

# RANCANGBANGUN DAN PENGUJIAN TUNGKU BERBAHAN BAKAR GAS UNTUK INDUSTRI TAHU TRADISIONAL BERBASIS PRODUKSI BERSIH

Design, Construction and Test of Gas Stove for Traditional Tofu Industry Based on Cleaner Production

Andi Taufan, Novrinaldi, Umi Hanifah

Balai Besar Pengembangan Teknologi Tepat Guna (BBPTTG) - Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI)  
Jl. K.S. Tubun No. 5, Subang, Jawa Barat, 41213  
Email: andtaufan@gmail.com

## ABSTRAK

Telah dilakukan rancang bangun dan pengujian tungku berbahan bakar gas untuk industri tahu tradisional. Berdasarkan salah satu fokus penerapan produksi bersih yaitu efisiensi energi, maka tungku dirancang sedemikian rupa agar memiliki efisiensi termal dan konsumsi energi yang baik. Tungku yang dikonstruksi memiliki dua buah ketel, ketel pemasakan bubur kedelai dari 5-8 kg bahan baku kedelai dan ketel untuk menghangatkan air. Pengujian tungku terdiri dari pengujian untuk pemasakan air dan pengujian untuk pemasakan bubur tahu. Pengujian untuk pemasakan air menggunakan metoda *Water Boiling Test* (WBT). Dari pengujian ini dapat diketahui waktu untuk mendidihkan 20 liter adalah 29,0 menit dan 18,7 menit, berturut-turut untuk kondisi *cold start* dan *hot start*; konsumsi bahan bakar spesifik rata-rata sebesar 0,041 kg/liter untuk kondisi *cold start* dan 0,030 kg/liter pada kondisi *hot start*. Konsumsi gas pada kondisi *cold* dan *hot start* masing-masing sebesar 0,028 kg/menit dan 0,032 kg/menit, serta efisiensi termal rata-rata sebesar 34,80% pada kondisi *cold start* dan 38,63% pada kondisi *hot start*. Berdasarkan uji statistik dengan derajat kepercayaan 95%, menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan waktu didih pada kondisi *cold start* dengan *hot start*. Hasil pengujian untuk pemasakan bubur tahu (kondisi *cold start*) dengan bahan baku 5 kg kedelai/batch, pemasakan selesai dalam waktu 60 menit dengan konsumsi bahan bakar 1,78 kg.

**Kata kunci:** Rancang bangun, tungku tahu, produksi bersih, Water Boiling Test, efisiensi termal

## ABSTRACT

A model of gas stove for traditional tofu industry was designed and tested. One of the focuses of cleaner production is energy efficiency, so the stove was designed to have good thermal efficiency and low energy consumption. The stove was constructed with two kettles where the first kettle was used to cook soybean porridge from 5-8 kg soybean and the other to warm water. The test consist of water boiling test and soybean cooking test. Water Boiling Test (WBT) was used to assessed stove performance by boiling the water. It takes 29,0 minutes to boil 20 lites of water in cold start condition and 18,7 minutes in hot start condition, moreover average specific fuel consumption is 0,041 kg/liter in cold start condition and 0,030 kg/liter in hot start condition. Gas consumption in cold start is 0,028 kg/min and in hot start is 0,032 kg/min, and the average thermal efficiency are 34,80% in cold start condition and 38,63% in hot start condition. Statistical test with 95% level of confidence, indicated a significant difference in the boiling time between cold start and hot start. The test showed that to cook soybean porridge from 5 kg/batch in cold start condition consumed 1,78 kg of fuel in 60 minutes.

**Keywords:** Design construction, tofu stove, cleaner production, Water Boiling Test, thermal efficiency

## PENDAHULUAN

Tungku sederhana merupakan komponen penting dalam pemasakan secara tradisional di mana setengah dari jumlah penduduk dunia menggunakannya (Bruce dkk., 2000). Bahan

bakar yang digunakan umumnya berasal dari biomassa, Miah dkk.(2009) menyatakan bahwa masyarakat di daerah pedesaan Bangladesh umumnya bergantung dari bahan bakar kayu dan sisa-sisa pertanian yang penggunaannya setiap hari tergantung dari jumlah anggota keluarga, pendapatan,

