

ANALISIS ENERGI BOILER PIPA AIR MENGGUNAKAN BAHAN BAKAR SOLAR

ANALYSIS ENERGY OF WATER TUBE BOILER USING FUELS DIESEL

Arizal Aswan*¹, Endang Susilowati¹ Juriwon¹

¹Jurusan Teknik Kimia Program Studi Sarjana Terapan Teknik Energi,
Politeknik Negeri Sriwijaya, Jalan Sriwijaya Negara Bukit Besar Palembang
E-mail: *arizal_aswan@ymail.com

Abstrak

Tujuan dilakukan penelitian ini yaitu untuk menentukan efisiensi termal boiler furnace dan menentukan specific fuel consumed bahan bakar. Telah dilakukan penelitian untuk mengetahui *heat loss* pada ukan proses pembakaran ada unit boiler furnace. Bahan bakar yang digunakan yaitu solar dengan massa bahan akar yang berbeda – beda. Hasil yang diperoleh dari perhitungan maka didapat *heat loss* radiasi pada boiler furnace sebesar 13%, *heat loss* konveksi 7,18%, dari teori yang Seharusnya *heat loss* ini harusnya tidak lebih dari 1 % . *Heat loss* yang terjadi di unit *prototype steam power plant* ini masih terbilang besar jika ditinjau dari PLTGU PLN Sektor Keramasan dengan *heat loss* secara radias, dan konveksi. *Heat loss* ini dapat ditanggulangi dengan beberapa cara salah satunya yaitu dengan teknik isolator baik menggunakan semen atau pun asbes sesuai dengan nilai konduktifitas yang dibutuhkan dan dapat ditentukan dari hasil perhitungan desain.

Kata Kunci: Radiasi, Konveksi *heat loss*

Abstract

The purpose of this experiment is to determine the thermal efficiency of the boiler furnace and determine the specific fuel consumption of fuel. Research has been conducted to find out the heat loss of fish in the combustion process there is a boiler furnace unit. The fuel used is solar with a mass of different root materials – different. The result obtained from the calculation is then obtained heat loss radiation on the boiler furnace of 13%, convection heat loss 7.18%, from the theory that should heat loss should be no more than 1%. Heat loss that occurs in the unit prototype steam power plant is still somewhat large when viewed from PLTGU PLN Sector Keramasan with heat loss in radiation, and convection. Heat loss can be overcome by several ways one of them is with the technique of insulator either using cement or asbestos in accordance with the conductivity value that dibutuhkan and can be determined rom the results of design calculations.

Keywords: Radiation, Convection *heat loss*

PENDAHULUAN

Boiler adalah bejana tertutup dimana panas pembakaran dialirkan ke air sampai terbentuk air panas atau uap. Komponen penting pada boiler adalah burner, ruang bakar, penukar panas dan sistem kontrol. Komposisi yang tepat dalam pencampuran antara bahan bakar dan udara di ruang bakar akan menghasilkan pembakaran yang sempurna. Panas yang dihasilkan ditransfer ke air melalui penukar panas. Air panas atau uap pada tekanan tertentu kemudian digunakan untuk proses produksi. Dalam proses produksi dari air menjadi uap, dapat terjadi kehilangan panas atau rugi seperti kehilangan panas berupa udara berlebih dan temperatur yang tinggi pada gas buang dicerobong. Kehilangan karena bahan bakar yang tidak terbakar dalam cerobong dan abu. Kehilangan dari *blowdown* dan kondensat. Kehilangan konveksi, radiasi dan penguapan air yang terbentuk karena H₂ dalam bahan bakar (Einstein, 2001). Untuk mengoptimalkan pengoperasian boiler, maka sangat penting untuk melakukan identifikasi sumber-sumber pemborosan atau kehilangan tersebut (Bhatia, 2012).

Kehilangan yang banyak ditemukan pada proses produksi uap adalah gas buang. Oleh karena itu

pemanfaatan gas buang ini sangat penting untuk meningkatkan efisiensi boiler, dengan demikian didapatkan penghematan energi. Salah satu cara untuk mendapatkan efisiensi boiler yang lebih tinggi, digunakan *economizer* untuk memanaskan awal air umpan menggunakan limbah panas pada gas buang (Morimoto, 2003).

