

## KAJI NUMERIK KETEL UAP SEDERHANA BERBAHAN BAKAR LPG PADA INDUSTRI KECIL TAHU MENGUNAKAN PROGRAM ANSYS 14.0

Denny M. E Soedjono<sup>[1]</sup>, Joko Sarsetyanto<sup>[2]</sup>, Dedy Zulhidayat Noor<sup>[3]</sup>, Lisa Andriani<sup>[4]</sup>  
Program Studi D3 Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, ITS Surabaya  
Email: dmes@me.its.ac.id/dsoedjono@gmail.com

### Abstrak

Ketel uap adalah bejana tertutup yang mengubah air menjadi uap air menggunakan panas yang diproduksi secara efisien melalui proses pembakaran bahan bakar di ruang bakar. Adanya ketel uap diharapkan menghasilkan panas yang efisien dengan biaya yang rendah, sehingga bahan bakar kayu maupun ampas tebu digunakan. Seiring dengan perkembangan jaman, LPG menjadi bahan bakar alternatif pengganti bahan bakar kayu.

Kaji numerik pada ketel uap menggunakan Program ANSYS 14.0 ditujukan untuk mensimulasikan perencanaan ketel uap dengan kapasitas uap hasil 70 kg/jam dengan menggunakan LPG sebagai bahan bakar. Pada industri kecil tahu, direncanakan proses pengolahannya menggunakan uap dengan temperatur 130° C dengan tekanan operasional 2 atm. Jenis ketel uap yang dirancang adalah ketel uap sederhana.

Dari hasil simulasi dapat dilihat bahwa keduanya memiliki tingkat distribusi temperatur yang sama. Namun perbedaannya terletak pada segi penempatan tube. Untuk simulasi 1 didapatkan tube yang berada di area temperatur terendah sebanyak 9 tube, sedangkan simulasi 2 didapatkan tube yang berada di area temperatur terendah sebanyak 4 tube. Hal ini menandakan bahwa penempatan design tube semakin mendekati area datangnya fluegas, maka semakin dapat memanasi air dengan optimal dan sebaliknya jika semakin ke atas, maka pemanasan air berada di area temperatur yang kurang optimal.

Kata kunci : ketel uap, ketel uap sederhana, pipa, kecepatan maksimum fluegas, ANSYS 14.0, LPG, distribusi temperatur.

### Abstract

*The boiler is a closed vessel that converts water into steam using heat produced efficiently through the process of burning fuel in the combustion chamber. The existence of the boiler is expected to produce heat efficiently at a low cost, so that wood and bagasse is used as a fuel. Along with the development, LPG fuel become an energy alternative to replace wood and bagasse fuels.*

*Boiler numerical study using ANSYS 14.0 program is intended to simulate the planning of the boiler with the steam capacity of the results of 70 kg / hour using LPG as a fuel. In the small industries, the planned processing operational using steam at a temperature of 130o C with a pressure of 2 atm. Type of boiler designed as a simple boiler.*

*From the simulation results can be seen that both have the same level of temperature distribution. But the difference lies in the terms of the placement of the tube. To simulate 1 tube obtained in the area of lowest temperature as much as 9 tube, while the tube simulation 2 is obtained in the area of lowest temperature of 4 tube. This indicates that the placement of the tube design flue gas getting closer to the arrival area, the more it can heat the water to the optimum and vice versa if it is getting to the top, then heating the water in the area is less than optimal temperatures.*

**Keywords:** *boilers, simple steam boilers, pipe, maximum speed flue gas, ANSYS 14.0, LPG, the temperature distribution.*

## PENDAHULUAN

Ketel uap (*boiler*) sebagai sumber energi proses merupakan sistem peralatan yang banyak digunakan pada industri kecil menengah hingga kelas power plant yang bergerak pada bidang pengolahan dan pembangkitan yang memproduksi uap (*steam*). Ketel uap merupakan suatu alat yang

biasanya digunakan untuk proses perebusan atau memasak, sterilisasi, penyulingan, pengering dan sebagainya.

Tidak terlepas akan kebutuhan bahan bakar yang dapat digunakan dapat berasal dari fossil (batu bara) ataupun nuklir (uranium) untuk membangkitkan suatu stasiun pembangkit tenaga listrik [6], gas alam dan minyak.