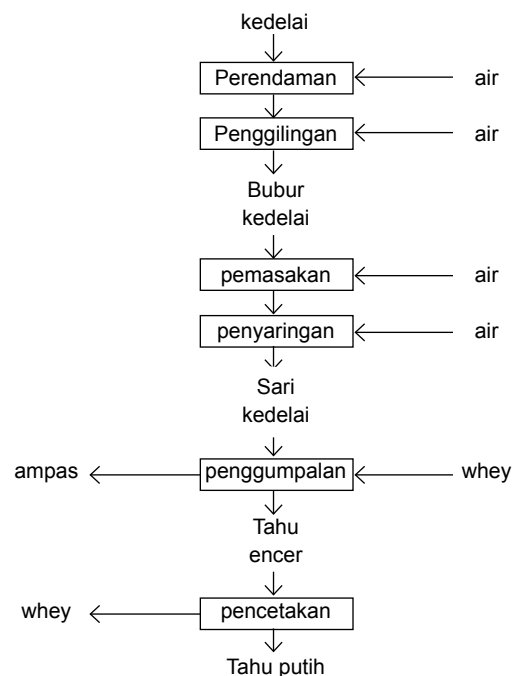
jumlah bahan yang dimasak dan waktu pembakaran. Dalam studi lainnya oleh Johnson dan Kenneth (2012) di pedalaman Afrika Barat, teridentifikasi beberapa faktor yang menjelaskan konsumsi bahan bakar yaitu: aplikasi tungku, jumlah anggota keluarga, total massa *wet* dan *dry ingredients*, dan penggunaan bara api sebagai pemantik yang digunakan saat pemasakan. Konsekuensi penggunaan biomassa adalah terjadinya beberapa masalah lingkungan, kesehatan, dan keselamatan seperti dicatat dalam penelitian oleh Kjellstrom dkk. (2000), Wickramasinghe (2003), dan Ndiema dkk. (1998). Tercatat sekitar 1,5 juta jiwa meninggal diseluruh dunia yang disebabkan asap dari penggunaan bahan bakar biomassa pada tungku terbuka tradisional, dimana lebih dari dua pertiganya terjadi di wilayah Asia Tenggara dan Sub Sahara Afrika (WHO, 2006).

Hasil penelitian Supriyatno dkk. (1994) menunjukkan bahwa tungku rumah tangga (TRT) tradisional Sumarni berbahan bakar kayu memiliki efisiensi 26%, modifikasi Singer 22%, dan TRT berbahan bakar sekam 14%. Penelitian lainnya tercatat efisiensi termal dari beberapa tungku yang menggunakan bahan bakar biomassa, di antaranya: *three-stone fire* 13% - 15%, *improved natural draft wood cookstoves* 11% - 53%, *improved forced draft wood cookstoves* 9% - 43%, dan *charcoal cookstoves* 14% - 37% (Johnson dan Gregory, 2012).

Aplikasi tungku tradisional berbahan bakar biomassa masih banyak digunakan dalam industri kecil menengah, seperti dalam industri tahu (Taufan dkk., 2012), garam (Sriudom, 2011), dan gula aren. Industri Kecil Menengah (IKM) tahu merupakan salah satu yang menggunakan tungku tradisional berbahan bakar biomassa. Khusus di kabupaten Subang, menurut data dari Disperindagsar kabupaten Subang tahun 2008, jumlah industri kecil tahu sebanyak 160 industri kecil dengan kapasitas produksi rata-rata pada tingkat IKM antara 50–100 kg kedelai per hari (Darmajana dkk., 2009) yang tersebar di 13 kecamatan antara lain Subang, Cibogo, Pagaden, Kalijati, Jalancagak, Tanjungsiang, Cijambe, Sagalaherang, Pamanukan, Blanakan, Purwadadi, Ciasem, dan Pabuaran.

Berdasarkan hasil survai di beberapa tempat industri kecil tahu di Kabupaten Subang, secara umum tahapan proses pembuatan tahu adalah seperti Gambar 1. Salah satu tahapan yang penting dalam proses pembuatan tahu adalah pemasakan bubur kedelai. Selain sangat menentukan kualitas produk, proses pemasakan juga merupakan tahapan yang memerlukan energi terbanyak. Proses pemasakan dalam proses produksi tahu dilakukan untuk memasak bubur kedelai hasil penggilingan kedelai. Komponen penting dalam proses ini yaitu tungku, bahan bakar, dan *burner* (apabila menggunakan bahan bakar gas). Tungku pemasakan bubur kedelai yang ada umumnya dikonstruksi dari batu bata.

Proses produksi yang dilakukan para pengrajin tahu umumnya belum memperhatikan prinsip-prinsip cara produksi pangan yang baik termasuk dampaknya pada lingkungan. Hal ini menyebabkan efisiensi proses baik bahan maupun energi kurang mendapat perhatian. Peningkatan efisiensi pada setiap tahapan proses akan mengoptimalkan sumber daya atau setiap komponen produksi, menghasilkan mutu produk yang baik serta dampak lingkungan yang positif. Salah satu konsep yang bertujuan untuk meningkatkan efisiensi penggunaan bahan baku, bahan penunjang dan energi di seluruh tahapan produksi dan minimalisasi limbah adalah *cleaner production concept* (konsep produksi bersih).



Gambar 1. Diagram alir proses pembuatan tahu di IKM Tahu Subang

*Cleaner production* merupakan suatu strategi yang dikembangkan untuk mengurangi dampak lingkungan yang ditimbulkan oleh kegiatan industri dengan pendekatan "*win-win solution*", dimana pihak industri memperoleh peningkatan efisiensi di setiap aspek produksi seiring dengan berkurangnya dampak lingkungan yang ditimbulkan oleh kegiatan industri (Arundhati, 2008 dan Fujitsuka, 2008).

