

MODIFIKASI MESIN PEMBANGKIT UAP UNTUK SUMBER ENERGI PENGUKUSAN DAN PENGERINGAN PRODUK PANGAN

Ekoyanto Pudjiono, Gunowo Djojowasito, Ismail

Jurusan Keteknikan Pertanian FTP, Universitas Brawijaya

Jl. Veteran No.1 Malang 65145

Tlp: 0341-571708 ; Fax. (0341) - 568415

E-mail : ekoyanto@yahoo.com

Abstract

One company has a cracker in Landungsari Malang open steam generating machine. Some weaknesses in the machine such that the resulting low temperature, long heating time and fuel consumption of a large or wasteful of fuel. This experiment was conducted to improve the efficient use of steam heat, namely by modifying the power plant steam into a closed system, with the hope eventually can be used not only as an energy source steaming but also to the source of energy in drying crackers. Modify and test the performance of steam power plant, to evaluate energy efficiency, conducted at the Laboratory of Resources and Agricultural Machinery, Agricultural Engineering Department, Faculty of Agricultural Technology, Malang UB. Tests conducted with the treatment of water volume 55 liters (V1) and 69 liters (V2) and treatment pressure of 1 atm (P1) and 2 atm (P2).

Keywords : steam power plant, energy efficiency

PENDAHULUAN

Pada berbagai industri, ketel uap mempunyai peranan yang penting dan luas, seperti industri pertanian pada pabrik kerupuk dimana uap yang dihasilkan dari ketel uap digunakan sebagai media pemanas adonan kerupuk atau mengukus kerupuk dan juga dapat dipisahkan untuk pengeringan. Adapun pemakaian ketel uap model pipa air menurut Muin (1986), memiliki beberapa keuntungan, antara lain : a) sanggup bekerja pada tekanan tinggi, b) berat ketel yang relatif ringan dibandingkan dengan kapasitas ketel, c) kapasitas yang besar, d) dapat dioperasikan dengan cepat, jadi dalam waktu singkat telah dapat memproduksi uap [1].

Modifikasi mesin pembangkit uap ini dilakukan agar : a) mesin pembangkit uap mampu menghasilkan uap panas yang besar; b) konstruksi mesin pembangkit uap lebih kuat sehingga dapat digunakan untuk mengukus dan mengeringkan bahan kerupuk; c) volume dan tekanan uap mesin pembangkit uap dapat dikontrol; d) menghemat bahan bakar; e) mempercepat proses pemasakan.

Menurut Holman (1997), perpindahan panas radiasi adalah perpindahan panas dari suatu benda ke benda lainnya melalui jalan

gelombang elektromagnetik tanpa tergantung ada atau tidaknya media atau zat diantara benda yang menerima pancaran tersebut tetapi jika terhalang benda lain maka tidak dapat menerima panas secara pancaran [2].

Perpindahan panas konveksi adalah proses pemindahan energi dengan kerja gabungan dari konduksi panas, penyimpanan energi dan gerakan mencampur dengan disertai perpindahan massa. Konveksi sangat penting sebagai mekanisme perpindahan energi antara permukaan benda padat dan cairan atau gas yang disertai perpindahan fluida [3].

Modifikasi mesin pembangkit uap ini diharapkan memiliki beberapa keuntungan antara lain: a) Suhu yang dihasilkan lebih tinggi; b) Waktu pemanasan untuk produksi uap lebih cepat; c) Bahan bakar lebih efisien

Penelitian ini bertujuan memodifikasi mesin pembangkit uap yang dapat digunakan untuk pemasakan dan pengeringan bahan pangan. Melakukan uji kinerja terhadap model tersebut untuk mendapatkan efisiensi energi mesin pembangkit uap.

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan fungsi dan efisiensi

mesin pembangkit uap yang semula hanya untuk pemasak ditingkatkan penggunaannya, yakni selain untuk memasak juga dapat digunakan untuk mengeringkan bahan pangan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan dengan melakukan modifikasi mesin pembangkit uap serta menguji kinerjanya di Laboratorium Daya dan Mesin Pertanian, Jurusan Teknik Pertanian serta di Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Brawijaya Malang.

