

## **Analisis Efisiensi Energi Uap Pada Proses Pengukusan Dengan Bahan Bakar Komporn Lpg Untuk Aplikasi Skala Kecil Dan Menengah**

Achmad Aldi Prasetyo, Mohammad Effendi

Universitas Yudharta Pasuruan

Email: *achmadaldi431@gmail.com, mohammad.effendi@yudharta.ac.id*

### **Abstract**

This research focuses on analyzing the energy efficiency of using a mini LPG-fueled steam boiler in small-scale steaming operations. The primary objective of the study was to determine the extent to which the mini boiler can optimally utilize the heat energy from LPG combustion. Three trials were conducted with varying heating durations: 15, 25, and 30 minutes. Each trial used 2 liters of water at an initial temperature of 25°C. Data collected during the trial included LPG consumption and the volume of steam produced, allowing for the calculation of the efficiency ratio between energy input and energy output. Input energy was calculated based on the amount of LPG burned, with a calorific value of 46,000 kJ/kg. Meanwhile, output energy was obtained from the total heat required to heat the water to its boiling point and the energy used to vaporize it into steam. Based on the calculations, the energy efficiency of the mini boiler reached 67.04% in the first trial, 71.94% in the second trial, and increased to 78.38% in the third trial. Overall, the average efficiency achieved was 72.45%. These findings demonstrate that mini steam boilers have a higher efficiency level than conventional steam boilers, particularly in maximizing the use of heat energy from LPG. Therefore, this technology has the potential to be an alternative, energy-efficient and environmentally friendly solution, both for household needs and for supporting small- and medium-scale industrial activities.

Keywords: *Efficiency, Energy, Steam, Steaming, LPG Stove*

### **Abstrak**

Penelitian ini berfokus pada analisis efisiensi energi dari penggunaan ketel uap mini berbahan bakar LPG dalam kegiatan pengukusan skala kecil. Tujuan utama penelitian adalah untuk mengetahui sejauh mana ketel uap mini mampu memanfaatkan energi panas dari pembakaran LPG secara optimal. Uji coba dilakukan sebanyak tiga kali dengan variasi durasi pemanasan, yaitu 15, 25, dan 30 menit. Setiap percobaan menggunakan 2 liter air dengan suhu awal 25°C. Selama proses berlangsung, data yang dikumpulkan meliputi konsumsi LPG serta volume uap yang dihasilkan, sehingga dapat dihitung rasio efisiensi antara energi masukan dan energi keluaran. Energi masukan dihitung berdasarkan jumlah LPG yang terbakar dengan nilai kalor 46.000 kJ/kg. Sementara itu, energi keluaran diperoleh dari total kalor yang diperlukan untuk memanaskan air hingga mencapai titik didih serta energi yang digunakan untuk menguapkannya menjadi uap. Berdasarkan hasil perhitungan, efisiensi energi ketel uap mini pada uji pertama mencapai 67,04%, pada uji kedua sebesar 71,94%, dan pada uji ketiga meningkat hingga 78,38%. Secara keseluruhan, rata-rata efisiensi yang diperoleh adalah 72,45%. Temuan ini menunjukkan bahwa ketel uap mini memiliki tingkat efisiensi yang lebih baik dibandingkan dandang kukus konvensional, terutama dalam memaksimalkan pemanfaatan energi panas dari LPG. Dengan demikian, teknologi ini berpotensi menjadi alternatif solusi yang hemat energi sekaligus ramah lingkungan, baik untuk kebutuhan rumah tangga maupun untuk mendukung aktivitas industri skala kecil dan menengah.

## **Pendahuluan**

Usaha Mikro, Kecil, dan Menengah (UMKM) memiliki peranan yang sangat signifikan dalam perekonomian Indonesia, baik sebagai pendorong pertumbuhan ekonomi lokal maupun sebagai penyedia lapangan kerja yang luas bagi masyarakat. Kehadiran UMKM terbukti mampu membantu mengurangi angka pengangguran serta berkontribusi dalam penanggulangan kemiskinan. (Caroline Chiko, 2022) Salah satu sektor UMKM yang terus berkembang pesat adalah industri makanan dan minuman. Industri ini membutuhkan dukungan teknologi serta ketersediaan energi yang efisien agar proses produksi dapat berjalan dengan baik dan berkesinambungan. Namun, tantangan utama yang dihadapi oleh UMKM, khususnya di sektor ini, adalah tingginya kebutuhan energi panas untuk menunjang berbagai tahapan produksi. Energi panas dibutuhkan untuk proses perebusan, sterilisasi, pengolahan bahan, hingga pengemasan produk. Oleh karena itu, penggunaan peralatan yang dapat menghasilkan energi panas menjadi hal yang tidak terhindarkan. Salah satu peralatan penting dalam hal ini adalah ketel uap. (Handayani, 2020)

Ketel uap merupakan alat tertutup yang berfungsi memanaskan air hingga menghasilkan uap bertekanan. Uap inilah yang kemudian dimanfaatkan dalam berbagai proses produksi, terutama pada skala industri makanan dan minuman. Penggunaan ketel uap memberikan keuntungan berupa efisiensi dalam pemanasan, kapasitas produksi yang lebih stabil, serta kualitas hasil yang lebih konsisten. Namun, bagi UMKM, tantangan biaya investasi dan operasional dalam penggunaan ketel uap masih menjadi hambatan yang harus diatasi. Oleh sebab itu, inovasi penggunaan energi yang lebih hemat, ramah lingkungan, dan terjangkau sangat dibutuhkan agar UMKM mampu bersaing dan berkembang secara berkelanjutan. (Rozi & Aldianza, 2024)

