

PROTOTYPE STEAM POWER PLANT (ANALISIS HEAT LOSS PADA UNIT BOILER FURNACE DAN SUPERHEATER)

PROTOTYPE STEAM POWER PLANT (ANALYSIS OF HEAT LOSS AT UNIT BOILER FURNACE AND SUPERHEATER)

¹Ayu Difa Putri Utami, ²Zurohaina, dan ²Arizal Aswan
¹Mahasiswa, ²Staf Pengajar Program Studi DIV Teknik Energi
Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Sriwijaya Palembang
Jl. Srijaya Negara Bukit Besar, Palembang 30139
Email: ayudifa95@yahoo.com

ABSTRACT

The purpose of this experiment is to find a formula prototype steam power plant to find a solution to the crisis of electricity in rural areas. Has conducted a study to determine heat loss at for incineration in furnaces and boiler super heater unit. The fuel used is diesel and LPG fuel with a mass of different - different. The results obtained from the calculation of the importance of the loss of heat radiation in the boiler furnace of 5.6%, 2.66% convection heat loss and heat conduction loss amounted to 5.73%, on the theory that it should heat loss should not be more than 1%. Heat loss occurring in the steam power plant prototype unit is still quite large when viewed from PLTGU PLN Keramasan sektor with a heat loss in radiasi, conduction and convection. Heat loss can be mitigated in several ways one of them is a good insulator technique using cement or asbestos in accordance with the value of conductivity that need and can be determined from the results of the design calculations.

Keywords: Electricity, heat loss, insulators.

PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik terus meningkat dengan berjalanya perkembangan zaman dan teknologi, teknologi sangat erat kaitannya dengan energi listrik. Indonesia khususnya Sumatera selatan merupakan salah satu daerah yang membutuhkan banyak energi listrik dan Sumatera selatan ini pun memiliki sumber daya alam yang berlimpah seperti batubara, gas dan panas bumi. Dikutip dari dari sumselprov.go.id yaitu ‘Separuh batubara Indonesia ada di Sumsel. Sumsel memiliki cadangan hingga 22,24 milyar ton atau 48,48 cadangan nasional sedangkan yang diproduksi 9,5 juta ton per tahun atau 9,5 produksi nasional. Batubara kita menerangi Singapura, Jawa dan Bali dan untuk gas alam Sumsel memiliki cadangan sebesar 240,18 TSCF (ton standard cubic feet) atau 6,29% cadangan nasional sedangkan yang diproduksi hanya 0,29 TSCF atau 9% produksi nasional. Untuk minyak bumi, Sumsel memiliki cadangan 757,4 metrik stock tank barrel (MSTB) atau 0,88 cadangan nasional sedangkan yang diproduksi 22,93 MTSB atau 9% produksi nasional’. Adapun tujuan Mendapatkan prototype generator tenaga uap dengan tipe fire tube boiler. Menganalisis heat loss pada proses pembakaran di unit boiler furnace dan juga superheater. Sistem kerja PLTU menggunakan bahan bakar minyak residu/MFO (soalr) dan gas alam. Kelebihan dari PLTU adalah daya yang dihasilkan sangat besar. Konsumsi energi pada peralatan PLTU bersumber dari putaran turbin uap, prinsip kerja PLTU yaitu dengan menggunakan media air sebagai

penghasil uap yang dapat mengkonversi energi kinetik menjadi energi mekanik, uap yang dihasilkan berasal dari hasil pembakaran bahan bakar dengan udara yang memanaskan air untuk kemudian menjadi steam panas dan menghasilkan steam yang digunakan untuk memutar turbin.

