

# Efisiensi Penggunaan Air dan Energi Berbasis Produksi Bersih pada Industri Kecil Tahu: Studi Kasus IKM Tahu “Sari Rasa” Subang

## *Efficiency of Water and Energy Use Based on Cleaner Production in Small Tofu Industry: A Case Study of SME Tofu “Sari Rasa” Subang*

Doddy A. Darmajana<sup>a</sup>, Nok Afifah, Novrinaldi<sup>b</sup>, Umi Hanifah<sup>c</sup>, dan Andi Taufan<sup>d</sup>

Balai Besar Pengembangan Teknologi Tepat Guna  
Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI),  
JL. KS. Tubun No.5 Subang, Jawa Barat  
Email : doddyandy@yahoo.com

Diterima : 8 September 2013

Revisi : 23 September 2013

Disetujui : 22 Oktober 2013

### ABSTRAK

Peningkatan efisiensi pada setiap tahapan proses pada IKM tahu akan mengoptimalkan setiap komponen produksi, menghasilkan mutu produk yang baik serta berdampak positif terhadap lingkungan. Salah satu konsep yang bertujuan untuk meningkatkan efisiensi penggunaan bahan baku, bahan penunjang dan energi di seluruh tahapan produksi dan minimalisasi limbah adalah konsep produksi bersih. Telah dilakukan penelitian untuk merencanakan penerapan konsep produksi bersih di IKM tahu Sari Rasa Subang. Penelitian dilakukan dengan mengukur neraca massa pada setiap tahapan proses, dan menerapkan sistem pemipaan dan tungku pemasakan berbahan bakar gas. Pengambilan data mengikuti alur produksi IKM tanpa mengganggu proses untuk 3 *batch* produksi. Data yang diperoleh dibandingkan dengan kondisi proses sebelum penerapan produksi bersih dan terhadap industri tahu yang telah menerapkan produksi bersih. Hasil perbandingan menunjukkan penggunaan air proses lebih kecil 21,12 persen dibanding sebelum penerapan produksi bersih dan 15,13 persen terhadap pemakaian air di IKM tahu Kaguma. Hasil proses perancangan berupa penghematan energi listrik pompa dari 0,81 kWh menjadi 0,16kWh dengan menggunakan tangki air atas. Konsumsi energi menggunakan desain tungku baru berbahan bakar gas untuk pemasakan 5 kg kedelai sebesar 11220 kkal, menghemat energi sebesar 72,35 persen dibanding dengan tungku sebelumnya. Bila dibandingkan dengan IKM Kaguma, terdapat perbedaan kebutuhan energi untuk proses sebesar 1724,16 kkal.

kata kunci: produksi bersih, tahu, efisiensi

### ABSTRACT

*Increasing efficiencies at every stage of the process at SME Tofu will optimize every component of production, yield good quality products, and give positive impact to the environment. One of the concepts that aim to improve the efficient use of raw materials, auxiliary materials and energy at all stages of production and waste minimization is a cleaner production concept. The research was done to design the implementation of the cleaner production concept in SMEs tofu Sari Rasa Subang. The study was conducted by measuring mass balance at each stage of process and applying plumbing system and gas-fired furnace for cooking. The data were captured for 3 batches of production in SMEs. The data obtained were compared to the previous data. The comparison demonstrated that water used in SME Sari Rasa was 21.12 percent less than that of the previous and 15.13% more than that of SME Kaguma. The results of redesign process were the electrical energy saving at the pump from 0.81 kWh to 0.16 kWh using water roof tank. The saving of heat energy consumption using new gas-fired furnace for cooking 5 kg soybean was 11220 kcal. The saving energy was found to be 72.35% compared to the previous furnace. There were 1724.16 kkal energy consumption difference compared to SME Kaguma.*

*keywords: cleaner production, tofu, efficiency*

---

## I. PENDAHULUAN

**P**roduksi Bersih, menurut Kementerian Lingkungan Hidup, didefinisikan sebagai : strategi pengelolaan lingkungan yang bersifat preventif, terpadu dan diterapkan secara terus-menerus pada setiap kegiatan mulai dari hulu ke hilir yang terkait dengan proses produksi, produk dan jasa untuk meningkatkan efisiensi penggunaan sumberdaya alam, mencegah terjadinya pencemaran lingkungan dan mengurangi terbentuknya limbah pada sumbernya sehingga dapat meminimisasi resiko terhadap kesehatan dan keselamatan manusia serta kerusakan lingkungan (KLH, 2003). Produksi Bersih merupakan tindakan efisiensi pemakaian bahan baku, air dan energi, dan pencegahan pencemaran, dengan sasaran peningkatan produktivitas dan minimalisasi timbulnya limbah yang dihasilkan.

Pola pendekatan produksi bersih dalam melakukan pencegahan dan pengurangan limbah yaitu dengan strategi produksi bersih yang dituangkan dalam 5R yaitu : *Re-think, Reduction, Re-use, Recovery and Recycle* (KLH, 2003).

**Pertama, Re-think**, adalah konsep pemikiran yang harus dimiliki pada saat awal kegiatan akan beroperasi. Implikasi dari *re-think* adalah perubahan dalam pola produksi dan konsumsi serta perubahan pola pikir, sikap dan tingkah laku dari semua pihak terkait baik pemerintah, masyarakat maupun kalangan dunia usaha.

**Kedua, Reduction**, adalah teknologi yang dapat mengurangi atau mencegah timbulnya pencemaran diawal produksi. Implikasi dari *reduction* adalah mengurangi dan meminimalkan penggunaan bahan baku, air, energi dan penggunaan bahan baku berbahaya serta mereduksi terbentuknya limbah pada sumbernya sehingga mencegah dan mengurangi dampak lingkungan dan resikonya bagi manusia.

**Ketiga, Re-use**, adalah suatu teknologi yang memungkinkan suatu limbah dapat digunakan kembali tanpa mengalami perlakuan fisika/kimia/biologi.