Ditinjau dari data Semester I-2014 Pusdatin ESDM, produk utama yang dihasilkan dari kilang nasional yaitu berupa produk BBM (gasoline, kerosene, diesel oil, dan fuel oil), LPG, dan produk lainnya (naptha, lubricant, dan lain-lain).

Penggunaan LPG di rumah tangga dianggap sebagai bentuk ketiga transformasi bahan bakar modern setelah perubahan kayu bakar ke minyak tanah kemudian LPG. Namun, seiring dengan keberhasilan program konversi minyak tanah ke LPG, kebutuhan LPG setiap tahun semakin meningkat, padahal produksi LPG yang dihasilkan dari kilang minyak relatif tetap yaitu hanya mampu memenuhi sekitar 10% kebutuhan LPG nasional dan 40% dipasok dari kilang gas sedangkan sisanya sekitar 50% dipenuhi dengan impor. Alhasil, kebutuhan LPG yang harus dipenuhi dengan impor dapat menjadi persoalan baru dalam manajemen energi Indonesia di masa mendatang.

Pada industri kecil-menengah seperti industri tahu, fitur dan kelengkapan yang ada harus mempunyai kondisi kerja yang baik sehingga dapat bekerja secara efisien. Untuk mempertahankan efisiensi yang dikehendaki dan konsumsi bahan bakar seminimal mungkin dalam proses produksinya, penulis ingin melakukan perencanaan dan perhitungan perpindahan panas yang terjadi dalam ketel uap jenis *ketel uap sederhana* dengan data laju aliran massa uap yang direncanakan 70kg/jam, beroperasi pada tekanan uap 2 atm, temperatur uap yang dihasilkan 130° C dan berbahan bakar LPG.

Dengan mengacu latar belakang dan permasalahan diatas maka tujuan dari penulisan adalah mengetahui distribusi temperatur yang dihasilkan ketel uap sederhana dengan program ANSYS 14.0.

## METODE

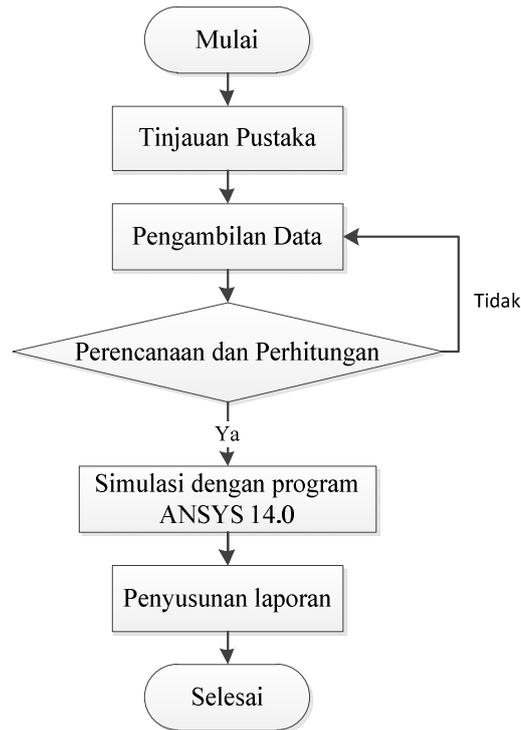
Penelitian ini, membahas mengenai kaji numerik ketel uap sederhana dalam pembahasannya terdapat 4 tahapan pokok yang dilakukan, diantaranya :

Tahap pertama adalah melakukan identifikasi masalah yang diduga terdapat berbagai masalah yang dapat diselesaikan dengan disiplin ilmu yang dipahami, kemudian dari berbagai permasalahan yang ada dirumuskan menjadi rumusan masalah, setelah rumusan masalah didapat, kemudian menentukan tujuan dan manfaat dari penelitian. Selain itu, perlu melakukan studi pustaka dari berbagai teori penunjang dan beberapa penelitian sebelumnya.

