

# ANALISA POTENSI PENINGKATAN KINERJA HHP BOILER BERDASARKAN PRINSIP NERACA PANAS

I Ketut Warsa<sup>1</sup>, Yuniarti<sup>2\*</sup>, Eka Megawati<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Program Studi Teknik Pengolahan Migas, STT Migas Balikpapan  
Transad KM.08 No.76 RT.08 Kelurahan Karang Joang, Balikpapan, 76125,  
Indonesia

E-mail: warsa.iketut@gmail.com<sup>1</sup>, yuniaryunie@yahoo.com<sup>2\*</sup>, ekamegawati89@yahoo.com<sup>3</sup>

## Abstract

The boiler is in charge of generating steam. The steam produced can be used for several purposes, among others: as a working fluid to drive steam engines such as turbine engines and compressor piston engines, as a heating medium for heating liquids so that they are always at a set temperature, as an auxiliary medium for processing and so on. . In the context of energy conservation today, energy use is very much taken into account, because energy consumption is closely related to operating costs. In principle, the more energy consumed means higher operating costs. For energy savings, it is expected that fuel consumption in the operation of the HHP Boiler is as optimal as possible, so as to provide the appropriate heat. To find out the above, it is necessary to calculate the performance of the boiler. In this case the compilers use the Heat Loss method with dual fuel (fuel oil and fuel gas). From the evaluation results of the HHP Boiler with a heat balance, the efficiency is 89.53%.

Keywords: boiler, efficiency, heat balance

## Abstrak

*Boiler* bertugas untuk membangkitkan *steam*. *Steam* yang dihasilkan dapat digunakan untuk keperluan antara lain: sebagai fluida kerja untuk menggerakkan mesin-mesin uap seperti mesin turbin, dan mesin torak kompresor, sebagai media pemanas untuk memanaskan cairan agar selalu berada pada temperatur yang ditetapkan, sebagai media bantu untuk proses dan lain sebagainya. Dalam rangka konservasi energi dewasa ini, penggunaan energi sangat diperhitungkan, karena pemakaian energi erat kaitannya dengan biaya operasi. Pada prinsipnya semakin banyak energi yang dikonsumsi berarti biaya operasi semakin tinggi. Untuk penghematan energi tersebut,

diharapkan konsumsi bahan bakar pada pengoperasian HHP. *Boiler* seoptimum mungkin, sehingga memberikan panas yang sesuai dengan kebutuhan. Untuk mengetahui hal diatas , maka perlu dihitung kinerja dari *Boiler*. Dalam hal ini penyusun menggunakan *methode Heat Loss* dengan *dual fuel (fuel oil dan fuel gas)*. Dari hasil evaluasi HHP *Boiler* dengan neraca panas, efisiensinya sebesar 89,53 %.

**Kata Kunci:** *boiler, efisiensi, neraca panas*

## PENDAHULUAN

*Utilities* merupakan sarana penyedia tenaga yang dalam hal ini mensuplai kebutuhan uap (*steam*), air, listrik, air pendingin dan *air instrument*. Uap (*steam*) sebagian digunakan untuk membangkitkan listrik dan sebagian lagi untuk mendukung proses di Kilang. Untuk menjaga kontinuitas suplai listrik dan uap ke Kilang, maka digunakan sistem *header*. Agar semua proses berjalan lancar dan terpenuhi, maka *High-High Pressure (HHP) Boiler* dengan tekanan 64,5 Kg/cm<sup>2</sup>g dituntut memiliki kinerja yang optimum. Mencermati begitu besarnya peranan dari proses dan fungsi HHP *Boiler*, maka perlu adanya studi kasus yang mencari Potensi Peningkatan Kinerja HHP *Boiler* dari Penurunan Kandungan Oksigen di *Utilities-Prod*.