Ketel uap memiliki fungsi utama sebagai penghasil uap panas yang sangat dibutuhkan dalam berbagai tahapan produksi, terutama di industri makanan dan minuman. Uap ini dimanfaatkan untuk keperluan memasak, sterilisasi, hingga proses pengolahan lanjutan yang menuntut suhu tinggi dan stabil. Bagi pelaku Usaha Mikro, Kecil, dan Menengah (UMKM), keberadaan ketel uap menjadi salah satu faktor penting yang menentukan kualitas dan konsistensi produk yang dihasilkan. (Nufuz et al., 2025) Namun, kenyataannya, banyak UMKM masih mengandalkan ketel uap dengan bahan bakar tradisional, seperti kayu bakar atau batu bara, yang kurang efisien serta tidak ramah lingkungan. Penggunaan bahan bakar tersebut tidak hanya membutuhkan biaya operasional yang relatif tinggi, tetapi juga menimbulkan emisi yang berdampak negatif terhadap lingkungan. Proses kerjanya dimulai dengan pembakaran bahan bakar yang menghasilkan energi panas, kemudian energi panas tersebut digunakan untuk memanaskan air di dalam ketel hingga mendidih. Dari proses pendidihan inilah terbentuk uap air yang bertekanan. (Tambunan et al., 2023)

Uap bertekanan tersebut mengandung energi potensial yang sangat besar. Energi inilah yang kemudian dialirkan melalui sistem ketel dan dapat dimanfaatkan lebih lanjut, misalnya diubah menjadi energi mekanik untuk menggerakkan mesin produksi atau dimanfaatkan langsung sebagai energi panas untuk proses pengolahan makanan. Dengan demikian, ketel uap berperan ganda, yakni sebagai penyedia energi panas dan sumber energi mekanik yang menunjang efektivitas produksi. Sayangnya, keterbatasan akses teknologi membuat UMKM sulit mengoptimalkan pemanfaatan energi uap secara

maksimal. Oleh karena itu, dibutuhkan inovasi ketel uap yang lebih modern, hemat energi, dan ramah lingkungan agar UMKM dapat meningkatkan efisiensi produksi sekaligus mendukung keberlanjutan usaha. (Khoiri Abdi & Febriyanti, 2020)

Penggunaan metode pengukusan dalam proses produksi makanan hingga kini masih menjadi pilihan utama, baik pada skala rumah tangga maupun Usaha Mikro, Kecil, dan Menengah (UMKM). Metode ini dianggap lebih sehat karena tidak memerlukan banyak minyak, serta mampu mempertahankan cita rasa, tekstur, dan kandungan gizi pada makanan. Hal ini menjadikan pengukusan sebagai salah satu teknik memasak yang bernilai tinggi, khususnya bagi UMKM yang bergerak di bidang kuliner tradisional maupun modern. Namun, kenyataannya, sebagian besar pelaku usaha kecil masih mengandalkan peralatan sederhana seperti panci pengukus tradisional. Meskipun mudah diperoleh dan relatif murah, penggunaan alat tradisional ini memiliki keterbatasan dalam kapasitas, efisiensi, serta konsistensi hasil produksi. Di sinilah ketel uap hadir sebagai bentuk teknologi tepat guna yang dapat menjembatani kebutuhan UMKM akan peralatan yang lebih efisien namun tetap terjangkau. Ketel uap dikategorikan sebagai teknologi menengah, karena berada di antara dua ekstrem, yaitu teknologi yang sangat sederhana dan teknologi yang sangat canggih. (Publik, 2023)

Dengan desain yang relatif sederhana, biaya produksi rendah, serta kemudahan dalam pengoperasiannya, ketel uap menjadi solusi yang sesuai dengan karakteristik UMKM. Berbeda dengan panci pengukus biasa, ketel uap mampu menghasilkan uap dengan tekanan dan suhu yang lebih stabil, sehingga makanan yang diproses memiliki kualitas lebih konsisten. Selain itu, penggunaan ketel uap memungkinkan produksi dalam jumlah lebih besar dengan waktu yang lebih efisien. Hal ini memberikan keuntungan kompetitif bagi UMKM dalam memenuhi permintaan pasar yang terus meningkat. Di sisi lain, meskipun teknologinya sederhana, ketel uap tetap menawarkan efektivitas yang lebih unggul dibandingkan peralatan tradisional, baik dari segi efisiensi energi maupun kualitas produk akhir. Dengan demikian, adopsi ketel uap sebagai teknologi tepat guna tidak hanya mendukung peningkatan produktivitas UMKM, tetapi juga mendorong terciptanya produk makanan yang lebih sehat, higienis, dan bernilai tambah. Teknologi ini menjadi contoh nyata bagaimana inovasi sederhana dapat memberikan dampak besar dalam memperkuat daya saing UMKM di tengah persaingan industri makanan yang semakin ketat. (Handayani, 2020)

Dengan demikian, pengembangan dan penerapan ketel uap mini berbahan bakar LPG menjadi salah satu solusi strategis untuk mendukung keberlangsungan usaha mikro, kecil, dan menengah (UMKM), khususnya di sektor industri makanan dan minuman. Penggunaan ketel uap mini ini diharapkan mampu meningkatkan efisiensi energi, mengurangi biaya operasional, serta memperbaiki kualitas produk yang dihasilkan. Bagi UMKM, tantangan terbesar yang sering dihadapi adalah keterbatasan modal dan tingginya biaya produksi, terutama terkait dengan kebutuhan energi. Oleh karena itu, hadirnya teknologi tepat guna seperti ketel uap mini berbahan bakar LPG menjadi jawaban yang realistis, karena LPG relatif mudah diperoleh, harganya lebih terjangkau, dan pembakarannya lebih bersih dibandingkan dengan bahan bakar tradisional seperti kayu bakar atau batu bara. Lebih jauh, penggunaan ketel uap mini tidak hanya meningkatkan efisiensi produksi, tetapi juga membantu UMKM dalam mengelola kebutuhan energi secara lebih efektif.