Menurut laporan Marpaung untuk memaksimalkan efisiensi operasional pada *boiler*, perbandingan antara udara dan bahan bakar harus diatur dengan akurat sehingga didapatkan proses pembakaran yang sempurna di dalam *boiler furnace*. Bahan bakar yang digunakan harus pada jumlah yang tepat sesuai dengan kebutuhan uap air. Umumnya bahan bakar yang digunakan untuk memproduksi uap pada boiler adalah gas alam, solar, atau batubara yang berasal dari sumber energi tak terbarukan.

Namun saat ini ketersediaan sumber energi tersebut semakin menipis sehingga penggunaannya perlu dilakukan penghematan. Salah satu alternatif untuk memanfaatkan energi tersebut seacara efektif dan efisien yakni dengan memanfaatkan limbah oli bekas (*waste oil*) sebagai sumber panas. Untuk mengetahui kinerja oli bekas dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar

maka pada penelitian ini sebagai objek digunakan *water tube boiler* hasil rancang bangun skala *pilot plant* dengan kapasitas uap 50 kg/jam dengan maksimum tekanan operasi 10 bar.

Perhitungan neraca massa dan energi pada Boiler Furnace

Perhitungan neraca massa dan neraca energy dilakukan dengan menggunakan persamaan-persamaan termodinamika, perpindahan panas serta reaksi kimia yang berlangsung di dalam sistem. Perhitungan neraca massa merupakan tahapan awal yang harus dilakukan. Data hasil perhitungan neraca massa selanjutnya digunakan untuk perhitungan neraca energi.

Neraca Massa

Perhitungan neraca massa didasarkan atas hukum kekekalan massa seperti persamaan dibawah ini:

$$\sum m_{in} = \sum m_{out} \quad \dots (1)$$

Dimana:

$$\sum m_{in} = m_{udara pembakaran} + m_{solar} \quad \dots (2)$$

$$\sum m_{out} = m_{flus gas} \quad \dots (3)$$

(sumber: Hougen, 1943)

Neraca Energi

Perhitungan neraca energi dilakukan berdasarkan hukum pertama termodinamika, atau biasa disebut dengan hukum kekekalan energy, maka dapat ditulis

$$Q_{input} = Q_{output} \quad \dots (4)$$

(sumber: Hougen, 1943)

Untuk menganalisis energi pada *Water Tube Boiler* yaitu menentukan energi input dan output pada *water tube boiler*. Panas yang masuk pada *water tube boiler* terdiri dari:

INPUT

a. Entalpi bahan bakar (solar)

Untuk menentukan entalpi solar dapat dihitung dengan:

$$Q = m \times Cp \times \Delta T$$

Dimana:

M = Massa Bahan Bakar

Cp = Kapasitas Panas.

ΔT = Selisih antara temperatur bahan bakar dan Temperatur Reference

(sumber: Hougen, 1943)

b. Heating Value Bahan Bakar

Kalor atas (*High Heating Value*) merupakan nilai kalor yang diperoleh secara eksperimen dengan menggunakan calorimeter dimana hasil pembakaran bahan bakar didinginkan sampai suhu kamar sehingga sebagian besar uap air yang terbentuk dari pembakaran hydrogen mengembun dan melepaskan panas latennya. Untuk menghitung Heating Value Solar dapat digunakan rumus sebagai berikut:

$$HV = M_{solar} \times HHV_{solar}$$

Dimana:

M = Massa solar

HHV = High Heating Value

(sumber: Hougen, 1943)

c. Entalpi Fresh Water

Untuk menentukan entalpi fresh water dapat dihitung dengan:

$$Q = m \times h_f$$

Dimana :

m = Massa Fresh Water

h_f = Entalpi (temperatur 28°C)

(sumber: Hougen, 1943)

d. Entalpi Udara

Untuk menentukan entalpi solar dapat dihitung dengan:

$$Q = n \times Cp \times \Delta T$$

Dimana:

n = Mol Udara

Cp = Kapasitas Panas.

