

PEMANFAATAN PANAS TUNGKU PENGGORENGAN SEBAGAI EXTERNAL COMBUSTION ENGINE TIPE STIRLING GENERATOR UNTUK ELEKTRIFIKASI PABRIK TAHU

Qouamunas Tsani Nuargimah¹, Muhammad Rivan Ghoisy¹, Indrie Noerlianti¹,
Muhammad Nurul Aazim Al Fauri¹, Nurlela¹, Lenny Saulia²

¹ Program Studi Teknik Pertanian dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor

² Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor

Abstrak

Mitra program ini adalah pabrik tahu skala kecil yang terletak di Desa Cihideung Hilir, Kabupaten Bogor. Proses pembuatan tahu pada tahapan perebusan dan pewarnaan alami menggunakan kompor berbahan bakar kayu bakar. Desain dari tungku yang kurang baik menyebabkan panas yang dihasilkan tidak kesemuanya terpakai untuk merebus. Beberapa panas hilang dan terbuang ke lingkungan sekitar tungku. Panas buangan tersebut dapat dimanfaatkan menjadi sumber energi dengan menggunakan mekanisme konversi *stirling engine*. *Stirling engine* adalah salah satu *external combustion engine* yang menggunakan udara atau gas sebagai fluida, bekerja menggunakan siklus peredaran termodinamika. *Stirling engine* yang digunakan dalam program ini adalah tipe beta yang memanfaatkan perbedaan suhu panas dari tungku dan suhu dingin dari lingkungan yang berkisar antara 600 hingga 700 °C. Transmisi daya yang keluar dari *stirling engine* tersebut digunakan menggerakkan blower untuk menyuplai kebutuhan oksigen pada proses pembakaran kayu secara kontinyu. *Stirling engine* yang telah diimplementasikan bekerja pada daya 1.2 kW dan putaran 250 rpm. Transmisi sabuk puli digunakan untuk meningkatkan putaran dengan rasio 1:8 sehingga putaran poros blower mencapai 2,000 rpm. Penerapan teknologi ini mampu untuk menggantikan penggunaan listrik pada blower yang biasa digunakan oleh mitra. Energi panas yang terbuang dapat dimanfaatkan untuk menekan biaya produksi sebesar Rp 640.000,00 per bulan.

Kata Kunci: *blower, stirling engine, tungku*

Abstract

Partner of this program was the small-scale of tofu producer in Cihideung Hilir, Kabupaten Bogor. Boiling and natural colouring process were using wooden-fired stove. Design of the furnace was not quite good, that may cause some of the heat generated was not used for boiling process. Some of the heat was lost and wasted to the environment. The wasted heat may be potential to be utilized as a source of energy by using the stirling engine. Stirling engines are external combustion engine that is using air or gas as a fluid, working with the thermodynamics cycle. Stirling engine that used in this program was beta type which utilizes difference temperature from the furnace and the cold temperature of the environment that around 600 to 700°C. Transmission power coming out of the stirling engine was used to drive a blower to supply the oxygen in the timber combustion process continuously. The implemented stirling engine was able to work at 1.2 kW and 250 rpm. V-

belt transmission with 1:8 ratio were used to increase blower shaft speed until 2,000 rpm. The application of this technology was able to replace the electric blower used by partners. The wasted heat energy can be utilized to lower the production cost of Rp 640,000.00 per month.

Keywords: *blower, stirling engine, stove*

1. PENDAHULUAN

Mitra program ini adalah pabrik tahu skala kecil yang berlokasi di Cihideung Hilir, Kabupaten Bogor. Pabrik ini memperkerjakan 8 orang karyawan selama 12 jam kerja dalam sehari. Pada kegiatan perebusan dan pewarnaan, bahan dasar tahu direbus menggunakan tungku berbahan bakar kayu bakar. Tungku yang digunakan oleh mitra terbuat dari beton berbentuk tabung dan terdapat pintu kecil di bagian bawah untuk memasukkan potongan kayu. Tungku ini memiliki diameter 1,5 m dengan tinggi 1,2 m dan ketebalan dinding 15-20 cm.