Hasil evaluasi tersebut diharapkan diperoleh suatu optimalisasi kinerja dari data kondisi operasi. Tujuan dilakukan pencarian potensi kinerja boiler yang dibahas adalah untuk memahami lebih rinci tentang kinerja HHP *Boiler*, khususnya dalam usaha peningkatan efisiensi. Dalam tahap mengoptimalkan boiler tersebut, maka diharapkan mampu mengevaluasi masalah yang timbul akibat proses dan mencari pemecahannya. Dan apabila masalah yang ditimbulkan sudah dapat diketahui, maka analisa yang dihasilkan dapat dilakukan sebagai acuan untuk mengoptimalkan kembali operasi HHP. *Boiler* yang dikaitkan dengan konservasi energi.

### Pengertian Boiler

*Boiler* merupakan jenis pesawat uap, yaitu suatu bejana tertutup dimana air dipanaskan. *Boiler* dapat juga diartikan sebagai suatu pemanas air dalam ruangan tertutup guna mendapatkan uap air pada tekanan diatas tekanan *atmosfer* dan selanjutnya uap tersebut digunakan sesuai kebutuhan.

### Klasifikasi Boiler

Setiap *Boiler* yang dibuat oleh perusahaan pembuat *Boiler* telah dirancang sedemikian rupa, sehingga memenuhi kebutuhan para konsumen. Sesuai dengan konstruksinya, *Boiler* dapat diklasifikasikan:

a. Menurut fluida yang mengalir dalam pipa yaitu:

- Ketel Pipa Api (*fire tube Boiler*)

Dimana fluida yang mengalir didalam *tube* adalah gas nyala hasil pembakaran yang membawa energi panas.

- Ketel Pipa Air (*water tube Boiler*)

Dimana fluida yang mengalir dalam *tube* adalah air dan energi panas hasil pembakaran di transfer dari luar ruang dapur ke air *Boiler*.

b. Menurut sistem peredaran Air *Boiler* yaitu:

- *Boiler* dengan peredaran alam (*natural circulation steam Boiler*).
- *Boiler* dengan peredaran paksa (*force circulation steam Boiler*)

### Jenis Bahan Bakar

Pada suatu proses kegiatan industri, pada umumnya bahan bakar (*fuel*) yang digunakan adalah gas dan minyak (cair).

a. *Fuel Gas* (Bahan Bakar Gas)

Bahan bakar ini paling mudah dibakar dan penanganannya lebih gampang. Gas yang digunakan yaitu:

- a) Gas alam, dapat berupa *associated gas* maupun *non associated gas*.
- b) Gas proses, berasal dari proses pengolahan minyak bumi.

b. *Fuel Oil* (bahan bakar minyak/cair)

Bahan bakar cair (minyak bakar) ada 2 (dua) macam:

- a) Minyak bakar ringan (*distillate*)
- b) Minyak bakar berat dengan komponen residu.

### Nilai Kalori

Reaksi pembakaran minyak akan sempurna apabila minyak dapat terpecah menjadi butiran-butiran kecil, sehingga dianggap sudah cukup halus untuk pembakaran. Untuk mendapatkan butiran-butiran kecil berupa gas tidak terlepas dari teknik atomisasi, viskositas bahan

bakar, berat jenis bahan bakar, tegangan permukaan bahan bakar, masa bahan bakar, masa udara dan perbedaan *pressure atomizing*.

Untuk mendapatkan kualitas dari pembakaran bahan bakar, perlu diperhatikan sifat-sifat kimia yang terkandung dalam bahan bakar yang digunakan.

Dalam proses pembakaran bahan bakar akan dihasilkan sejumlah panas yang dikenal dengan nilai kalor bahan bakar atau *Heat Heating Value*. *Heat Heating Value* pada bahan bakar adalah sejumlah panas yang dihasilkan dari pembakaran 1 pound bahan bakar, yang dapat dinyatakan dalam *Btu/lb*.

Ada 2 (dua) cara dalam penentuan *heating value*:

- a. *Higher (gross) heating value (HHV)* adalah total panas per satuan bahan bakar hasil reaksi pembakaran pada kondisi 1 atmosfer dan  $15^{\circ}\text{C}$  dengan  $\text{H}_2\text{O}$  berupa cair.
- b. *Lower (net) heating value (LHV)* adalah total panas per satuan bahan bakar hasil reaksi pembakaran pada kondisi 1 atmosfer dan  $15^{\circ}\text{C}$  dengan  $\text{H}_2\text{O}$  berupa uap.