Salah satu fokus penerapan *cleaner production* untuk industri tahu adalah efisiensi energi dan lingkungan. Terkait dengan proses pemasakan, maka dilakukan konversi bahan bakar biomassa ke gas LPG dalam proses pemasakan. Hal ini dikarenakan hasil pembakaran LPG menghasilkan emisi gas rumah kaca lebih sedikit dibanding bahan bakar biomassa (Reddy dkk., 2000). Adanya program pemerintah dalam hal konversi bahan bakar minyak ke gas menjadi salah satu faktor pendukung kemudahan mendapatkan gas LPG.

Konversi bahan bakar dari biomassa ke gas pada IKM tahu perlu didukung dengan penyesuaian tungku. Oleh karena itu dalam penelitian ini dilakukan rancang bangun tungku gas untuk tungku pemasakan tahu.

**METODE PENELITIAN**

Penelitian ini dilakukan pada tahun 2012 di Kabupaten Subang. Tahapan proses perancangan dimulai dari proses survai lapangan ke beberapa industri tahu di Kabupaten Subang, Sumedang, dan Bandung. Dilanjutkan dengan indentifikasi permasalahan, perancangan fungsional dan struktural, konstruksi tungku dan burner, dan pengujian tungku.

**Desain dan Konstruksi**

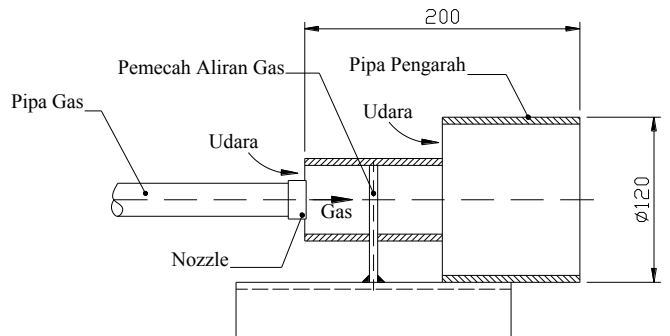
Tungku dirancang sedemikian rupa untuk memenuhi kebutuhan pemasakan bubur kedelai dengan kapasitas produksi 5 s/d 8 kg per *batch*. Gambar 2 menunjukkan tungku terdiri dari dua bagian pemasakan, yaitu bagian pemasakan bubur kedelai dan bagian penghangat air. Bagian penghangat air dimaksudkan untuk memanfaatkan panas buang dari bagian pemasakan bubur, sehingga diharapkan efisiensi termal dari tungku meningkat. Energi untuk memasak didapatkan dari pembakaran di ruang bakar di bawah ketel dengan menggunakan *burner* yang terhubung dengan selang menuju tabung LPG 3 kg. Ketel penghangat air mendapatkan panas buang yang mengalir melalui saluran udara diantara dua ketel yang menuju ke saluran pembuangan. Air hangat ini dapat digunakan untuk beberapa keperluan seperti pemasakan bubur sehingga proses pemasakan dapat dimulai dari suhu yang lebih tinggi dari suhu ruangan.

Bagian pemasakan bubur kedelai terbuat dari batu bata yang disemen dengan diameter 900 mm. Pada bagian bawah

menggunakan wajan *stainless steel* untuk mencegah korosi dengan diameter 800 mm. Total volume bagian pemasakan bubur kedelai adalah 267 liter. Bagian pemanasan air memiliki dimensi yang sama dengan bagian pemasakan bubur kedelai.

Komponen lain dari tungku adalah *burner* seperti ditunjukkan pada gambar 3. *Burner* dalam hal ini merupakan serangkaian komponen yang dirakit sebagai *nozzle* untuk menyemburkan gas ke dalam ruang pembakaran. Prinsip kerjanya adalah melakukan pencampuran antara bahan bakar (gas) dan udara sehingga dapat terjadi proses pembakaran yang baik.

Proses yang terjadi pada *burner* ini adalah gas disemburkan keluar dari *nozzle* kemudian menabrak pemecah aliran gas yang terbuat dari besi silinder. Hal ini mengakibatkan terjadi turbulensi aliran fluida yang diharapkan dapat mencampurkan antara bahan bakar dan udara yang mengalir dari pangkal silinder diameter 6 cm. Silinder diameter besar berfungsi sebagai pengarah dan celah antara keduanya sebagai celah udara untuk menambah jumlah udara yang berturbulensi di dalam silinder. *Burner* dihubungkan dengan selang gas dan regulator tipe industri agar debit gas yang keluar dari tabung cukup besar.