Dengan sistem pemanasan yang lebih stabil dan terukur, proses pengolahan makanan dapat dilakukan dengan waktu yang lebih singkat, sehingga kapasitas produksi meningkat tanpa mengorbankan kualitas. Selain itu, uap yang dihasilkan memiliki suhu dan tekanan yang lebih konsisten, sehingga makanan yang diproduksi lebih higienis, tahan lama, dan memiliki standar mutu yang lebih baik. Hal ini tentu menjadi nilai tambah yang signifikan dalam meningkatkan daya saing produk UMKM di pasar yang semakin kompetitif. Penelitian mengenai efisiensi energi dari ketel uap mini berbahan bakar LPG ini bertujuan untuk menganalisis kinerja peralatan tersebut, sekaligus membandingkannya dengan dandang pengukus tradisional. Perbandingan ini penting dilakukan untuk menilai sejauh mana ketel uap mini dapat memberikan keunggulan nyata, baik dalam hal efisiensi bahan bakar, waktu produksi, maupun kualitas produk yang dihasilkan. Dengan data dan temuan yang terukur, hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi praktis bagi para pelaku UMKM dalam mengambil keputusan investasi teknologi. (Rozi & Aldianza, 2024)

Secara lebih luas, penerapan ketel uap mini berbahan bakar LPG juga memiliki dampak positif terhadap aspek lingkungan. Pembakaran LPG menghasilkan emisi yang lebih rendah dibandingkan bahan bakar padat, sehingga dapat mengurangi pencemaran udara. Dengan demikian, teknologi ini tidak hanya membantu UMKM meningkatkan produktivitas dan efisiensi energi, tetapi juga mendukung praktik usaha yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Pada akhirnya, keberhasilan pengembangan dan penerapan ketel uap mini ini diharapkan mampu memperkuat peran UMKM sebagai penggerak perekonomian nasional dengan basis produksi yang lebih efisien, kompetitif, dan berorientasi pada kualitas.

### **Metode Penelitian**

Metode penelitian yang digunakan dalam studi berjudul “*Analisis Efisiensi Energi Uap pada Proses Pengukusan dengan Bahan Bakar Kompor LPG untuk Aplikasi Skala Kecil dan Menengah*” adalah metode deskriptif kuantitatif dengan pendekatan eksperimental. (Sugiono, 2017a) Penelitian ini bertujuan untuk mengukur tingkat efisiensi energi uap yang dihasilkan dari penggunaan kompor LPG sebagai sumber panas dalam proses pengukusan, sekaligus mengevaluasi potensi penerapannya bagi usaha skala kecil dan menengah. Proses penelitian diawali dengan tahap persiapan, yaitu merancang dan menyiapkan peralatan penelitian berupa ketel uap mini, kompor LPG, wadah pengukus, serta instrumen pengukuran meliputi termometer digital, flow meter, stopwatch, dan timbangan. Tahap berikutnya adalah menentukan variabel penelitian, di mana variabel bebas adalah jumlah konsumsi bahan bakar LPG, sedangkan variabel terikat adalah energi uap yang dihasilkan, waktu pemanasan, serta efisiensi proses pengukusan. (Sugiono, 2017b)

Pengumpulan data dilakukan melalui serangkaian percobaan dengan variasi jumlah air, tekanan uap, serta durasi proses pengukusan. Setiap percobaan dicatat secara sistematis, meliputi volume LPG yang digunakan, kenaikan suhu air, volume uap yang terbentuk, hingga hasil akhir proses pengukusan. Data kuantitatif kemudian dianalisis menggunakan rumus efisiensi energi dengan membandingkan input energi (nilai kalor LPG yang digunakan) terhadap output energi (panas uap yang terbentuk). Untuk menjaga keabsahan hasil penelitian, dilakukan pengulangan percobaan pada kondisi yang sama serta perbandingan dengan data literatur terkait. Analisis hasil penelitian dilakukan dengan memadukan pendekatan matematis dan interpretatif guna memperoleh gambaran tingkat

efisiensi energi, potensi penghematan, serta implikasi praktis penggunaan teknologi ini pada skala usaha kecil dan menengah. (Pantan et al., 2021)

## Hasil dan Pembahasan

### A. Efisiensi Energi

Energi adalah suatu sistem atau benda untuk melakukan kerja atau usaha. Dalam konteks termodinamika, energi termal berasal dari panas yang ditransfer antar sistem. Dalam sistem pemanasan seperti pengukusan, energi berasal dari bahan bakar yang dibakar untuk menghasilkan panas. Efisiensi energi adalah ukuran seberapa efektif energi input dikonversi menjadi energi output yang berguna. Dalam proses pengukusan, efisiensi energi menggambarkan seberapa banyak energi dari bahan bakar yang benar-benar digunakan untuk menghasilkan uap air guna mengukus bahan makanan. Berikut ini rumus efisiensi :

1. Rumus efisiensi termal sederhana (Agustina et al., 2022)

$$\text{Efisiensi} = \frac{Q_{\text{output}}}{Q_{\text{input}}} \times 100\%$$

Dengan :

$$Q_{\text{output}} = M \cdot C \cdot \Delta T + M_{\text{uap}} \cdot L$$

$$Q_{\text{input}} = M_{\text{LPG}} \cdot H_{\text{LPG}}$$

Dimana :

- M = Massa air (kg/L)
- C = Kalor jenis air (kJ/kg °C)
- $\Delta T$  = Perubahan suhu (°C)
- L = Kalor penguapan (kJ/kg)
- $H_{\text{LPG}}$  = Nilai kalor LPG (kJ/kg)

2. Rumus efisiensi industri

$$\text{Efisiensi Boiler} = \frac{\text{output}}{\text{input}} \times 100\%$$

Metode langsung (Santosa et al., 2022)

$$\eta = \frac{Q(hg-hf)}{q \times GCV} \times 100\%$$

Keterangan :