**Keempat, Recovery**, adalah teknologi untuk memisahkan suatu bahan/energi dari suatu limbah untuk kemudian dikembalikan ke dalam proses produksi dengan atau tanpa perlakuan fisika/kimia/biologi.

**Kelima, Recycling**, yaitu teknologi yang berfungsi untuk memanfaatkan limbah dengan memprosesnya kembali secara fisika/kimia/biologi menjadi suatu produk yang bernilai.

Strategi utama perlu ditekankan pada pencegahan dan pengurangan atau 2R pertama (*Re-think* dan *Reduction*). Bila strategi 2R pertama masih menimbulkan pencemaran atau limbah, baru kemudian melakukan strategi 3R berikutnya (*reuse, recycle, dan recovery*) sebagai suatu strategi tingkatan pengelolaan limbah.

Secara garis besar proses pembuatan tahu adalah serangkaian perlakuan terhadap kedelai yang meliputi penyortiran, perendaman, pencucian, penghancuran (penggilingan), pemasakan, penyaringan, penggumpalan dan pencetakan. Selain proses utama, terdapat kegiatan pendukung seperti penyediaan dan penyaluran air sebagai bahan pembantu utama, penyediaan energi untuk memasak dan pembuangan limbah, baik limbah padat seperti ampas tahu dan sisa pembakaran bahan bakar biomasa, limbah cair dan limbah asap.

Menurut hasil survey Darmajana, dkk., (2009), permasalahan yang paling dirasakan oleh pengrajin tahu adalah kesulitan energi akibat kelangkaan minyak tanah dan sulitnya memperoleh bahan bakar biomassa, dan penanganan limbah cair sebagai hasil penggunaan air yang belum efisien. Pemasakan bubur kedelai memerlukan energi terbesar dibanding tahapan lain karena pada proses pemasakan diperlukan energi untuk menaikkan suhu bubur kedelai dan air pengestrak mencapai suhu didihnya selama 20 - 60 menit. Waktu yang diperlukan tergantung sumber panas (bahan bakar) dan sistem pembakarannya yang digunakan termasuk desain model tungku.

Diharapkan dengan pendekatan penerapan *Cleaner Production* (Produksi Bersih) dapat memberikan solusi untuk permasalahan - permasalahan tersebut. Salah satu rekomendasi dari Pusat Produksi Bersih Nasional (PPBN, 2006) dalam mengefisienkan air selain menggunakan kembali air bilasan kedua pada proses pencucian, untuk perendaman kedelai, juga mengendalikan penggunaan air dengan menggunakan kran.

Penelitian ini dilakukan untuk mengidentifikasi penyebab inefisiensi pemakaian air dan energi dan mengevaluasi usaha-usaha yang dapat dilakukan untuk peningkatan efisiensi pemakaian air dan energi melalui perbaikan tahapan proses saat ekstraksi, perancangan pemipaan air bersih dan teknologi pemasakan.

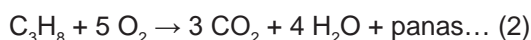
## II. TINJAUAN PUSTAKA

Pemasakan (bubur tahu) merupakan salah satu proses penting dari serangkaian perlakuan terhadap biji kedelai. Pada proses ini terjadi proses pembakaran dan perpindahan panas. Menurut Supriyatno (1994) pembakaran merupakan suatu proses reaksi kimia antara bahan bakar dengan oksigen dari udara yang menghasilkan panas. Panas yang dihasilkan terkadang disertai cahaya dalam bentuk pendar atau api. Pembakaran sempurna hanya terjadi jika ada pasokan oksigen yang cukup.

Rumus kimia sederhana dari proses pembakaran dapat dituliskan sebagai berikut :



Rumus kimia pembakaran gas LPG :



propana + oksigen → karbon dioksida + air.

Perpindahan panas pada pemasakan bubur tahu terjadi secara konveksi. Panas berpindah dengan cara mengalir yang diikuti dengan perpindahan partikel mediumnya. Perpindahan panas secara konveksi biasa terjadi pada medium zat cair dan gas. Pada pemasakan bubur tahu (campuran gilingan kedelai dengan air), api tungku memanaskan dasar wajan. Panas pada dasar wajan menyebabkan bubur tahu pada dasar wajan perlahan-lahan menjadi panas. Karena panas, bubur tahu menjadi ringan dan naik ke atas, sedangkan bubur tahu yang berada di atas (yang belum terkena panas) turun ke dasar wajan menjadi panas kemudian naik ke atas, dan begitu seterusnya. Perhitungan perpindahan panas pada tungku pemasakan bubur tahu dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$q = h.A (T_w - T_\infty) \dots\dots\dots (3)$$

dimana q adalah laju perpindahan kalor konveksi (W), h adalah koefisien perpindahan kalor konveksi (W/m<sup>2</sup>. °C), A adalah luas Permukaan

(m<sup>2</sup>), T<sub>w</sub> adalah suhu Plat (°C), T<sub>∞</sub> adalah suhu Fluida (°C)

Tungku digunakan sebagai tempat untuk melakukan proses pemasakan. Tungku yang umumnya digunakan berbahan bakar biomassa, baik dari kayu, serbuk gergaji, sekam padi dan lain-lain. Bahan bakar biomassa digunakan hampir dari separuh populasi dunia untuk memasak (Bruce dkk., 2000). Seperti yang dicatat Miah, dkk., (2009), makanan yang dimasak di daerah pedesaan di Bangladesh menggunakan kompor dengan bahan bakar biomassa karena tidak tersedianya gas alam. Bahan bakar ini menjadi salah satu dasar penentuan desain dari tungku yang akan dibuat. Menurut Bhattacharya, dkk., (2002) dalam Miah, dkk., (2009) desain tungku memiliki pengaruh penting terhadap efisiensi penggunaan bahan bakar dan berkaitan dengan masalah lingkungan. Seperti hasil penelitian oleh Kjellstrom, dkk., (2000), Wickramasinghe (2003), dan Ndiema, dkk., (1998) menunjukkan akibat negatif yang disebabkan penggunaan bahan bakar biomassa terkait dengan lingkungan hingga kesehatan.