Bahan bakar yang digunakan untuk pembakaran supaya dapat menghasilkan pembakaran yang baik (sempurna) harus mempunyai persyaratan:

- a. Mempunyai titik nyala yang rendah.
- b. Nilai kalor yang tinggi.
- c. *Flue gas* yang dihasilkan tidak membahayakan terhadap lingkungan, yang dalam hal ini berbentuk asap.
- d. Ekonomis, mudah disimpan dan didistribusikan.

### Udara Pembakaran

Pada suatu sistem pembakaran, udara memegang peranan penting. Banyak sedikitnya udara yang masuk dalam ruang bakar dapat mempengaruhi sempurna atau tidaknya pembakaran. Sistem pencampuran udara pembakaran dengan bahan bakar dibedakan menjadi:

- a. Udara Primer (*Primary air*)

Banyaknya udara yang dibutuhkan dalam pencampuran awal sebelum bahan bakar menyembur keluar dari ujung *burner*.

- b. Udara Sekunder (*Secondary air*)

Campuran bahan bakar dan udara yang mengandung oksigen dalam jumlah yang jauh lebih banyak dari jumlah udara kebutuhan stoikiometri.

### METODA PENELITIAN

Pada pembakaran bahan bakar dengan hanya menggunakan udara teoritis, pada kenyataannya sering terjadi pembakaran yang kurang sempurna. Untuk menyempurnakan pembakaran yaitu dengan melebihkan udara pembakar sehingga setiap molekul dari bahan bakar akan tersedia sejumlah oksigen yang sesuai untuk pembakaran yang sempurna. Hal tersebut sering disebut pembakaran lengkap tidak sempurna.

**Perhitungan Panas Masuk (*Q in*)**

1. Panas yang Terbawa oleh *Feed Water* (*Q<sub>1</sub>*)

$$Q_1 = M_{fw} \times H_{ffw} \dots\dots\dots \frac{Btu}{jam} \tag{1}$$

2. Panas *Latent* dari Pembakaran *Fuel Oil* (*Q<sub>2</sub>*)

$$Q_2 = M_{fo} \times NHV_{fo} \dots\dots\dots \frac{Btu}{jam} \tag{2}$$

3. Panas *Sensible* dari *Fuel Oil* (*Q<sub>3</sub>*)

$$Q = M_{fo} \times Cp_{fo} \times (T_{fo} - T_b) \dots\dots\dots \frac{Btu}{jam} \tag{3}$$

(*WL. Nelson, Petroleum Refinery Engineering, 1985,169*)

4. Panas *Latent* dari Pembakaran *Fuel Gas* (*Q<sub>4</sub>*)

$$Q_4 = M_{fg} \times NHV_{fg} \dots\dots\dots \frac{Btu}{jam} \tag{4}$$

5. Panas *Sensible* dari *Fuel Gas* (*Q<sub>5</sub>*)

$$Q_5 = M_{fg} \times H_{fg} \dots\dots\dots \frac{Btu}{jam} \tag{5}$$

6. Panas yang Terbawa oleh Udara Pembakaran (*Q<sub>6</sub>*)

$$Q_6 = M_{ud} \times Cp_{ud} \times (T_{ud} - T_b) \dots\dots\dots \frac{Btu}{jam} \tag{6}$$

7. Panas yang Terbawa Uap Air dalam Udara (*Q<sub>7</sub>*)

$$Q_7 = M_{ua} \times Cp_{ua} \times (T_{ud} - T_b) \dots\dots\dots \frac{Btu}{jam} \tag{7}$$

8. Panas yang Terbawa oleh *Atomizing Steam* (*Q<sub>8</sub>*)

$$Q_8 = M_{as} \times H_{as} \dots\dots\dots \frac{Btu}{jam} \tag{8}$$

(API Recommended Practice 532, 1982; 8)