Modifikasi Mesin Pembangkit Uap

Mesin pembangkit uap ini memiliki bagian-bagian fungsional sebagai berikut:

- a) Sebuah ketel uap berfungsi sebagai tempat pemanasan fluida (air).
- b) Lubang pemasukan sebagai tempat untuk memasukkan air kedalam ketel uap.
- c) Manometer sebagai pengontrol tekanan ketel uap.
- d) Pipa penghubung untuk menghubungkan ketel uap dengan rangkaian pipa pemasakan dan pengeringan.
- e) Rangkaian pipa pemasakan berfungsi memberikan panas pada bahan yang dimasak.
- f) Kran pengeluaran uap pada rangkaian pipa penghubung sebagai pembuka dan penutup aliran uap panas.
- g) Kran pada bagian bawah ketel untuk pembuangan akhir.

Peralatan yang digunakan dalam modifikasi dan uji kinerja mesin pembangkit uap ini adalah:

- a) Gerinda untuk memotong pipa.
- b) Gunting pemotong plat besi.
- c) Bor listrik untuk membuat lubang.
- d) Rol untuk membuat plat menjadi silinder.
- e) Las untuk melas plat besi.
- f) Termokopel untuk mengetahui suhu uap.
- g) Pompa untuk menaikkan tekanan kompor.
- h) Kompor sebagai media pemanas.
- i) Manometer untuk mengukur tekanan pada ketel uap.
- j) Meteran untuk mengukur dimensi plat.
- k) Termometer jarum untuk mengukur suhu dalam ketel.

Bahan yang digunakan dalam modifikasi mesin pembangkit uap ini adalah:

- a) Plat besi dengan ketebalan 1,5 mm.
- b) Kran sebagai pembuangan air dengan ukuran $\frac{1}{2}$ inci (1,3 cm).
- c) Kran pengeluaran uap dengan ukuran $\frac{3}{4}$ inci (2,6 cm) sebagai penghubung antara ketel dengan pipa pemasak.
- d) Pipa sebagai rangkaian penghubung dan rangkaian pipa pemasak dan pengering dengan ukuran $\frac{3}{4}$ inci (2,6 cm).
- e) Minyak tanah sebagai bahan bakar pengujian.
- f) Air sebagai bahan produksi uap.

Langkah-langkah pembuatan ketel uap adalah sebagai berikut:

Pemotongan bahan silinder. Plat besi setebal 1,5 mm dipotong dengan panjang 157 cm dan lebar 75 cm. Alat yang digunakan untuk pemotongan dan pembentukan plat ini adalah gunting pemotong dengan kapasitas maksimal 16 mm.

Pengerolan silinder. Lembaran plat yang telah dipotong di rol dengan pengerol. Untuk mendapatkan hasil yang baik maka pengerolan harus presisi antara kanan dan kiri, maka dilakukan pengesetan di sebelah kanan dan kiri alat rol. Pengerolan ini dilakukan berulang-ulang hingga kedua ujung plat hampir bertemu kemudian baru kedua ujung plat disatukan dengan memberi titik las pada kedua ujung plat.

Pencembungan tutup silinder. Awalnya bahan tutup plat dipotong dengan diameter 55 cm. Kelebihan 5 cm ini karena akan dibuat cembungan sehingga nantinya diameternya akan menjadi 50 cm. Pencembungan tutup ketel ini dilakukan dengan pengelingan atau pemukulan sehingga berbentuk cembung.

Pelubangan tutup dan dinding silinder. Pada tutup dan dinding ketel dibuat lubang menggunakan gerinda dan bor dengan ukuran bor 7,6 cm sehingga didapat ukuran yang diinginkan.

Pengujian

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja mesin pembangkit uap yang telah dirancang. Pengujian dilakukan

dengan cara mengoperasikan mesin yang telah dirancang ini. Kemudian parameter kinerja mesin pembangkit uap ini diukur, diantaranya: tekanan pada ketel uap, suhu uap air dalam ketel, suhu uap air keluaran, konsumsi bahan bakar, lama waktu pemasakan

Langkah-langkah dalam pengujian antara lain:

- a) Memasukkan air ke dalam ketel.
- b) Menutup ketel.
- c) Ketel dipanaskan dengan bahan bakar dari minyak tanah.
- d) Saat tekanan dalam ketel mencapai tekanan P_1 dan konstan maka kran pengeluaran uap penghubung dibuka guna mengalirkan uap.
- e) Dicatat suhu uap dalam ketel.
- f) Dicatat suhu uap yang keluar dari ketel uap.
- g) Dicatat lama pemanasan hingga mencapai tekanan yang diinginkan.
- h) Dicatat konsumsi bahan bakar selama pemanasan dan produksi uap.