Pengujian tungku menggunakan metode *Water Boiling Test* (WBT) seperti yang telah dikembangkan oleh *Volunteers in Technical Assistance* (2009) dimana efisiensi termal dihitung berdasarkan persamaan:

$$h_c = \frac{[4.186 \times \sum_{j=1}^2 (P_{jci} - P_j) \times (T_{jcf} - T_{jci})] + 2260(w_{cv})}{f_{cd} \times LHV}$$

$$h_c = \frac{[4.186 \times \sum_{j=1}^2 (P_{jci} - P_j) \times (T_{jcf} - T_{jci})] + 2260(w_{cv})}{f_{cd} \times LHV} \dots (4)$$

dimana h<sub>c</sub> adalah efisiensi termal, P<sub>jci</sub> adalah berat air dan pot awal (gram), P<sub>j</sub> adalah berat air dan pot akhir (gram), T<sub>jcf</sub> adalah suhu air awal (°C), T<sub>jci</sub> suhu air akhir (°C), w<sub>cv</sub> berat air menguap (gram), f<sub>cd</sub> berat bahan bakar akhir (gram), LHV adalah *Low Heating Value* LPG.

Perhitungan kebutuhan air dilakukan untuk merancang sistem tangki air atas untuk mengatasi kebutuhan puncak selama proses pembuatan tahu. Perhitungan kapasitas air tangki atas berdasarkan standar SNI 03-6481-2000 sistem plambing. Penggunaan prinsip ini diharapkan pompa tidak akan bekerja secara terus menerus selama proses produksi.

Pengukuran kapasitas pompa aktual

dilakukan untuk menghitung beban listrik yang digunakan selama proses. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan persamaan

$$: P_w = 0,163\gamma \times Q \times H \dots\dots\dots(5)$$

dimana  $P_w$  adalah daya air (kW),  $\gamma$  adalah massa air per satuan volume (kgf/l),  $Q$  adalah kapasitas ( $m^3/min$ ), dan  $H$  adalah head (m)

Daya poros yang diperlukan untuk menggerakkan sebuah pompa adalah sama dengan daya air ditambah kerugian daya di dalam pompa (Sularso dan Tahara, 2006). Daya ini dapat dihitung dengan persamaan :

$$P = P_w / \eta_p \dots\dots\dots(6)$$

dimana  $P$  adalah daya poros pompa (kW), dan  $\eta_p$  adalah efisiensi pompa. Daya nominal motor penggerak pompa dihitung dengan persamaan :

$$P_m = P (1+\alpha) / \eta_t \dots\dots\dots(7)$$

dengan  $P$  adalah daya motor (kW),  $\alpha$  adalah faktor cadangan, dan  $\eta_t$  adalah efisiensi transmisi.

Pemakaian air rata-rata dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$Qh = Qd/t \dots\dots\dots(8)$$

dimana  $Qh$  adalah pemakaian air rata-rata ( $m^3/jam$ ),  $Qd$  adalah pemakaian air rata-rata setiap hari ( $m^3$ ),  $t$  adalah waktu pemakaian (jam).

Menurut Noerbambang dan Morimura (1999), pada waktu - waktu tertentu pemakaian air akan melebihi pemakaian air rata-rata di mana pemakaian yang tertinggi dinamakan pemakaian air jam puncak. Kebutuhan air jam puncak dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$Qh_{max} = (c_1) (Qh) \dots\dots\dots(9)$$

dimana  $Qh_{max}$  adalah kebutuhan air jam puncak ( $m^3/jam$ ) dan  $c_1$  adalah konstanta bernilai 1,5-2,0.

Penentuan kapasitas efektif tangki air atas dilakukan dengan menggunakan persamaan :

$$VE = (Qp- Qh-max) tp + Qpu \times tpu \dots\dots\dots(10)$$

dimana  $VE$  adalah kapasitas efektif tangki atas (liter),  $Qp$  adalah kebutuhan puncak (liter/menit),  $Qpu$  adalah kapasitas pompa (liter/menit),  $tp$  adalah jangka waktu kebutuhan puncak (menit),  $tpu$  adalah jangka waktu kerja

pompa pengisi (menit). Kebutuhan puncak terjadi sepanjang waktu proses sedangkan kebutuhan jam puncak terjadi di saat tertentu. Dalam perhitungan diasumsikan  $Qp=Qh_{max}$ .

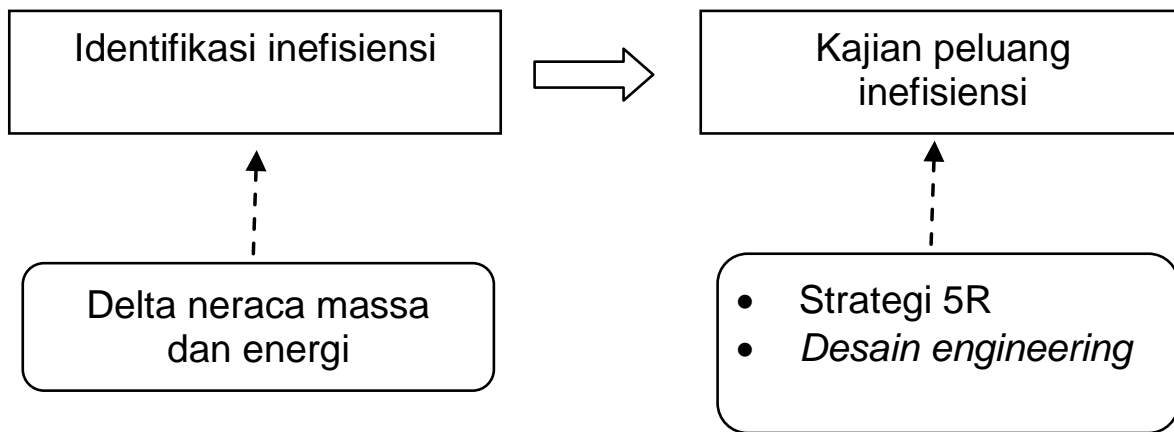
### III. METODOLOGI

Penelitian dilakukan di IKM tahu "Sari Rasa" (Bapak Hapid) yang berada di sentra industri tahu tempe di daerah Perumahan Kopti Desa Cigadung Kecamatan Subang Kabupaten Subang.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini berupa kedelai impor sedangkan peralatan yang digunakan antara lain timbangan digital, *infra red thermometer*, termokopel, *stopwatch* dan pengukur jarak (meteran), serta pengukur arus listrik.

