

APLIKASI BOILER SEBAGAI PEMBANGKIT UAP DALAM MENENTUKAN EFISIENSI

Muslih Nasution, Suhardi Napid

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik UISU

Abstrak

Pengambilan panas dari bahan bakar melalui media uap digunakan boiler, panas yang diperoleh dibawa oleh uap tergantung laju pembangkitan uap, tekanan dan temperatur uap. Boiler adalah sebagai alat pembangkit uap atau penghasil uap harus selalu siap dalam menjalankan fungsinya. Efisiensi boiler selalu berubah-ubah sesuai dengan beban operasinya, efisiensi yang berubah-ubah terjadi karena banyaknya panas yang hilang dari hasil pembakaran, maka dari itu untuk dapat mengurangi terjadinya energi panas yang tidak efisien perlu dilakukan peningkatan performa dari suatu boiler dengan cara memantau setiap unit boiler agar dapat beroperasi dengan baik dan menurunkan kerugian kalornya. Maka perlu dilakukan pengevaluasian prestasi kerja terhadap efisiensi pada boiler. Perhitungan efisiensi boiler dengan kapasitas uap 7 ton/jam dilakukan perbandingan hasil perkalian laju massa uap dan entalpi dengan laju massa bahan bakar dan nilai panas tinggi yang mana nilai entalpi uap diperoleh hasil dari interpolasi entalpi. Untuk menganalisa besaran efisiensi dalam 7 hari diperoleh efisiensi terbesar pada hari ke 6 yaitu 65,61 % namun perbedaan tidaklah signifikan dengan nilai efisiensi lainnya.

Kata-Kata Kunci : Boiler, Efisiensi, Uap, Panas

I. Pendahuluan

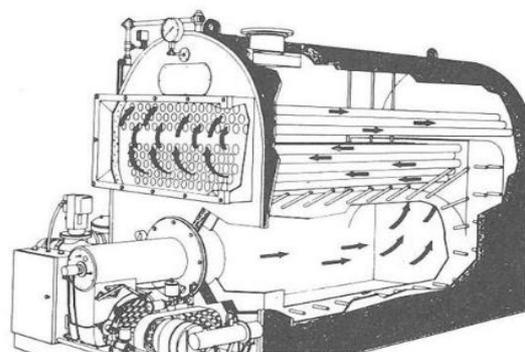
Hingga kini penggunaan uap air dalam kehidupan sehari-hari di rumah tangga dan ataupun industri sudah berkembang pesat bahkan masing-masing perusahaan saling berkompetisi mengekspose produknya salah satunya adalah alat pembangkit uap yaitu boiler yang digunakan mengkonversikan air menjadi uap dengan cara pemanasan yang mana sumber panas tersebut berasal dari hasil pembakaran bahan bakar di ruang bakar. Pembakaran ini sebenarnya berdasarkan prinsip termodinamika dan perpindahan panas yang dikarenakan perbedaan suhu dari suhu rendah ke suhu tinggi [1]. Termodinamika memainkan peranan penting dalam analisis sistem dan piranti yang didalamnya terjadi perpindahan dan transformasi energi [2]. Hal ini berdampak pada pemenuhan kebutuhan akan energi atau bahan bakar juga akan semakin bertambah, yang mana dalam dunia industri merupakan salah satu pengonsumsi energi atau bahan bakar yang cukup besar. Faktor tersebut banyak berpengaruh terhadap kecenderungan ekonomis, sehingga harga bahan bakar yang digunakan jadi semakin meningkat. Semakin meningkatnya harga bahan bakar semakin menipis pula ketersediaan bahan bakar. Hal itu membuat penurunan kualitas efisiensi peralatan industri khususnya boiler. Boiler mempunyai peranan yang sangat penting dalam kelangsungan kinerja dari sebuah pabrik.

