

KENDALI *PRESSURE CUT OFF* KETEL UAP PIPA API MINI KAPASITAS 8 KG/JAM DENGAN TEKANAN 3 BAR

Winda Tresnia Sopiani Sinaga & Rahmawaty

Teknik Konversi Energi, Teknik Mesin, Politeknik Negeri Medan
Email: windasopiani@students.polmed.ac.id, rahmawaty@polmed.ac.id

ABSTRAK

Dalam perkembangan teknologi yang sangat cepat pada saat ini di era industri 4.0 banyak inovasi-inovasi yang telah dibuat oleh manusia dan sangat dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhannya terkhusus dalam dunia industri skala kecil maupun skala besar untuk memproduksi listrik kebutuhan setiap masyarakat. Salah satu industri pembangkit listrik yang ada di Indonesia yaitu pembangkit listrik tenaga uap. Pembangkit listrik tenaga uap memiliki komponen utama yaitu *boiler*, *boiler* merupakan suatu bejana tertutup yang didalamnya berisi air yang dipanaskan untuk menghasilkan uap. Uap yang dihasilkan *boiler* digunakan untuk memutar turbin uap yang dikopel dengan generator untuk menghasilkan listrik. Dalam pengoperasian *boiler* dibutuhkan pembakaran untuk memanaskan air umpan menjadi uap dan menaikkan tekanan di dalam drum ketel. Namun apabila tekanan sudah mencapai tekanan kerja atau tekanan sudah mencapai angka yang diinginkan, perlu adanya alat kontrol sederhana untuk membantu mematikan burner pembakaran sehingga tekanan akan turun seiring penurunan temperatur pembakaran. Dengan adanya permasalahan di atas maka penulis merancang sebuah alat untuk otomatisasi sederhana untuk mengatur tekanannya melalui alat *pressure switch* pada *burner* dan *Solenoid valve*. Tujuan Penelitian ini adalah untuk menjaga keamanan dalam pengoperasian ketel uap.

Kata kunci: *boiler*, uap, tekanan, *cut off*, merancang

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Boiler atau ketel uap adalah suatu peralatan yang dioperasikan untuk memproduksi uap air yang kemudian dapat digunakan sebagai sumber tenaga penggerak, alat pemanas, pembersih, penguap cairan dan kegunaan lainnya. Demikian luasnya peranan dan kegunaan *boiler*, sehingga tanpa adanya *boiler* suatu pabrik atau industri tidak dapat beroperasi dengan sempurna. Namun dilihat dari segi negatifnya dan tidak mengikuti prosedur kerja dengan benar, maka dapat menimbulkan kecelakaan berupa ledakan yang dapat merusak bangunan, menelan korban jiwa manusia yang bekerja disekitar industri tersebut. Dan apabila *boiler* dioperasikan secara manual membuat operator *boiler* akan menemui hambatan-hambatan atau kesulitan-kesulitan di dalam mengoperasikan *boiler*. Agar *boiler* lebih mudah dioperasikan dan lebih menjamin keselamatan serta mengurangi kemungkinan-kemungkinan dari bahaya yang dapat timbul maka dalam pengoperasian *boiler* digunakan sistem kontrol terhadap peralatan-peralatan *boiler*.

Ketel uap pipa api mini kapasitas 8 kg/jam dengan tekanan kerja 3 barg atau 4 bar abs. Sistem pembakarannya (*burner*) dioperasikan secara manual, kondisi *burner*, sistem pembakarannya memungkinkan untuk dilakukan pengontrolan terhadap rasio bahan bakar dan udara, cerobong yang digunakan membutuhkan sistem tarikan paksa untuk sirkulasi udara dalam ruang bakar dan keamanan *boiler* hanya menggunakan *safety valve*. Dalam penulisan

karya ilmiah juga berkolaborasi dengan kelompok yang menganalisa ketel pipa air mini, juga dengan kelompok yang membuat sistem kendali level *cut off* untuk *boiler water level*.