**Perhitungan Panas Keluar (*Q out*)**

1. Panas yang Terbawa *Steam* ( $Q_a$ )

$$Q_a = M_{st} \times H_{st} \dots\dots\dots \frac{Btu}{jam} \tag{9}$$

2. Kehilangan Panas karena *Dry Flue Gas* ( $Q_b$ )

$$Q_b = M_{flue\ gas} \times H_{flue\ gas} \dots\dots\dots \frac{Btu}{jam} \tag{10}$$

3. Kehilangan Panas karena Uap Air *Ex. Pembakaran Fuel* ( $Q_c$ )

$$Q_c = M_{ua} \times C_{pua} \times (T_{flue\ gas} - T_b) \dots\dots\dots \frac{Btu}{jam} \tag{11}$$

4. Kehilangan Panas karena Uap Air Terikut Udara ( $Q_d$ )

$$Q_d = M_{air} \times C_{p_{air}} \times (T_{flue\ gas} - T_b) \dots\dots\dots \frac{Btu}{jam} \tag{12}$$

5. Kehilangan Panas karena Uap Air *Ex. Atomizing Steam* ( $Q_e$ )

$$Q_e = M_{as} \times H_{fas} \dots\dots\dots \frac{Btu}{jam} \tag{13}$$

6. Kehilangan Panas karena Radiasi ( $Q_f$ )

$$Q_f = \{ (M_{fo} \times H_{loss}) + (M_{fg} \times H_{loss}) \} \dots\dots\dots \frac{Btu}{jam} \tag{14}$$

7. Kehilangan Panas karena *Blow Down* ( $Q_g$ )

$$Q_g = M_{bd} \times H_{fbd} \dots\dots\dots \frac{Btu}{jam} \tag{15}$$

**HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

***Data Log Sheet (Operasi) Boiler***

Berikut data operasi yang didapat dari data lapangan dan *control room*:

- a. *Flow Steam* : 82,00 Ton/jam
- b. *Temperatur steam* : 468,00 °C

- c. Tekanan *Steam* : 60,50 Kg/cm<sup>2</sup>g
- d. *Flow feed water* : 84,00 Ton/jam
- e. Temperatur *feed water* : 129,00 °C
- f. *Flow fuel oil* : 3,35 Ton/jam
- g. Temperatur *fuel oil* : 104,00 °C
- h. *Flow fuel gas* : 2,58 Ton/jam
- i. Tekanan *steam RF* : 17,50 Kg/cm<sup>2</sup>g
- j. Temperatur *steam RF* : 325,00 °C
- k. *Flow blowdown* : 2,00 Ton/jam
- l. Temperatur *flue gas* : 159,00 °C
- m. O<sub>2</sub> pada *flue gas* : 3,80 % vol

**Analisa Perhitungan Neraca Panas untuk Excess O<sub>2</sub> pada Flue Gas**

Perhitungan Neraca Panas dengan *Flue Gas* yang mengandung 3,80 % vol O<sub>2</sub>

**Perhitungan Panas Masuk (*Q in*)**

- 1) Panas yang Terbawa oleh *Feed Water* (*Q<sub>1</sub>*)

$$Q_1 = M_{fw} \times H_{ffw} \dots\dots\dots \frac{Btu}{jam}$$

$$Q_1 = 185.186,40 \frac{lb}{jam} \times 232,61 \frac{Btu}{lb} = 43.076.208,50 \frac{Btu}{jam}$$

- 2) Panas *Latent* dari Pembakaran *Fuel Oil* (*Q<sub>2</sub>*)

$$Q_2 = M_{fo} \times NHV_{fo} \dots\dots\dots \frac{Btu}{jam}$$

$$Q_2 = 7.385,41 \frac{lb}{jam} \times 18.250 \frac{Btu}{lb} = 134.783.732,50 \frac{Btu}{jam}$$