II. Tinjauan Pustaka

2.1 Boiler

Boiler merupakan bejana tertutup dimana panas pembakaran dialirkan ke air sampai terbentuk uap panas atau *steam* berupa energi kerja. Air adalah media yang berguna dan murah untuk mengalirkan

panas ke suatu proses [3]. Uap panas atau *steam* pada tekanan dan suhu tertentu memiliki nilai energi yang kemudian digunakan untuk mengalirkan panas dalam bentuk energi kalor ke suatu proses. Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai efisiensi antara lain mass flow, tekanan dan suhu uap masuk boiler serta tekanan dan suhu uap keluar boiler [4]. Tahap awal proses penentuan efisiensi boiler adalah data tekanan, suhu masukan dan keluaran boiler. Data tersebut diubah menjadi entalpi panas lanjut dalam satuan kJ/kg dan entalpi air umpan juga dalam kJ/kg untuk mendapatkan nilai energi keluar dan energi masuk [5].



Gambar 1. Boiler pipa api

Energi kalor yang dibangkitkan dalam sistem boiler memiliki nilai tekanan, temperatur, dan laju aliran yang menentukan pemanfaatan *steam* yang akan digunakan. Berdasarkan ketiga hal tersebut sistem boiler mengenal keadaan tekanan temperatur rendah, dan tekanan temperatur tinggi dengan perbedaan itu pemanfaatan *steam* yang keluar dari sistem boiler dimanfaatkan dalam suatu proses untuk memanaskan cairan dan menjalankan suatu mesin. Sistem boiler terdiri dari sistem air umpan, sistem *steam*, dan sistem bahan bakar. Sistem air

umpan menyediakan air untuk boiler secara otomatis sesuai dengan kebutuhan *steam*. Berbagai kran disediakan untuk keperluan perawatan dan perbaikan dari sistem air umpan, penanganan air umpan diperlukan sebagai bentuk pemeliharaan untuk mencegah terjadi kerusakan dari sistem *steam*. Sistem *steam* mengumpulkan dan mengontrol produksi *steam* dalam boiler. *Steam* dialirkan melalui sistem pemipaan ke titik pengguna. Pada keseluruhan sistem, tekanan *steam* diatur menggunakan kran dan dipantau dengan alat pemantau tekanan. Sistem bahan bakar adalah semua peralatan yang digunakan untuk menyediakan bahan bakar untuk menghasilkan panas yang dibutuhkan. Peralatan yang diperlukan pada sistem bahan bakar tergantung pada jenis bahan bakar yang digunakan pada sistem.

2.2 Prinsip Kerja Boiler

Boiler adalah suatu perangkat mesin yang berfungsi untuk mengubah air menjadi uap. Proses perubahan air menjadi uap menjadi dengan memanaskan air yang berada di dalam pipa-pipa dengan memanfaatkan panas dari hasil pembakaran bahan bakar. Pembakaran dilakukan secara kontinu didalam ruang bakar dengan mengalirkan bahan bakar dan udara dari luar. Uap yang dihasilkan boiler adalah uap superheat dengan tekanan dan temperatur yang tinggi. Jumlah produksi uap tergantung pada luas permukaan pemindah panas, laju aliran, dan panas pembakaran yang diberikan. Boiler yang konstruksinya terdiri dari pipa-pipa berisi air disebut dengan steam generator (pembangkit uap) mengingat arti kata boiler hanya pendidih, sementara pada kenyataannya dari ketel superheat tekanan tinggi.

2.3 Pembakaran pada Boiler

Proses pembakaran adalah reaksi kimia yang cepat antara bahan bakar dengan oksigen (O_2) dari udara, disertai cahaya dan menghasilkan kalor. Pembakaran yang sempurna akan dapat mengubah seluruh energi yang memungkinkan pada bahan bakar. Akan tetapi pada kenyataannya pembakaran sempurna dengan efisiensi 100% sangat sulit tercapai akibat kerugian (*Loss*) pada instrumen pendukung [6]. Pembakaran dapat terjadi apabila terdapat oksigen yang kontak langsung dengan bahan bakar, serta temperatur bahan bakar dapat disebabkan oleh tekanan atau reaksi kimia yang dapat menghasilkan panas. Kecapatan pembakaran dan efisiensi pembakaran akan tergantung pada beberapa faktor, yaitu :

a. Waktu

Setiap reaksi kimia memerlukan waktu tertentu untuk pembakaran bahan bakar harus diusahakan tetap berada pada zone pembakaran di dalam ruang bakar pada waktu yang cukup seluruh bahan bakar akan terbakar dengan sempurna.