Desain dari tungku yang kurang baik menyebabkan sebagian panas yang dihasilkan terbuang ke lingkungan sekitar tungku. Selain itu untuk mempertahankan suhu pembakaran di tungku, mitra menggunakan blower listrik secara berkala. Blower listrik yang digunakan secara berkala yang dioperasikan secara manual oleh satu orang karyawan. Pengoperasian blower listrik tersebut memerlukan ketepatan dalam manajemen waktu agar suhu pembakaran tetap konstan dan proses perebusan tetap optimal.

Pemecahan masalah yang ditawarkan adalah pemanfaatan energi panas terbuang dari tungku untuk menghasilkan energi mekanis penggerak blower. Energi panas yang dikonversi menjadi mekanis untuk menggerakkan blower pada tungku. Konversi tersebut menggunakan mesin pembakaran luar, *stirling engine*.

Stirling engine merupakan mesin pembakaran eksternal yang menggunakan udara atau gas sebagai fluida kerjanya yang bekerja menggunakan siklus termodinamika (Vineeth CS 2011). Ketika ruang pembakaran pada tungku perebusan bahan dasar tahu dibakar, panas hasil pembakaran akan digunakan untuk memanaskan udara atau fluida gas di dalam ruang kompresi sehingga dapat menggerakkan piston *stirling engine*. Gerakan translasi piston diubah menjadi gerak rotasi oleh *link bar* ke roda gaya. Gerak rotasi tersebut selanjutnya ditransmisikan melalui sistem transmisi sabuk untuk menggerakkan blower.

2. METODE

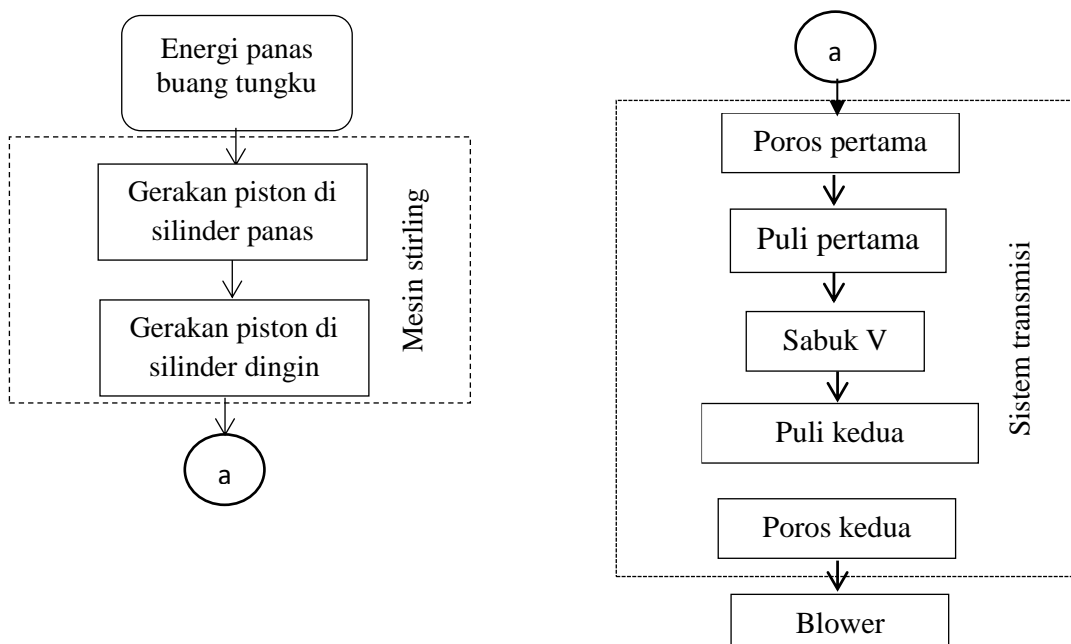
Metode yang digunakan dalam program ini adalah metode pendekatan rancangan bangun secara umum yaitu berdasarkan pendekatan rancangan fungsional dan pendekatan rancangan struktural. Rancangan fungsional dari Enceng TSG ini terdiri atas beberapa fungsi yang saling terkait. Fungsi pertama dari *stirling engine* yaitu memindahkan udara yang memuai di silinder panas menuju silinder kompresi dengan *displacer*. Fungsi untuk menempatkan *displacer* dan menjaga suhu udara panas maka menggunakan silinder tahan panas. Fungsi

