

## Analisis Eksergi Air Heater Pada PLTU Batu Bara 65 MW Bukit Asam

Asep Hidayat Thullah<sup>1\*</sup>, Yogi Sirodz Gaos<sup>1</sup>, Irvan Wiradinata<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Ibn Khaldun Bogor

\*e-mail: asephidayatthullah0@gmail.com

### ABSTRAK

Analisis Eksergi pada pembangkit listrik tenaga uap perlu dilakukan untuk menganalisis Eksergi serta memberikan informasi untuk meningkatkan nilai efisien pada *Air Heater*. Penelitian dilakukan dilab Enegi Program Studi Teknik Mesin Universitas Ibn Khaldun Bogor. Alat yang digunakan yaitu : *preassure gauge, preassure transmitter, pompa, Gas analyzer, Solenoid valve, Expantion joint, Expantion joint, Computer personal*. Dan bahan : *Tube Sheet, Tube, Deeflacting, Baffle, Hopper*. Analisa Eksergi *Air Heater* yaitu menghitung nilai *Hot Steam* dan *Cold Steam*, dilanjut dengan menentukan nilai *Availability Exergy, Availability Work* dan Eksergi *loss*. untuk mengetahui nilai Eksergi *loss* yaitu dengan menjumlahkan terlebih dahulu dari nilai yang sudah dihitung yaitu, nilai *Availability Exergy* dan *Availability Work*. Setelah mengetahui nilai dari *Availability Exergy, Availability Work* dan Eksergi *loss* maka dapat menentukan nilai efisiensi. Nilai keluaran dan masukan pada *Air Heater Hot Stream* sebesar 662,86 kJ/kg, *Cold Stream* sebesar 568,48 kJ/kg, *Availability Exergy* sebesar 101582,96 KW, *Availability Work*  $Ex_{Hout}$  sebesar 44345,33 KW, *vailability Work*  $Ex_C$  sebesar 47927,38 KW, Eksergi *loss* sebesar 9310,25 KW. Dan efisiensi yang didapat yaitu sebesar 79%.

**Kata kunci :** *Air Heater*; analisis eksergi; efisiensi

### ABSTRACT

*Exergy analysis in steam power plants needs to be done to analyze the exergy and provide information to increase the efficient value of the air heater. The research was conducted in the Enegi Lab in the Mechanical Engineering Study Program at the University of Ibn Khaldun Bogor. The tools used are : preassure gauge, preassure transmitter, pompa, Gas analyzer, Solenoid valve, Expantion joint, Expantion joint sealing, Computer personal. Dan bahan : Tube Sheet, Tube, Deeflacting, Baffle, Hopper. Air Heater Exergy Analysis is calculating the value of Hot Steam and Cold Steam, followed by determining the value of Availability Exergy, Availability Work and Exergy loss. To find out the value of exergy loss, that is by adding up in advance the calculated value, namely the availability of Exergy and Availability Work. After knowing the value of Availability Exergy, Availability Work and Exergy loss, it can determine the value of efficiency. Output and input values at Hot Stream Air Heater of 662.86 kJ / kg, Cold Stream of 568.48 kJ / kg, Availability Exergy of 101582,96 KW, Availability Work  $Ex_{Hout}$  of 44345,33 KW, vailability Work  $Ex_C$  of 47927,38 KW, Exergy loss of 9310.25 KW. And the efficiency obtained is 79%.*

**Keywords :** *Air Heater*; exergy analysis; efficiency.

### PENDAHULUAN

Pembangkit Listrik Tenaga Uap adalah jenis pembangkit listrik tenaga *thermal* yang banyak digunakan di Indonesia karena penggunaannya yang praktis dan bahan bakarnya mudah didapat sehingga pembangkit jenis ini menjadi pilihan utama. Pembangkit listrik yang ekonomis dengan menggunakan bahan bakar

fosil kini telah menjadi tantangan terbesar bagi industri pembangkit listrik. Seiring dengan terus meningkatnya harga bahan bakar fosil dikarenakan terbatasnya sumber daya menjadi faktor utama dari peningkatan biaya untuk operasional pembangkit listrik. Maka dari itu perlu dilakukan beberapa hal agar dapat mewujudkan tantangan tersebut (Nasruddin, 2015).

PLTU Bukit Asam merupakan jenis PLTU mulut tambang dengan bahan bakar batu bara. Dimana bahan bakar tersebut masih dalam ruang lingkup sekitar. Sehingga hal ini berdampak baik untuk ketersediaan dan biaya nantinya.

*Air Heater* merupakan komponen yang berfungsi sebagai pemanas udara serta menghilangkan kelembaban udara agar memudahkan proses pembakaran pada *boiler*. Namun pada *Air Heater* terkadang menjadi salah satu faktor penyebab dari ketidakefisienan pada sistem kinerja yang terjadi di PLTU. Maka dari itu analisis eksergi pada pembangkit listrik tenaga uap perlu dilakukan, khususnya pada *Air Heater* harus dilakukan agar dapat menganalisis eksergi serta memberikan informasi untuk meningkatkan nilai efisien pada *Air Heater*. Hal ini dapat diaplikasikan untuk mengidentifikasi sumber ketidakefisienan, menentukan besarnya kerugian eksergi yang terjadi. Seiring dengan hal tersebut, maka pemanfaatan sumber energi seefisien mungkin perlu dilakukan (Aries Karyadi, 2016)

Oleh karena itu, hal tersebut perlu dilakukan untuk mengidentifikasi nilai kerugian pada *Air Heater* agar dapat meningkatkan sistem, sehingga dapat mengembangkan proses atau sistem yang baru pada kinerja *Air Heater* pada PLTU 65 MW.