- Q = Jumlah hasil steam (kg/jam).
- q = Jumlah konsumsi bahan bakar (kg/jam).
- hg = Enthalpy steam jenuh (kkal/kg).
- hf = Enthalpy air umpan (kkal/kg).
- GCV = Nilai panas kotor bahan bakar (kkal/kg)

### B. Nilai – Nilai Rumus

$$Q_{\text{output}/\text{Air}} = M \cdot C \cdot \Delta T + M_{\text{uap}} \cdot L$$

$$Q_{\text{input}/\text{LPG}} = M_{\text{LPG}} \cdot H_{\text{LPG}}$$

Dimana :

- M = Massa air (kg/L)
- C = Kalor jenis air (4186 kJ/kg °C)
- $\Delta T$  = ( $T_1 - T_2$ ) Perubahan suhu (°C)
- L = Kalor penguapan (2,260 kJ/kg)
- $H_{\text{LPG}}$  = Nilai kalor LPG (46.000 kJ/kg)

1. M = Massa air

Persamaan konversi dari volume ke massa menggunakan rumus :

$$M = \rho \times V$$

Dimana :  $M$  = Massa (kg)

$\rho$  = Massa jenis air (kg/L)

$V$  = Volume udara (L)

Massa ditentukan berdasarkan hubungan antara volume dan massa jenisnya. Menurut sudarmanto (2019), massa jenis udara pada suhu ruang ( $\pm 25^\circ\text{C}$ ) adalah 1 kg/L. Rumusnya  $M = \rho \times V$

2.  $C$  = Kalor jenis air (4186 kJ/kg  $^\circ\text{C}$ )

Kalor jenis air adalah jumlah energi panas yang diperlukan untuk menaikkan suhu 1 kg udara sebesar  $1^\circ\text{C}$ . Nilai kalor umum digunakan yaitu :

$$C = 4186 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$$

Nilai ini bersifat standar dalam sistem satuan internasional (SI) dan banyak digunakan di buku teknik maupun fisika dasar seperti *Thermodynamics: An Engineering Approach* oleh Cengel dan Boles (2015).

3.  $\Delta T = (T_1 - T_2)$  Perubahan suhu ( $^\circ\text{C}$ )

Perubahan suhu atau Delta  $T$  ( $\Delta T$ ) merupakan parameter penting dalam perhitungan energi panas. Menurut Giancoli (2005), delta  $T$  adalah selisih antara suhu akhir dan suhu awal dari suatu zat yang mengalami proses pemanasan dan pendinginan.

$$\text{Rumus : } \Delta T = (T_{\text{akhir}} - T_{\text{awal}})$$

Dimana :

$\Delta T$  = Perubahan suhu ( $^\circ\text{C}$ )

$T_{\text{akhir}}$  = Suhu akhir setelah pemanasan

$T_{\text{awal}}$  = Suhu Awal setelah pemanasan

4.  $L$  = Kalor penguapan (2,260 kJ/kg)

Kalor penguapan yaitu untuk menghitung energi yang diperlukan untuk mengubah udara yang sudah mencapai titik didih menjadi uap (fase cair ke gas). Untuk nilainya dibutuhkan 2,260 kilojoule energi untuk menguapkan 1 kilogram udara pada suhu  $100^\circ\text{C}$ . dijelaskan oleh *University Physics* (Young & Freedman, 2012).

5.  $H_{\text{LPG}}$  = Nilai kalor LPG (46.000 kJ/kg)

LPG (Liquefied Petroleum Gas) terdiri dari campuran propana dan butana. Nilai kalor LPG bergantung pada komposisi propana dan butana dalam LPG. Nilai rata2 dari kisaran 44.000 - 50.000 KJ/Kg, nilai ini digunakan dalam perhitungan teknik di buku pengantar teknik kimia termodinamika oleh Smith et al.(2005). Nilai kalor LPG (46.000 kJ/kg) (Santosa et al., 2022)

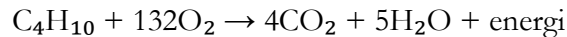
### C. Proses Pembakaran

Pembakaran merupakan reaksi kimia yang berlangsung cepat antara bahan bakar dan oksigen, yang menghasilkan energi panas dalam bentuk panas. Dalam kompor LPG, bahan bakar yang digunakan adalah gas cair (liquefied petroleum gas) yang biasanya terdiri dari campuran propana ( $\text{C}_3\text{H}_8$ ) dan butana ( $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ). Reaksi pembakaran yang ideal dari kedua senyawa ini akan menghasilkan karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ), uap air ( $\text{H}_2\text{O}$ ), serta energi panas yang dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan salah satunya memasak. Proses ini tergolong efisien dan merupakan salah satu sumber energi yang umum dimanfaatkan dalam aktivitas sehari-hari. Reaksi kimia pembakaran dari propana dan butana dapat dituliskan dalam bentuk persamaan kimia sebagai berikut :

1. Untuk pembakaran propana ( $C_3H_8$ ):



2. Untuk pembakaran butana ( $C_4H_{10}$ ):



Propana dan butana akan mengalami reaksi dengan oksigen ( $O_2$ ) yang menghasilkan karbon dioksida ( $CO_2$ ) dan uap air ( $H_2O$ ), serta melepaskan energi dalam bentuk panas. Penting untuk memastikan bahwa proses pembakaran berlangsung dengan sempurna agar efisiensi tinggi dan emisi gas berbahaya dapat diminimalkan.

1. Kalor pembakaran HHV dan LHV

Definisi :

- HHV (Higher Heating Value) : total panas yang dilepaskan saat semua produk kondensasi sampai suhu 25 °C.
- LHV (lower Heating Value) : panas bersih yang dilepaskan, tidak termasuk kondensasi uap air – lebih realistis untuk aplikasi praktis .