mekanisme penekanan udara di silinder panas menggunakan piston dan silinder kompresi. Salah satu fungsi pendukung mekanisme beroperasinya *stirling engine* adalah rangka dudukan *stirling engine*.

Aspek-aspek yang perlu diperhatikan dalam pembuatan rancangan struktural *stirling engine* yaitu: 1) *displacer* harus ringan dan kuat terhadap panas, 2) batang *displacer* harus ringan, kuat, dan memiliki permukaan yang licin, 3) kerangka diperlukan untuk menahan getaran akibat putaran *engine* dan blower serta, 4) Proses fabrikasi yang presisi tinggi untuk mencegah terjadi kebocoran pada sistem dari *stirling engine*.

Mekanisme kerja alat ini, seperti yang disajikan dalam Gambar 1, yaitu dengan memanfaatkan beda suhu lingkungan panas sekitar mulut tungku dan udara dingin sekitar komporakan menghasilkan pemuaian fluida. Muai fluida dalam silinder panas akan menggerakkan *displacer* secara translasi maju dan mundur. Gerakan maju dan mundur diubah menjadi gerakan rotasi menggunakan poros engkol yang di stabilkan menggunakan roda gaya. Pemanfaatan putaran tersebut digunakan untuk memutar poros blower yang dihubungkan dengan poros engkol *stirling* menggunakan transmisi sabuk dan puli.

Sistem transmisi sabuk digunakan untuk mentransmisikan daya dari satu poros ke poros yang lain. Transmisi ini dapat meningkatkan rpm yang dihasilkan dari *stirling*, dari awalnya 250 rpm menjadi 2000 rpm pada poros blower. Putaran poros blower berhubungan langsung dengan sudu-sudu atau impeler dari blower, sehingga menghasilkan putaran impeler. Putaran sudu yang mencapai 2000 rpm menghasilkan hembusan udara. Udara inilah yang digunakan untuk *supply* pembakaran kayu.



Gambar 1 Mekanisme kerja mesin

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran suhu tungku di pabrik mitra menggunakan termokopel dan *recorder autonic*. Kegiatan ini dilakukan untuk memperoleh data dasar perancangan. Suhu untuk silinder ujung panas diukur dengan menempatkan termokopel di samping dinding bagian dalam, sedangkan suhu untuk silinder ujung dingin (suhu lingkungan) diukur dengan menempatkan termokopel di luar tungku. Hasil pengukuran suhu direkam pada recorder autonic. Pada kegiatan ini, pengukuran dilakukan sebanyak 7 kali ulangan dengan interval waktu 3 menit. Data yang diperoleh disajikan dalam Tabel 1 sebagai berikut:

Tabel 1 Pengukuran suhu tungku

Waktu (menit)	T ₁ (°C)	T ₂ (°C)
3	44	500
6	42	724
9	43	755
12	43	719
15	38	642
18	38	355
21	41	387