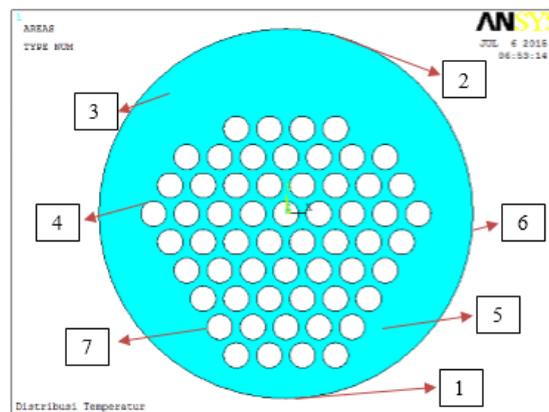
Tahap kedua adalah melakukan pengambilan data. Data-data yang diperlukan diambil dari data penelitian sebelumnya sebagai sumber yang terpercaya dan berisi tentang *mass flow of steam*, *pressure*, *temperature*, dan *efficiency* yang telah dirancang dari masing-masing *input-output*.

Tahap ketiga adalah pengolahan data. Data-data tersebut digunakan untuk mengetahui besar unjuk kerja ketel uap, menghitung *mass flow of fuel*, *cost of fuel* dari penggunaan bahan bakar LPG per hari berdasarkan data harga LPG yang dikeluarkan oleh Pertamina untuk tahun 2015, banyak pipa yang diperlukan, serta koefisien perpindahan panas konduksi dan konveksi yang terjadi yang akan digunakan sebagai data input untuk disimulasikan pada Program ANSYS 14.0. Selain itu, menghitung unjuk kerja dibutuhkan *mass flow* dan *enthalpy*. *Enthalpy* didapatkan dari tabel termodinamika dimana hanya membutuhkan 2 parameter utama dalam mencari *enthalpy* yaitu data *pressure* dan *temperature*. Setelah perhitungan dan simulasi dilakukan, maka dapat ditarik suatu analisis.

Tahap keempat adalah melakukan analisis dengan menggunakan neraca keseimbangan massa dan energi serta mengevaluasi perhitungan *mass flow of fuel*, perolehan jumlah pipa, mendapatkan koefisien perpindahan panas konduksi dan konveksi serta membuat rekomendasi dengan membuat sebuah simulasi menggunakan program dengan tujuan dapat mengetahui distribusi temperatur yang terjadi pada ketel uap sederhana. Selanjutnya, membuat kesimpulan dan saran dari penelitian yang sudah dilakukan. Kesimpulan dan saran ditunjukkan kepada industri pembuatan ketel uap sederhana dengan drum aspal dan industri pembuatan tahu untuk mengembangkan usaha.



Gambar 1 Diagram alir pembuatan *ketel uap sederhana*



Gambar 2 Perencanaan susunan pipa ketel uap sederhana

Keterangan :

1. *Inlet*:  $T_{\text{fluegas,in}} = 615 \text{ K}$  dan  $V_{\text{max}} = 0,589 \text{ m/s}$
2. *Outlet*:  $T_{\text{fluegas,out}} = 403 \text{ K}$
3. Konveksi di dalam *shell*:  
 $T_{\text{hm}} = 615 \text{ K}$  dan  $h_o = 24,53643 \text{ W/m.K}$
4. Konveksi di dalam *tube* :  
 $T_{\text{cm}} = 398,050 \text{ K}$  dan  $h_i = 19,05844 \text{ W/m.K}$
5. Aliran yang bergerak
6.  $D_o \text{ drum} = 0,56 \text{ m}$
7.  $D_o \text{ tube} = 0,0381 \text{ m}$

### Perencanaan Ketel Uap Sederhana

Perencanaan ketel uap sederhana menggunakan:

1. Pipa

Bahan pipa : Carbon steel boiler tubes ASME SA-178A  
GRADE A / SA-214

Nominal diameter : 1-1/2" (11GA)

Ketebalan pipa : 3,048 mm

Diameter *outside* : 38,1 mm

Diameter *inside* : 35,687 mm

2. Drum

Drum yang digunakan adalah drum aspal dengan diameter 56 cm dan tinggi 87 cm

Tinggi *upper header* = 10 cm = 0,1 m

Tinggi badan pipa *boiler* = 67 cm = 0,67 m

Tinggi *bottom header* = 10 cm = 0,1 m

3. Kemiringan pipa = 10°

4. Jumlah pipa sebanyak 58 pipa dan  $N_L = 8$

### Design Ketel Uap Sederhana Menggunakan ANSYS 14.0

Pada ANSYS 14.0 untuk design ketel uap sederhana menggunakan aliran satu fasa dan direncanakan dengan model 2 dimensi.