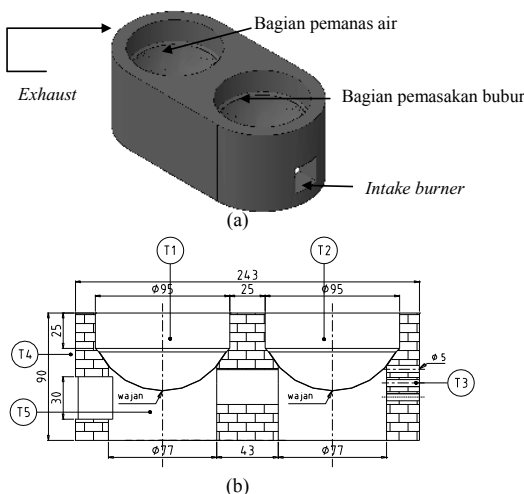


Gambar 3. Konstruksi burner

**Pengujian Tungku**

Pengujian terdiri dari pengujian performa tungku menggunakan metode *Water Boiling Test* (WBT) dan pengujian pemasakan bubur kedelai. Metode WBT digunakan dengan alasan kemudahan penerapan di lapangan untuk mendapatkan karakter dari tungku seperti efisiensi termal. Pengujian pemasakan bubur dilakukan sesuai prosedur pemasakan bubur kedelai pada proses pembuatan tahu sehingga cukup menyulitkan apabila digunakan untuk mengukur efisiensi termal tungku.

**Water Boiling Test (WBT).** Pengujian tungku pemasakan dilakukan *“in situ”* atau di tempat karena konstruksi yang masif dan dipasang langsung di lapangan. Metode yang paling umum digunakan untuk mengukur efisiensi termal dari tungku adalah WBT meskipun metode ini masih terdapat



Gambar 2. (a) Bagian konstruksi tungku; (b) Penampang tungku

ketidakkonsistenan yang dapat dilihat dari variabilitas hasil yang diperoleh (L'Orange, 2012). Pada penelitian ini diterapkan metoda WBT yang dikembangkan oleh Volunteers In Technical Assistance (VITA), yaitu WBT version 4.1.2. (VITA, 2009). Metode ini terdiri dari tiga fase: *High power, cold start* yaitu pengujian hingga air mencapai suhu didih yang dimulai dari tungku dan air pada kondisi dingin (suhu ruangan). *High power, hot start* yaitu pengujian dilakukan seketika setelah fase pertama dengan kondisi tungku panas dan diisi air dengan suhu ruangan. Dilakukan hingga air mendidih. *Low power (Simmering)* yaitu dilakukan setelah fase kedua dengan kondisi tungku dan air dalam keadaan panas. Panas dari bahan bakar dikondisikan untuk menjaga suhu air sedikit di bawah suhu didih selama 45 menit. Fase ketiga tidak dilakukan karena pada kenyataannya bubur kedelai dimasak hingga mendidih dan tungku tahu hanya digunakan untuk satu keperluan saja, yaitu memasak bubur kedelai.

Perhitungan efisiensi termal tungku dilakukan dengan menggunakan persamaan yang telah dimodifikasi (VITA, 2009) seperti terlihat pada persamaan (1) karena desain dan konstruksi tungku yang terdiri dari 2 bagian pot (ketel):

$$h_c = \frac{4.186 \times \sum_{j=1}^2 (P_{j_{ci}} - P_j) \times (T_{j_{cf}} - T_{j_{ci}}) + 2260(w_{cv})}{f_{cd} \times LHV} \dots\dots (1)$$

Dengan  $h_c$  adalah efisiensi termal,  $P_{j_{ci}}$  adalah berat air dan pot awal (gram),  $P_j$  adalah berat air dan pot akhir (gram),  $T_{j_{cf}}$  adalah suhu air awal (°C),  $T_{j_{ci}}$  suhu air akhir (°C),  $w_{cv}$  berat air menguap (gram),  $f_{cd}$  berat bahan bakar akhir (gram), LHV adalah *Low Heating Value* LPG.

Berbeda dengan pengujian tungku yang dilakukan pada WBT version 4.1.2, tungku tahu memiliki konstruksi masif dimana pot (ketel) menyatu dengan konstruksi dinding semen. Hal tersebut menyebabkan berat air dan pot tidak dapat ditimbang bersamaan. Seperti tungku pengolahan garam pada penelitian Sriudom (2011), maka hanya berat air yang ditimbang setelah pengujian.

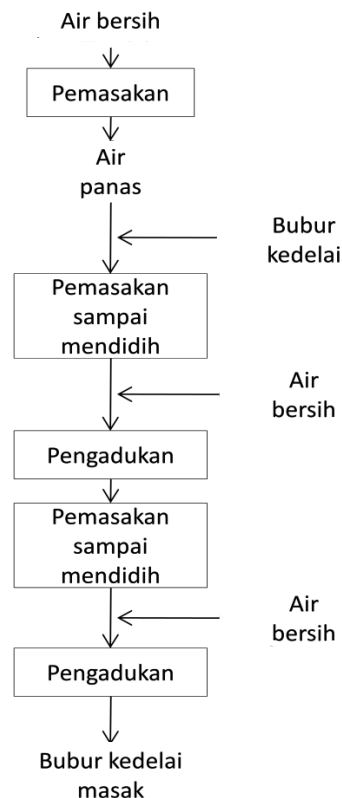
Pengujian dengan metoda WBT dilakukan sebanyak tiga kali baik pada kondisi *cold start* maupun *hot start*. Pada setiap pengujian dilakukan pengukuran suhu setiap 5 menit hingga air mendidih. Pengukuran suhu dilakukan di beberapa titik seperti ditunjukkan pada Gambar 2 (b), yaitu: pada ketel pemasakan ( $T_1$ ) dan penghangat air ( $T_2$ ), lubang *exhaust* ( $T_3$ ), lubang pemasukan ( $T_4$ ), dan api/ruang pembakaran ( $T_5$ ). Peralatan ukur yang digunakan dalam pengujian yaitu: termometer raksa, termokopel tipe K dan data logger, gelas ukur 2000 ml, jam dengan ketelitian detik, timbangan digital.