Tujuan dari karya ilmiah adalah membuat desain rancangan sistem kontrol sederhana, menentukan alat dan bahan yang akan digunakan untuk keperluan sistem kontrol untuk ketel uap mini tersebut serta merakit instrumen yang akan digunakan sesuai desain yang dibuat sehingga rangkaian kontrol tersebut dapat bekerja sesuai dengan fungsinya.

Target yang ingin dicapai dari karya ilmiah ini adalah ketel uap mini ini dapat bekerja dengan baik. Alat pembakar (*burner*) dioperasikan secara otomatis sesuai *set point* dengan *pressure* variabel kontrol.

Permasalahan yang dirumuskan dalam penelitian ini adalah bagaimana mengetahui prinsip kerja *boiler* atau ketel uap, mengetahui komponen-komponen sistem kontrol pada tekanan *cut off* ketel pipa api dan bagaimana prinsip kerjanya, selanjutnya bagaimana prinsip kerja dari *pressure cut off* pada ketel uap mini tersebut dapat menyetop burner penyalaan apabila tekanan sudah mencapai tekanan *setting* 3 barg atau 4 bar abs.

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah hanya membahas mengenai *pressure cut off* pada sistem kontrol sederhana ketel uap mini melalui sistem pembakaran (*burner*).

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui sistem pengoperasian secara otomatis menyetop pembakaran atau *cut off burner* sehingga tekanan tidak naik lagi dan dalam perancangan dan pembuatan sistem kendali *pressure cut off* ketel uap pipa api mini ini bertujuan juga untuk menjaga keamanan dalam pengoperasian ketel uap ini, kemudian setelah sistem kendali tersebut sudah dirancang dan dibuat maka ketel uap ini dapat dengan aman dioperasikan pada industri tahu dan rumah sakit sebagai sterilisasi peralatan medis dan ruangan pasien.

TINJAUAN PUSTAKA

Kajian Pustaka

Alexander Christofer Re Gunadhi, dkk (2018), dalam penelitiannya mengenai Pengendalian Parameter Suhu Pada Mini Plant Boiler Dengan Menggunakan Pengendali PID. Penelitiannya menggunakan metode penelitian pemodelan sistem, rancang bangun, pengujian sistem, pengolahan data pengujian, analisis hasil pengujian. Pada penelitian ini dilakukan rancang bangun pengendalian suhu pada mini boiler dengan menggunakan kendali PID. PID adalah salah satu metode kendali yang memiliki tiga buah parameter, P (proportional) yang berfungsi untuk memberikan respon sistem, I (integral) yang berfungsi untuk mengkoreksi dan mereduksi *offset*, dan D (derivatif) yang berfungsi untuk mereduksi *overshoot*. Ketiga parameter tersebut dapat diaplikasikan menjadi kendali P, PI, PD, dan PID, sesuai dengan kebutuhan. Pengendalian suhu pada mini boiler menggunakan PID dikarenakan suhu adalah salah satu besaran fisis yang memiliki karakteristik respon sistem yang lambat, dan oleh karena itu diperlukan parameter derivatif supaya sistem dapat merespon dengan lebih cepat dan dapat memprediksi keadaan sistem lebih awal. Penelitian ini juga disertakan peningkatan sistem yaitu berupa adanya sistem ESD (*Emergency Shut Down*) dimana ESD akan bekerja sebagai sistem keamanan mini boiler yang akan mematikan sistem secara otomatis apabila sistem mengalami *overheat* pada suhu tertentu, mencegah terjadi keretakan boiler dan meledaknya boiler. Perhitungan matematis menggunakan metode *Ziegler-Nichols closed loop*, dengan nilai $K_{cr} = 8$ dan $P_{cr} = 3.6$. Pengujian sistem ESD (*Emergency Shut Down*) dilakukan dengan mencoba memberikan input *set point* HH (*High-High*) pada suhu 100°C, saat air mendidih. Selanjutnya, untuk nilai *set point* HH pada sistem mini boiler ditetapkan permanen pada suhu 110°C. dan pengujian suhu dilakukan tiga kali menggunakan PID. Dari ketiga simulasi yang dilakukan, didapatkan hasil respon sistem yang sama, dikarenakan simulasi memiliki *function block* yang sama dan simulasi yang dilakukan pun terkondisi, dalam arti tidak dipengaruhi oleh keadaan lingkungan sistem. Diperoleh nilai *rise time* sebesar 1.100 sekon, *delay time* sebesar 550 sekon, *settling time* sebesar 1.800 sekon, *peak time* sebesar 1.750 sekon, dan *overshoot* sebesar 0 %. Respon sistem yang muncul pun memiliki