2. Rumus energi dari pembakaran

$$Q_{\text{pembakaran}} = M_{\text{fuel}} \cdot H_{\text{fuel}}$$

Keterangan :

$M_{\text{fuel}}$  = Massa bahan bakar

$H_{\text{fuel}}$  = nilai kalor LHV atau HHV

Bahan bakar yang digunakan untuk ketel uap ini adalah gas. Nilai kalor bahan bakar (HHV) LPG adalah sebesar 46.000 kJ/kg berdasarkan data dari Pertamina. Untuk mengetahui kebutuhan bahan bakar gas pada ketel uap ini dapat dihitung dengan persamaan 1 (Tambunan et al., 2023) berikut :

$$Q = m \cdot \text{kalor jenis bakar} = m \cdot \Delta H_{\text{pembakaran}}$$

Keterangan :

- Q : kalor yang dihasilkan (joule atau kilojoule)
- M : massa bahan bakar (kg atau gram)
- $\Delta H_{\text{pembakaran}}$  : kalor pembakaran spesifik (J/kg atau J/g)

#### D. Proses Pengukusan

Pengukusan adalah metode memasak atau memanaskan menggunakan uap air panas. Dalam industri makanan, pengukusan menjadi metode populer karena mempertahankan gizi makanan dan tidak menggunakan minyak. Proses ini terjadi ketika air dipanaskan sampai titik didih, dan uap yang dihasilkan dialirkan ke ruang pengukusan.

Efektivitas pengukusan dipengaruhi oleh :

1. Suhu uap
2. Tekanan uap
3. Volume uap yang dihasilkan
4. Waktu pemanasan dan pengukusan

Rumus energi pengukusan dan penguapan

Dalam perhitungan neraca energi pengukusan atau penguapan, energi panas dihitung berdasarkan perubahan suhu dan nilai kalor laten uap yang mengembun saat melepaskan panas ke bahan.

Energi kalor masuk ke bahan (panas sensibel dan panas laten uap) (Agustina et al., 2022):

$$Q = m \cdot C \cdot \Delta T + M_{\text{uap}} \cdot h_{fg}$$

Dimana :

$Q$  = energi (Kj)

$M$  = massa bahan (kg)

$C$  = kalor jenis bahan (KJ/kg°C)

$\Delta T$  = perubahan suhu bahan (°C)

$M_{uap}$  = massa uap yang mengembun(kg)

$h_{fg}$  = kalor *laten pengembunan uap* (Kj/ kg)

neraca energi dasar dalam pengolahan (neraca panas) :

$$Q_{in} = Q_{out} + \text{kerugian energi}$$

Dengan :

- $Q_{in}$  untuk pengukusan adalah energi uap yang dialirkan
- $Q_{out}$  adalah energi yang diserap oleh bahan (sensibel heat+ latent heat untuk penguapan air dalam bahan)
- Kerugian energi berupa panas hilang ke lingkungan

Neraca massa dan energi sebagai dasar optimasi pengukusan, norma umum :

Neraca energi pengukusan termasuk penentuan energi yang diterima bahan dari uap dan juga energi yang dipakai untuk evaporasi air (penguapan) dari bahan yang dikukus.(antoni.2024)

### **E. karakteristik LPG ( Liquefied Petroleum Gas)**

LPG (Liquefied Petroleum Gas) merupakan campuran gas, terutama terdiri dari propana dan butana, serta sedikit hidrokarbon tak jenuh seperti (propilena dan butilena). Dalam kondisi tekanan atmosfer normal, LPG berbentuk gas, namun dapat dicairkan pada suhu ruang dengan memberikan tekanan sedang. Saat dalam bentuk cair, LPG dapat menguap dan menghasilkan gas dengan volume sekitar 250 kali lebih besar dari volume cairnya. Uap LPG ini lebih padat dari pada udara. (Andrianto et al., 2016). Penggunaan LPG sebagai bahan bakar dilakukan karena pembakaran LPG menghasilkan emisi dan Efek rumah kaca yang rendah (J.Morganti, et al., 2013). Perbedaan minyak tanah dan LPG memiliki karakteristik yang sangat berbeda, sehingga penting untuk memahami sifat-sifat khusus dari masing-masing bahan bakar tersebut. Dalam pemanfaatan LPG, aspek keselamatan seperti sistem ventilasi dan perawatan peralatan perlu mendapat perhatian khusus. LPG sendiri merupakan gas yang dihasilkan dari proses pengolahan minyak dan gas bumi atau pemisahan gas alam, dengan kandungan utama berupa propana ( $C_3H_8$ ) dan ( $C_4H_{10}$ ) dalam bentuk cair.(Syukur, 2011). LPG jenis bahan bakar berbentuk gas yang tersusun dari campuran dominan gas propana ( $C_3H_8$ ) dan butana ( $C_4H_{10}$ ).

Berikut adalah sifat-sifat dari LPG :

#### 1. Wujud

LPG berada dalam bentuk gas saat dikeluarkan dari tabung, tetapi di dalam tabung, sebagian berada dalam bentuk cair dan sebagian dalam bentuk uap. Hal ini disebabkan oleh penurunan suhu dan peningkatan tekanan.

#### 2. Massa Jenis

Dari segi komposisi, massa jenis butana lebih tinggi dibandingkan propane, dan massa jenis propane lebih besar daripada massa jenis udara. Massa jenis butana adalah 2,703 kg/m<sup>3</sup>, propane 2,004 kg/m<sup>3</sup>, dan udara 1,293 kg/m<sup>3</sup>. Karena massa jenis LPG lebih besar dari udara, gas LPG cenderung bergerak ke bawah. Massa jenis LPG dalam fase cair adalah 582,37 kg/m<sup>3</sup>, sedangkan dalam fase gas adalah 18,357 kg/m<sup>3</sup>.

3. *Specific Gravity*

*Specific gravity*, atau massa jenis relatif, adalah perbandingan antara massa jenis gas dengan massa jenis udara. LPG memiliki nilai massa jenis relatif yang lebih tinggi dibandingkan udara. Massa jenis propane adalah 1,55 dan butana 0,9. Oleh karena itu, dalam penyimpanan, LPG diharapkan memiliki massa jenis yang sedikit lebih tinggi agar jika terjadi kebocoran, gas dapat cepat keluar dan bercampur dengan udara.