**Pengujian Pemasakan Bubur Kedelai.** Selain menggunakan metode WBT, pengujian juga dilakukan dengan

memasak langsung bubur kedelai pada tungku. Pengujian dilakukan untuk pemasakan bubur kedelai hasil penggilingan sebanyak 39,72 kg yang berasal dari 5 kg bahan baku kedelai. Prosedur pemasakan mengikuti alur proses yang ada pada IKM tahu seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Pengujian ini terutama bertujuan untuk mengetahui waktu proses dan konsumsi bahan bakar pada setiap *batch* pemasakan bubur tahu.

Beberapa data suhu dicatat setiap 5 menit selama proses pemasakan bubur kedelai, yaitu suhu api/ruang bakar; lubang pemasukan udara/*intake*; lubang pengeluaran udara/*exhaust*; bahan dan air di setiap ketel.

Percobaan dilakukan menggunakan *burner* gas dengan regulator bertekanan karena apabila menggunakan regulator kompor rumah tangga, api yang dihasilkan kurang besar. Selain itu, tabung gas direndam dengan menggunakan air hangat dengan temperatur sekitar 60°C. Hal ini diperlukan untuk mensuplai kalor bagi perubahan fase bahan bakar elpiji dari cairan ke gas dan menghindari turunnya suhu dalam tabung. Karena apabila suplai kalor kurang, suhu tabung turun dan perubahan fase elpiji lambat serta tekanan uap elpiji di dalam tabung rendah sehingga gas tidak dapat keluar melalui burner. Hal ini terjadi ketika tabung tidak direndam, tabung gas menjadi dingin dan mengembun serta api burner padam.



Gambar 4. Diagram alir proses pemasakan bubur kedelai di IKM Tahu Subang

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Hasil pengujian metode WBT dapat dilihat pada Tabel 1 dan 2. Kedua tabel menunjukkan rata-rata konsumsi gas yang dibutuhkan untuk mendidihkan 20 liter air untuk kondisi *cold start* selama 29 menit sebesar 0,82 kg sedangkan pada kondisi *hot start* dibutuhkan waktu 18,67 menit dengan konsumsi bahan bakar sebesar 0,59 kg. Sehingga didapatkan nilai konsumsi bahan bakar per satuan unit air yang mendidih rata-rata sebesar 0,041 kg/liter untuk kondisi *cold start* dan 0,030 kg/liter pada kondisi *hot start*. Selain itu didapatkan juga tingkat konsumsi gas pada kondisi *cold* dan *hot start* masing-masing sebesar 0,028 kg/menit dan 0,032 kg/menit. Dengan menggunakan persamaan (1) didapatkan efisiensi termal rata-rata sebesar 34,80% pada kondisi *cold start* dan 38,63% pada kondisi *hot start*.

Tabel 1. Hasil pengujian WBT High Power, Cold start

Uraian	Satuan	Rata-rata	SD	CoV (%)
Konsumsi gas	Kg	0,82	0,156	19,1
Waktu mendidih (20 liter air)	Menit	29,00	5,292	18,2
Efisiensi termal	%	34,80	7,459	21,4
Tingkat konsumsi gas	kg/menit	0,028	0,002	8,1
Konsumsi bahan bakar spesifik	kg/liter	0,041	0,010	23,4
Fire power	kW	22,10	1,744	7,9

SD: Standard Deviation, CoV: Coefisient of Variation = (SD/Rata-rata) x100%

Tabel 2. Hasil pengujian WBT High Power, Hot start

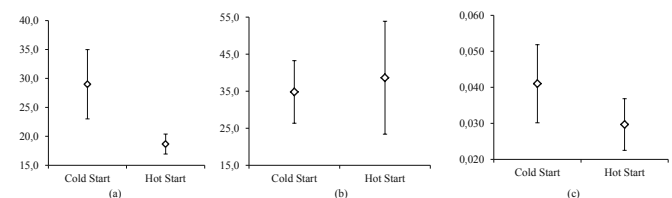
Uraian	Satuan	Rata-rata	SD	CoV (%)
Konsumsi gas	Kg	0,59	0,127	21,3
Waktu mendidih (20 liter air)	Menit	18,67	1,528	8,2
Efisiensi termal	%	38,63	13,454	34,8
Tingkat konsumsi gas	kg/menit	0,032	0,008	26,3
Konsumsi bahan bakar spesifik	kg/liter	0,030	0,006	21,3
Fire power	kW	21,61	3,316	15,3