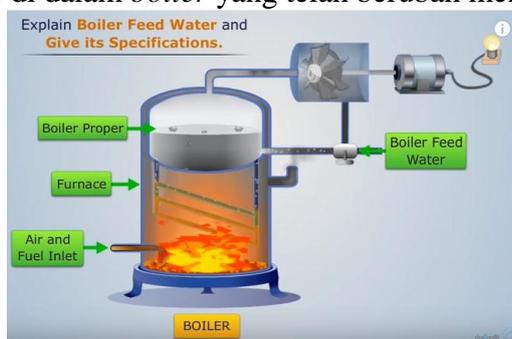
respon *transien* dan *steady state* yang bagus. Kesimpulan yang didapatkan dari penelitian *mini plant boiler* ini adalah sistem telah berhasil mengendalikan *mini plant boiler* yang harus mempunyai suhu sebesar 1000C saat beroperasi. Nilai PID yang didapatkan dengan metode Ziegler-Nichols Closed Loop mampu mengendalikan *mini plant boiler* sesuai dengan nilai set point yaitu 1000C. Sistem ESD (*Emergency Shut Down*) *mini plant boiler* telah berhasil melakukan *shut down system* saat diuji dengan nilai *set point* suhu tertentu.

URAIAN TEORI

Pengertian ketel uap atau yang sering disebut *boiler* adalah berasal dari kata “*Boil*” yang berarti mendidih dan menguap, sehingga ketel uap dikatakan pesawat penghasil uap dan proses pendidihan air karena pemberian panas secara terus menerus. Secara ilmiah ketel uap dapat dikatakan sebagai suatu alat yang dapat mengkonversikan energi kimia yang terdapat pada bahan bakar menjadi energi panas yang dapat mengubah air menjadi uap air karena energi panas yang dihasilkan. Uap (*steam*) yang dihasilkan dari *boiler* digunakan untuk berbagai proses dalam aplikasi industri, seperti penggerak, pemanas dan lain lain.

Prinsip Kerja Boiler

Prinsip kerja *boiler* kurang lebih mirip dengan panci yang digunakan untuk memasak air, tetapi dengan kapasitas yang jauh lebih besar. Dalam *boiler* air akan diubah menjadi uap. Panas diserap air dalam *boiler* dan uap dihasilkan secara kontinyu. Air yang disuplai ke *boiler* untuk diubah menjadi *steam* disebut air umpan. Air umpan yang dialirkan ke *boiler* untuk menggantikan kehilangan air di dalam *boiler* yang telah berubah menjadi uap.



Gambar 1 Prinsip Kerja Boiler Sederhana
(Sumber: Pakpahan Cristin, 2019)