b. Temperatur

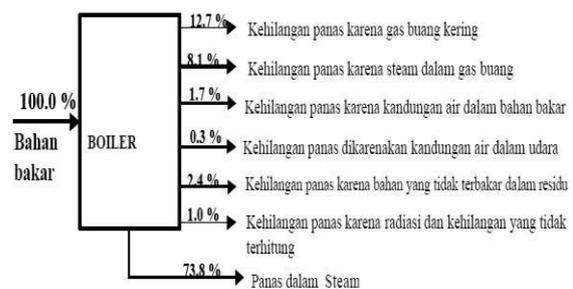
Supaya proses pembakaran suatu zat dapat terjadi, maka temperature dari zat tersebut harus berada pada suatu harga tertentu yang cukup untuk memulai terjadinya reaksi pembakaran.

c. Turbulensi

Oksigen di dalam udara yang dialirkan keruang bakar ada kemungkinan dapat langsung mengalir ke cerobong tanpa kontak dengan bahan bakar. Turbulensi udara akan dapat membentuk percampuran yang baik antara udara dan bahan bakar sehingga akan diperoleh proses pembakaran yang sempurna.

2.4 Neraca Panas

Neraca panas merupakan keseimbangan energi total yang masuk boiler terhadap yang meninggalkan boiler dalam bentuk berbeda. Parameter kinerja boiler, seperti efisiensi dan rasio penguapan, berkurang terhadap waktu disebabkan buruknya pembakaran, kotornya permukaan penukar panas dan buruknya operasi dan pemeliharaan. Bahkan untuk boiler yang baru sekalipun, alasan seperti buruknya kualitas bahan bakar dan kualitas air dapat mengakibatkan buruknya kinerja boiler. Neraca panas dapat membantu dalam mengidentifikasi kehilangan panas yang dapat atau tidak dapat dihindari. Uji efisiensi boiler dapat membantu dalam menemukan penyimpangan efisiensi boiler dari efisiensi terbaik dan target area permasalahan untuk tindakan perbaikan. Gambar berikut memberikan gambaran berbagai kehilangan yang terjadi untuk pembangkitan steam.



Gambar 2. Kehilangan panas pada boiler

2.5 Nilai Kalor

Nilai panas (kalor) kita definisikan sebagai energi panas yang dilepaskan pada waktu terjadi oksidasi unsur-unsur kimia yang terdapat dalam bahan bakar. Nilai kalor merupakan energi kalor yang dilepaskan bahan bakar pada waktu terjadinya oksidasi unsur-unsur kimia yang ada ada bahan-bahan tersebut. Nilai kalor pada bahan bakar dapat dibagi menjadi dua yaitu:

a. Nilai Kalor Atas (*High Heating Value*)

Besarnya nilai kalor atas (HHV) adalah:

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

b. Nilai Kalor Bawah (*Low Heating Value*)

Besarnya nilai kalor bawah (LHV) adalah:
 $LHV = HHV - 2400 (H_2O + 9H_2)$

2.6 Kebutuhan Bahan Bakar

Banyaknya bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan uap dapat diperoleh dengan persamaan:

$$m_{bb} = \frac{m_u \cdot (h_u - h_a)}{\eta_{bb} \cdot LHV}$$

di mana:

m_{bb} = Laju konsumsi bahan bakar (kg/jam)

m_u = Kapasitas produksi laju uap(kg/jam)

h_a = Entalpi air umpan (KJ/kg)

h_u = Entalpi uap (Kj/kg)

η_{bb} = Efisiensi ketel

2.7 Efisiensi Boiler

Efisiensi boiler atau ketel uap adalah perbandingan antara energi evaporasi (penguapan) terhadap energi suplai bahan bakar atau perbandingan energi keluaran berguna bagi energi total masuk (input), maka:

$$\eta_b = \frac{\dot{m}_u (h_u - h_a)}{\dot{m}_{bb} \cdot HHV} \times 100\%$$

di mana:

\dot{m}_u = Laju aliran massa uap (kg/detik)

h_u = Entalpi spesifik uap (kj/kg)

h_a = Entalpi spesifik air (kj/kg)

\dot{m}_{bb} = Laju aliran massa bahan bakar (kg/detik)