ΔT = Selisih antara temperatur udara dan temperatur Reference

Untuk mengetahui Cp udara dapat diketahui dengan

$$Cp = a + \frac{b}{2} (T_2 + T_1) + \frac{c}{3} (T_2^2 + T_2.T_1 + T_1^2)$$

(sumber: Hougen, 1943)

e. Entalpi H₂O dari Udara

Untuk menentukan entalpi fresh water dapat dihitung dengan:

$$Q = m \times h_f$$

Dimana:

m = Massa H₂O dari Udara

h_f = Entalpi (temperatur 30°C)

(sumber: Hougen, 1943)

OUTPUT

a. Entalpi Flue Gas

Untuk menentukan entalpi *flue gas* dihitung dari entalpi setiap komponen gas pada *flue gas* berupa CO₂, CO, O₂, N₂, dan H₂O dengan:

$$Q = n \times Cp \times \Delta T$$

Dimana:

n = Mol Gas

Cp = Kapasitas Panas.

ΔT = Selisih antara temperatur *flue gas* dan temperatur Reference

Terlebih dahulu menentukan Cp untuk setiap komponen gas dan dapat diketahui dengan

$$Cp = a + \frac{b}{2} (T_2 + T_1) + \frac{c}{3} (T_2^2 + T_2.T_1 + T_1^2)$$

(sumber: Hougen, 1943)

b. Panas Penguapan H₂O *flue gas*

Untuk menentukan entalpi fresh water dapat dihitung dengan:

$$Q = m \times h_{fg}$$

Dimana:

m = Massa H₂O dalam *flue gas*

h_{fg} = Entalpi (temperatur *flue gas* 140°C)

(sumber: Hougen, 1943)

- c. Heating Value CO tidak terbakar
Untuk menentukan Heating Value CO tidak terbakar dapat dihitung dengan:

$$HV_{CO} = n \times \Delta H^{\circ}_c CO$$

Dimana:

n = Mol CO dalam *flue gas*

$\Delta H^{\circ}_c CO$ = Nilai panas pembakaran

(sumber: Hougen, 1943)

- d. Entalpi Superheated Steam
Untuk menentukan entalpi superheated steam dapat dihitung dengan:

$$Q = m \times h_g$$

Dimana:

m = Massa steam

h_g = Entalpi (temperatur steam 200^o C tekanan 20 bar)

(sumber: Hougen, 1943)

- e. Entalpi Air Keluar Ekonomizer
Untuk menentukan entalpi air keluar ekonomizer dapat dihitung dengan:

$$Q = m \times h_f$$

Dimana:

m = Massa Air

h_f = Entalpi (temperatur 100^oC)

(sumber: Hougen, 1943)

- f. Entalpi Blowdown
Untuk menentukan entalpi blowdown dapat dihitung dengan:

$$Q = m \times h_f$$

Dimana:

m = Massa Air pada Blowdown

h_f = Entalpi (temperatur 100^oC)

(sumber: Hougen, 1943)

- g. Heat Loss Radiasi Permukaan Furnace
Untuk menentukan heat loss radiasi permukaan furnace dapat dihitung dengan:

$$Q = \epsilon \cdot \sigma \cdot A_{\text{boiler}} \cdot ((T_s^4) - (T_{\text{ref}}^4))$$

Dimana:

ϵ = Emisivitas steel oxidized

σ = Nilai tetapan stefan-boltzman

A = Luas Furnace

T_s = Temperatur dinding furnace

T_{ref} = Temperatur lingkungan

(sumber: J.P Holman, 1986)

- h. Heat Loss Konveksi Permukaan Furnace
Untuk menentukan heat loss konveksi permukaan furnace dapat dihitung dengan:

$$h = 1,42 \left(\frac{\Delta T}{L} \right)^{1/4}$$

$$Q = h \times A \times \Delta T$$

Dimana:

T_{dinding} = Emisivitas steel oxidized

T_{ref} = Nilai tetapan stefan-boltzman

A = Luas Furnace

ΔT = Temperatur dinding furnace

(sumber: J.P Holman, 1986)

Effisiensi Boiler Furnace

Untuk menentukan effisiensi boiler furnace dapat dihitung dengan:

$$\eta = \frac{\text{Entalpi Steam}}{\text{Energi Input}} \times 100 \%$$

(sumber: Hougen, 1943)

Spesifik Fuel Consume

$$SFC = \frac{\text{Massa Bahan Bakar}}{\text{Massa Steam}}$$

(sumber: Hougen, 1943)

Nilai Kalor Bahan Bakar

Reaksi kimia antara bahan bakar dengan oksigen dari udara menghasilkan panas. Besarnya panas yang timbulkan jika satu satuan bahan bakar dibakar sempurna disebut nilai kalor bahan bakar (*Calorific Value*). Berdasarkan asumsi ikut tidaknya panas laten pengembunan uap air dihitung sebagai bagian dari nilai kalor suatu bahan bakar, maka nilai kalor bahan bakar dapat dibedakan menjadi nilai kalor atas dan nilai kalor bawah.