Sistem Kendali

Sistem Kontrol atau sering disebut kontrol kendali merupakan suatu alat (kumpulan alat) untuk mengendalikan, memerintah, dan mengatur keadaan dari suatu kontrol. Sistem kendali dapat dikatakan sebagai hubungan antara komponen yang membentuk sebuah konfigurasi sistem, yang akan menghasilkan tanggapan kontrol yang diharapkan. Jadi harus ada yang dikendalikan, yang merupakan suatu kontrol fisis, yang biasa disebut dengan kendalian (*plant*). Contoh kontrol kendali yang sangat mendasar adalah kendali *on-off* saklar listrik. Aktivitas menghidupkan dan mematikan saklar menyebabkan adanya situasi saklar dalam kondisi *ON* atau *OFF*. Masukan *ON* dan *OFF* mengakitbatkan terjadinya proses pada suatu pengendalian saklar listrik sehingga kontrol bekerja sesuai dengan kondisi yang diinginkan, yaitu listrik nyala atau mati. Keadaan *ON-OFF* merupakan masukan, sedangkan mengalir atau tidak mengalirnya listrik merupakan keluaran. Suatu keadaan dimana listrik sudah dihidupkan namun tidak menyala, berat ada yang salah pada masukan kontrol tersebut. Proses yang dicontohkan merupakan sistem kendali secara manual. Secara umum ada empat aspek yang berkaitan dengan sistem pengendalian yaitu masukan, keluaran, kontrol dan proses. Masukan (*input*) adalah rangsangan dari luar yang diterapkan ke sebuah kontrol kendali untuk memperoleh tanggapan tertentu dari kontrol pengaturan. Keluaran (*output*) adalah tanggapan

sebenarnya yang didapatkan dari suatu sistem kendali. Tanggapan ini sama dengan masukan atau mungkin juga tidak sama dengan tanggapan masukannya.

Alat dan Bahan Sistem Kontrol

Pressure Gauge

Pressure Gauge disini berfungsi sebagai pengecekan tekanan gas LPG sebelum sistem kontrol rancang bangun gas level indikator otomatis di aplikasikan. *Pressure Gauge* juga berfungsi sebagai pembanding Antara indikasi gas LPG yang dilakukan secara manual dan indikasi gas LPG yang sudah otomatis

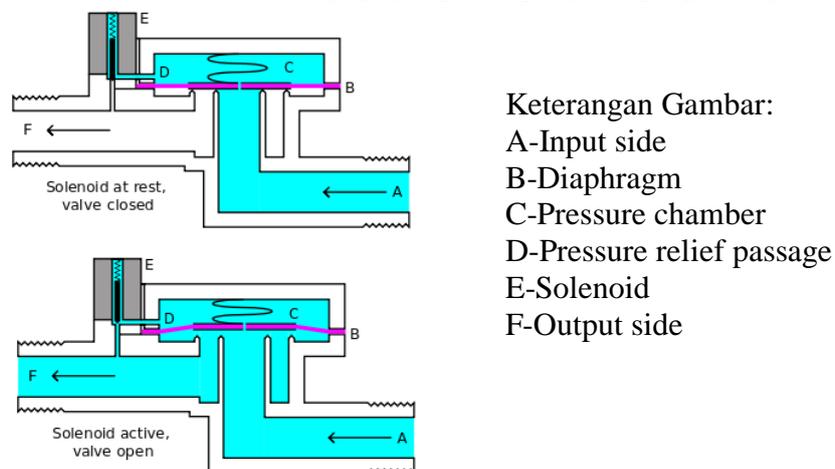
Solenoid valve pneumatic

Solenoid valve pneumatic adalah katup yang digerakan oleh listrik melalui sistem kontrol, mempunyai kumparan sebagai penggeraknya yang berfungsi untuk menggerakkan piston yang dapat digerakan oleh arus AC maupun DC, *Solenoid valve pneumatic* atau katup (*valve*) mempunyai lubang keluaran, lubang masukan dan lubang *exhaust*.