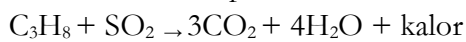
4. Temperatur Nyala

Temperatur nyala propane adalah 510°C, sedangkan untuk butana adalah 460°C. Ini berarti bahwa jika terjadi kebocoran, gas tidak akan terbakar dengan sendirinya, karena diperlukan alat penyala untuk menimbulkan nyala.

5. Batas Nyala

Batas nyala adalah perbandingan campuran antara gas dan udara, di mana pada batas tertentu, terdapat nilai batas atas dan batas bawah yang dapat menyebabkan terjadinya nyala api atau ledakan. Jika perbandingan campuran gas dan udara berada di bawah atau di atas batas nyala, maka tidak akan terjadi pembakaran. Nilai batas nyala (Flammable Range) untuk propane adalah antara 2,4% hingga 9,6%, sedangkan untuk butana adalah antara 1,9% hingga 8,6%. (Bambang Puguh Manunggal, Slameto, 2019)

Persamaan reaksi pembakaran LPG :



**F. Kompur LPG dan Perpindahan panas**

Kalor atau panas adalah bentuk energi yang bergerak dari satu objek ke objek lain, karena adanya perbedaan suhu. Dalam Sistem Internasional (SI), satuan yang digunakan untuk mengukur panas adalah joule. Suhu sendiri menggambarkan tingkat panas atau dinginnya suatu benda atau sistem, dan diartikan sebagai besaran fisik yang nilainya sama pada dua atau lebih benda yang telah mencapai kesetimbangan termal (Putra, 2007). Kompur LPG menghasilkan api melalui proses pembakaran gas, yang kemudian mentransfer energi panas ke peralatan memasak panci atau ketel mini. Alur perpindahan panas yang terjadi dimulai dari radiasi panas dari nyala api ke permukaan bawah panci atau ketel, kemudian dilanjutkan dengan konduksi panas dari ketel ke air di dalam tabung. Setelah itu, panas menyebar ke seluruh air melalui proses konveksi, sehingga suhu air secara bertahap meningkat. Adapun jenis-jenis perpindahan panas yang terjadi dalam proses ini meliputi :

1. konduksi adalah proses perpindahan energi panas yang terjadi melalui material padat tanpa adanya perpindahan massa partikel dari material tersebut. (Kuncoro et al., 2024)

$$\text{Rumus : } q = -k \cdot A \cdot \frac{dT}{dx}$$

Keterangan :

- $q$  = laju aliran panas (W atau J/s)
  - $k$  = konduktivitas termal material (W/m . K)
  - $A$  = luas penampang lintang ( $\text{m}^2$ )
  - $\frac{dT}{dx}$  = gradien suhu ( $^{\circ}\text{C}/\text{m}$  atau  $\text{K}/\text{m}$ )
2. konveksi adalah mekanisme perpindahan panas melalui fluida (cair atau gas), yang melibatkan perpindahan partikel bersamaan dengan aliran energi termal. (Tambunan et al., 2023)

$$\text{Rumus : } q = h \cdot A \cdot (T_s - T_\infty)$$

Keterangan :

- $q$  = laju perpindahan panas (Watt)
- $h$  = koefisien perpindahan panas konveksi ( $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ )
- $A$  = luas permukaan perpindahan panas ( $\text{m}^2$ )
- $T_s$  = Suhu permukaan (K atau  $^\circ\text{C}$ )
- $T_\infty$  = suhu fluida bebas di sekitar (udara,air,dll)

3. Radiasi adalah bentuk perpindahan panas yang terjadi melalui gelombang elektromagnetik, dan tidak membutuhkan medium untuk mentranfer energi.

$$\text{Rumus : } q = \epsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot (T_s^4 - T_{\text{sur}}^4)$$

Keterangan :

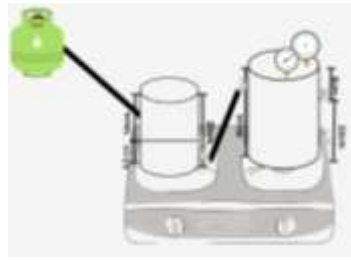
- $q$  = laju perpindahan panas radiasi (W)
- $\epsilon$  = emisivitas permukaan (0-1)
- $\sigma$  = konstanta stefan-Boltzman =  $5.67 \times 10^{-8} \text{ w}/\text{m}^2$
- $A$  = Luas permukaan panas radiasi ( $\text{m}^2$ )
- $T_s$  = suhu permukaan benda (k)
- $T_{\text{sur}}$  = suhu lingkungan sekitar (k)

Perpindahan panas adalah proses aliran energi dari suatu wilayah ke wilayah lain akibat adanya perbedaan temperatur, di mana energi mengalir dari area bersuhu lebih tinggi ke yang lebih rendah. Perpindahan panas secara umum dibagi menjadi tiga cara, yaitu konduksi (conduction), radiasi (radiation), dan konveksi (convection) (Yunus, 2009).