Pengujian ini menggunakan 2 faktor perlakuan. Perlakuan pertama adalah volume pengisian air 55 liter dan 69 liter. Perlakuan kedua adalah tekanan menggunakan 1 atm dan 2 atm. Masing-masing kombinasi perlakuan dilakukan 3 kali pengamatan. Kombinasi tersebut adalah:

- Volume 55 liter dengan tekanan 1 atm (V_1P_1)
- Volume 69 liter dengan tekanan 1 atm (V_2P_1)
- Volume 55 liter dengan tekanan 2 atm (V_1P_2)
- Volume 69 liter dengan tekanan 2 atm (V_2P_2)

Pengamatan yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi :

- Suhu ($^{\circ}\text{C}$), berkaitan dengan volume uap yang dihasilkan.
- Lama pemanasan yaitu lamanya waktu yang dibutuhkan untuk mencapai tekanan yang diinginkan dan lamanya produksi uap.
- Konsumsi bahan bakar yaitu banyaknya konsumsi bahan bakar selama pemanasan dan produksi uap.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Modifikasi Mesin Pembangkit Uap

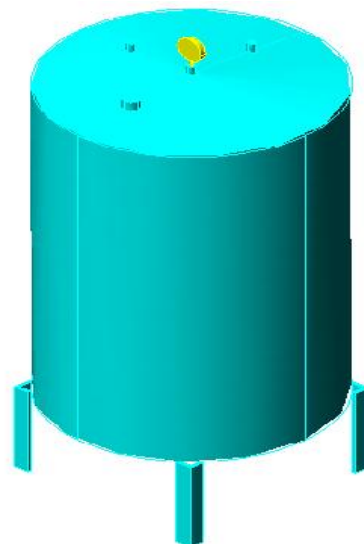
Modifikasi yang dilakukan telah menghasilkan mesin pembangkit uap seperti ditunjukkan pada Gambar 1 yang memiliki bagian-bagian sebagai berikut.

Ketel Pemasakan. Ketel pemasakan yang terbuat dari plat besi dengan ketebalan 1,5 mm memiliki dimensi tinggi 75 cm dan diameter 50 cm.

Pada bagian atas ketel uap dibuat 4 lubang:

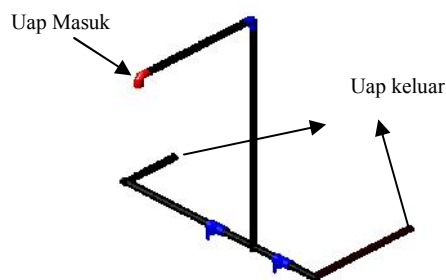
- a) Lubang pertama berdiameter 3 inci (7,6 cm) berfungsi sebagai tempat pemasukan air.
- b) Lubang kedua berdiameter $\frac{1}{2}$ inci (1,3 cm) berfungsi sebagai tempat manometer tekanan.
- c) Lubang ketiga berdiameter $\frac{1}{2}$ inci (1,3 cm) berfungsi sebagai pengaman tekanan berlebih.
- d) Lubang keempat dengan berdiameter $\frac{3}{4}$ inci (2,6 cm) berfungsi sebagai lubang penghubung dari ketel uap ke rangkaian pipa pemasak.

Pada dinding samping ketel juga dibuat lubang berdiameter $\frac{3}{4}$ inci (2,6 cm) berfungsi untuk pembuangan akhir.



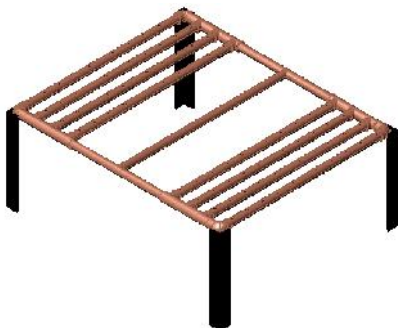
Gambar 1 - Mesin Pembangkit Uap

Pipa Penghubung. Rangkaian pipa penghubung berfungsi menghubungkan ketel dengan rangkaian pipa pemasak. Rangkaian pipa ini berukuran $\frac{3}{4}$ inci dilengkapi dengan 2 (dua) buah kran pengeluaran uap penghubung dengan ukuran $\frac{3}{4}$ inci. Kedua kran pengeluaran uap ini digunakan untuk pendistribusian uap agar masuk kedalam pipa pemasakan saat pemasakan dan ke rangkaian pengering untuk pengeringan dengan sistem buka tutup.