- 3) Panas *Sensible* dari *Fuel Oil* (*Q<sub>3</sub>*)

$$Q_3 = M_{fo} \times C_{pfo} \times (T_{fo} - T_b) \dots\dots\dots \frac{Btu}{jam}$$

$$Q_3 = 7.385,41 \frac{lb}{jam} \times 0,41 \frac{Btu}{lb \cdot ^\circ F} \times (219,20 - 32) ^\circ F$$

$$= 566.844,99 \frac{Btu}{lb}$$

4) Panas *Latent* dari Pembakaran *Fuel Gas* ( $Q_4$ )

$$Q_4 = M_{fg} \times NHV_{fg} \dots\dots\dots \frac{Btu}{jam}$$

$$Q_4 = 5.687,87 \frac{lb}{jam} \times 17.793,60 \frac{Btu}{lb} = 101.207.683,60 \frac{Btu}{jam}$$

5) Panas *Sensible* dari *Fuel Gas* ( $Q_5$ )

$$Q_5 = M_{fg} \times H_{fg} \dots\dots\dots \frac{Btu}{jam}$$

$$Q_5 = 5.687,87 \frac{lb}{jam} \times 311,62 \frac{Btu}{lb} = 1.772.454,05 \frac{Btu}{jam}$$

6) Panas yang Terbawa oleh Udara Pembakaran ( $Q_6$ )

$$Q_6 = M_{ud} \times Cp_{ud} \times (T_{ud} - T_b) \dots\dots\dots \frac{Btu}{jam}$$

$$Q_6 = 227.564,09 \frac{lb}{jam} \times 0,240 \frac{Btu}{lb^\circ F} \times (86 - 32)^\circ F = 2.949.230,61 \frac{Btu}{jam}$$

7) Panas yang Terbawa Uap Air dalam Udara ( $Q_7$ )

$$Q_7 = M_{ua} \times Cp_{ua} \times (T_{ud} - T_b) \dots\dots\dots \frac{Btu}{jam}$$

$$Q_7 = 5.106,27 \frac{lb}{jam} \times 0,45 \frac{Btu}{lb^\circ F} \times (86 - 32)^\circ F = 124.082,36 \frac{Btu}{jam}$$

8) Panas yang Terbawa oleh *Atomizing Steam* ( $Q_8$ )

$$Q_8 = M_{as} \times H_{as} \dots\dots\dots \frac{Btu}{jam}$$

$$Q_8 = 3.692,71 \frac{lb}{jam} \times 1.326,29 \frac{Btu}{lb} = 4.897.604,35 \frac{Btu}{jam}$$

## Perhitungan Panas Keluar ( $Q_{out}$ )

- 1) Panas yang Terbawa *Steam* ( $Q_a$ )

$$Q_a = M_{st} \times H_{st} \dots\dots\dots \frac{Btu}{jam}$$

$$Q_a = 180.777,20 \frac{lb}{jam} \times 1.433,08 \frac{Btu}{lb} = 259.068.189,80 \frac{Btu}{jam}$$

- 2) Kehilangan Panas karena *Dry Flue Gas* ( $Q_b$ )

$$Q_b = M_{flue\ gas} \times H_{flue\ gas} \dots\dots\dots \frac{Btu}{jam}$$

$$Q_b = 16.175.074,63 \frac{Btu}{jam}$$

- 3) Kehilangan Panas karena Uap Air *Ex. Pembakaran Fuel* ( $Q_c$ )

$$Q_c = M_{ua} \times C_{pua} \times (T_{flue\ gas} - T_b) \dots\dots\dots \frac{Btu}{jam}$$

$$Q_c = 18.391,86 \frac{lb}{jam} \times 0,46 \frac{Btu}{lb^\circ F} \times (318,20 - 32)^\circ F = 2.421.325,15 \frac{Btu}{jam}$$

- 4) Kehilangan Panas karena Uap Air Terikut Udara ( $Q_d$ )

$$Q_d = M_{air} \times C_{pair} \times (T_{flue\ gas} - T_b) \dots\dots\dots \frac{Btu}{jam}$$

$$Q_d = 5.106,27 \frac{lb}{jam} \times 0,46 \frac{Btu}{lb^\circ F} \times (318,20 - 32)^\circ F = 672.250,66 \frac{Btu}{jam}$$