Siklus Rankine

Siklus Rankine adalah siklus termodinamika yang mengubah panas menjadi kerja. Panas yang disuplai secara eksternal pada aliran tertutup, yang biasanya menggunakan air sebagai fluida bergerak. Pada *steam boiler*, ini akan menjadi reversible tekanan konstan pada proses pemanasan air untuk menjadi uap air, lalu pada turbin proses ideal akan menjadi reversible ekspansi adiabatik dari uap, pada kondenser akan menjadi reversible tekanan konstan dari panas uap kondensasi yang masih *saturated liquid* dan pada proses ideal dari pompa akan terjadi reversible kompresi adiabatik pada cairan akhir dengan mengetahui tekanannya

Boiler

Boiler merupakan mesin kalor (*thermal engineering*) yang mentransfer energi-energi kimia atau energi otomis menjadi kerja (usaha) (Muin 1988 : 28). Boiler atau ketel uap adalah suatu alat berbentuk bejana tertutup yang digunakan untuk menghasilkan steam. Steam diperoleh dengan memanaskan bejana yang berisi air dengan bahan bakar (Yohana dan Askhabulyamin 2009: 13).

Super Heater

Superheater merupakan alat yang berfungsi untuk menaikkan temperatur uap jenuh sampai menjadi uap panas lanjut (*superheat vapour*). Uap panas lanjut bila digunakan untuk melakukan kerja dengan jalan ekspansi di dalam turbin atau mesin uap tidak akan mengembun, sehingga mengurangi kemungkinan timbulnya bahaya yang disebabkan terjadinya pukulan balik atau *back stroke* yang diakibatkan mengembunnya uap belum pada waktunya sehingga menimbulkan vakum di tempat yang tidak semestinya di daerah ekspansi. Superheater ditempatkan pada daerah aliran gas asap yang bertemperatur tinggi.

Prinsip Kerja Super Heater

Prinsip kerja Super Heater yaitu pada saat pemanasan, api harus diatur sehingga suhu dari pipa Super Heater tidak melebihi batas keamanan yang diizinkan. Suhu dari logam pipa pada waktu pemanasan ketel biasanya dijaga supaya berada di bawah suhu pipa pada saat ketel berada pada kapasitas penuh. Hal ini dapat dilaksanakan dengan mengatur waktu dari saat pemanasan sampai saat tekanan kerja tercapai, dengan maksud untuk membatasi suhu gas masuk ke superheater pada $\pm 500^{\circ}\text{C}$ untuk superheater dengan pipa baja biasa

Proses Pembakaran

Tujuan dari pembakaran yang sempurna adalah melepaskan seluruh panas yang terdapat dalam bahan bakar. Hal ini dilakukan dengan pengontrolan "Tiga T" yaitu :

- T-Temperatur
Temperatur yang digunakan dalam pembakaran yang baik harus cukup tinggi sehingga dapat menyebabkan terjadinya reaksi kimia
- T-Turbulensi
Turbulensi yang tinggi menyebabkan terjadinya pencampuran yang baik antara bahan bakar dan pengoksidasi
- T-Time (Waktu)
Waktu yang cukup agar *input* panas dapat terserap oleh reaktan sehingga berlangsung proses termokimia

Macam Perpindahan Panas

Proses perpindahan panas dari sumber panas ke penerima dibedakan atas tiga cara yaitu : (Mc. Cabe, 1999)

- Perpindahan panas secara konduksi
- Perpindahan panas secara konveksi
- Perpindahan panas secara radiasi

Perpindahan Panas secara Konduksi

Perpindahan panas secara konduksi adalah perpindahan panas dimana molekul-molekul dari zat perantara tidak ikut berpindah tempat tetapi molekul-molekul tersebut hanya menghantarkan panas atau proses perpindahan panas dari suhu

yang tinggi ke bagian lain yang suhunya lebih rendah.