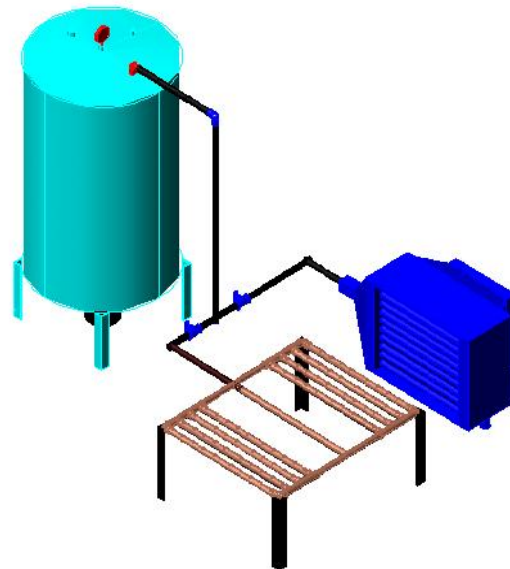
Gambar 2 - Pipa Penghubung

Pipa Pemasakan. Rangkaian pipa pemasak berukuran $\frac{3}{4}$ inci (2,6 cm) berfungsi sebagai tempat mengalirnya uap panas diruang pemasak dengan bentuk persegi dimana panjang 50 cm dan lebar 50 cm. Dimana terdiri dari 6 batang pipa besi yang berjajar. Pemotongan pipa ini dilakukan dengan gerinda potong. Kemudian pipa ini diberi lubang sebesar 3 mm dengan jarak antar lubang 5 cm pada tiap pipanya sehingga semua lubang berjumlah 30 lubang. Lubang ini berfungsi sebagai keluaran uap.



Gambar 3 - Rangkaian Pipa Pemasak

Cara mengoperasikan mesin pembangkit uap. Mesin ini dioperasikan dengan cara sebagai berikut. Pertama-tama air diisi kedalam ketel uap melalui lubang pemasukan yang telah dibuka tutupnya. Setelah air dimasukkan kedalam ketel uap sampai batas yang telah ditentukan maka lubang pemasukan ditutup kembali. Untuk mengetahui batas air dapat dilihat dengan mengeluarkan air melewati selang yang ada pada bagian bawah ketel. Selanjutnya kran pada pipa untuk memasak ditutup dan kran untuk pengering juga ditutup. Kemudian ketel dipanaskan dengan menggunakan kompor dengan bahan bakar minyak tanah hingga tekanan di dalam ketel naik. Setelah tekanan mencapai 1 atm atau 2 atm sesuai perlakuan percobaan, kran pengeluaran uap pemasakan dibuka agar uap dapat mengalir masuk ke dalam pipa pemasakan.



Gambar 4 - Rangkain Instalasi

Hasil Pengujian

Lama Pemanasan. Lama pemanasan adalah lamanya waktu yang dibutuhkan oleh mesin pemasak untuk mencapai tekanan yang diinginkan. Nilai lama pemanasan rata-rata terdapat pada Tabel 1.

Tabel 1. Lama Pemanasan Rata-Rata

Kombinasi	Rata-Rata (menit)
V1P1	40,0
V2P1	48,3
V1P2	56,6
V2P2	68,3

Terlihat dari Tabel 1 bahwa nilai rata-rata lama pemanasan yang tercepat adalah 40 menit pada kombinasi V1P1 dan yang terlama adalah 68,3 menit pada kombinasi V2P1. Hal ini sudah sesuai dengan teori, dimana semakin besar volume air dan tekanan dalam mesin pemasak maka waktu yang dibutuhkan untuk pemanasan dan produksi uap akan semakin lama.