Penelitian yang dilakukan merupakan penelitian deskriptif yang dikombinasikan dengan *engineering design*. Penelitian dilakukan melalui proses pengamatan di pabrik tahu untuk mendeskripsikan kondisi aktual di lapangan sehingga diperoleh data neraca massa dan neraca energi. Penerapan Produksi Bersih (PB) dapat diawali dengan mengidentifikasi neraca massa dan energi pada setiap proses produksi selanjutnya menentukan strategi dan peluang penerapan Produksi Bersih (Romli, 2008). Neraca massa yang diukur dalam penelitian ini dilakukan di setiap tahapan proses pembuatan tahu, yaitu : perendaman, penggilingan, pemasakan, pemerasan, penggumpalan, dan pencetakan. Data tersebut kemudian dibandingkan dengan kondisi sebelum dilakukan penerapan PB pada IKM yang sama (Sari Rasa) dan juga dibandingkan dengan IKM tahu yang telah menerapkan konsep Produksi Bersih (IKM Kaguma, Sleman) untuk mengidentifikasi inefisiensi pemakaian air. Evaluasi peluang yang dapat dilakukan untuk peningkatan efisiensi pemakaian air dan energi menggunakan strategi 3R (*reuse, recycle, dan recovery*), kemudian dilakukan perancangan teknologi yang berpeluang diterapkan.

Penerapan sistem penyaluran air bersih dan tangki air bersih (reservoir) untuk mengatasi kebutuhan puncak selama proses pembuatan tahu sesuai dengan SNI 03-7065-2005 : Tata cara perencanaan sistem plambing dan SNI 03-6481-2000: Sistem plambing. Tahapan yang



**Gambar 1.** Diagram Alir Penelitian

dilakukan mengacu pada prosedur perancangan instalasi plambing oleh SNI dan Noerbambang (1999) dimana diambil beberapa poin penting meliputi survey lapangan, identifikasi masalah, dan perhitungan kebutuhan air.

Penerapan tungku pemasak bubur kedelai berbahan bakar gas (LPG) untuk meningkatkan efisiensi pemakaian bahan bakar, dimana tungku yang digunakan sebelum penerapan PB berbahan bakar kayu. Hasil pengukuran menunjukkan masih cukup banyak panas yang terbuang, baik melalui dinding tungku maupun

pada asap yang keluar melalui cerobong asap (*chimney*). Penggunaan bahan bakar gas dimaksudkan untuk mengurangi pemakaian kayu bakar dan polusi udara. Perancangan tungku meliputi bahan baku (material), ukuran, konstruksi dan *heat loss*. Perancangan tungku pemasakan bubur tahu dilakukan dengan *reverse engineering* dari tungku pemasakan bubur yang telah ada berbahan bakar gas sebagai dasar pengembangan tungku dikombinasikan dengan tungku sekam dalam hal pemanfaatan sisa panas. Gambar diagram alir penelitian disajikan

**Tabel 1.** Neraca Massa Produksi Tahu di IKM Sari Rasa sebelum Penerapan PB

Proses	Bahan Masuk			Bahan Keluar		
	Bahan	Jumlah (kg)	Total (kg)	Bahan	Jumlah (kg)	Total (kg)
1. Perendaman	Kedelai	5,01	20,26	Kedelai basah	9,81	20,26
	Air	15,25		Air limbah	10,45	
2. Penggilingan	Kedelai basah	9,81	20,85	Bubur kedelai	20,31	20,85
	Air	11,05		Tertinggal di mesin	0,54	
3. Pemasakan	Bubur kedelai	20,31	78,29	Bubur masak	73,55	78,29
	Air	57,97		Uap air	4,74	
4. Ekstraksi	Bubur masak	73,55	196,90	Sari kedelai	178,23	196,90
	Air	123,35		Sari tumpah	2,25	
5. Penggumpalan	Sari kedelai	178,23	209,67	Tahu encer	62,32	209,17
	Whey	31,45		Whey	146,85	
6. Pencetakan	Tahu encer	62,32	62,32	Tahu putih	19,12	62,32

pada Gambar 1.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Identifikasi awal berupa neraca massa sebelum penerapan PB telah dilakukan di IKM Sari Rasa. Hasil pengukuran neraca massa proses produksi tahu di IKM Sari Rasa disajikan pada Tabel 1.

Berdasarkan Tabel 1 dapat dilihat bahwa kebutuhan air terbesar adalah untuk proses

semakin banyak, hal ini tentu tidak diharapkan.