Konduksi (keadaan *steady*)

Suatu material bahan yang mempunyai *gradient*, maka kalor akan mengalir tanpa disertai oleh suatu gerakan zat. Aliran kalor seperti ini disebut konduksi atau hantaran. Konduksi *thermal* pada logam - logam padat terjadi akibat gerakan elektron yang terikat dan konduksi *thermal* mempunyai hubungan dengan konduktivitas listrik. Pemanasan pada logam berarti pengaktifan gerakan molekul, sedangkan pendinginan berarti pengurangan gerakan molekul

$$\frac{q}{a} \sim \frac{\delta T}{\delta x}$$

dan dengan konstanta kesetimbangan (konduksi) maka menjadi persamaan *Fourier*

$$q = - k A \frac{\delta T}{\delta x}$$

dimana;

q = laju perpindahan kalor

$\frac{\delta T}{\delta x}$ = gradient suhu ke arah perpindahan kalor

k = konduktivitas termal

A = luas permukaan bidang hantaran

Tanda (-) digunakan untuk memenuhi hukum II

Termodinamika yaitu " Kalor

mengalir ke tempat yang lebih rendah dalam skala temperatur " [Holman,1986].

Perpindahan Panas secara Konveksi

Perpindahan panas secara konveksi adalah perpindahan panas yang terjadi dari satu tempat ke tempat lain dengan gerakan partikel secara fisis. Perpindahan panas secara konveksi ini juga diakibatkan oleh molekul-molekul zat perantara ikut bergerak mengalir dalam perambatan panas atau proses perpindahan panas dari satu titik ke titik lain dalam fluida antara campuran fluida dengan bagian lain.

$$q = - h. A. \delta T$$

dimana :

q = Kalor yang dipindahkan

h = Koefisien perpindahan kalor secara konveksi

A = Luas bidang permukaan perpindahan panas

T = Temperatur

Perpindahan Panas secara Radiasi

Perpindahan panas secara radiasi adalah perpindahan panas yang terjadi karena perpindahan energi melalui gelombang elektromagnetik secara pancaran. Antara sumber energi dengan penerima panas tidak terjadi kontak, bagian dapur yang terkena radiasi adalah ruang pembakaran.

Contoh radiasi panas antara lain pemanasan bumi oleh matahari. Menurut hukum *Stefan Boltzmann* tentang radiasi panas dan berlaku

hanya untuk benda hitam, bahwa kalor yang dipancarkan (dari benda hitam) dengan laju yang sebanding dengan pangkat empat temperatur absolut benda itu dan berbanding langsung dengan luas permukaan benda [**Artono Koestoer,2002**].

$$q \text{ pancaran} = \sigma \cdot A \cdot T^4$$

dimana :

σ = konstanta proporsionalitas (tetapan *Stefan boltzmann*)

$$\sigma = 5,669 \cdot 10^{-8} \text{ W / m}^2 \cdot \text{K}^4$$

A = luas permukaan bidang benda hitam

T = temperatur absolut benda hitam

Kebutuhan Udara Teoritis

Analisis pembakaran untuk menghitung kebutuhan udara teoritis dapat dilakukan dengan dua cara :

- a. Berdasarkan pada satuan berat
- b. Berdasarkan pada satuan volume

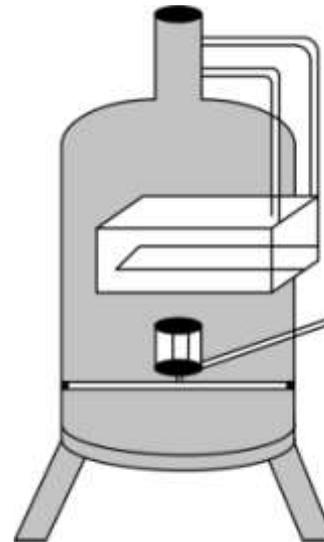
Pada suatu analisis pembakaran selalu diperlukan data-data berat molekul dan berat atom dari unsur-unsur yang terkandung dalam bahan bakar.

METODE PENELITIAN

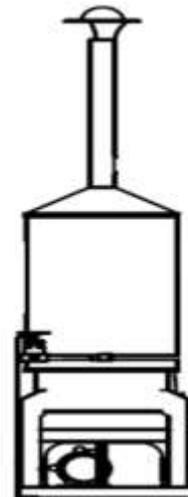
Metode penelitian ini dilakukan secara pendekatan desain struktural dan pendekatan Fungsional.