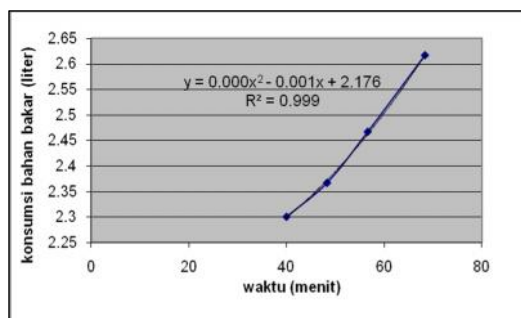
Konsumsi Bahan Bakar. Pengambilan data konsumsi bahan bakar ini untuk mengetahui berapa konsumsi bahan bakar yang digunakan selama pemanasan berlangsung, nilai konsumsi bahan bakar rata-rata ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Konsumsi Bahan Bakar Rata-Rata

Kombinasi	Rata-Rata (ml)
V1P1	2300,0
V2P1	2366,6
V1P2	2466,6
V2P2	2616,6

Terlihat dari Tabel 2 bahwa pada kombinasi V1P1 konsumsi bahan bakar adalah yang terkecil dengan nilai 2300 ml dan yang tertinggi adalah pada kombinasi V2P1. Nilai konsumsi bahan bakar ini terus meningkat yang disebabkan oleh lama pemanasan sehingga semakin lama pemanasan maka akan semakin besar konsumsi bahan bakarnya.

Nilai rata-rata lama pemanasan dan rata-rata konsumsi bahan bakar ini dapat dibuat grafik hubungan antara lama pemanasan dengan konsumsi bahan bakar (Gambar 5).

**Gambar 5** - Hubungan Konsumsi Bahan Bakar dengan Waktu Pemanasan

Terlihat dari Gambar 5 bahwa semakin lama waktu yang digunakan untuk pemanasan maka konsumsi bahan bakar akan semakin meningkat. Hal ini dipengaruhi oleh keadaan kompor pembakaran dimana jika tekanan pada kompor turun maka panas pembakaran juga akan turun sehingga membuat waktu pemanasan semakin lama.

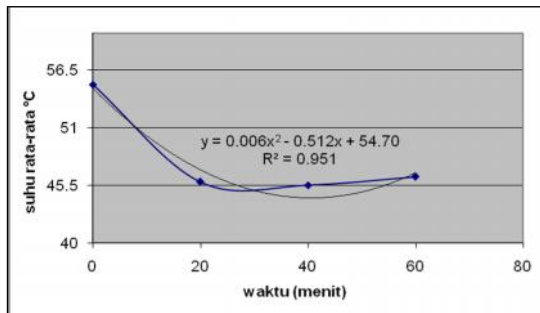
Suhu Rata-Rata. Pada pengujian ini ketel menghasilkan uap yang akan digunakan untuk pemasakan adonan kerupuk dengan nilai suhu rata-rata ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Suhu Rata-Rata per kombinasi

Kombinasi	Suhu Rata-Rata (°C)
V1P1	48,20
V2P1	72,29
V1P2	89,80
V2P2	77,58

Dapat diketahui dari Tabel 3 bahwa nilai suhu rata-rata masing-masing pada kombinasi V1P1 = 48,20 °C, kombinasi V2P1 = 72,29 °C, kombinasi V1P2 = 89,8 °C, dan pada kombinasi V2P2 = 77,58 °C. Dari data dapat diketahui bahwa nilai suhu cenderung meningkat namun pada kombinasi V2P2 terjadi penurunan. Hal ini terjadi karena pada kombinasi V1P2 ulangan 2 nilai suhu rata-rata sangat tinggi, yaitu sebesar 111,5 °C, akibat uap di mengumpul di titik yang teratas di ruang pemasakan.

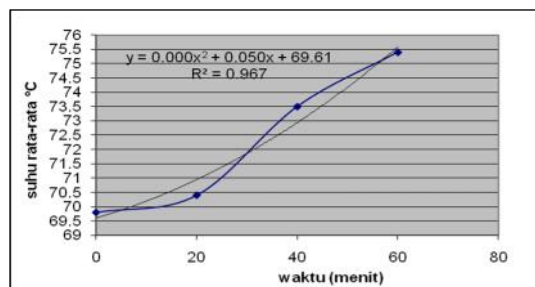
Selanjutnya, untuk mengetahui trend naik-turunnya suhu, dari data suhu dapat dicari nilai rata-rata suhu per menit untuk tiap kombinasi perlakuan. Hubungan waktu dengan suhu rata-rata per menit pada kombinasi perlakuan V1P1 ditampilkan pada Gambar 6.