SD: Standard Deviation, CoV: Coefisient of Variation = (SD/Rata-rata) x100%

Beberapa hasil yang penting sebagai indikasi performa tungku bagi pengguna dan perancang, yaitu: waktu pemasakan, konsumsi bahan bakar per satuan unit air yang mendidih, dan efisiensi termal (Bailis dkk., 2007). Pengkajian kondisi *hot start* diperlukan untuk tungku ini sebagai pembandingan dengan kondisi *cold start* agar didapatkan besaran perbedaan performa kondisi keduanya. Hal ini disebabkan kemungkinan perbedaan performa yang signifikan pada tungku kapasitas besar pada kondisi *cold start* dan *hot start*, di mana tungku akan berada pada kondisi panas sepanjang hari (Bailis dkk., 2007) sedangkan pemanasan yang dimulai dari kondisi dingin hanya terjadi pada awal proses produksi saja.

Tabel 3. Perbandingan kondisi cold start dengan hot start

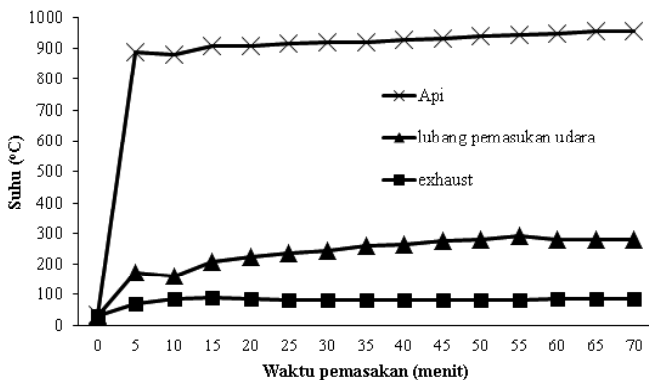
	Rata-rata		SD		Confidence Interval 95%		Sig.
	Cold Start	Hot Start	Cold Start	Hot Start	Cold Start	Hot Start	
Waktu didih (menit)	29,0	18,7	5,3	1,5	6,0	1,7	Ya
Efisiensi termal (%)	34,8	38,6	7,5	13,5	8,4	15,2	Tidak
Konsumsi bahan bakar spesifik (kg/l)	0,041	13,454	0,010	0,006	0,011	0,007	Tidak



Gambar 5. Uji signifikansi: (a) waktu didih, (b) efisiensi termal, (c) konsumsi bahan bakar spesifik kondisi cold start dan hot start

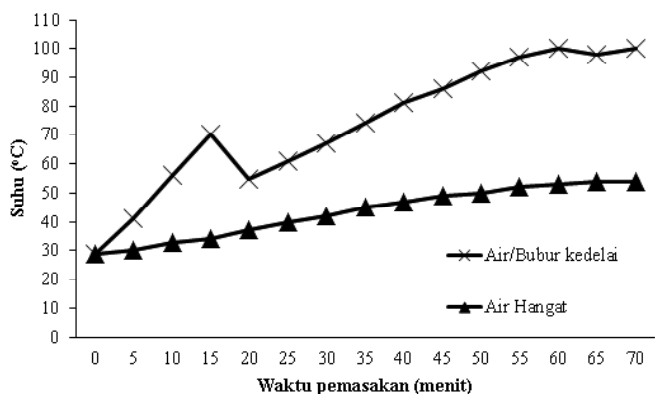
Tabel 3. dan Gambar 5. menunjukkan hasil analisis interval kepercayaan dan uji perbandingan nilai tengah kondisi *cold start* dengan *hot start* menggunakan *One-way Anova* dengan derajat kepercayaan 95% pada masing-masing variabel terikat. Gambar 5 (a) menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan waktu didih kondisi *cold start* dengan *hot start*, dan dibuktikan dengan uji one-way anova didapatkan  $p = 0,031$  ( $p < 0,05$ ). Hal ini terjadi akibat kondisi tungku pada pengujian kedua (*hot start*) masih cukup tinggi sehingga meningkatkan suhu air yang akan dipanaskan selanjutnya. Gambar 5 (b) dan 5 (c) menunjukkan tidak ada perbedaan signifikan efisiensi termal dan konsumsi bahan bakar spesifik pada kedua kondisi. Uji Anova menunjukkan besaran signifikansi sebesar 0.688 ( $p > 0,05$ ) untuk efisiensi termal dan  $p = 0,154$  ( $p > 0,05$ ) untuk konsumsi bahan bakar spesifik.

Hasil pengujian pemasakan bubur kedelai pada Gambar 6 menunjukkan suhu api/ruang bakar pada menit ke-5 pencatatan hingga menit 70 cenderung stabil di kisaran 890°C hingga 956°C. Lubang pengeluaran gas buang yang berfungsi seperti cerobong mengalirkan udara sisa dengan temperatur selama proses pemasakan berkisar antara 70,2°C-84,4°C. Lubang pemasukan udara memiliki suhu di kisaran 171,3-290,2°C.