Pada pendekatan rancangan *Prototype Steam Power Plant* yang dibuat terdapat kegunaannya masing-masing. Ruang bakar yaitu tempat terjadinya pembakaran bahan bakar yang digunakan untuk menghasilkan panas di ruang bakar superheater. Superheater terdiri dari tabung silinder dan juga tabung balok yang berada berdekatan.

Secara umum rancangan alat dibagi menjadi empat bagian yaitu ruang bakar, *shell and tube* badan boiler, generator turbin uap, dan kondensor. Ruang bakar sebagai tempat pembakaran terdiri dari dua ruang bakar yaitu ruang bakar utama dan ruang bakar tambahan (*superheater*). *Superheater* pada prototype ini sebagai tempat pemanasan lanjut uap saturated untuk menghasilkan superheated steam. *Superheater* yang di rancang memiliki diameter 29 cm dan ketebalan 1,5 mm dengan tinggi 46 cm. *Superheater* ini memiliki ruang bakar dengan tinggi 23 cm dan panjang nozel pembakaran sebesar 9 cm, *superheater* ini memiliki tangki uap berbentuk balok dengan panjang 23,5 cm dan tinggi 11,5 cm. Didalam *superheater* ini pembakaran terjadi untuk memanaskan uap saturated untuk menjadi superheated steam.



Gambar 1. Desain Superheater



Gambar 2. Desain boiler furnace

Alat dan Bahan

Peralatan Rancangan *Prototype Steam Power Plant*

Pada *Prototype Steam Power Plant* yang dirancang dan digunakan untuk penelitian terdiri dari :

- 1) Kompresor
- 2) Pompa
- 3) Tabung Bahan Bakar dan Udara
- 4) Furnace
- 5) *Superheater*
- 6) Turbin uap
- 7) Generator Besar Kapasitas 3000 watt
- 8) Generator kecil
- 9) Kondensor
- 10) Sistem pemipaan (*pyping system*)

Peralatan Laboratorium; Gas analyzer, Tachometer, Multimeter, dan Termogun

Bahan yang digunakan; Solar, Gas LPG, Air Bersih, Udara Tekan

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahap yaitu tahap persiapan, dengan menyiapkan bahan baku yang akan digunakan yaitu air umpan, bahan bakar dan udara, tahap kedua pembakaran di boiler fire tube yaitu proses terjadinya pembakaran bahan bakar dengan udara dan menghasilkan panas dan akan dihasilkan uap didalam *steam drum*, lanjut ketahap tiga yaitu panas lanjutan di *superheater* pada tahap ini yaitu mengalirkan kembali uap yang dihasilkan menuju bagian *superheater* agar temperatur dan tekanan meningkat, ke empat yaitu tahap pembangkitan turbin dan generator yaitu mengalirkan uap *superheated* ke turbin setelah itu akan terbentuknya kondensat pada unit kondensor.

PEMBAHASAN

Analisis sistem termal pada boiler furnace dilakukan dengan metoda *matring* untuk suplay bahan bakar, analisis *flue gas* menggunakan gas analyzer sehingga analisis secara keseluruhan diselesaikan dengan perhitungan neraca massa dan enegi. entalpi steam boiler furnace sebesar 65,34 %, hal ini relative lebih kecil jika dibandingkan dengan entalpi steam yang diperoleh di PLTGU PLN Sektor Keramasan yang mencapai 89,8% secara rata – rata disetiap harinya, entalpi steam yang dihasilkan pada *prototype steam power plant* ini relative kecil karena pipa – pipa steam sebagai media transportasi dan permukaan dinding furnace memberikan kontribusi yang besar dalam *heat loss*. Analisis *heat loss* radiasi, konveksi maupun konduksi melalui dinding *furnace* dari hasil perhitungan menggunakan formulasi hukum plang maka diperoleh *heat loss* radiasi pada boiler furnace sebesar 5,6 % dalam hal ini *heat loss* cukup besar. Disebabkan temperatur permukaan masih cukup tinggi yaitu 170°C normalnya 60°C dengan kehilangan kalor 1%. Begitu juga terjadi *heat loss* yang hampir sama dari permukaan ke lingkungan secara konveksi alami sebesar 2,66% masih relatif besar sedangkan konduksi 5,73%. Perbaikan instalasi dalam upaya menangani *heat loss* baik secara radiasi, konveksi maupun konduksi dapat meningkatkan efisiensi boiler sebesar 70% dengan menurunkan kehilangan kalor radiasi, konveksi maupun konduksi *Heat loss Radiasi* 4,1302%, *Konveksi* 4,005%, *Konduksi* 5,73 %.