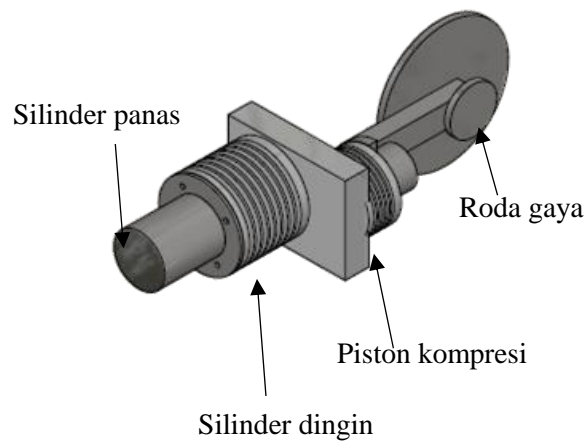
Keterangan:

T₁: Suhu lingkungan untuk silinder dingin

T₂: Suhu tungku untuk silinder panas

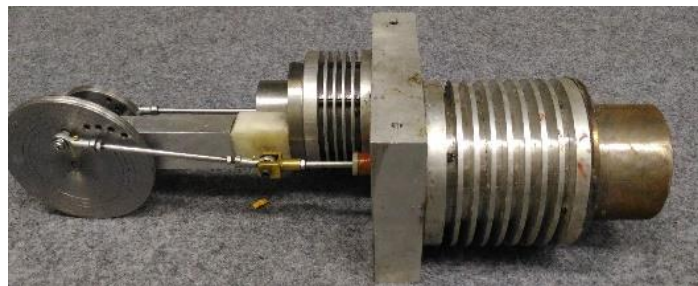
Berdasarkan data di atas, suhu rata-rata silinder ujung panas sebesar 600°C dan 40°C untuk silinder ujung dingin. Data panas yang dihasilkan tungku digunakan untuk menentukan jenis bahan untuk komponen *stirling engine*. Bahan yang digunakan untuk bagian silinder *displacer* adalah pipa baja dengan ketebalan 3 milimeter. Sirip pendingin terbuat dari bahan aluminium cor dan dibubut agar membentuk celah untuk aliran udara pendingin. Data tersebut juga dijadikan sebagai dasar perhitungan kebutuhan kalor dalam mendesain *stirling engine*.

Studi literatur digunakan sebagai acuan dalam menentukan volume dan tekanan pada silinder piston agar sesuai dengan suhu tungku yang telah diukur sebelumnya. Literatur tersebut pun digunakan sebagai acuan dalam perhitungan dimensi *stirling engine*. Desain *stirling engine* yang dituangkan dalam bentuk gambar teknik digunakan dalam proses pabrikasi. Gambar teknik *stirling engine* dibuat dengan aplikasi *solidwork* dan disajikan dalam Gambar 2.



Gambar 2. Desain *stirling engine*

Pabrikasi *stirling engine* dilaksanakan di Bengkel Hidayat Engineering, Cileunyi, Bandung. Selama berlangsungnya kegiatan pabrikasi terdapat kendala, yaitu adanya komponen yang tidak dapat digunakan karena sifat material penyusunnya yang tidak sesuai dengan hasil rancangan. Oleh sebab itu dilakukan pembelian komponen kembali agar kegiatan pabrikasi dapat berjalan dengan baik. Gambar 3 menyajikan *stirling engine* yang telah dihasilkan.



Gambar 3. *Stirling engine* hasil pabrikasi

Perakitan *stirling engine* dengan blower melalui sistem transmisi sabuk dan dilengkapi dudukan serta insulator panas menghasilkan alat kemudian diimplementasikan ke mitra di Cibanteng pada tanggal 12 Juni 2016 (Gambar 4). Kerjasama yang dilakukan sudah dalam tahap penerapan namun dalam penerapan tersebut masih terdapat kendala berupa kerusakan mesin. Adanya kebocoran kompresi karena terdapat celah antara dinding dan piston kompresi sehingga perlu diperbaiki kembali. Secara keseluruhan, mitra sangat menerima dan menggunakan *stirling engine* yang dibuat karena dapat mengurangi biaya operasional produksi tahu sehingga dapat menekan biaya produksi.