Nilai kalor atas (*High Heating Value*) merupakan nilai kalor yang diperoleh secara eksperimen dengan menggunakan calorimeter dimana hasil pembakaran bahan bakar didinginkan sampai suhu kamar sehingga sebagian besar air yang terbentuk dari pembakaran hydrogen mengembun dan melepaskan panas latennya. Secara teoritis, besarnya nilai kalor atas (HHV) dapat dihitung bila diketahui komposisi bahan bakar dengan menggunakan persamaan *Dulong*:

$$HHV = 33950 + 144200 \left(H_2 - \frac{O_2}{8} \right) + 9400 S$$

Dimana:

HHV = Nilai kalor atas (kJ/kg)

C = Persentase karbon dalam bahan bakar

H₂ = Persentase hidrogen dalam bahan bakar

O₂ = Persentase oksigen dalam bahan bakar

S = Persentase sulfur dalam bahan bakar

Nilai kalor bawah (*Low Heating Value*) merupakan nilai kalor bahan bakar tanpa panas laten yang berasal dari pengembunan uap air. Umumnya kandungan hidrogen dalam bahan bakar cair berkisar 15% yang berarti setiap satu satuan bahan bakar dan 0,15 bagian merupakan hidrogen. Pada proses pembakaran sempurna, air yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar adalah setengah dari jumlah mol hidrogennya.

Selain berasal dari pembakaran hidrogen, uap air yang terbentuk pada proses pembakaran dapat pula berasal dari kandungan air yang memang sudah ada didalam bahan bakar (*moisture*). Panas laten pengkondensasian uap air pada tekanan parsial 20 kN/m² (tekanan yang umum timbul pada gas buang) adalah sebesar 2400 kJ/kg, sehingga besarnya nilai kalor bawah (LHV) dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut:

$$LHV = HHV - 2400 (M + 9 H_2)$$

Dimana:

LHV = Nilai kalor bawah (kJ/kg)

M = Persentase kandungan air dalam bahan bakar (*moisture*)

Dalam perhitungan efisiensi panas dari mesin bakar, dapat menggunakan nilai kalor bawah (LHV) dengan asumsi pada suhu tinggi saat gas buang meninggalkan mesin tidak terjadi pengembunan uap air. Namun dapat juga menggunakan nilai kalor atas (HHV) karena nilai tersebut umumnya lebih cepat tersedia. Peraturan pengujian berdasarkan ASME (*American of Mechanical Engineers*) menentukan penggunaan nilai kalor atas (HVV).

Liquid Fuel Burner

Burner dengan berbahan bakar cair mempunyai permasalahan khusus yaitu proses *mixing* antara bahan bakar cair dan udara. Untuk memperbaiki pencampuran bahan bakar udara, proses pengkabutan harus menjamin terjadi atomisasi yang bagus dari bahan bakar sehingga udara dapat berdifusi dengan mudah masuk ke bahan bakar. Dari proses tersebut akan tercapai campuran yang lebih homogen. Proses pembakaran akan berlangsung menjadi lebih sempurna.

Water Tube Boiler

Ketel pipa air (*water tube boiler*) banyak dipakai untuk kebutuhan uap skala besar. Prinsip kerja dari *water tube boiler* berkebalikan dengan *fire tube boiler*, gas pembakaran dari *furnace* dilewatkan ke pipa-pipa yang berisi air yang akan diuapkan (Raharjo, 2008).

Boiler ini dipilih jika kebutuhan *steam* dan tekanan *steam* sangat tinggi seperti pada kasus boiler untuk pembangkit tenaga. *Water tube boiler* yang sangat modern dirancang dengan kapasitas steam antara 4.500 – 12.000 kg/jam, dengan tekanan sangat tinggi. Banyak *water tube boilers* yang dikonstruksi secara paket jika digunakan bahan bakar minyak bakar dan gas (UNEP, 2006).