HHV = Nilai kalor atas bahan bakar (kj/kg)

III. Metode

Dalam menyelesaikan penulisan ini, ada beberapa metode dalam penulisan diantaranya :

a. Studi Literatur

Yaitu studi kajian kepustakaan dan kajian dari berbagai sumber Pustaka yang relevan mendukung dalam penulisan skripsi ini.

b. Studi Observasi

Yaitu studi pengamatan langsung terhadap objek penelitian serta menganalisis data yang berhubungan dengan penelitian.

c. Pengumpulan Data

Yaitu studi dengan mengumpulkan data-data yang berkaitan dengan topik yang akan dibahas dengan melakukan pengujian.

IV. Analisa Data

Setelah mendapatkan data-data yang dibutuhkan barulah kemudian melakukan analisa dari data yang didapat sesuai dengan studi literatur yang sudah dibuat sebelumnya. Dari data–data yang didapatkan kemudian dianalisa efisiensi.

4.1 Teknik Pengumpulan Data

Tahapan	Pelaksanaan Kegiatan
Tahapan Persiapan	-Menyusun proposal penelitian. -Mengirimkan surat izin penelitian -Melakukan observasi -Mencari literatur / pustaka yang relevan -Melakukan diskusi dengan pembimbing
Tahap Pelaksanaan	-Menentukan data – data yang akan di ambil. -Melaksanakan penelitian.
Tahap Pengolahan Data	-Mengolah data yang di dapat dari hasil penelitian. -Membuat kesimpulan dari hasil penelitian

4.2 Analisa

Dalam pengujian dipeorleh data bahan bakar boiler sebagai berikut :

-High Heating Value (HHV)

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

$$HHV = (33950 \times 0,5212) + \left(0,061 - \frac{0,2545}{8} \right) + 9400 \times 0$$

$$HHV = 21773,8 \text{ kJ/kg}$$

-Low Heating Value (LHV)

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

$$LHV = 21773,797 - 2400 (0,0298 + (9 \times 0,0601))$$

$$LHV = 20404,12 \text{ kJ/kg}$$

Contoh:

Data bahan bakar dasar cangkang kelapa sawitpada boiler kapasitas 7 ton/jam dengan Tabel 1 sebagai berikut :

Tabel 1. Komposisi unsur kimia bahan bakar

NamaUnsur	Cangkang kelapa sawit
Carbon (C)	0,52
Hidrogen (H)	6,0
Oksigen (O_2)	0,2545
Nitrogen (N_2)	0,11
Abu	0,0244
Kadar air (M)	0,0298

Tabel 2. Data harian boiler kapasitas 7 t/h

Hari	\dot{m}_u (t/h)	P_u (MPa)	T_u (°C)	T_a (°C)	\dot{m}_{bb} (t/h)
1	6,1	0,81	272	85	1,1
2	6,0	0,82	271	84	1,1
3	6,1	0,81	270	83	1,1
4	6,0	0,82	271	83	1,1
5	6,1	0,82	271	83	1,1
6	6,2	0,83	273	85	1,1
7	6,1	0,82	272	84	1,1

\dot{m}_{bb} = Laju Massa Bahan Bakar (t/h)

Analisa efisiensi boiler hari 1 :

\dot{m}_u = 6,1 t/h= 6100 kg/jam
 P_u = 0,81 Mpa= 8,1 Bar
 T_u = 272°C
 T_a = 85°C
 \dot{m}_{bb} = 1,1 t/h= 1100 kg/jam

Nilai Entalpi Air Umpan (h_a):
 Dari tabel uap dengan temperatur 85°C diperoleh :
 $h_a = 356,02$ kJ/kg

Mendapatkan Nilai Entalpi Uap (h_u)
 Dengan tabel uap untuk $T_u = 272^\circ\text{C}$ dan $P_u = 8,1$ bar maka diperoleh :
 $T_{250} = 250^\circ\text{C}$ $h_{250} = 2839,8$
 $T_u = 272^\circ\text{C}$ $h_u = \dots \dots \dots$
 $T_{300} = 300^\circ\text{C}$ $h_{300} = 2950,4$ kJ/kg