- 5) Kehilangan Panas karena Uap Air *Ex. Atomizing Steam* ( $Q_e$ )

$$Q_e = M_{as} \times H_{fas} \dots\dots\dots \frac{Btu}{jam}$$

$$Q_e = 3.692,71 \frac{lb}{jam} \times 289,54 \frac{Btu}{lb} = 1.069.187,25 \frac{Btu}{jam}$$

- 6) Kehilangan Panas karena Radiasi ( $Q_f$ )

Berdasarkan “*API Recommended Practice; 532, 1982*” *heat loss* radiasi dihitung berdasarkan atas *fuel* yang digunakan:

$$Q_f = \left\{ (M_{fo} \times H_{loss}) + (M_{fg} \times H_{loss}) \right\} \dots\dots\dots \frac{Btu}{jam}$$

$$Q_f = \left\{ \left( 7.385,41 \frac{lb}{jam} \times 273,75 \frac{Btu}{lb} \right) + \left( 5.687,87 \frac{lb}{jam} \times 444,84 \frac{Btu}{lb} \right) \right\}$$

$$Q_f = 4.551.948,08 \frac{Btu}{jam}$$

7) Kehilangan Panas karena *Blow Down* ( $Q_g$ )

$$Q_g = M_{bd} \times H_{fbd} \dots\dots\dots \frac{Btu}{jam}$$

Berdasarkan tabel uap sifat  $H_2O$  jenuh-tabel tekanan, dengan cara interpolasi didapat  $H_{fbd} = 521,96 \text{ Btu/lb}$

$$Q_g = 4.409,20 \frac{lb}{jam} \times 521,96 \frac{Btu}{lb} = 2.301.426,03 \frac{Btu}{jam}$$

Dari data perhitungan Q di atas, maka di dapatkan efisiennya adalah:

$$\eta = \frac{\text{Panas yang masuk Boiler} - \text{panas yang hilang}}{\text{Panas yang masuk Boiler}} \times 100 \%$$

$$\text{dimana } \Sigma Q_{in} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7 + Q_8$$

$$\Sigma Q_{loss} = Q_b + Q_c + Q_d + Q_e + Q_f + Q_g + Q_{uncounted}$$

Sehingga

$$\eta = \frac{(289.377.840,96 - 30.309.651,10) \text{ Btu/jam}}{289.377.840,96 \text{ Btu/jam}} \times 100\%$$

$$= 89,53 \%$$

**Faktor-faktor yang Mempengaruhi Efisiensi Boiler**

Ada beberapa faktor yang sangat mempengaruhi besarnya efisiensi *Boiler*. Faktor-faktor ini diharapkan dapat dilakukan langkah pengaturan yang tepat untuk meningkatkan efisiensi. Faktor-faktor tersebut antara lain:

- a. Temperatur gas buang

Temperatur gas buang menunjukkan kandungan energi panasnya. Semakin tinggi temperatur gas buang berarti energi panas yang dibuang tak dimanfaatkan semakin besar pula. Diusahakan agar temperatur gas buang ini ditekan serendah mungkin, misalnya dengan *waste heat recovery* untuk memanaskan benda lain yang memerlukan energi panas.

b. Udara lebih

Udara lebih menentukan banyaknya debit masa aliran gas buang. Semakin banyak udara lebih maka debit aliran gas buang semakin besar dan kerugian energi panas semakin besar. Oleh karena pada praktiknya udara stoikhiometri kurang baik (walaupun secara teori terbaik), maka suplai udara lebih tidak bisa dihindari, asalkan jangan terlalu banyak.

c. Temperatur udara masuk

Udara yang mengalir masuk membawa energi kalor (walaupun jumlahnya relatif sedikit), dan kandungan kalor ini tercermin dalam temperaturnya. Semakin tinggi temperatur udara semakin banyak pula kandungan kalor masuknya, dan semakin sedikit pula energi kalor yang diperlukan untuk menaikkan temperatur udara sampai ke titik nyala bahan bakar, berarti semakin banyak energi kalor yang tersedia untuk dimanfaatkan.