Gambar 4. Implementasi *stirling engine* di mitra

Stirling engine yang telah diimplementasikan di mitra mampu menghasilkan daya 1.2 kW dan putaran 250 rpm. Transmisi sabuk puli digunakan untuk meningkatkan putaran dengan rasio 1:8 sehingga putaran poros blower mencapai 2000 rpm. Putaran ini dinilai sudah cukup karena sudah sama dengan putaran pada blower listrik. Putaran yang dihasilkan *stirling engine* relatif stabil dan berputar selama api di dalam tungku menyala. Berbeda dengan blower listrik yang dinyalakan dan dimatikan setiap 30 menit sekali

Tabel 2 menyajikan perbandingan umum antara blower listrik dan blower *stirling engine*. Tabel tersebut menunjukkan beberapa keuntungan yang didapat ketika menggunakan blower *stirling* pada proses pembuatan tahu.

Tabel 2. Perbandingan secara umum antara blower listrik dan Blower Stirling

Karakteristik	Blower listrik	Blower <i>stirling</i>
Keamanan bagi pekerja	Sedang	Sedang
Energi Operator	Sedang	Rendah
Biaya Investasi	Rp 200.000	Rp 5.000.000
Debit udara	Sedang	Tinggi
Konsistensi debit udara	Rendah	Tinggi
Biaya Operasional	Sedang	Rendah

Data pada Tabel 2 menunjukkan bahwa blower *stirling* memiliki biaya investasi lima juta rupiah yang lebih besar daripada blower listrik yaitu sekitar dua ratus ribu rupiah. Hal ini dikompensasi dengan keuntungan yang lebih pada aspek energi yang digunakan operator, debit udara yang dihasilkan dan kestabilannya, serta minimnya biaya operasional dari blower *stirling*. Energi yang diperlukan operator lebih rendah karena jika menggunakan blower listrik operator harus menyalakan dan mematikan blower secara berkala guna menghemat penggunaan listrik, sedangkan pada blower *stirling* tidak perlu perlakuan demikian. Mesin yang

selalu dalam kondisi menyala menyebabkan debit udara yang dialirkan lebih stabil dibanding blower listrik.

Penggunaan blower stirling dapat menekan biaya produksi tahu jika dibandingkan dengan menggunakan blower listrik pada umumnya. Perbedaan biaya yang dikeluarkan perbulannya berkisar antara Rp 40.000 hingga 45.000. biaya ini berasal dari tarif yang harus dibayarkan karena menggunakan jasa listrik PLN. Selain biaya listrik, penghematan juga berasal dari biaya lembur yang harus diberikan kepada delapan karyawan sebesar Rp 600.000 per bulan. Data tersebut menunjukkan biaya yang dapat dihemat mitra sebesar Rp 640.000 per bulan.

4. KESIMPULAN

Stirling engine yang dirancang mampu memanfaatkan panas yang terbuang pada tungku perebusan bahan dasar tahu. Daya yang dihasilkannya digunakan untuk menggerakkan blower yang digunakan untuk menjaga kestabilan suhu pembakaran di tungku. Dengan adanya blower stirling ini maka mitra dapat menurunkan biaya variabel produksi, dan menambah keuntungan ekonomi. Selain itu mesin ini dapat dikomersialisasikan dan diterapkan di UKM produksi tahu lainnya maupun UKM lain yang menggunakan tungku pembakaran biomassa.

5. REFERENSI

Vineth C S. 2011. *Stirling Engines: A Beginners Guide*. [internet]. [2016 Juli 13].

Tersedia pada: https://books.google.co.id/books?id=zTdzKxQaqNcC&dq=stirling&hl=id&so urce =gbs_navlinkss

Sharma, C.S. and Purohit Kamalesh. 2003. *Design of Machine Elements*. New Delhi: Prentice Hall of India.