Pemasakan bubur kedelai bertujuan untuk melarutkan protein yang merupakan komponen pembentuk tahu. Pada tahap ini dilakukan penambahan air untuk mendapatkan protein terlarut semaksimal mungkin. Adanya penambahan air dan pemanasan menyebabkan molekul-molekul pati menjadi mengembang. Pemasakan bubur kedelai dilakukan pada suhu 80 - 90°C dengan tujuan untuk optimasi proses pelarutan (*ekstraksi*) dan sterilisasi untuk

**Tabel 2.** Data Olahan Neraca Massa Setelah Pelaksanaan PB

Proses	Bahan Masuk			Bahan Keluar		
	Bahan	Jumlah, kg	Total, kg	Bahan	Jumlah, kg	Total, kg
1. Perendaman	Kedelai	5	17	Kedelai basah	10,22	16,72
	Air	12		Air limbah	6,495	
				Bahan hilang	0,285	
2. Penggilingan	Kedelai basah	10,22	26,26	Bubur kedelai	26,26	26,26
	Air	16,04				
3. Pemasakan	Bubur kedelai	26,26	82,48	Bubur masak	79,19	82,48
	Air	56,22		Uap air	3,30	
4. <i>Ekstraksi</i>	Bubur masak	79,19	158,70	Sari kedelai	146,63	158,65
	Air	79,51		Ampas	12,02	
				Bahan hilang	0,05	
5. Penggumpalan	Sari kedelai	146,63	172,92	Tahu encer	54,35	172,85
	<i>Whey</i>	26,29		<i>Whey</i>	118,50	
				Bahan hilang	0,07	
6. Pencetakan	Tahu encer	54,35	54,35	Tahu putih	20,71	54,35
				<i>Whey</i>	33,64	

pemasakan dan *ekstraksi* (tahap proses ke 3 dan 4) bubur kedelai. Tahap pemasakan memerlukan air 57,97 kg, sedang tahap *ekstraksi* memerlukan 123,35 kg air.

Penambahan jumlah air mempengaruhi rendemen hasil namun jika semakin banyak jumlah air akan menambah waktu operasional proses serta dimungkinkan *ekstraksi* yang ketiga dan selanjutnya tidak menambah rendemen hasil secara signifikan. Selain itu limbah cair yang dihasilkan pada proses penggumpalan juga

menghilangkan kontaminasi mikrobiologi yang dapat mengganggu mutu dan masa simpan tahu.

Penerapan PB dengan mengurangi jumlah pemakaian air saat *ekstraksi* dapat dilihat pada Tabel 2. Pada tabel tersebut menunjukkan hal yang sama dibandingkan dengan Tabel 1, yaitu kebutuhan air terbesar terdapat pada proses pemasakan dan *ekstraksi* bubur kedelai. Pada proses *ekstraksi* terjadi pengurangan (*reduksi*) jumlah air sebanyak 43,84 kg (35 persen). Sedangkan jumlah air yang digunakan untuk

pemasakan bubur kedelai hampir sama yaitu sebanyak 56-57 kg. Pengurangan (*reduksi*) air pengestrak ini memberikan dampak positif penurunan limbah *whey* yang dihasilkan saat penggumpalan sebesar 28,84.

Hasil pengukuran kebutuhan air pada lokasi penelitian, kemudian dibandingkan dengan industri tahu Kaguma. Afifah dkk., (2009) menyajikan hasil pengukuran aliran bahan proses produksi tahu di Rumah Produksi Kaguma, Sleman yang dijadikan percontohan penerapan produksi bersih. Perbandingan aliran

Rasa menggunakan kembali sebanyak 14,96 persen dan sisanya dibuang. *Whey* yang dibuang Kaguma 40,76 persen lebih sedikit dibandingkan IKM Sari Rasa. Selain *whey*, IKM Sari Rasa juga menghasilkan limbah berupa bahan yang tercecer/terbuang saat pemerasan sebanyak 2,79 kg karena perbedaan sistem pemerasan diantara keduanya. Limbah gas (uap air) yang dikeluarkan oleh IKM Sari Rasa lebih banyak 74,68 persen.

Penerapan PB meningkatkan rendemen tahu yang dihasilkan sebesar 8,4 persen karena

**Tabel 3.** Perbandingan Aliran Bahan Proses Produksi Tahu di Kaguma, Sari Rasa, dan Sari Rasa Setelah Pelaksanaan PB

Jenis Bahan	Bahan Masuk, Kg			Bahan Keluar, Kg		
	Kaguma	SR	SR-PB	Kaguma	SR	SR-PB
1. Kedelai	5,00	5,01	5			
2. Air proses	139,00	207,62	163,78			
3. <i>Whey</i> masuk	20,00	31,45	26,29			
4. Air buangan perendaman				15,95	10,45	6,50
5. <i>Whey</i> keluar total				116,00	190,55	152,14
6. Uap air				1,20	4,74	3,30
7. Bahan hilang				0,00	2,79	0,40
8. Ampas				11,00	16,42	12,02
9. Tahu				19,86	19,12	20,71
10. Jumlah	164,00	244,07		164,01	244,07	195,1

bahan saat proses produksi antara IKM Kaguma dengan IKM Sari Rasa sebelum dan setelah penerapan PB disajikan pada Tabel 3.

Pada basis produksi kedelai 5 kg, IKM Sari Rasa dan Kaguma menghasilkan produk tahu yang tidak berbeda yaitu 19,12 kg pada IKM Sari Rasa sebelum penerapan PB, 19,86 kg pada rumah produksi Kaguma dan 20,71kg pada IKM Sari Rasa setelah penerapan PB. Komponen bahan terbesar dalam produksi tahu adalah air, baik air bersih maupun air biang (*whey*) yang berimplikasi pada air limbah yang dihasilkan.

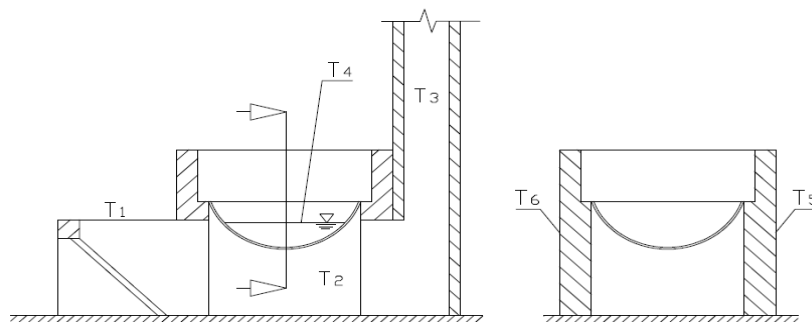
Berdasarkan Tabel 3 terlihat bahwa IKM Sari Rasa sebelum penerapan PB menggunakan air proses 33,05 persen lebih banyak dibandingkan IKM Kaguma sehingga jumlah limbah cairnya juga lebih banyak. IKM Kaguma menggunakan kembali 17,24 persen *whey* yang dihasilkan untuk proses berikutnya, sedangkan IKM Sari

adanya perbaikan tahapan proses yang terlihat dari berkurangnya bahan yang hilang sebesar 85,61 persen. Salah satu yang mengindikasikan perbaikan proses adalah proses *ekstraksi* dan pemerasan ampas yang menghasilkan ampas lebih rendah dari sebelum penerapan PB sebesar 26,81 persen. Efisiensi proses juga terlihat dari penggunaan air proses yang lebih hemat jika dibandingkan dengan sebelum penerapan PB sebesar 21,21 persen. Buangan limbah yang dapat mengkontaminasi lingkungan juga menurun yang terlihat dari penurunan jumlah *whey* sebesar 20,89 persen dan limbah rendaman 37,85 persen.