METODOLOGI PENELITIAN

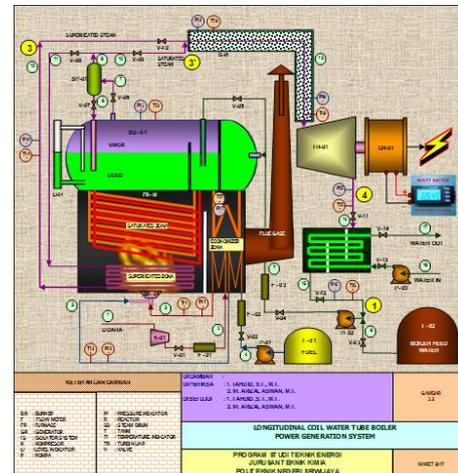
Perlakuan dan Rancangan Percobaan

Dalam penelitian menghitung konsumsi *fuel oil* dan desain konfigurasi geometri ruang bakar pada *Steam Power Generation*, variabel penelitian yang akan diambil terdiri dari variabel tetap dan variabel tak tetap. Variabel tetap terdiri dari jenis dan volum bahan bakar, jumlah bahan bakar, kebutuhan udara, waktu pengoperasian alat, dan volum bahan baku air. Sedangkan variabel tak tetap terdiri dari temperatur dan tekanan *steam*. Pengamatan dilakukan setelah sistem beroperasi pada kondisi *steady state*.

Pengamatan dilakukan ketika memulai proses pembakaran dengan rentang waktu ditetapkan yaitu setiap 5 menit. Data hasil pengukuran disusun dalam bentuk tabel untuk dijadikan bahan kajian menentukan kinerja pembangkit uap dan mengetahui jumlah konsumsi bahan bakar yang digunakan.

Flow diagram rancangan penelitian dapat dilihat pada Gambar 1. Bagian-bagian peralatan mempunyai

fungsi yang berbeda-beda dimana pada bagian bawah unit tersebut terdapat satu buah *Furnace* dan satu buah *Burner*. Selain itu juga dilengkapi dengan Tangki Bahan Bakar, Pipa, Pompa, Kompresor dan Cerobong (*Stack*).



Gambar 1. Flow Diagram Steam Power Generation

Prosedur Kerja

Langkah-langkah pengoperasian pembangkit listrik tenaga uap yang dilakukan pada unit peralatan yang dirancang terdiri dari 2 tahap yaitu tahap non steady state dan tahap steady state. Langkah-langkah pengerjaan adalah sebagai berikut :

A. Langkah kerja tahapan proses non steady state

1. Memastikan valve pada Steam Power Generation yang harus ditutup adalah valve (V-07) (V-08) (V-10) dan pastikan valve (V-06) (V-09) dalam posisi terbuka.
2. Menghidupkan pompa (P-02) dan membuka valve (V-03) (V-04) (V-15) serta menutup valve (V-05) untuk mengalirkan boiler feed water ke economizer tank pada unit *Steam Drum*. Kemudian BFW dikirim ke zona ekonomizer untuk mengabsorb panas dari aliran gas buang dan selanjutnya di distribusikan ke sistem longitudinal coil tube boiler pada zona saturated. Temperatur dan tekanan masing-masing pada (TI-07) dan (PI-07). Pengisian dilanjutkan hingga level volume pada 50% volume Steam Drum.
3. Setelah level volume tercapai maka pompa (P-02) dimatikan kemudian (V-03) (V-04) (V-05) (V-06) (V-07) (V-15) dalam kondisi tertutup.
4. Menghidupkan kompresor udara dengan menekan tombol "ON", kemudian membuka valve (V-01) untuk dikirim ke zona ekonomizer dan flowrate udara diatur pada flowmeter (F-01). Udara yang telah mengalami pemanasan di zona ekonomizer sebelum dikirim ke burner (BR-01) ditentukan temperaturnya pada (TI-01) dan tekanan pada (PI-01).
5. Menghidupkan pompa (P-01) dan membuka valve bahan bakar (V-02) untuk dikirim ke zona

ekonomizer sebelum dikirim ke burner (BR-01) dan mengatur flowrate bahan bakar melalui flowmeter (F-02). Bahan bakar yang telah mengalami pemanasan dari zona ekonomizer di kirim ke burner (BR-01). Temperatur dan tekanan masing-masing pada (TI-01) dan (PI-01).