Gambar 6 - Grafik Hubungan Waktu dengan Suhu rata-rata/menit pada Kombinasi Perlakuan V1P1

Dapat diketahui dari Gambar 6 bahwa nilai suhu rata-rata terbesar terjadi pada menit ke-0 sebesar 55,1 °C. Hal ini terjadi karena pada awal pembukaan kran pengeluaran uap, tekanan pada mesin pemasak masih besar sehingga suhu yang keluar pun makin besar. Pada menit ke 20 dan ke 40 terjadi penurunan suhu yaitu 45,8°C dan 45,5 °C disebabkan oleh tekanan yang ada pada mesin pemasak menurun sehingga suhu yang masuk ke ruang pengukusan juga turun. Pada menit ke 60 terjadi kenaikan suhu menjadi 46,3 °C. Hal ini dikarenakan diruang pemasakan sudah terlalu banyak uap air sehingga menjadi jenuh dan suhunya meningkat.

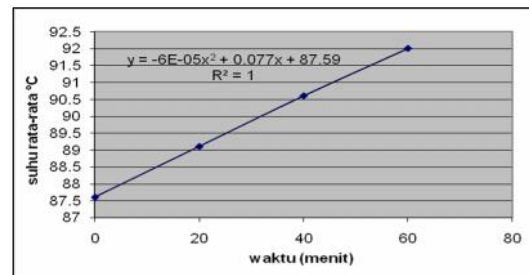
Hubungan waktu dengan suhu rata-rata pada kombinasi perlakuan V2P1 ditampilkan pada Gambar 7.



Gambar 7 - Grafik Hubungan Waktu dengan Suhu rata-rata/menit pada Kombinasi Perlakuan V2P1

Dari Gambar 7 dapat diketahui pada menit ke 0 suhu rata-ratanya adalah 69,80 °C dan terus meningkat hingga pada menit ke 60 mencapai suhu 75,40 °C. Hal ini terjadi karena uap yang terdapat didalam ruang pmasak sudah jenuh sehingga suhunya semakin meningkat.

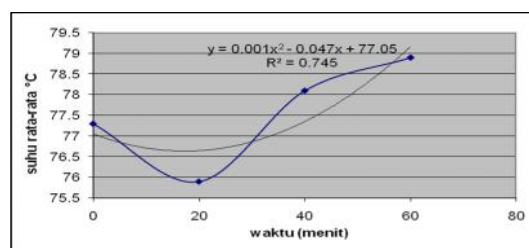
Hubungan waktu dengan suhu rata-rata per menit pada kombinasi perlakuan V1P2 tampak pada Gambar 8.



Gambar 8 - Grafik Hubungan Waktu dengan Suhu rata-rata/menit pada Kombinasi Perlakuan V1P2

Dari Gambar 8 tampak bahwa nilai suhu rata-rata per menit terus meningkat secara linier. Hal ini sama yang terjadi pada kombinasi V2P1 dimana keadaan di ruang pemasak semakin lama semakin jenuh sehingga suhu di ruang pemasak semakin lama semakin tinggi.

Hubungan waktu dengan suhu rata-rata per menit pada kombinasi perlakuan V2P2 tampak pada Gambar 9.



Gambar 9 - Grafik Hubungan Waktu dengan Suhu rata-rata/menit pada Kombinasi Perlakuan V2P2

Dari Gambar 9 dapat diketahui nilai suhu rata-rata permenit dimana pada menit ke-0 nilainya sebesar 77,3 °C dan pada menit ke-20 terjadi penurunan yang disebabkan oleh api pembakaran yang turun sehingga menyebabkan penurunan suhu.

Pada menit ke-40 terjadi peningkatan suhu dimana hal ini terjadi karena api untuk pembakaran mulai meningkat sehingga suhu uap yang dihasilkan juga meningkat. Pada menit ke-60 terjadi lagi peningkatan suhu karena di dalam ruang pemasakan sudah terjadi kejenuhan sehingga suhunya terus meningkat.

Volume Uap Yang Dihasilkan.