### G. Prinsip kerja ketel uap mini

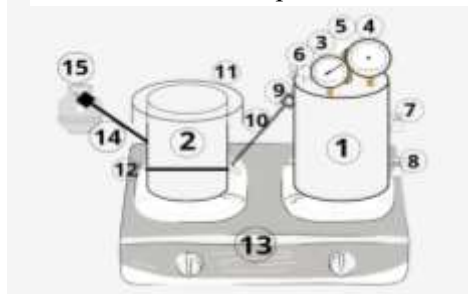
Ketel uap mini yang menggunakan LPG (Liquefied Petroleum Gas) beroperasi dengan prinsip pemanasan air untuk menghasilkan uap. Proses dimulai dengan pembakaran LPG di ruang pembakaran yang telah dirancang menyatu dengan ketel, yang menghasilkan gas panas. Gas panas yang dihasilkan kemudian dialirkan melalui pipa yang terhubung dengan wadah air di ketel uap mini, kemudian memanaskan air hingga mencapai suhu didih, yaitu 100 derajat Celsius pada tekanan atmosfer normal. Setelah air mendidih, ia mulai bertransformasi menjadi uap yang terkumpul di bagian atas ketel, di mana tekanan dapat meningkat sesuai dengan desain ketel dan volume air yang dipanaskan. Uap yang dihasilkan dapat dialirkan melalui pipa ke berbagai aplikasi, seperti untuk pengukusan makanan. Selain itu, ketel uap mini dilengkapi dengan alat pengatur tekanan dan suhu untuk memastikan bahwa proses berlangsung dengan aman dan efisien, serta untuk mencegah terjadinya tekanan berlebih yang dapat berbahaya. Dengan desain yang optimal dan pemilihan material yang tepat, ketel ini dirancang untuk meningkatkan efisiensi energi, mengurangi kehilangan panas, dan memaksimalkan konversi energi dari LPG menjadi uap. Oleh karena itu, ketel uap mini ini menjadi solusi yang efektif untuk menghasilkan uap dalam skala kecil dan menengah, khususnya bagi pelaku usaha di sektor UMKM.

### Desain ketel uap mini



Gambar 2. 2 desain ketel uap

Gambar 2. 1 ketel uap



keterangan :

1. Tabung 1 untuk membuat steam/uap
2. Tabung 2 untuk mengukus makanan
3. Pressure gauge
4. Termometer
5. Safety Valve
6. Kran ball valve  $\frac{1}{2}$
7. Kran ball valve  $\frac{1}{4}$
8. Kran ball valve  $\frac{1}{4}$
9. Kran ball valve  $\frac{1}{2}$
10. Pipa saluran uap/steam
11. Penutup tabung ke 2
12. Saringan uap
13. Kompor
14. selang tabung LPG
15. LPG 3 Kg

### H. Analisis Efisiensi Energi Uap Pada Proses Pengukusan Dengan Bahan Bakar Kompor Lpg Untuk Aplikasi Skala Kecil Dan Menengah

Hasil pengujian terhadap sistem dandang kukus menunjukkan kinerja termal kurang. Berdasarkan tiga kali pengujian, diperoleh nilai efisiensi termal sebagai berikut: pada uji pertama sebesar 41,06%, uji kedua mencapai 44,14%, dan uji ketiga mencatatkan efisiensi sebesar 46,50%, dengan rata-rata efisiensi sebesar 43,90%. Secara umum, nilai efisiensi yang diperoleh masih berada di bawah standar efisiensi ideal pada sistem penguapan yang menggunakan bahan bakar gas, yakni setidaknya 50% (Nasir, 2018). Hasil ini juga diperkuat oleh studi Suparno (2019), yang menyatakan bahwa sistem pemanas terbuka seperti dandang kukus konvensional umumnya memiliki tingkat kehilangan panas yang tinggi, sehingga efisiensinya sulit menembus angka 50% meskipun menggunakan

bahan bakar gas. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa dandang kukus konvensional kurang efisien dan kurang cocok digunakan untuk proses produksi uap yang memerlukan energi optimal dan pengendalian suhu secara presisi. Hasil pengujian yang dilakukan terhadap ketel uap menunjukkan peningkatan efisiensi energi yang cukup baik dengan pelaksanaan tiga kali pengujian. Pada pengujian pertama, efisiensi termal tercatat sebesar 67,04%, meningkat menjadi 71,94% pada pengujian kedua, dan mencapai nilai tertinggi 78,38% pada pengujian ketiga. Jika dirata-ratakan, efisiensi yang diperoleh mencapai 72,45%.

Penambahan tekanan dalam sistem juga mempercepat proses penguapan, karena kenaikan tekanan meningkatkan titik didih air dan mempercepat pelepasan molekul uap. Temuan ini sama dengan penelitian oleh Kumar et al. (2015), yang menyatakan bahwa efisiensi ketel meningkat signifikan ketika sistem memiliki kontrol pembakaran yang optimal dan distribusi panas yang merata. Sementara itu, Mulyadi (2020) juga menegaskan bahwa ketel uap rumah tangga dengan pembakaran LPG. Berdasarkan hasil pengujian, terdapat perbedaan yang signifikan antara efisiensi energi pada dandang kukus mini dan ketel uap mini. Nilai efisiensi termal rata-rata yang diperoleh dari dandang kukus adalah 43,90%, sedangkan ketel uap menghasilkan rata-rata efisiensi sebesar 72,45%. Selisih sebesar 28,55% ini menunjukkan bahwa ketel uap memiliki kemampuan yang jauh lebih baik dalam mengonversi energi dari bahan bakar LPG dikonversi menjadi energi panas yang dimanfaatkan untuk proses penguapan air.

Dari segi pemakaian bahan bakar, dandang kukus cenderung kurang efisien karena banyak energi panas yang hilang, sementara ketel uap mampu memproduksi uap dalam jumlah besar dengan penggunaan LPG yang lebih hemat. Efektivitas ketel juga terlihat pada kestabilan suhu dan tekanan yang lebih baik, menjadikannya lebih cocok untuk aplikasi pengukusan atau pemanasan di skala rumah tangga maupun industri kecil. Dengan hasil penelitian oleh Mulyadi (2020) dan Nasir (2018), yang menyebutkan bahwa sistem pemanas tertutup seperti ketel uap berbahan bakar LPG mampu mencapai efisiensi di atas 70% jika didesain dengan ruang pembakaran tertutup dan isolasi termal yang baik. Sementara itu, sistem terbuka seperti dandang umumnya hanya mampu mencapai efisiensi di bawah 50% akibat banyaknya energi panas yang terlepas ke lingkungan.

