuk Organik Cair (POC) Guna Mendukung Program Lorong Garden (Longgar) Kota Makassar. *Prosiding Seminar Nasional Megabiodiversitas Indonesia Jurusan Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Alauddin Makassar*. 09 April 2018.
- Sari AM, Hasyim UH, Ismiyati, Sari F, Siskayanti R. 2019. Pelatihan potensi ampas tahu sebagai produk makanan bekerjasama dengan divisi pengembangan bisnis BM PPPIJ Jakarta Islamic Center Jakarta Utara. *Prosiding Seminar Nasional Pengabdian Masyarakat 2019*. Universitas Muhamadiyah Jakarta: 24 September 2019.
- Sentia M, Sidablok I, dan Hermalena L. 2021. perbandingan ikan tandem (*Rastrelliger* sp.) dengan ampas tahu pada pembuatan abon ikan. *Jurnal Mahasiswa Pertanian* 5(2): 78-91.
- Setiawan A, Jati DR, dan Saziati O. 2021. Penerapan produksi bersih industri kecil tahu di jalan parit pangeran siantan pontianak. *Jurnal Rekayasa Lingkungan Tropis* 2(1): 1-10. <http://dx.doi.org/10.21771/jrtppi.2015.v6.no2.p75-80>.
- Silvia, Derianto A, Lestari F, Nur M, Hartati M. 2021. Analisis tekno ekonomi pemanfaatan limbah cair tahu menjadi pupuk cair dengan metode eksperimen (Studi Kasus: CV. Tahu Boga Sari). *Jurnal Sains, Teknologi dan Industri*. 18(2): 274-282. <http://dx.doi.org/10.24014/sitekin.v18i2.12584>.
- Sina I dan Harwanto UN. 2021. Analisis pengolahan limbah padat tahu terhadap alternatif industri pangan sosis (Grade B). *Jurnal Ilmiah Teknik Kimia*. 5(1): 53-60. <http://dx.doi.org/10.32493/jitk.v5i1.9193>.
- Subekti S. 2011. Pengolahan limbah cair tahu menjadi biogas sebagai bahan bakar alternatif. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi ke-2 Tahun 2011. Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim Semarang*.
- Suhairin, Muanah, dan Dewi ES. 2020. pengolahan limbah cair tahu menjadi pupuk organik cair di Lombok Tengah NTB. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Berkemajuan*. 4(1): 374-377. <https://doi.org/10.31764/jpmb.v4i1.3144>.
- Wang SK, Wang X, Miao J, Tian YT. 2018. Tofu whey wastewater is a promising basal medium for microalgae culture. *Bioresource Technology*. 253:79-84. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.01.012>.
- Yekti GIA dan Suryaningsih Y. 2017. Pelatihan pembuatan cookies dari ampas tahu bagi masyarakat kelurahan ardirejo sebagai upaya pemanfaatan limbah padat pembuatan tahu. *Jurnal Paradharma*. 1(1): 28-34. <https://doi.org/10.36002/jpd.v1i1.214>