Maka, digunakanlah interpolasi untuk mencari nilai h_{272} :

$$\frac{T_u - T_{250}}{T_{300} - T_{250}} = \frac{h_u - h_{250}}{h_{300} - h_{250}}$$

$$\frac{272 - 250}{300 - 250} = \frac{h_u - 2839,8}{2950,4 - 2839,8}$$

$$h_u = (0,44 \times 110,6) + 2839,8 \text{ kJ/kg}$$

$$h_u = 2888,464 \text{ kJ/kg}$$

Efisiensi boiler kapasitas 7 ton/jam adalah :

$$\eta = \frac{\dot{m}_u \times (h_u - h_a)}{\dot{m}_{bb} \times \text{HHV}} \times 100 \%$$

$$\eta = \frac{6100 \times (2888,464 - 356,02)}{1100 \times 21773,797} \times 100\%$$

$$= \frac{6100 \times 2532,444}{1100 \times 21773,797} \times 100\%$$

$$\eta = 0,6449 \times 100\% = 64,49 \%$$

Analisa efisiensi boiler hari 2 :

\dot{m}_u = 6,0 t/h= 6000 kg/jam
 P_u = 0,82 Mpa= 8,2 Bar
 T_u = 271°C
 T_a = 84°C

\dot{m}_{bb} = 1,1 t/h= 1100 kg/jam

Nilai Entalpi Air Umpan (h_a)
 Dengan tabel uap untuk temperatur 84°C diperoleh :
 $h_a = 351,813$ kJ/kg

Mendapatkan Nilai Entalpi Uap (h_u)
 Dengan tabel uap untuk $T_u = 271^\circ\text{C}$ dan $P_u = 8,2$ bar maka diperoleh :
 $T_{250} = 250^\circ\text{C}$ $h_{250} = 2839,8$ kJ/kg
 $T_u = 271^\circ\text{C}$ $h_u = \dots \dots \dots$
 $T_{300} = 300^\circ\text{C}$ $h_{300} = 2950,4$ kJ/kg

Gunakanlah interpolasi untuk mencari nilai h_{271} :

$$\frac{T_u - T_{250}}{T_{300} - T_{250}} = \frac{h_u - h_{250}}{h_{300} - h_{250}}$$

$$\frac{271 - 250}{300 - 250} = \frac{h_u - 2839,8}{2950,4 - 2839,8}$$

$$h_u = (46,452) \text{ kJ/kg} + 2839,8 \text{ kJ/kg}$$

$$h_u = 2886,252 \text{ kJ/kg}$$

Efisiensi boiler kapasitas 7 ton/jam adalah :

$$\eta = \frac{\dot{m}_u \times (h_u - h_a)}{\dot{m}_{bb} \times \text{HHV}} \times 100 \%$$

$$\eta = \frac{6000 \times (2886,252 - 351,813)}{1100 \times 21773,797} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{6000 \times (2534,439)}{1100 \times 21773,797} \times 100\%$$

$$\eta = 0,6349 \times 100\% = 63,49\%$$

Analisa Efisiensi boiler hari 3 :

\dot{m}_u = 6,1 t/h= 6100 kg/jam
 P_u = 0,81 Mpa= 8,1 Bar
 T_u = 270°C
 T_a = 83°C
 \dot{m}_{bb} = 1,1 t/h= 1100 kg/jam

Nilai Entalpi Air Umpan (h_a)
 Dari tabel uap dengan temperatur 83°C diperoleh :
 $h_a = 347,611$ kJ/kg

Mendapatkan Nilai Entalpi Uap (h_u)
 Dari tabel uap dengan $T_u = 270^\circ\text{C}$ dan $P_u = 8,1$ Bar maka diperoleh :

$T_{250} = 250^\circ\text{C}$ $h_{250} = 2839,8$ kJ/kg
 $T_u = 270^\circ\text{C}$ $h_u = \dots \dots \dots$
 $T_{300} = 300^\circ\text{C}$ $h_{300} = 2950,4$ kJ/kg