Keterangan gambar :

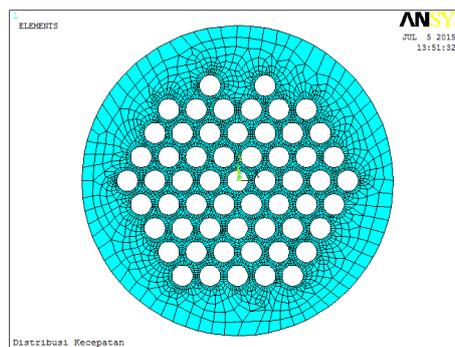
Diameter drum = 0,56 meter

Diameter *tube* = 0,0381 meter

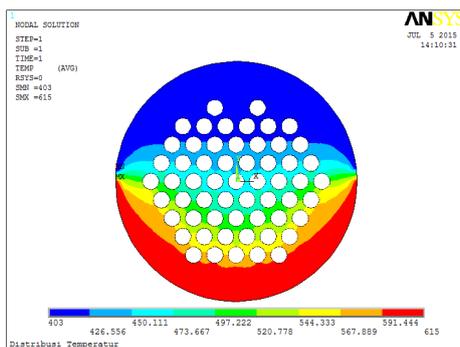
### HASIL DAN PEMBAHASAN

Distribusi temperatur dan kecepatan *fluegas* pada ketel uap sederhana dapat dilihat pada gambar simulasi 1 dan 2. Distribusi temperatur yang terjadi diawali oleh temperatur pembakaran maksimum pada furnace sebesar 807 K yang terletak di luar ketel. Kemudian temperatur tersebut disalurkan masuk ke dalam ketel hingga pada temperatur rata-rata *fluegas* sebesar 615 K. Sedangkan untuk temperatur keluar *fluegas* sebesar 403 K.

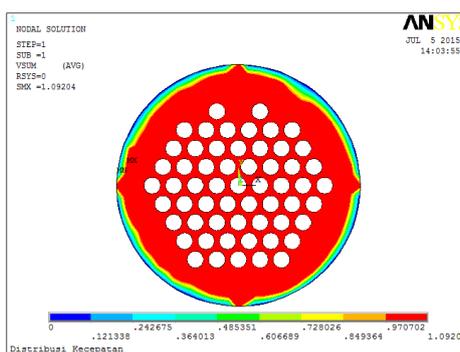
#### Simulasi 1



Gambar 3 Meshing untuk simulasi 1



Gambar 4 Distribusi Temperatur

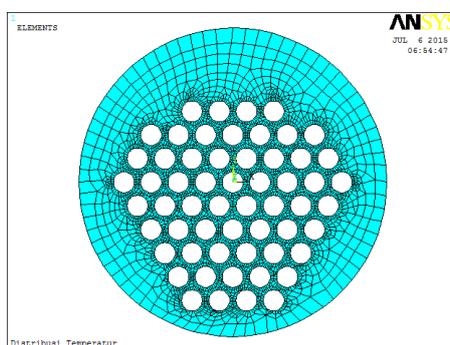


Gambar 5 Distribusi Kecepatan

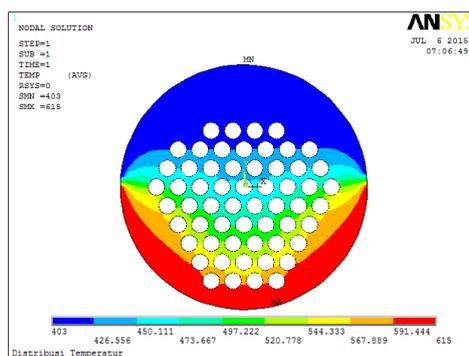
Pada simulasi 1, temperatur turun dengan stabil sebesar 23,556 K. Penyebaran temperatur tidak hanya dipengaruhi oleh perpindahan panas tetapi juga konveksi aliran *fluegas* di luar pipa dan aliran air di dalam pipa, dan konduksi yang terjadi pada pipa. Hasil distribusi temperatur pada *shell* untuk penyebaran kalor cukup merata yang ditunjukkan dengan gradien distribusi temperatur yang mengalami penurunan temperatur secara stabil. Pada *design* ini, pipa yang berada pada lokasi temperatur terendah sebagai temperatur *fluegas* yang keluar yakni 403 K ini sebanyak 9 *tube*.