Sistem air bersih IKM Sari Rasa menggunakan pompa untuk mengalirkan air langsung ke beberapa titik di ruang produksi sehingga pompa terus bekerja selama proses pembuatan tahu. Pompa yang digunakan berkapasitas maksimal 30 liter/menit, total *head*

**Tabel 4.** Data Perancangan

Data N	otasi	Nilai
Kebutuhan air per hari Q	d	4,98 m <sup>3</sup> /hari
Kebutuhan air rata-rata	Q <sub>h</sub>	0,62m <sup>3</sup> /jam
Kebutuhan air jam puncak Q	h-maks	20,76 liter/menit
Kapasitas pompa pengisi	Q <sub>pu</sub>	30 liter/menit
Jangka waktu kebutuhan puncak t	p	60 menit
Jangka waktu kerja pompa pengisi t	pu	15 menit
Kapasitas efektif tangki air atas	V <sub>E</sub>	450 liter



**Gambar 2.** Tungku Pemasakan Bubur Kedelai IKM Tahu Sari Rasa

30 m, dengan daya 125 Watt. Hasil pengukuran pada saat proses menunjukkan laju aktual yang keluar dari pipa sebesar 8,57 liter/menit.

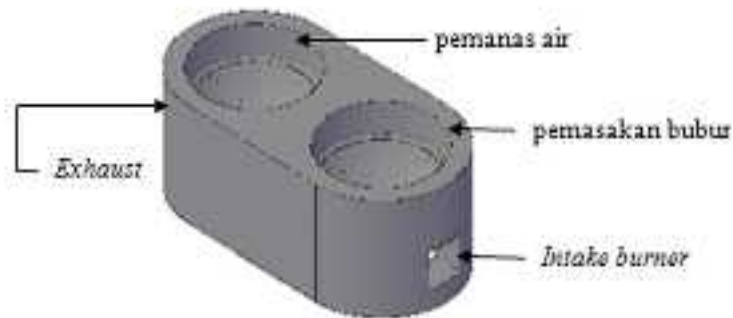
Daya air yang diperoleh menggunakan persamaan (5) adalah 0,04 kW dengan asumsi *head* 30 m. Daya poros dengan efisiensi 50 persen yang didapatkan dari persamaan (6) yaitu 0,08 kW. Daya nominal motor penggerak pompa dihitung dengan persamaan (7) dimana  $\alpha$  untuk motor induksi 0,2 dan efisiensi transmisi diasumsikan sebesar 1, sehingga diperoleh daya sebesar 0,1 kW. Apabila waktu proses pembuatan tahu selama 8 jam/hari, maka kebutuhan energi listrik pompa sebesar 0,81 kWh. Penerapan sistem plambing berdasarkan SNI dilakukan dengan membuat tangki air atas dengan ketinggian sesuai dengan kecukupan tekanan statik tertinggi kran air. Dengan menggunakan persamaan (8), (9), dan (10), diperoleh data perancangan pada Tabel 4.

Jangka waktu kebutuhan puncak direncanakan selama 60 menit di mana dapat terjadi pada saat air di tangki dalam level minimum, sehingga perlu dilakukan pengisian kembali oleh pompa yang ditetapkan selama 15 menit untuk mencukupi kebutuhan air proses.

Dari Tabel 4 diperoleh kapasitas tangki air sebesar 450 liter untuk mencukupi kebutuhan air proses pembuatan tahu. Kapasitas ini masih perlu ditambahkan dengan jumlah kebutuhan air (pribadi) untuk 3 operator pembuatan tahu di IKM tahu Sari Rasa. Berdasarkan SNI, kebutuhan air dalam satu hari untuk pekerja pabrik sebesar 60 liter/hari/orang. Kebutuhan air untuk operator dipisahkan dengan perhitungan untuk proses agar tidak mengganggu kebutuhan air proses pada saat kebutuhan air untuk operator terpakai semuanya pada saat proses berjalan. Oleh karena itu, didapatkan total kapasitas efektif tangki air atas sebesar 630 liter.

Penggunaan tangki sesuai kapasitas efektif air atas tersebut, maka pompa akan bekerja sebanyak 8 kali untuk mencukupi kebutuhan air per hari. Kebutuhan daya listrik untuk 8 kali pompa bekerja sebesar 0,25 kWh. Namun kapasitas tangki disesuaikan yang tersedia di pasar yaitu 1000 liter. Kebutuhan daya listrik pompa untuk mencukupi kebutuhan air per hari dengan tangki air atas kapasitas 1000 liter adalah 0,16 kWh di mana pompa bekerja sebanyak 5 kali.