Berdasarkan data suhu rata-rata pada masing-masing kombinasi perlakuan dapat dihitung volume uap yang dihasilkan. Nilai volume uap yang dihasilkan ditampilkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Volume uap yang dihasilkan

Kombinasi Perlakuan	Volume Uap (m ³)
V1P1	0.081409
V2P1	0.087515
V1P2	0.115469
V2P2	0.111580

Dari Tabel 4 terlihat nilai yang terkecil volume uap yang dihasilkan pada kombinasi perlakuan V1P1. Hal ini disebabkan nilai suhu rata-rata yang dihasilkan kecil sedangkan pada V1P2 adalah nilai yang terbesar akibat suhu rata-rata total sangat tinggi yaitu 89,8 °C. Nilai volume uap ini dipengaruhi oleh tekanan dan suhu rata-rata karena semakin besar tekanan dan suhu rata-rata maka nilai volume uap juga akan semakin besar.

Efisiensi Energi Mesin Pembangkit Uap. Energi yang diterima adalah jumlah energi yang diberikan oleh bahan bakar dan diterima oleh mesin pembangkit uap hingga menghasilkan uap. Sedangkan energi yang dihasilkan oleh mesin pembangkit uap sama dengan jumlah panas yang sampai ke ruang pengukusan. Dari keduanya dapat dihitung efisiensi energi mesin pembangkit uap yang hasilnya dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Energi yang diterima, dihasilkan, dan efisiensi mesin pembangkit uap

Kombinasi perlakuan	E _{terima}	E _{hasil}	Efisiensi
V1P1	90,3	15,9	17,64

Kombinasi perlakuan	E _{terima}	E _{hasil}	Efisiensi
V2P1	93,1	14,8	15,82
V1P2	97,0	14,9	15,34
V2P2	103,2	15,5	14,99

Dari Tabel 5 dapat dilihat bahwa energi yang diterima mesin pembangkit uap cenderung terus meningkat. Hal ini disebabkan oleh lamanya waktu yang dibutuhkan untuk pemanasan sehingga konsumsi bahan bakar juga akan meningkat yang akhirnya akan berpengaruh pada besarnya energi yang diterima. Sedangkan nilai tertinggi energi yang dihasilkan oleh mesin pembangkit uap adalah pada kombinasi perlakuan V1P1 = $15,9 \times 10^6$ J dan nilai terendah pada kombinasi perlakuan V2P1 = $14,8 \times 10^6$ J. Hal ini dipengaruhi oleh selisih antara suhu di dalam mesin uap dan suhu di dalam ruang pengukusan pada masing-masing kombinasi perlakuan.

KESIMPULAN

Berdasarkan uraian yang telah disampaikan, dapat ditarik beberapa kesimpulan:

1. Mesin pemasak yang dibuat terdiri dari 3 bagian, yaitu:
 - a) Mesin pemasak
 - b) Pipa penghubung
 - c) Rangkaian pipa pemasak
2. Nilai volume uap yang dihasilkan oleh mesin pembangkit uap ini secara berturut-turut adalah 0,081409 m³, 0,087515 m³, 0,115469 m³ dan 0,111580 m³ untuk kombinasi perlakuan V1P1, V2P1, V1P2, dan V2P2.
3. Energi yang diterima oleh mesin pembangkit uap berturut-turut sebesar $90,3 \times 10^6$ J, $93,1 \times 10^6$ J, 97×10^6 J dan $103,2 \times 10^6$ J untuk pengukusan pada kombinasi perlakuan V1P1, V2P1, V1P2, dan V2P2.
4. Energi yang dihasilkan mesin pembangkit uap berturut-turut sebesar $15,9 \times 10^6$ J, $14,8 \times 10^6$ J, $14,9 \times 10^6$ J dan $15,5 \times 10^6$ J untuk pengukusan

pada kombinasi V1P1, V2P1, V1P2, dan V2P2.

- 5 Efisiensi mesin pemasak yang terbaik terjadi pada perlakuan pertama dengan volume air 55 liter dan pada tekanan 1 atm (V1P1) dengan nilai sebesar 17,64 %. Sedangkan efisiensi terendah terjadi pada perlakuan keempat dengan volume air 69 liter dan tekanan 2 atm (V2P2) dengan nilai efisiensi sebesar 14,99 %.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Muin, Syamsir A. 1986. *Pesawat-Pesawat Konversi Energi I (Ketel Uap)*. Rajawali Pers. Jakarta.
- [2] Holman, J.P. 1997. *Perpindahan Kalor*. Erlangga. Jakarta.
- [3] Kreith. 1986. *Prinsip-Prinsip Perpindahan Panas*. Erlangga. Jakarta.