Lubang masukan, berfungsi sebagai terminal/tempat udara bertekanan masuk atau *supply (service unit)*, sedangkan lubang keluaran berfungsi sebagai terminal atau tempat tekanan kontrol keluar yang dihubungkan ke *pneumatic*, dan lubang *exhaust*, berfungsi sebagai saluran untuk mengeluarkan udara bertekanan yang terjebak saat plunger bergerak atau pindah posisi ketika *Solenoid valve pneumatic* bekerja. *Solenoid valve* adalah elemen kontrol yang paling sering digunakan dalam *fluidics*. Tugas dari *Solenoid valve* adalah untuk mematikan, *release, dose, distribute* atau *mix fluids*. *Solenoid valve* banyak sekali jenis dan macamnya tergantung *type* dan penggunaannya, namun berdasarkan modelnya *Solenoid valve* dapat dibedakan menjadi dua bagian yaitu *Solenoid valve single coil* dan *Solenoid valve double coil* keduanya mempunyai cara kerja yang sama. *Solenoid valve* banyak digunakan pada berbagai plikasi. *Solenoid valve* menawarkan *switching* cepat dan aman, keandalan yang tinggi, awet/masa *service* yang cukup lama, kompatibilitas media yang baik dari bahan yang digunakan, daya kontrol yang rendah dan desain yang kompak.

Prinsip Kerja *Solenoid valve*

Prinsip kerja dari *Solenoid valve* yaitu katup listrik yang mempunyai koil sebagai penggeraknya dimana ketika koil mendapat *supply* tegangan maka koil tersebut akan berubah menjadi medan magnet sehingga menggerakkan piston pada bagian dalamnya ketika piston bertekanan yang berasal dari *supply (service unit)*, pada umumnya *Solenoid valve pneumatic* ini mempunyai tegangan kerja 100/200 VAC namun ada juga yang mempunyai tegangan kerja DC.



Gambar 2 Prinsip Kerja *Solenoid valve*
(Sumber: Todd P. Meyrath, 2005)

Solenoid valve merupakan kran otomatis dengan gerakan membuka atau menutup kran (*valve*) yang diatur oleh sistem control. Mungkin banyak dari anda sering mendengar kata *Solenoid valve*. Secara garis besar *Solenoid valve* adalah suatu alat kontrol yang berfungsi untuk membuka dan menutup *valve*/katup/kran secara otomatis.

Regulator Kit

Regulator kit ini merupakan alat yang terpenting untuk bahan bakar gas karena Sebuah Pressure Regulator (pengatur tekanan) adalah katup yang secara otomatis memutuskan aliran cairan atau gas pada tekanan tertentu. Regulator digunakan untuk memungkinkan cairan atau gas dengan tekanan tinggi dikurangi menjadi tekanan aman digunakan untuk berbagai aplikasi. Gas regulator tekanan digunakan untuk mengatur tekanan gas tapi tidak sesuai digunakan untuk mengukur laju aliran. *Flowmeters, Rotometers or Mass Flow Controllers* harus digunakan untuk secara akurat mengatur tingkat aliran gas.

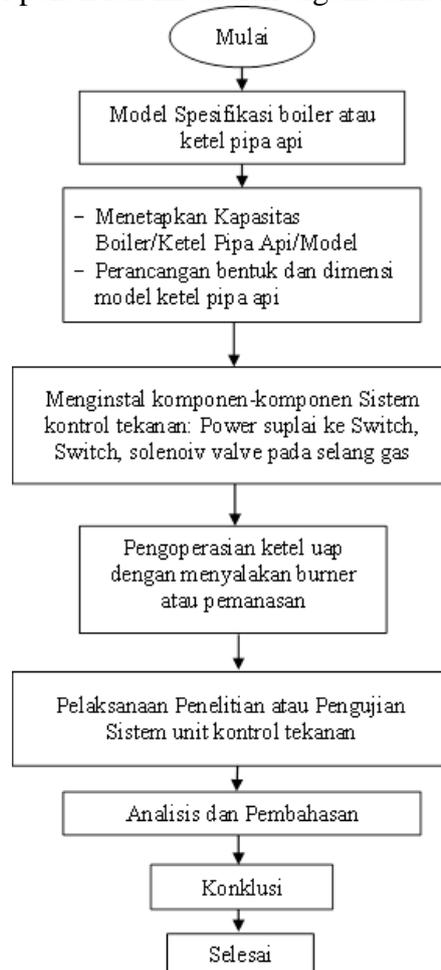
Perancangan dan Pembuatan Sistem Pengendalian Pressure