Pada umumnya analisis *heat loss* pada boiler furnace dan *superheater* mempunyai kendala yang sama yaitu *heat loss* pada furnace *superheater*, pipa – pipa transportasi bagi steam yang mengalir masuk mau pun keluar *superheater*, pipa – pipa ini harusnya menggunakan teknik isolator yaitu pipa- pipa steam ini di isolasi agar kebocoran kalor tidak terjadi secara besar –besaran. Jika ditinjau dari entalpi steam

superheater yaitu 26,46 % saja yang artinya steam yang didapat hanya sebanyak 26,46%. Menurut Putra Dewata factor kebersihan dari permukaan tube pada boiler sangat berpengaruh penting terhadap proses *heat transfer*, karena apabila adanya kerak dan adanya pengendapan kotoran yang terdapat pada tube – tibe boiler, maka proses perpindahan panas akan berkurang sehingga laju perpindahan panas juga akan menurun, dan juga berpengaruh terhadap tingginya temperature gas buang yang mempengaruhi besarnya kerugian – kerugian panas pada boiler. Keuntungan utama menggunakan *boiler superheater* dapat mengurangi konsumsi bahan bakar dan air, namun di sisi lain ada biaya tambahan yang diperlukan untuk perawatan yang lebih besar

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil percobaan serta telah dilakukan pengambilan data dapat disimpulkan bahwa:

Dari hasil percobaan dapat disimpulkan bahwa *prototype steam power plant* ini berhasil untuk menghasilkan daya listrik sebesar 220 V

Data yang diperoleh dari hasil percobaan ini dapat pula ditarik kesimpulan bahwa penambahan *superheater* di unit *prototype steam power plant* sangat membantu dalam menghasilkan steam kering dan juga daya listrik yang lebih besar yaitu 220 V.

Boiler furnace yang tidak dilapisi dengan semen tahan panas atau asbes membuat banyaknya *heat loss* yang terjadi dan mengakibatkan rugi panas untuk menghasilkan steam baik *saturated steam* maupun *superheated steam*.

DAFTAR PUSTAKA

- Dewata putra, 2011. *Analisa Teknis Evaluasi Kinerja Boiler Type Ihi Fw Sr Single Drum Akibat Kehilangan Panas Di Pltu Pt. Pjb Unit Pembangkitan Gresik*. Surabaya
- Holman, 1986. *Perpindahan Kalor*, McGraw-Hill. New York
- McCabe, W., Smith, J.C., and Harriot, P., 1993, *Unit Operation of Chemical Engineering*, McGraw Hill Book, Co., United States of America.
- Muin, Syamsir A. 1988. *Pesawat-Pesawat Konversi Energi I (Ketel Uap)*. Jakarta: Rajawali Pers.
- PT. Perusahaan Listrik Negara (Persero) Sektor Keramasan, 2012
- Yohana E dan Askhabulyamin. 2009. *Perhitungan Efisiensi Dan Konversi Dari Bahan Bakar Solar Ke Gas Pada Boiler Ebara HKL 1800 KA*.
- Raharjo W. D dan Karnowo. 2008. *Mesin Konversi Energi*. Semarang Universitas Negeri Semarang Press