6. Melakukan proses pembakaran bahan bakar dengan melakukan penyalaan menggunakan *Igniter*.
7. Pada saat pembakaran mulai konstan, maka dilakukan pencatatan data awal saturated steam setiap 5 menit. Temperatur dan tekanan steam dicatat melalui data tekanan (PI-03) dan temperatur pada (TI-03). Proses dilanjutkan hingga tekanan dan temperatur dari Steam Drum konstan.
8. Setelah temperatur dan tekanan konstan terjadi di dalam Steam Drum maka proses start up atau proses non steady state telah selesai. Dan proses akan dilanjutkan pada tahap steady state.

B. Langkah kerja tahapan proses steady state

1. Proses *steady state* merupakan adanya proses balik (siklus) dari aliran fluida uap dari *steam drum* menuju turbin uap, kemudian ke kondenser dan dikembalikan ke Steam Drum melalui pompa.
2. Memastikan proses pembakaran bahan bakar tetap berlangsung stabil sesuai dengan rasio bahan bakar yang terjadi pada proses non steady state
3. Memastikan valve (V-10) (V-11) (V-12) terbuka.
4. Mengalirkan air pendingin ke kondenser dengan menghidupkan pompa (P-03).
5. Melakukan pengaliran steam dari Steam Drum ke separator (SP-01) dengan cara membuka valve (V-06) (V-07) (V-08). Dengan membuka valve tersebut maka saturated steam akan terdistribusi ke zona Superheated untuk merubah Saturated Steam menjadi Superheated Steam.
6. Menghidupkan kembali pompa (P-02) dan buka valve (V-04) untuk mengalirkan kondensat steam dari kondenser ke Steam Drum.
7. Pada kondisi ini proses siklus telah terjadi dimana steam dari Steam Drum telah mengalami siklus termodinamika melalui tahapan beberapa peralatan seperti daerah saturated, daerah superheated, turbin, kondenser, dan pompa. Tunggu proses hingga kondisi tekanan dan temperatur steam di Steam Drum stabil dengan ditandai tekanan dan temperatur pada (PI-03) dan (TI-03) tidak mengalami perubahan.
8. Setelah stabil maka lakukan pencatatan terhadap data-data yang diperlukan seperti tekanan dan temperatur pada beberapa unit peralatan yang diperlukan serta kuat arus (A) dan voltase (V) pada panel instrument.
9. Setelah dilakukan pengambilan data maka lakukan langkah-langkah untuk mematikan proses di unit Steam Power Generation sesuai SOP.
10. Melakukan analisa data hasil percobaan dan lakukan perhitungan efisiensi peralatan.

11. Melanjutkan percobaan untuk parameter lain yang telah dibuat seperti pada matrix penelitian.

C. Langkah mematikan boiler

1. Mematikan boiler dengan menekan tombol off
2. Mematikan sumber energy
3. Menutup katup sumber gas.
4. Menutup katup supply uap utama dan katup feedwater.
5. Melakukan complete blow – off dengan mambuka katup blow – off untuk mengeluarkan air pada tube.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

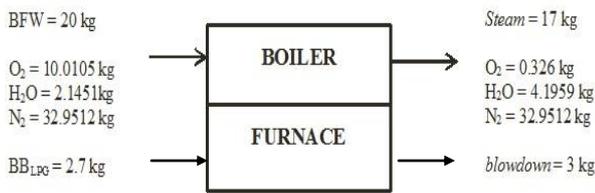
Hasil yang didapatkan dari penelitian ini berdasarkan data yang diperoleh dari *Steam Power Plant* yang merupakan perangkat alat hasil rancang bangun dengan menggunakan solar sebagai bahan bakar. Siklus dasar yang digunakan pada *steam power plant* adalah siklus *rankine*, dengan komponen utama *boiler*, turbin uap dan generator. Pada siklus *rankine* terjadi proses pemanasan air pada garis *saturated*. Lalu air dipanaskan hingga menjadi uap jenuh dan terus dipanaskan hingga menjadi uap kering. Setelah menjadi uap kering, uap akan masuk ke turbin dan terjadi penurunan temperatur pada entropi yang sama. Penelitian ini untuk mencapai sasaran penelitian serangkaian percobaan yang telah dilakukan waktu pemanasan sampai kondisi *steady state*.