### **Kesimpulan**

Berdasarkan hasil tiga kali pengujian efisiensi termal pada dandang kukus dan ketel uap berbahan bakar LPG dengan volume air awal sebanyak 2 liter dan variasi waktu pemanasan 15, 25, dan 30 menit, diperoleh hasil sebagai berikut:

1. Kebutuhan energi pada dandang kukus dan ketel uap mini selama proses pengukusan berhasil diketahui, dengan rata-rata efisiensi termal dandang sebesar 43,90% (41,06% - 46,50%) dan ketel uap mini sebesar 72,45% (67,04% - 78,38%). Perbandingan keduanya menunjukkan selisih rata-rata 28,55%, sehingga ketel uap mini lebih unggul dalam pemanfaatan energi.
2. Kinerja ketel uap mini yang dirancang dan diuji terbukti lebih efisien dibandingkan dandang kukus. Desain sistem tertutup mampu meminimalkan kehilangan panas dan meningkatkan laju perpindahan kalor ke udara, sehingga sesuai untuk kebutuhan pengukusan skala kecil maupun menengah.

### **Daftar Pustaka**

Agustina, D., Ulma, Z., Nuruddin, M., & Rudiyanto, B. (2022). Studi Penambahan Grid

- Dan Reflektor Terhadap Efisiensi Kompor. *Eksergi*, 18(1), 65–76. <https://doi.org/10.32497/eksergi.v18i1.3218>
- Andrianto, M., Fahriansyah, & Hanifah, U. (2016). A preliminary analysis on development design of mini boiler for tofu industry. *AIP Conference Proceedings*, 1778(June). <https://doi.org/10.1063/1.4965748>
- Bambang Puguh Manunggal, Slameto. (2019). Studi sistem bahan bakar gas pada superheater untuk pengembangan bahan bakar alternatif. *Jurnal Teknik Energi*, 9(1), 64–72. <https://doi.org/10.35313/energi.v9i1.1647>
- Caroline Chiko, M. Y. (2022). Negara Kesejahteraan (Welfare State) Dalam Konteks Kebijakan Politik Ekonomi Islam Di Indonesia. *Jurnal Ekonomi Dan Keuangan Islam*, 02(01), 43–61.
- Handayani, S. A. (2020). Humaniora dan era disrupsi teknologi dalam konteks historis. *E-Prosiding Seminar Nasional Pekan Chairil Anwar*, 1(1), 19–30.
- Khoiri Abdi, M., & Febriyanti, N. (2020). Penyusunan Strategi Pemasaran Islam dalam Berwirausaha di Sektor Ekonomi Kreatif Pada Masa Pandemi Covid-19. *El-Qist: Journal of Islamic Economics and Business (JIEB)*, 10(2), 160–178. <https://doi.org/10.15642/elqist.2020.10.2.160-178>
- Kuncoro, H., Irawan, R., Studi, P., Mesin, T., Industri, F. T., & Gunadarma, U. (2024). RANCANG BANGUN DAN PENGUJIAN BOILER MENGGUNAKAN METODE. 10, 87–94.
- Nufuz, D. A., Mahendra, M. H., Faqih, A., & Setianingrum, N. (2025). Strategi Efektif Dalam Manajemen Perubahan: Membangun Ketahanan Organisasi Di Era Digital Devi. *Jurnal Penelitian Nusantara*, 1, 540–547.
- Pantan, F., Benyamin, P. I., Handori, J., Sumarno, Y., & Sugiono, S. (2021). Resiliensi spiritual menghadapi disruption religious value di masa pandemi Covid-19 pada lembaga keagamaan. *Jurnal Teologi Dan Pendidikan Agama Kristen*, 7(2), 372–380.
- Publik, J. R. (2023). DESA JUNREJO KOTA BATU ( Studi pada UD Siti Tas ) Jurusan Administrasi Negara , Fakultas Ilmu Administrasi , Universitas Islam Malang , Jl . MT Haryono 193 Malang , 65144 , Indonesia Email : viraayudiana355@gmail.com Pendahuluan Tinjauan Pustaka. *Jurnal Respon Publik*, 17(7), 28–37.
- Rozi, A. F., & Aldianza, M. (2024). E-Commerce Dalam Perspektif Ekonomi Syariah Dan Perannya Untuk Meningkatkan Penghasilan Masyarakat. *Indonesian Journal of Economy and Education Economy*, 2(2), 264–273.
- Santosa, T. H. A., Nadjib, M., Ikhsan, H. F., Waskitho, T. K., & Ramadhany, F. E. (2022). Penentuan Nilai Kalor Eksperimental LPG dengan Variasi Udara Berlebih dan Variasi Debit LPG 0,4; 0,5; dan 0,6 LPM. *JMPM (Jurnal Material Dan Proses Manufaktur)*, 6(1), 37–47. <https://doi.org/10.18196/jmpm.v6i1.15728>
- Sugiono. (2017a). *Metode Penelitian Kualitatif. Untuk Penelitian yang Bersifat: Eksploratif, Enterpretif, Interaktif, dan Konstruktif*. Alfabeta.
- Sugiono. (2017b). *Metode Penelitian Pendidikan, Pendekatan Kualitatif, Kuantitatif dan RD*. AlFabetha.
- Syukur, M. H. (2011). Penggunaan Liquified Petroleum Gases (Lpg): Upaya Mengurangi Kecelakaan Akibat Lpg. *Forum Teknologi*, 1(2), 6.
- Tambunan, D. H., Sipayung, A., Pakpahan, A., & Tarigan, Y. (2023). SINERGI Polmed: JURNAL ILMIAH TEKNIK MESIN UNJUK KERJA KAPASITAS KETEL UAP MINI MENGGUNAKAN BAHAN BAKAR GAS I N F O A R T I K E L. 04(01), 50–59.