Gunakanlah interpolasi untuk mencari nilai h_{270} :

$$\frac{T_u - T_{250}}{T_{300} - T_{250}} = \frac{h_u - h_{250}}{h_{300} - h_{250}}$$

$$\frac{270 - 250}{300 - 250} = \frac{h_u - 2839,8}{2950,4 - 2839,8}$$

$$h_u = (44,24) + 2839,8 \text{ kJ/kg}$$

$$h_u = 2884,04 \text{ kJ/kg}$$

Efisiensi boiler kapasitas 7 ton/jam adalah :

$$\eta = \frac{\dot{m}_u \times (h_u - h_a)}{\dot{m}_{bb} \times HHV} \times 100 \%$$

$$\eta = \frac{6100 \times (2884,04 - 347,611)}{1100 \times 21773,797} \times 100 \%$$

$$= \frac{6100 \times (2536,429)}{1100 \times 21773,797} \times 100 \%$$

$$\eta = 0,6459 \times 100\% = 64,59 \%$$

Analisa Efisiensi boiler hari 4 :

- $\dot{m}_u = 6,0 \text{ t/h} = 6000 \text{ kg/jam}$
- $P_u = 0,82 \text{ Mpa} = 8,2 \text{ Bar}$
- $T_u = 271^\circ\text{C}$
- $T_a = 83^\circ\text{C}$
- $\dot{m}_{bb} = 1,1 \text{ t/h} = 1100 \text{ kg/jam}$

Nilai Entalpi Air Umpan (h_a)

Dari tabel uap dengan temperatur 83°C diperoleh :
 $h_a = 347,611 \text{ kJ/kg}$

Mendapatkan Nilai Entalpi Uap (h_u)

Dengan tabel uap untuk $T_u = 271^\circ\text{C}$ dan $P_u = 8,2$ bar maka diperoleh :

$$T_{250} = 250^\circ\text{C} \quad h_{250} = 2839,8 \text{ kJ/kg}$$

$$T_u = 271^\circ\text{C} \quad h_u = \dots \dots \dots$$

$$T_{300} = 300^\circ\text{C} \quad h_{300} = 2950, \text{ kJ/kg}$$

Gunakanlah interpolasi untuk mencari nilai h_{271} :

$$\frac{T_u - T_{250}}{T_{300} - T_{250}} = \frac{h_u - h_{250}}{h_{300} - h_{250}}$$

$$\frac{271 - 250}{300 - 250} = \frac{h_u - 2839,8}{2950,4 - 2839,8}$$

$$h_u = (46,452) + 2839,8 \text{ kJ/kg}$$

$$h_u = 2886,252 \text{ kJ/kg}$$

Efisiensi boiler kapasitas 7 ton/jam adalah :

$$\eta = \frac{\dot{m}_u \times (h_u - h_a)}{\dot{m}_{bb} \times HHV} \times 100 \%$$

$$\eta = \frac{6000 \times (2538,641)}{1100 \times 21773,797} \times 100 \%$$

$$\eta = \frac{6000 \times (2538,641)}{1100 \times 21773,797} \times 100 \%$$

$$\eta = 0,6359 \times 100\% = 63,59 \%$$

Analisa Efisiensi Boiler hari 5 :

- $\dot{m}_u = 6,1 \text{ t/h} = 6100 \text{ kg/jam}$
- $P_u = 0,82 \text{ MPa} = 8,2 \text{ Bar}$
- $T_u = 271^\circ\text{C}$
- $T_a = 83^\circ\text{C}$
- $\dot{m}_{bb} = 1,1 \text{ t/h} = 1100 \text{ kg/jam}$

Nilai Entalpi Air Umpan (h_a)

Dari tabel uap dengan temperatur 83°C diperoleh :
 $h_a = 347,611 \text{ kJ/kg}$

Mendapatkan Nilai Entalpi Uap (h_u)

Dengan tabel uap untuk $T_u = 271^\circ\text{C}$ dan $P_u = 8,2$ bar maka diperoleh :

$$T_{250} = 250^\circ\text{C} \quad h_{250} = 2839,8 \text{ kJ/kg}$$

$$T_u = 271^\circ\text{C} \quad h_u = \dots \dots \dots$$

$$T_{300} = 300^\circ\text{C} \quad h_{300} = 2950, \text{ kJ/kg}$$

Gunakanlah interpolasi untuk mencari nilai h_{271} :

$$\frac{T_u - T_{250}}{T_{300} - T_{250}} = \frac{h_u - h_{250}}{h_{300} - h_{250}}$$