Sistem pengendalian *pressure* ini digunakan untuk mengontrol tekanan yang ada pada tabung *steam generator*. Ini dikarenakan jika tekanan yang ada di dalam tabung *steam generator* tidak dikontrol bisa menyebabkan tabung meledak karena spesifikasi tabung *steam generator* yang hanya dapat menahan *pressure* sebesar 3 barg atau 4 bar abs.

METODE PENELITIAN

A. Rancangan penelitian

Diagram alir (*Flowchart*) dari penelitian ini adalah digambarkan sebagai berikut.



Gambar 3. Diagram Alir Perancangan dan Pembuatan Model *Boiler* (Sumber: Dokumentasi pribadi, 2020)

Uraian secara rinci metode yang akan digunakan meliputi:

Tahapan-tahapan penelitian

Tahapan-tahapan penelitian adalah sebagaimana ditunjukkan pada diagram *flowchart* dengan tahapan-tahapan yang diberikan. Sebagaimana dijelaskan di atas bahwa untuk pengoperasian *boiler* ini dilakukan pada tekanan 3 bar, kemudian melakukan rancang bangun dan pengoperasian. Selanjutnya merancang dan membuat sistem kontrol tekanan *cut off* dan yang terakhir secara bersama-sama melakukan pengujian dan pengambilan data-data.

Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dan pengujian di Laboratorium Energi Politeknik Negeri Medan.

Parameter Pengukuran dan Pengamatan

Parameter pengukuran yang dilakukan pada proses perancangan mesin *boiler* mini ini meliputi kapasitas produksi uap dan konsumsi bahan bakar, entalpi air umpan, entalpi uap, dan nilai kalor pembakaran rendah. Sedangkan untuk penelitian yang dilakukan adalah melihat kemampuan dari *boiler* mini kapasitas dan konsumsi bahan bakar tekanan 4 Bar, apakah sesuai dengan perancangan, dianalisis menghitung efisiensi ketel pipa api mini. Dan pengujian sistem kendali pada tekanan yang sudah disetting pada tekanan 3 bar pada saat pengujian.

Model Penelitian

Model dari penelitian yang dilakukan adalah rancang bangun. Adapun perancangan meliputi gambar desain, perhitungan entalpi air umpan dan entalpi uap, kapasitas produksi uap, bahan bakar dan perhitungan efisiensi.

Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data adalah dengan metode kuantitatif sederhana mengukur dan mencatat untuk ditabelkan parameter-parameter kapasitas produksi uap, konsumsi bahan bakar dan tekanan.