Efisiensi energi dilakukan dengan



**Gambar 3.** Bagian Konstruksi Tungku

merancang tungku untuk pemasakan bubur kedelai. Tungku yang digunakan sebelumnya adalah tungku kayu tipe tunggal seperti pada Gambar 2. Hasil pengukuran suhu tungku selama proses pemasakan sebagai berikut : (i) Suhu udara rata-rata selama proses pemasakan pada lubang pemasukan bahan bakar (T1) terukur sebesar  $199,4^{\circ}\text{C}$ , pada ruang bakar (T2) terukur sebesar  $537,7^{\circ}\text{C}$  dan pada cerobong asap (T3) pada titik 50 cm dari atas tungku terukur sebesar  $367,5^{\circ}\text{C}$ ; (ii) Suhu bahan (bubur kedelai) rata-rata selama proses pemasakan pada ruang pemasakan (T4) pada titik 50 cm dari atas tungku terukur sebesar  $89,8^{\circ}\text{C}$ ; dan (iii) Suhu dinding luar sebelah kiri tungku rata-rata selama proses pemasakan (T5) terukur sebesar  $35,7^{\circ}\text{C}$  dan dinding luar sebelah kanan tungku (T5) terukur sebesar  $37,9^{\circ}\text{C}$ .

Berdasarkan hasil pengukuran tersebut terlihat bahwa masih banyak panas yang tidak dimanfaatkan/terbuang melalui cerobong asap dan lubang pemasukan bahan bakar kayu. Panas yang terbuang melalui cerobong asap tersebut masih dapat digunakan untuk memanaskan / menghangatkan air. Air hangat ini dapat dimanfaatkan untuk air tambahan selama pemasakan sehingga waktu pemasakan bisa lebih pendek, yang artinya terjadi efisiensi waktu dan energi.

Pada pemasakan bubur kedelai Kaguma menggunakan pemanas sistem uap yang dihasilkan dari ketel uap dan dialirkan melalui pipa-pipa ke tangki perebus. Ketel uap yang digunakan adalah ketel uap pipa api dengan bahan bakar berupa kayu dan limbah kayu (Jawa : *kawul*). Penggunaan uap air untuk pemasakan antara lain suhu pemasakan dalam bubur tidak lebih dari  $100^{\circ}\text{C}$ , sehingga bubur

kedelai tidak *over cooking* atau gosong, tidak ada asap pembakaran dalam ruang produksi, sehingga tahu yang dihasilkan bersih dan tidak berbau asap.

Bak pemasakan yang digunakan di rumah produksi Kaguma berupa silinder beton dimana pada permukaan dalam dari silinder beton dilapisi dengan plat *stainless steel*. Fungsi silinder beton untuk menahan beban bubur yang dimasak, sedang plat *stainless steel* agar bahan makanan yang dimasak tidak bereaksi atau terkontaminasi dengan wadah untuk proses. Alat pemasak pada IKM Sari Rasa menggunakan tungku kayu tipe tunggal (satu tungku terdiri dari satu lubang pemasukan bahan bakar dan satu tungku masak) yang terbuat dari tembok bata dan dilengkapi cerobong asap. Pemasakan dilakukan secara langsung yaitu lidah api berhubungan langsung dengan wajan mengkontakkan sumber panas dengan media (bubur kedelai) dalam bejana pemasakan berupa wajan. Bahan bakar yang digunakan sama seperti Kaguma yaitu kayu bakar.

Pada kondisi tersebut IKM Sari Rasa memasak bubur kedelai selama 40 menit sedangkan Kaguma selama 22,5 menit. Kayu yang digunakan IKM Sari Rasa sebanyak 10,1 kg sedangkan Kaguma menghabiskan 2,74 kg kayu dan 0,48 kg *kawul* (serpihan kayu) karena banyaknya panas yang hilang. Berdasarkan uraian diatas terlihat bahwa proses produksi tahu di IKM Sari Rasa kurang efisien dibandingkan Kaguma dilihat dari pemakaian air dan energi.

Selanjutnya tungku dirancang dengan desain seperti pada Gambar 3 dengan menggunakan bahan bakar gas. Tungku terdiri dari tungku utama sebagai tungku pemasakan bubur kedelai dan tungku pemanas air. Tungku

utama mendapatkan panas langsung dari pembakaran gas di bawahnya. Tungku pemanas air berada di belakang tungku utama, dimana terdapat saluran untuk mengalirkan sisa panas dari tungku utama. Dinding tungku terbuat dari pasangan bata dan semen tahan api sedangkan wajan terbuat dari *stainless steel*

Konsumsi kayu bakar untuk tungku awal (sebelum penerapan PB) adalah sekitar 10,1 kg untuk 1 pemasakan bubur kedelai (basis 5 kg kedelai). Berdasarkan pengukuran, kandungan kalori kayu bakar yang digunakan adalah sebesar 4.033,78 kkal/kg, maka konsumsi energi untuk pemasakan 5 kg bahan baku (kedelai) adalah sebesar 40.741,18 kkal. Pada penggunaan tungku hasil rancangan yang diterapkan setelah penerapan PB dengan bahan bakar gas untuk memasak 5 kg bahan baku kedelai membutuhkan 1 kg gas elpiji. Berdasar pada kandungan kalori gas elpiji sebesar 11.264,61 kkal/kg, maka konsumsi energi untuk pemasakan 5 kg bahan baku (kedelai) adalah sebesar 11.264,61 kkal. Hal ini berarti terdapat penghematan energi sebanyak 72,35 persen.

Bila dilakukan perbandingan penggunaan energi untuk pemasakan dapat dijelaskan, bahwa pada IKM Kaguma membutuhkan bahan bakar sebanyak 3,22 kg atau setara dengan 12.988,77 kkal, sedangkan pada IKM Sari Rasa setelah penerapan PB (bahan bakar gas) sebesar 11.264,61 kkal. Terdapat perbedaan kebutuhan energi yang lebih rendah pada IKM Sari Rasa, meskipun relatif kecil (1.724,16 kkal).

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan uraian di atas dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

**Pertama**, pemakaian air dalam produksi tahu di IKM Sari Rasa setelah penerapan Produksi Bersih terjadi pengurangan (*reduksi*) jumlah air sebanyak 43,84 kg (21,12 persen). Dibandingkan dengan IKM Kaguma, penggunaan air proses di IKM Sari Rasa lebih banyak 24,78 kg untuk basis 5 kg kedelai setiap proses.