d. Temperatur bahan bakar

Bahan bakar yang disuplai ke ruang bakar juga membawa energi kalor, namun dengan jumlah yang jauh lebih sedikit, karena laju aliran massa bahan bakar ini paling kecil. Pengaruh faktor ini terhadap efisiensi pembakaran relatif kecil.

e. Pembakaran tidak sempurna

Akibat pembakaran yang tidak sempurna, maka tidak setiap karbon bereaksi, sedangkan yang bereaksipun tidak membentuk  $CO_2$ , sehingga jumlah kalor yang dilepaskan dalam proses pembakaran menjadi lebih sedikit. Dengan demikian pasokan energi berkurang.

f. Kelembaban

Kandungan kelembaban (*moisture* = uap  $H_2O$ ) pada gas buang disebabkan oleh 3 (tiga) hal: hasil reaksi  $H_2$  (dari bahan bakar) dengan  $O_2$  (dari udara), dibawa oleh udara, dan kelembaban yang dikandung oleh bahan bakar.

g. Pembuangan Air dari Boiler (*Blowdown*)

*Blowdown* berarti mengeluarkan cairan yang terkonsentrasi dari Boiler melalui lubang di dasar Boiler. Di dalam Boiler yang menggunakan *treated water* untuk *make up* akan timbul akumulasi dari zat padat yang tak terlarut (*dissolved solid*).

h. Rugi-rugi lainnya

Termasuk dalam kerugian ini adalah energi kalor yang berpindah keluar melalui dinding ruang bakar dengan cara konduksi, konveksi dan radiasi menuju ke lingkungan sekitar.

Dari beberapa faktor yang telah dijelaskan di atas, maka boiler tersebut diatas masih bisa ditingkatkan efisiensinya dengan mengevaluasi penggunaan udara berlebih. Dengan nilai efisiensi yang didapatkan sebesar 89,53% tersebut, dapat dikatakan bahwa Boiler tersebut masih berpotensi ditingkatkan kinerjanya.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan kinerja berdasarkan neraca panas terhadap HHP Boiler dengan kandungan *oxygen excess* 3,80 % dan temperatur *flue gas* 159 °C didapatkan panas yang masuk ke Boiler sebesar 289.377.840,96 Btu/jam dan panas yang keluar dari boiler adalah 30.309.651,10 Btu/jam sehingga di dapat efisiensi sebesar 89,53 %. Efisiensi tersebut masih dapat ditingkatkan dengan merubah beberapa variabel yang mempengaruhi efisiensi alat tersebut.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada PT. Pertamina RU V Balikpapan atas kesempatan yang diberikan. Yayasan dan Lembaga serta LPPM STT Migas Balikpapan, atas segala dukungan kepada kami

## DAFTAR PUSTAKA

- API Recommended Practice 532 (1982). **“Measurement of the Thermal Efficiency of Fired Process Heaters”** first edition.
- Bindar, Yasid. (2002). **Training Burner Optimization**. Bandung: Yayasan Puncak Sari.
- F. William, Payne. **Efficient Boiler Operations Sourbook**. second edition.
- J. Geankoplis, christie. (1983). **Transport Processes and Unit Operations**. second edition. The United State of America
- Maxwell, WL. (1958). **Petroleum Refinery Engineering**. Toronto: MC. Graw Hill Book Company.
- Muin , Syamsir A. **Pesawat - Pesawat Koversi Energi I (Ketel Uap)**. Pers Jakarta: Rajawali.
- Nelson, WL. (1985). **Petroleum Refinery Engineering. fourth edition**. Singapore MC. Graw Hill Book Co.

Operations Book and Performance Test Report for SC- Type Steam Generator HHP Boiler IV oleh IHI.

Perry, Robert.H & Cecil H Chilton. Chemical **Engineers Hand Book**. MC.Graw Hill Kogakusha LTD.

Robert D Reed. **Furnace Operations**. Gulf Publishing Company Book Division Houston, London, Paris, Tokyo.

Thomas Garcia-Borras. (1983). **Boiler and Furnace Performance**. Houston: Gulf Publishing Company.