Sedangkan untuk distribusi kecepatan yang terjadi, diluar ketel uap sederhana kecepatan aliran dianggap 0 m/s, sedangkan melalui data simulasi dengan ANSYS 14.0 didapatkan kecepatan *fluegas* di dalam ketel sebesar 1,09204 m/s, kemudian semakin ke luar turun stabil sebesar 0,12134 m/s.

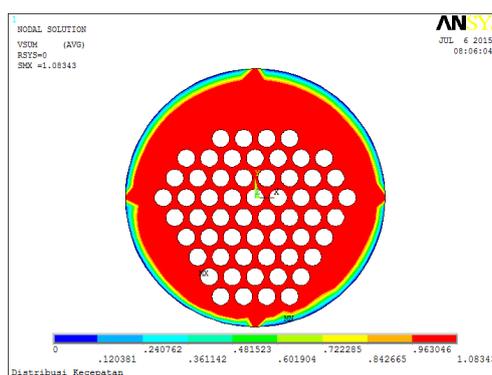
## Simulasi 2



Gambar 6 Meshing untuk simulasi 2



Gambar 7 Distribusi Temperatur



Gambar 11 Distribusi Kecepatan

Pada simulasi 2, temperatur turun dengan stabil sebesar 23,556 K. Pada penyebaran temperatur tidak hanya dipengaruhi oleh perpindahan panas tetapi juga konveksi aliran *fluegas* di luar pipa dan aliran air di dalam pipa, dan konduksi yang terjadi pada pipa. Hasil distribusi temperatur pada shell untuk penyebaran kalor cukup merata yang ditunjukkan dengan gradien distribusi temperatur yang mengalami penurunan temperatur secara stabil. Pada perencanaan ini, pipa yang berada pada lokasi temperatur terendah sebagai temperatur *fluegas* yang keluar yakni 403 K ini sebanyak 4 *tube*.

Sedangkan untuk distribusi kecepatan yang terjadi, diluar *ketel uap sederhana* kecepatan aliran dianggap 0 m/s, sedangkan melalui data simulasi dengan ANSYS 14.0 didapatkan kecepatan *fluegas* di dalam ketel sebesar 1,08343 m/s, kemudian semakin ke luar turun stabil sebesar 0,120384 m/s.

Pada perbandingan *sample design* di atas bahwa keduanya memiliki tingkat distribusi temperatur yang sama. Namun perbedaannya terletak pada segi penempatan *tube*. Untuk simulasi 1 didapatkan *tube* yang berada di area temperatur terendah sebanyak 9 *tube*, sedangkan simulasi 2 didapatkan *tube* yang berada di area temperatur terendah sebanyak 4 *tube*. Hal ini menandakan bahwa penempatan *design tube* semakin mendekati area datangnya *fluegas*, maka semakin dapat memanasi *steam* dengan optimal dan sebaliknya jika semakin ke atas, maka pemanasan *steam* berada di area temperatur yang kurang optimal.

Sedangkan pada distribusi kecepatan dengan *design* simulasi 1 dan 2 memiliki tingkat distribusi kecepatan yang berbeda pula. Setelah di simulasi, untuk *design* simulasi 1 distribusi kecepatan aliran *fluegas* lebih besar dari pada *design* simulasi 2.