$$\frac{271 - 250}{300 - 250} = \frac{h_u - 2839,8}{2950,4 - 2839,8}$$

$$h_u = (46,452) + 2839,8 \text{ kJ/kg}$$

$$h_u = 2886,252 \text{ kJ/kg}$$

Efisiensi boiler kapasitas 7 ton/jam adalah :

$$\eta = \frac{\dot{m}_u \times (h_u - h_a)}{\dot{m}_{bb} \times HHV} \times 100 \%$$

$$\eta = \frac{6100 \times (2886,252 - 347,611)}{1100 \times 21773,797} \times 100 \%$$

$$= \frac{15.485.710,1}{1100 \times 21773,797} \times 100 \%$$

$$\eta = 0,6465 \times 100\% = 64,65 \%$$

Analisa Efisiensi Boiler hari 6 :

- $\dot{m}_u = 6,2 \text{ t/h} = 6200 \text{ kg/jam}$
- $P_u = 0,83 \text{ MPa} = 8,3 \text{ Bar}$
- $T_u = 273^\circ\text{C}$
- $T_a = 85^\circ\text{C}$
- $\dot{m}_{bb} = 1,1 \text{ t/h} = 1100 \text{ kg/jam}$

Nilai Entalpi Air Umpan (h_a)

Dari tabel uap dengan temperatur 85°C diperoleh :
 $h_a = 356,02 \text{ kJ/kg}$

Mendapatkan Nilai Entalpi Uap (h_u)

Dengan tabel uap untuk $T_u = 273^\circ\text{C}$ dan $P_u = 8,3$ bar maka diperoleh :

$$T_{250} = 250^\circ\text{C} \quad h_{250} = 2839,8 \text{ kJ/kg}$$

$$T_u = 273^\circ\text{C} \quad h_u = \dots \dots \dots$$

$$T_{300} = 300^\circ\text{C} \quad h_{300} = 2950,4 \text{ kJ/kg}$$

Gunakanlah interpolasi untuk mencari nilai h_{272} :

$$\frac{T_u - T_{250}}{T_{300} - T_{250}} = \frac{h_u - h_{250}}{h_{300} - h_{250}}$$

$$\frac{273 - 250}{300 - 250} = \frac{h_u - 2839,8}{2950,4 - 2839,8}$$

$$h_u = (50,876) + 2839,8 \text{ kJ/kg}$$

$$h_u = 2890,676 \text{ kJ/kg}$$

Efisiensi boiler kapasitas 7 ton/jam adalah :

$$\eta = \frac{\dot{m}_u \times (h_u - h_a)}{\dot{m}_{bb} \times HHV} \times 100 \%$$

$$\eta = \frac{6200 \times (2890,676 - 356,02)}{1100 \times 21773,797} \times 100 \%$$

$$= \frac{6200 \times (2534,656)}{1100 \times 21773,797} \times 100 \%$$

$$\eta = 0,6561 \times 100\% = 65,61 \%$$

Analisa Efisiensi boiler hari 7 :

$\dot{m}_u = 6,1 \text{ t/h} = 6100 \text{ kg/jam}$
 $P_u = 0,82 \text{ MPa} = 8,2 \text{ Bar}$
 $T_u = 272^\circ\text{C}$
 $T_a = 84^\circ\text{C}$
 $\dot{m}_{bb} = 1,1 \text{ t/h} = 1100 \text{ kg/jam}$

Nilai Entalpi Air Umpan (h_a)

Dari tabel uap dengan temperatur 84°C diperoleh :
 $h_a = 351,813 \text{ kJ/kg}$

Mendapatkan Nilai Entalpi Uap (h_u)

Dengan tabel uap untuk $T_u = 272^\circ\text{C}$ dan $P_u = 8,2$ bar maka diperoleh :

$T_{250} = 250^\circ\text{C}$ $h_{250} = 2839,8 \text{ kJ/kg}$
 $T_u = 272^\circ\text{C}$ $h_u = \dots \dots \dots$
 $T_{300} = 300^\circ\text{C}$ $h_{300} = 2950, \text{ kJ/kg}$