Gambar 6. Profil suhu pada tungku waktu pemasakan bubur tahu

Suhu pada bahan dan air di kedua ketel tungku dapat dilihat pada Gambar 7. Pemasakan bubur kedelai dimulai dengan pemanasan 25 kg air pada suhu 29°C selama 15 menit hingga mencapai suhu 70°C pada ketel pemasakan. Selanjutnya ditambahkan bubur kedelai hasil penggilingan sebanyak 39,72 kg, hal ini menyebabkan suhu turun mencapai 55°C. Bubur kedelai kemudian dimasak hingga suhu 100°C, pada suhu ini volume bubur kedelai meningkat hingga memenuhi kapasitas total ketel pemasakan. Kemudian air ditambahkan sebanyak 2 kg pada pendidihan kedua sehingga suhu kembali turun dan dimasak lagi hingga pendidihan ketiga/terakhir pada suhu 100°C.



Gambar 7. Suhu bahan dan air di masing-masing ketel pada saat pemasakan

Pada ketel pemanasan air terjadi peningkatan suhu air selama selang waktu pemasakan, yaitu dari 29°C hingga 54°C.

Suhu akhir ini sangat berguna untuk memulai pemasakan *batch* selanjutnya, karena kondisi tungku telah panas dan pemasakan bubur kedelai dapat dimulai dengan suhu air yang lebih tinggi. Apabila dibandingkan dengan lama pemanasan air di ketel pemasakan, maka dapat diasumsikan waktu total proses pemasakan dapat berlangsung lebih cepat yaitu selama 60 menit.

Pemanfaatan panas buang sebelum keluar dari *exhaust* pada konstruksi tungku baru, mampu menghangatkan 30 liter air dari 30°C sampai suhu 54°C untuk setiap *batch* pemasakan bubur tahu. Hal ini berarti sekitar 720 kkal energi panas termanfaatkan. Pemanfaatan panas sisa pemasakan bubur kedelai untuk menghangatkan air juga mampu menurunkan suhu di saluran buang secara signifikan dari 367,5°C (tungku tradisional) menjadi hanya 82,57°C (tungku baru).

Konsumsi bahan bakar gas yang digunakan selama proses pemasakan bubur kedelai sebesar 1,78 kg. Berarti tingkat konsumsi bahan bakar gas yang digunakan untuk melakukan proses pemasakan dan pemanasan pada kedua ketel sebesar 0,029 kg/menit. Nilai ini hampir sama dengan tingkat konsumsi gas pada pengujian laboratorium kondisi *cold start*. Apabila dibandingkan dengan tungku biomassa, maka peningkatan efisiensi termal juga dapat dilihat dari turunnya konsumsi energi bahan bakar untuk proses pemasakan. Konsumsi kayu bakar untuk tungku tradisional awal hasil survai adalah sekitar 10,1 kg/*batch* pemasakan bubur kedelai dari bahan baku 5 kg kedelai. Kandungan kalori kayu bakar yang digunakan berdasarkan pengukuran adalah 4033,78 kkal/kg, maka konsumsi energi untuk pemasakan 5 kg bahan baku kedelai adalah 40741,18 kkal. Dengan konsumsi bahan bakar gas pada tungku sebesar 1,78 kg dan kandungan kalori gas LPG sebesar 11264,61 kkal/kg, maka konsumsi energi untuk pemasakan 5 kg bahan baku kedelai adalah 20051,01 kkal.

## KESIMPULAN

Tungku berbahan bakar gas untuk industri tahu tradisional telah berhasil dirancang bangun dan diuji. Tungku dapat digunakan untuk memasak bubur tahu dengan kapasitas 5 s/d 8 kg kedelai/*batch*. Waktu untuk mendidihkan 20 liter air untuk kondisi *cold start* selama 29 menit dan kondisi *hot start* dibutuhkan waktu 18,67 menit; konsumsi bahan bakar per satuan unit air yang mendidih rata-rata sebesar 0,041 kg/liter untuk kondisi *cold start* dan 0,030 pada kondisi *hot start*. Selain itu didapatkan juga tingkat konsumsi gas pada kondisi *cold* dan *hot start* masing-masing sebesar 0,028 kg/menit dan 0,032 kg/menit, serta efisiensi termal rata-rata sebesar 34,80% pada kondisi *cold start* dan 38,63% pada kondisi *hot start*. Terdapat perbedaan yang signifikan waktu didih pada kondisi

*cold start* dengan *hot start*. Pada proses pemasakan 5 kg bubur kedelai membutuhkan 1,78 kg gas elpiji, sehingga didapatkan konsumsi energi sebesar 20.051,01 kkal. Dibandingkan dengan konsumsi energi tungku kayu yang digunakan sebelumnya, maka didapatkan penghematan sebesar 50,80%.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada Kemenristek sebagai penyandang dana kegiatan penelitian melalui Program Insentif Peningkatan Kemampuan Peneliti dan Perekrayasa Tahun 2012, Ir. Doddy A. Darmajana, M.Si. sebagai penanggung jawab kegiatan, rekan-rekan peneliti dan teknisi yang tergabung dalam kegiatan penelitian “Penerapan Produksi Bersih Berbasis Teknologi Tepat Guna Pada Sentra Industri Kecil Tahu di Kabupaten Subang”, dan IKM Tahu Sari Rasa KOPTI Subang.