Pembahasan

Hasil diperoleh dari penelitian ini berdasarkan data penelitian di lapangan menggunakan pembangkit uap skala pilot plant di teknik energi. Pengukuran data dilakukan beberapa kali. Percobaan dan hasilnya diolah menjadi data rata-rata. Bahan bakar sebagai sumber energi menggunakan solar, jumlah bahan bakar yang dibutuhkan untuk proses diukur rata-rata perjam. Kondisi operasi pembangkit uap ditetapkan pada tekanan 5 dan 10 bar pada keadaan *saturated* untuk menentukan AFR pada percobaan, maka dilakukan terlebih dahulu menghitung AFR stokiometri melalui reaksi pembakaran teoritis yang nilainya sebesar 15.479.

Dari AFR stokiometri maka ditetapkan AFR actual sebagai acuan untuk melakukan percobaan sesuai dengan kondisi operasi diatas yakni pada AFR 18.. Hal ini bertujuan untuk menghasilkan pembakaran yang sempurna. (Testo industrial gas analyzer) pada angka AFR tersebut haruslah % excess O₂ pada dry flue gas berkisar antara 10-30 %. Hal ini bertujuan untuk menghasilkan pembakaran yang sempurna. Pada AFR teoritis tidak mungkin terjadi pembakaran sempurna, sementara untuk AFR yang terlalu besar berdampak terhadap hilangnya sebagian besar panas terbawa oleh gas buang. Dan mengakibatkan terjadinya pemborosan bahan bakar.

Dari hasil pengamatan yang dilakukan di lapangan dibuat neraca massa dalam bentuk blok diagram yang menunjukkan secara jelas massa yang masuk dan keluar dari sistem *furnace*.

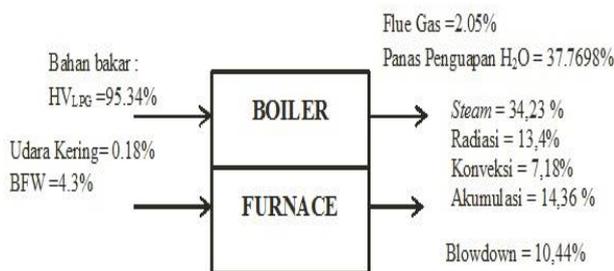


Gambar 2. Neraca Massa

Pada Gambar 2 dapat dilihat kesetimbangan massa pada sistem *furnace*, dimana massa yang masuk kedalam sistem sama dengan massa yang keluar dari sistem *furnace*. Massa total yang masuk kedalam *furnace* adalah 31,11 kg/jam. Dimana neraca massa yang diuapkan ini terbagi menjadi massa bahan bakar dan massa udara untuk keperluan pembakaran.

Data laju alir massa bahan bakar pada sistem *furnace* ini dibaca berdasarkan penurunan massa solar yang diletakkan pada neraca teknis skala 0-250kg. Sementara laju alir massa udara pembakaran dilakukan dengan perhitungan pembakaran teoritis terlebih dahulu, selanjutnya data tersebut digunakan pada operasi berikutnya untuk mengetahui pembakaran secara aktual.

Reaksi Pembakaran aktual untuk solar merupakan reaksi pembakaran yang tidak sempurna dalam arti gas hasil pembakaran mengandung CO. Hal ini disebabkan reaksi pembakaran solar berlangsung sangat cepat. Dengan demikian komposisi gas buang adalah CO₂, CO, O₂ sisa, N₂ dari udara, H₂O dari hasil reaksi pembakaran, dan H₂O berasal dari udara. Gas buang yang keluar *stack* tidak mengandung tar. Hasil perhitungan neraca massa dilakukan untuk perhitungan neraca energi. Hasil perhitungan neraca energi yang menampilkan secara lengkap tujuan dan penggunaan energi pada *boiler furnace* ditampilkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Neraca Energi

Dari Gambar 3 dapat dilihat bahwa massa – massa yang masuk kedalam *boiler furnace* yang terdiri dari bahan bakar, udara, dan *boiler feed water* menghasilkan energi masuk untuk proses pembakaran. Untuk pembentukan *steam* energi total input yang

masuk ke dalam *boiler furnace* dari total energi input yang masuk dipergunakan sebanyak 19272,45 Kcal/jam untuk pembentukan *steam*. Sehingga dapat dikatakan bahwa energi pembentukan *steam* sebesar 34,23% pada tekanan 5 bar sedangkan pada tekanan 10 bar sebesar 95,90 % dari energi input bahan bakar.