Gunakanlah interpolasi untuk mencari nilai h_{272} :

$$\frac{T_u - T_{250}}{T_{300} - T_{250}} = \frac{h_u - h_{250}}{h_{300} - h_{250}}$$

$$\frac{272 - 250}{300 - 250} = \frac{h_u - 2839,8}{2950,4 - 2839,8}$$

$$h_u = (48,664) + 2839,8 \text{ kJ/kg}$$

$$h_u = 2888,464 \text{ kJ/kg}$$

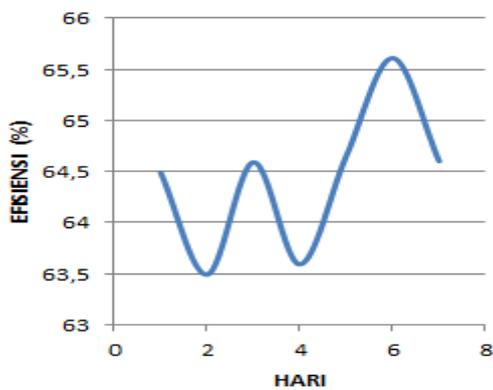
Efisiensi boiler kapasitas 7 ton/jam adalah :

$$\eta = \frac{\dot{m}_u \times (h_u - h_a)}{\dot{m}_{bb} \times \text{HHV}} \times 100 \%$$

$$\eta = \frac{6100 \times (2888,464 - 351,813)}{1100 \times 21773,797} \times 100\%$$

$$= \frac{6100 \times (2536,651)}{1100 \times 21773,797} \times 100\%$$

$$\eta = 0,6460 \times 100\% = 64,60 \%$$



Gambar 3. Hubungan hari harian dengan Efisiensi boiler

V. Kesimpulan

- Faktor-faktor yang mempengaruhi besaran efisiensi yaitu :
 - Nilai kalor bahan bakar yang dipakai, untuk bahan bakar yang dipakai boiler Kapasitas 7 ton/jam meenggunakan cangkang kelapa sawit dengan rata-rata nilai kalornya 21773,797 kJ/kg.
 - Panas yang diserap oleh boiler
 - Rugi-rugi yang dihasilkan pada saat proses pembakaran, seperti kandungan air dalam bahan bakar, kandungan hidrogen, dan masih ada beberapa unsur bahan bakar yang belum habis terbakar.
- Produksi uap harian yang dihasilkan sangat berfluktuasi, Fluktuasi suplai uap harian yang dipresentasikan sebagai laju aliran massa uap merupakan kebutuhan uap pada bagian produksi juga berfluktuasi terhadap waktu.
- Efisiensi boiler tertinggi pada hari 6 dengan efisiensi 65,61 % dan yang terendah efisiensi 63,49 % di hari kedua.
- Penurunan nilai efisiensi boiler dikarenakan kandungan karbon, hidrogen, belerang dalam bahan bakar yang tidak terbakar sempurna.
- Untuk menaikkan nilai dari efisiensi boiler bisa dilakukan dengan perbaikan kinerja boiler dengan memasang peralatan seperti economizer dan air preheater.

Daftar Pustaka

- [1] Aneka Firdaus, 2015, *Analisa Pengaruh Variasi Kapasitas Uap Terhadap Efisiensi Ketel Uap* di PT Sinar Sosro.
- [2] Mawardi Silaban, 2007, *Penghematan Energi Dan Perhitungan Sederhana Menaksir Efisiensi Boiler*.
- [3] Djokosetyardjo, 2006, *Ketel Uap*. Cetakan Keenam, Pradnya Paramita. Jakarta.
- [4] Sutikno, D. 2011, *Study On Pressure Distribution In The Blade Passage Of The Francis Turbine*, *Rekayasa Mesin* Vol. 2 No.2, 154-158.
- [5] Ristyanto, 2013, *Simulator Perhitungan Efisiensi Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Rembang*. Jurusan Teknik Elektro UNDIP Semarang diakses di [ejournal s1.undip.ac.id/index.php/transient/article/view/3006](http://ejournal.s1.undip.ac.id/index.php/transient/article/view/3006) pada tanggal 22 November 2016.
- [6] Yolanda P., 2017, *Analisis Efisiensi Boiler Menggunakan Metode Langsung*.