## DAFTAR PUSTAKA

- Arundhati, S.T. (2008). Regulatory aspect and implementation of cleaner production in Indonesia. *Disampaikan dalam Training Course on Cleaner Production Technology for Virgin Coconut Oil (VCO) of Food Industry for ASEAN Countries 2008*. Jakarta.
- Bailis, R., Berrueta, V., Chengappa, C., Dutta, K., Edwards, R., Masera, O., Still, D. dan Smith, K.R. (2007). Performance testing for monitoring improved biomass stove interventions: experiences of the household energy and health project. *Energy for Sustainable Development* **11**(2): 57-70.
- Bruce, N, Perez-Padilla, R. dan Albalak, R. (2000). Indoor air pollution in developing countries: a major environmental and public health challenge. *Bull World Health Organ.* **78**: 1078-1092.
- Darmajana, D.A., Luthfiyanti, R., Solichah, E., Afifah, N. dan Andriana, Y. (2009). *Kajian Pemanfaatan Teknologi Tepat Guna dalam Penerapan Produksi Bersih pada Industri Tahu di Kabupaten Subang dan Sumedang*. Subang.
- Fujitsuka, T. (2008). Regulatory aspect and implementation of cleaner production in Indonesia. *Disampaikan dalam Training Course on Cleaner Production Technology for Virgin Coconut Oil (VCO) of Food Industry for ASEAN Countries 2008*. Jakarta.
- Johnson dan Gregory, N. (2012). Village energy system dynamics of an isolated rural west african village. *Graduate Theses and Dissertations. Paper 12356*. [21 November 2012].
- Johnson, N.G. dan Kenneth, M.B. (2012). Factors affecting fuelwood consumption in household cookstoves in an isolated rural West African village. *Energy* **46**(1): 310-321.
- Kjellstrom, T., Streets, D. dan Wang, X. (2000). Energy, the environment, and health. *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/www-ee-library/sustainable-energy/world-energy-assessment-energy-and-the-challenge-of-sustainability/World%20Energy%20Assessment-2000.pdf>. [21 November 2012].
- L’Orange, C., DeFoort, M. dan Willson, B. (2012). Influence of testing parameters on biomass stove performance and development of an improved testing protocol. *Energy for Sustainable Development* **16**: 3-12.
- Miah, Md. D., Al Rashid, H. dan Shin, M.Y. (2009). Wood fuel use in the traditional cooking stoves in the rural floodplain areas of Bangladesh: a socio-environmental perspective. *Biomass and Bioenergy* **33**: 70-78.
- Ndiema, C.K.W., Mpendazoe, F.M. dan Williams, A. (1998). Emission of pollutants from a biomass stove. *Energy Conversion Management* **39**(13): 1357-1367.
- Reddy, A.K.N., Smith, K.R. dan Williams, R.H. (2000). Rural energy indeveloping countries. *Dalam: United Nations Development Programme, Goldemberg, J. (ed.). World Energy Assessment: Energy and The Challenge of Sustainability*, hal. 367-389. New York. <http://www.undp.org/content/dam/aplaws/publication/en/publications/environment-energy/www-ee-library/sustainable-energy/world-energy-assessment-energy-and-the-challenge-of-sustainability/World%20Energy%20Assessment-2000.pdf>. [21 November 2012]
- Sriudom, Y. (2011). Thermal efficiency improvement and technology transfer of chimney stove for producing stove; Amphoe Bo Kluea, Nan Province. *Energy Procedia* **9**: 238-244.
- Supriyatno, Nazif, A.H. dan Mamat. (1994). Pengujian efisiensi energi tungku rumah tangga. *Prosiding Seminar Ilmiah Hasil-Hasil Penelitian dan Pengembangan Puslitbang Fisika Terapan-Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia*: 315-330.
- Taufan, A., Hanifah, U. dan Novrinaldi (2012). Innovation of stove in traditional tofu industry. *Dipresentasikan*

*dalam International Seminar Enhancing Grassroots Innovation Competitiveness for Poverty Alleviation (EGICPA 2012). Yogyakarta.*

VITA (2009). The Water Boiling Test version 4.1.2. Cookstove emissions and efficiency in a controlled laboratory setting. Draft. [http://www.pciaonline.org/files/WBT4.1.2\\_0\\_0.pdf](http://www.pciaonline.org/files/WBT4.1.2_0_0.pdf) [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.

World Health Organization (2006). *Fuel for life: household energy and health*. WHO Press. Geneva.