Pada program ini dirancang untuk penelitian aliran 1 fasa. Maka dari itu penelitian ini ditujukan untuk mengamati aliran distribusi temperatur dan kecepatan hanya di dalam *shell*.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Pada perbandingan *sample design* di atas bahwa keduanya memiliki tingkat distribusi temperatur yang sama. Namun perbedaannya terletak pada segi penempatan *tube*. Untuk simulasi 1 didapatkan *tube* yang berada di area temperatur terendah sebanyak 9 *tube*, sedangkan simulasi 2 didapatkan *tube* yang berada di area temperatur terendah sebanyak 4 *tube*. Hal ini menandakan bahwa penempatan *design tube* semakin mendekati area datangnya *fluegas*, maka semakin dapat memanasi *steam* dengan optimal dan sebaliknya jika semakin ke atas, maka pemanasan *steam* berada di area temperatur yang kurang optimal. Pada penyebaran temperatur tidak hanya dipengaruhi oleh perpindahan panas tetapi juga konveksi aliran *fluegas* di luar pipa dan aliran air di dalam pipa, dan konduksi yang terjadi pada pipa. Hasil distribusi temperatur pada shell untuk penyebaran kalor cukup merata yang ditunjukkan dengan gradien distribusi temperatur yang mengalami penurunan temperatur secara stabil. Sedangkan pada distribusi kecepatan dengan *design* simulasi 1 dan 2 memiliki tingkat distribusi kecepatan yang berbeda pula. Setelah di simulasi, untuk *design* simulasi 1 distribusi kecepatan aliran *fluegas* lebih besar dari pada *design* simulasi 2.

### Saran

Pada analisis simulasi ketel uap sederhana ini masih banyak hal yang perlu disempurnakan oleh karena itu diberikan saran – saran sebagai berikut :

1. Pemanfaatan temperatur keluar yang dibuang perlu dilakukan agar dapat hemat energi bahan bakar, seperti penambahan pipa-pipa gas pembuangan untuk memanaskan air yang masuk agar efisiensinya dapat ditingkatkan dan penghematan bahan bakar dapat dilakukan.
2. Untuk temperatur LPG yang dihitung melalui proses SSSF perlu dikaji ulang agar mendapatkan temperatur LPG yang akurat.
3. Penelitian dengan menggunakan program ANSYS 14.0 bisa dilakukan pada *design tube* yang berbeda sehingga dapat diketahui juga distribusi temperatur yang lebih akurat.
4. Perlu dikaji ulang masalah temperatur keluar ketel ( $T_{fluegas}$ ) untuk ukuran industri kecil seperti industri tahu. Perlu dikaji jarak antar *tube* yang lebih akurat dan design letak *tube* yang lebih baik lagi agar menghasilkan distribusi temperatur yang lebih merata.
5. Daerah masuk *fluegas* perlu dikaji ulang.
6. Perlu dikaji ulang temperatur yang digunakan untuk mencari *properties* pada konduksi pipa jika kondisinya tidak *steady state*

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. El – Wakil, M.M. 1988. *Power Plant Technology*. Singapore : Fong & Sons Printers Pte. Ltd.
- [2]. Incropera, Frank P. dkk. 2011. *Fundamentals of Heat And Mass Transfer, Seventh Edition*. United State of America : John Wiley & Sons, Inc.
- [3]. Malek, Mohammad A. 2005. *Power Boiler Design, Inspection, and Repair ASME CODE SIMPLIFIED*. United State of America : The Mc. Graw – Hill Companies, Inc.
- [4]. Moran, Michael J. & Shapiro, Howard N. *Fundamentals of Engineering Thermodynamics 5<sup>th</sup> edition*. United State of America : Jhon wiley & sons, Inc.
- [5]. N. Nakasone, T. A. Stolarski and S. Yoshimoto, *Engineering Analysis With ANSYS Software*. British : Elsevier Butterworth – Heinemann.
- [6]. Nag, P.K. 2008. *Power Plant Engineering Third Edition*. New Delhi : Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited. Byrney, Richard C.
- [7]. Payne, F. William. dkk. 1996. *Efficient Boiler Operations Sourcebook, Fourth Edition*. United State of America : The Fairmont Press, Inc.
- [8]. Raja, A.K. dkk. 2006. *Power Plant Engineering*. New Delhi : New Age International (P) Limited, Publisher.
- [9]. Tim NUS Training Corporation. 1983. *Power Principle for Power Plant Practice Series of Boilers*. United State of America : NUS Training Corporation.

- [10]. Tim NUS Training Corporation. 1983. *Power Principle Basic Series of Basic Power Plant Operation*. United State of America : NUS Training Corporation.