Sementara, energi lain adalah energi gas buang 2558,60 Kcal/jam (13,28%) pada tekanan 5 bar. 1784,05 Kcal/jam (8,15%) pada tekanan 10 bar, *blowdown* 2011,39 Kcal/jam (10,44%) pada tekanan 5 bar dan 1508,4 Kcal/jam (6,89%) pada tekanan 10 bar. energi radiasi 2581,65 Kcal/jam (13,40%) pada tekanan 5 bar dan 2646,89 (12,09%) pada tekanan 10 bar, dan konveksi sebesar 1383,3 Kcal/jam (7,18%) pada tekanan 5 bar, dan 1388,80 Kcal/jam (6,34%) pada tekanan 10 bar, merupakan energi yang hilang (*bocor*) keluar *sistem*. Sisanya sebesar 2767,86 Kcal/jam pada tekanan 5 bar (14,36%) dan 3186,21 kcal/jam (14,6%) pada tekanan 10 bar merupakan energi yang tidak teranalisis energi ini sebagian besar terakumulasi dalam system.

Dockrill dan Friedrich melakukan penelitian pada tahun 2011, pada penelitiannya terdapat banyak kehilangan yang ditemukan pada proses produksi uap yaitu pada gas buang yang bisa mencapai 10-30% dari total rugi-rugi, yang temperaturnya berkisar 150 – 250°C. Hal ini selaras dengan hasil penelitian di lapangan. Dari hasil penelitian, energi panas yang tidak termanfaatkan berasal dari energi gas buang sebesar 13,28 % pada tekanan 5 bar, 8,15% pada tekanan 10 bar. Angka ini menunjukkan bahwa temperatur gas buang masih terlalu tinggi. Untuk memanfaatkan gas buang agar dapat meningkatkan efisiensi boiler ditambahkan *economizer* pada unit boiler untuk memanfaatkan sebagian panas yang terbawa oleh gas buang. Sehingga didapatkan penghematan energi sebesar 10 %.

Faktor lain yang perlu mendapat pertimbangan adalah jumlah panas yang tidak teranalisis seperti panas yang terakumulasi dalam sistem. Sehingga perlu dilakukan penelitian lanjut untuk meminimalkan jumlah panas yang terakumulasi di dalam sistem diantaranya dengan melakukan rekonstruksi pada ruang bakar dan turbin sebagai media transfer panas. Dengan demikian penggunaan bahan bakar dapat dioptimalkan.

DAFTAR PUSTAKA

Bhatia, A. 2012. Improving Energy Efficiency of Boiler Systems. www.PDHcenter.com *Boiler Efficiency Guide*. <http://kampongperga.wordpress.com/>. Diakses pada tanggal 20 Mei 2017.

Dockrill, P., dan Friedrich, F. 2001. *Boiler and Heaters: Improving Energy Efficiency*. Canada: Federal Industrial Boiler Program Natural Resources.

Einstein, D., Worrell, E., Khrushch, M. 2001. *Systems in Industry: Energy Use and Energy Efficiency Improvement Potentisl*. Lawrence

Berkeley National Laboratory. <http://www.osti.gov/bridge/servlets/purl/789187-uTGqsP/native>. Diakses pada 20 Mei 2017.

Holman, J.P. 1986. *Heat Transfer*. McGraw-Hill, Inc.

Hougen, O.A., Chilton, T.H., Drew, T.B., Keyes, D.B., Watson, K.M. 1943. *Chemicals Process Principles*. Madison. Wisconsin.

Morimoto. 2003. *Energy Conservation in the Textile Industry*. ECCJ. Japan.

Raharjo, W.D. 2008. *Mesin Konversi Energi*. Semarang : Universitas Negeri Semarang Press.

UNEP. 2006. *Bahan Bakar dan Pembakaran*. <http://www.eneryefficienciasia.org>. Diakses pada 16 Mei 2017.