Teknik Analisis Data

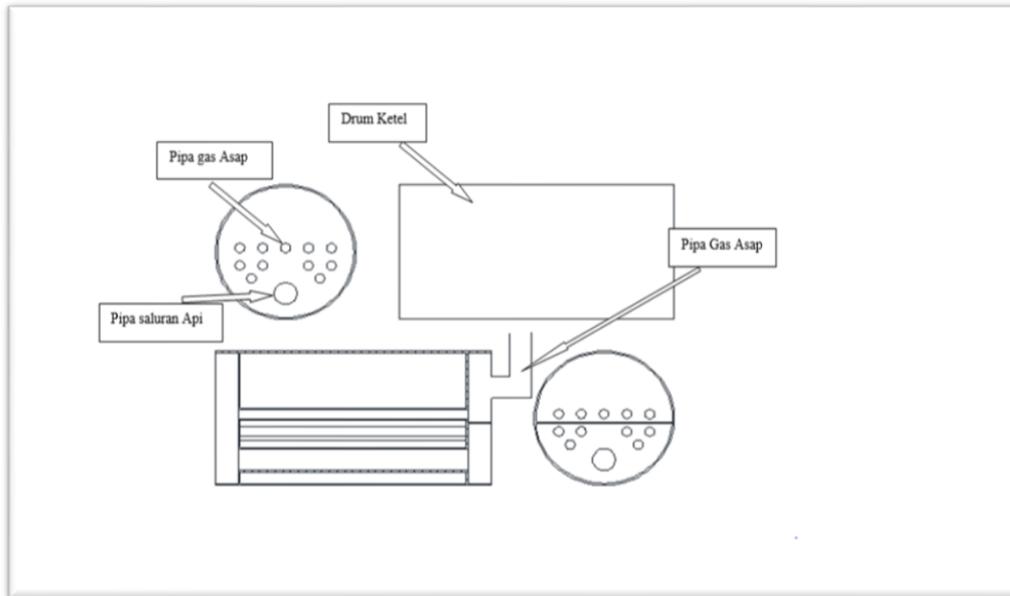
Teknik analisis data adalah menganalisis dengan cara menghitung harga besar efisiensi ketel pipa api mini dan mengamati sistem kendali bekerja dalam menghentikan burner pada tekanan 3 bar.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penetapan Spesifikasi

Spesifikasi model ketel pipa api yang dirancang sesuai dengan penempat tugas yang diberikan adalah sebagai berikut:

- Kapasitas uap : 8 kg/jam
- Tekanan uap : 3 Bar_g (Jenuh Saturasi)
- Bahan bakar : LPG
- Nilai Kalor LPG, LHV : 46454,31 kJ/kg
- Kondisi suplai air : 30 °C (Normal)
- Efisiensi ketel uap : 70% (Ditetapkan)



Gambar 4 Desain rancangan skematis mini ketel uap
(Sumber: Dokumentasi pribadi, 2020)

Gambar Komponen-komponen Utama Mini Ketel Uap Pipa Api



Gambar 5 Drum Ketel
(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2020)



Gambar 6 Material untuk Baffles
(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2020)



Gambar 7 Pressure Gauge
(Sumber: Dokumentasi pribadi, 2020)



Gambar 8 Cerobong
(Sumber: Dokumentasi pribadi, 2020)



Gambar 9 Instalasi LPG dan Burner
(Sumber: Dokumentasi pribadi, 2020)

Gambar alat sistem kendali



Gambar 10 Solenoid valve
(Sumber: Dokumentasi pribadi, 2020)



Gambar 11 Pressure switch
(Sumber: Dokumentasi pribadi, 2020)

Data Pengujian dan Uji coba kendali Pressure cut off pada Ketel Uap bakar.

Tabel 1. Hasil Pengumpulan data pengujian

Waktu	Konsumsi Bahan Bakar (kg/Jam)	Massa Air Kondensat (kg/Jam)	Tekanan (Bar)	Tempratur Gas Buang (°C)	Kondisi burner pada saat tekanan 3 bar (mati/tidak)
60 Menit (11.30-12.30)	0,7	6,5	3,2	255	mati
60 menit (12.30-13.30)	0,65	6,8	3,1	250	mati
60 menit (14.30 -15.30)	0,6	6,5	3	250	mati
60 menit (15.30 -16.30)	0,6	7	3	260	mati
60 menit (16.30 -17.30)	0,6	7,3	2,9	255	Tidak mati
Rata-Rata	0,63	6,92	3,04	254	mati

Temperature air Umpan = 28 °C
 LHV LPG = 46454,31 kJ/kg (Pertamina,2011)

Diperoleh rata rata data sebagai berikut:

$T_a = 28 \text{ }^\circ\text{C}$

$P = 3 \text{ Bar}, T_s = 133,5^\circ\text{C}$

$\dot{m}_{bb} = 0,63 \text{ kg/jam}$

$\dot{m}_u = 6,92 \text{ kg/jam}$

a. Energi Entalpi Air Umpan (h_a)