**Kedua**, perancangan kapasitas efektif tangki air sebesar 1 m<sup>3</sup> untuk mencukupi kebutuhan air puncak selama 60 menit. Pompa akan bekerja sebanyak 5 kali per hari dan menghasilkan daya sebesar 0,16 kWh, lebih kecil dibandingkan

dengan instalasi sebelumnya sebesar 0,81 kWh.

**Ketiga**, tungku pemasakan bubur dirancang menggunakan bahan bakar gas LPG dengan dinding tungku dari semen dan bata tahan api sedangkan wajan dari *stainless steel*. Konsumsi energi untuk pemasakan 5 kg kedelai sebesar 11.220 kkal. Hal itu berarti menghemat energi sebanyak 72,2 persen dibandingkan tungku sebelum penerapan PB. Bila dibandingkan dengan IKM Kaguma, terdapat perbedaan kebutuhan energi untuk proses sebesar 1.724,16 kkal.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Afifah, N. dan R. Luthfiyanti. 2009. Kajian Proses Produksi Pada Penerapan Produksi Bersih di Rumah Produksi KAGUMA Untuk Industri Kecil Tahu Di Sayegan Kabupaten Sleman. *Prosiding Seminar Nasional Teknoin 2009*. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia.
- Badan Standardisasi Nasional. 2000. *SNI 03-6481-2000, Sistem Plambing*. Jakarta: BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. 2005. *SNI 03-7065-2005, Tata cara perencanaan sistem plambing*. Jakarta: BSN.
- Bhattacharya, S.C., Albina D.O., Khaing A.M. Effects of Selected Parameters on Performance and Emission of Biomass-Fired Cookstoves. *Biomass and Bioenergy* 2002;23(5):387–95.
- Bruce, N., R. Perez-Padilla, dan R. Albalak. 2000. Indoor Air Pollution in Developing Countries: a Major Environmental and Public Health Challenge. *Bull World Health Organ*. Vol. 78: 1078–1092.
- Darmajana, D.A., R. Luthfiyanti, E. Solicha., N. Afifah, dan Y. Adriana. 2009. *Kajian Pemanfaatan Teknologi Tepat Guna Dalam Penerapan Produksi Bersih Pada Industri Tahu Di Kabupaten Subang dan Sumedang*. Laporan Kegiatan. BBPTTG. Tidak diterbitkan.
- Kjellstrom, T., D. Streets, dan X. Wang. 2000. Energy, the Environment, and Health. *Di dalam: United Nations Development Programme, Holdren, J. P. dan Smith, K. R. (ed) World energy assessment: energy and the challenge of sustainability*, hal 61-110. New York. <http://www.undp.org/content/dam/aplaws/publication/en/publications/environment-energy/world-energy-assessment-energy-and-the-challenge-of-sustainability/World%20Energy%20Assessment-2000.pdf>. [diakses 21 November 2012]

Kementrian Lingkungan Hidup. 2003. *Kebijakan Produksi Bersih Nasional*. Jakarta: KLH.

Miah, Md. D., H. Al Rashid, dan M. Y. Shin. 2009. Wood Fuel Use in the Traditional Cooking Stoves in the Rural Floodplain Areas Of Bangladesh: A Socio-Environmental Perspective. *Biomass and Bioenergy*. Vol. 33: 70-78.

Ndiema, C. K.W., F. M. Mpendazoe, dan A. Williams. 1998. Emission of Pollutants from a Biomass Stove. *Energy Conversion Management* 39(13): 1357-1367.

Noerbambang, S. M. dan T. Morimura. 1999. *Perancangan dan Pemeliharaan Sistem Plambing*. Jakarta: PT. Pradya Paramita.

Pusat Produksi Bersih Nasional. 2006. Panduan Penerapan Produksi Bersih Industri Kecil Tahu. Jakarta: PPBN.

Romli, M. 2008. Cleaner Production in the Manufacturing of Virgin Coconut Oil (VCO). Makalah disampaikan pada *Tranning Course on Cleaner Production Technology for Virgin Coconut Oil (VCO) of Food Industry for ASEAN Countries*. Jakarta.

Sularso dan H. Tahara. 2006. *Pompa dan Kompresor: Pemilihan, Pemakaian dan Pemeliharaan*. Jakarta: PT. Pradya Paramita.

Supriyatno. 1994. *Teknologi Tungku Perajin*. Subang: Balai Pengembangan Teknologi Tepat Guna, Puslitbang Fisika Terapan – LIPI.

Volunteers in Technical Assistance. 2009. The Water Boiling Test version 4.1.2. *Cookstove Emissions and Efficiency in a Controlled Laboratory Setting. Draft*. VITA. [http://www.pciaonline.org/files/WBT4.1.2\\_0\\_0.pdf](http://www.pciaonline.org/files/WBT4.1.2_0_0.pdf) [diakses 7 Januari 2013]

Wickramasinghe, A. 2003. Gender and health issues in the biomass energy cycle: impediments to sustainable development. *Energy for Sustainable Development* 7(3): 51-61.

#### BIODATA PENULIS :

**Doddy A. Darmajana** dilahirkan di Madiun, 29 April 1960. Menyelesaikan S2 Teknologi Pasca Panen, Institut Pertanian Bogor.

**Andi Taufan** dilahirkan di Pare-Pare, 9 Agustus 1982. Menyelesaikan S1 Teknik Mesin, Universitas Indonesia. Email: andtaufan@gmail.com

**Umi Hanifah** dilahirkan di Kebumen, 18 Agustus 1981. Menyelesaikan S1 Teknik Pertanian, Institut Pertanian Bogor. Email: umihanifah81@gmail.com

**Novrinaldi** dilahirkan di Padang, 29 November 1980. Menyelesaikan S1 Teknik Mesin, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta. Email: naldi.novri@gmail.com

**Nok Afifah** dilahirkan di Taman Pernalang, 30 Mei 1978. Menyelesaikan S1 Teknik Kimia, Universitas Gadjah Mada. Email: nonggani@yahoo.com