$h_a \longrightarrow T = 28 \text{ }^\circ\text{C}$

Dari Tabel A.4 (MM Wakil,) diperoleh, $h_a = 117,35 \text{ kJ/kg}$

b. Energi Entalphi Uap (h_u)

$P = 3 \text{ Bar}, T_s = 133,5^\circ\text{C}$

Dari Tabel A.4 Diperoleh, $h_u = 2725 \text{ kJ/kg}$

c. Energi Penguapan (\dot{Q}_{out})

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{out} &= \dot{m}_u (h_u - h_a) \\ &= 6,92 \text{ kg/jam} (2725 \text{ kJ/kg} - 117,35 \text{ kJ/kg}) \\ &= 18044,938 \text{ kJ/kg jam}\end{aligned}$$

d. Kalor Pembakaran

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{in} &= \dot{m}_{bb} \cdot \text{LHV} \\ &= 0,63 \text{ kg/jam} \cdot 46454,31 \text{ kJ / kg} \\ &= 29266,209 \text{ kJ/kg jam}\end{aligned}$$

e. Effisiensi (η)

$$\begin{aligned}\eta &= \frac{Q_{out}}{Q_{in}} \times 100\% \\ &= \frac{18044,938 \text{ kJ/kg jam}}{29266,209 \text{ kJ/kgjam}} \times 100 \% = 61,65 \%\end{aligned}$$

Sehingga didapatkan effisiensi *boiler* sebesar 61,65 %

SIMPULAN

Mini ketel uap ini dapat dimanfaatkan untuk keperluan operasional rumah sakit pada bagian *sterilisasi* dan *laundry*. Dalam pengoperasian *boiler* dibutuhkan pembakaran untuk memanaskan air umpan menjadi uap dan menaikkan tekanan di dalam drum ketel. Namun apabila tekanan sudah mencapai tekanan kerja atau tekanan sudah mencapai angka yang diinginkan, maka *Solenoid valve* akan menutup untuk merespon sensor dari *pressure switch* sehingga membantu mematikan *burner* pembakaran sehingga tekanan akan turun seiring penurunan temperatur pembakaran. Dalam merancang alat otomatisasi ini dalam mengatur tekanan nya melalui alat *pressure switch* pada *burner* dan *Solenoid valve*. Berdasarkan uji coba didapati bahwa alat yang telah dirangkai dapat bekerja dengan baik untuk menjaga keamanan dalam pengoperasian ketel uap. Didapati Effisiensi *thermal* ketel uap adalah sebesar 61,65%.

DAFTAR PUSTAKA

- Todd P. Meyrath. 2005. *Multipurpose Analog PID controller* (20130). Sistem Kontrol Terprogram. Kemendikbud Republik Indonesia
- Sistem Kontrol Elektromagnetik & Elektronik (2008). *Teknik Ototronik*. Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.
- Ambarita, Himsar. (2011). *Perpindahan Panas Konveksi dan Pengantar Alat Penukar Kalor*. Medan: Departemen Teknik Mesin FT USU
- Buchori, Luqman ST, MT. *Perpindahan Panas (Heat Transfer)*. http://www.tekim.undip.ac.id/images/download/PERPINDAHAN_PANAS.pdf diakses pada 17 November 2019 pukul 18.15

Sinaga & Rahmawaty, Kendali Pressure Cut Off Ketel Uap Pipa Api Mini Kapasitas 8 Kg/Jam...

El-Wakil, M.M.,Jasjfi, MSc, Ir. E., (1992). *Instalasi Pembangkit Daya*, Erlangga, Jilid 1, Jakarta.

Hidayati, Tri. *Modul Lingkaran Dengan Suplemen Materi Histori of Mathematics (HOM) untuk SMP Kelas VIII*. Pena persada

Holman J. P. *Heat Transfer*. 5th Edition. Mc-Graw Hill,Ltd. *Thermodynamics*. Mc-Graw Hill,Ltd