#### **Air Heater (Pemanas Udara)**

*Air Heater* merupakan komponen yang berfungsi sebagai pemanas udara serta menghilangkan kelembaban udara agar memudahkan proses pembakaran pada *boiler* sampai ke tingkat temperatur tertentu sehingga dapat terjadi pembakaran optimal. Dalam prosesnya, *Air Heater* ini menggunakan gas buang (*Flue Gas*) hasil pembakaran di *Boiler* sebagai sumber panasnya, kemudian mentransfer panas tersebut ke aliran udara melalui elemen pemanas berputar (*Rotating Heat Exchanger*). (Sinaga, 2015)

*Air Heater* secara umum didefinisikan sebagai alat untuk memanaskan udara sebelum digunakan proses selanjutnya (contohnya untuk udara pembakaran di *Boiler*). Tujuan utama dari *Air Heater* adalah menaikkan efisiensi termal dari suatu.

Jenis *Air Heater* yg digunakan yaitu *Air Heater* Turbular. *Air Heater* jenis ini biasanya terdiri dari sejumlah *tube steel*. Baik gas ataupun udara dapat mengalir melalui *tube*. Tubular *Air*

*Heater* terdiri dari tabung-tabung yang di susun sejajar (*Straight Tube Bundles*) melewati saluran *Outlet* dari *Boiler* dan terbuka pada setiap sisi akhir saluran (*Ducting*).

#### **Steam Air Heater**

*Stream Air Heater* berperan untuk meningkatkan efisiensi termal dengan memanfaatkan energi panas dengan gas buang suhu rendah dari ketel uap sebelum dibuang ke atmosfer. Pemanas udara melakukan perpindahan panas antara gas buang dengan *fresh air* (udara segar). Dengan memanfaatkan panas dari pembakaran gas buang pada *boiler*, maka dapat menghemat kebutuhan bahan bakar yang dibutuhkan. (wildan tajudin & teguh hady, 2015)

Untuk menentukan nilai *Hot Stream* pada *Air Heater* yaitu :

$$EX_{H.in} = (h_{H.in} - h_0) - T_0 (s_{H.in} - s_0)$$

$$EX_{H.out} = (h_{H.out} - h_0) - T_0 (s_{H.out} - s_0)$$

Dan untuk menentukan nilai *Cold Stream* pada *Air Heater* yaitu :

$$EX_{C.in} = (h_{C.in} - h_0) - T_0 (s_{C.in} - s_0)$$

$$EX_{C.out} = (h_{C.out} - h_0) - T_0 (s_{C.out} - s_0)$$

#### **Eksergi**

Dalam termodinamika, eksergi suatu sistem adalah kerja bermanfaat maksimum yang dimungkinkan selama proses yang membawa sistem ke dalam keseimbangan dengan reservoir panas, mencapai entropi maksimum. Eksergi adalah potensi suatu sistem untuk menyebabkan perubahan karena mencapai kesetimbangan dengan lingkungannya. Eksergi adalah energi yang tersedia untuk dapat dimanfaatkan. Setelah sistem dan lingkungan mencapai keseimbangan, Eksergi adalah nol. Menentukan eksergi juga merupakan tujuan pertama termodinamika.

Rasio eksergi terhadap energi dalam suatu zat dapat dianggap sebagai ukuran kualitas energi. Bentuk energi seperti energi kinetik, energi listrik, dan energi dapat dipulihkan 100% sebagai pekerjaan, dan karenanya memiliki eksergi yang setara dengan energinya. Namun, bentuk energi seperti radiasi dan energi panas tidak dapat dikonversi sepenuhnya untuk bekerja, dan memiliki kandungan eksergi kurang dari kandungan energinya. Proporsi eksergi yang tepat dalam suatu zat tergantung pada jumlah entropi relatif terhadap lingkungan sekitarnya sebagaimana ditentukan oleh Hukum Kedua Termodinamika.

Eksergi berguna ketika mengukur efisiensi proses konversi energi. Efisiensi, atau Hukum ke-2, efisiensi adalah rasio dari output exergy dibagi dengan input eksergi. Formulasi ini memperhitungkan kualitas energi, seringkali menawarkan analisis yang lebih akurat dan berguna daripada perkiraan efisiensi hanya dengan menggunakan Hukum Pertama Termodinamika.

Eksergi suatu arus/aliran (*stream*) stedi dari suatu zat adalah sama dengan jumlah kerja maksimum yang dapat diperoleh bila arus tersebut dibawa dari keadaan awalnya ke keadaan mati (*dead state*) melalui suatu proses yang mana arus tersebut hanya berinteraksi dengan lingkungan. Jadi eksergi suatu arus adalah sifat dari keadaan arus tersebut dan keadaan lingkungan tersebut. Sekalipun suatu sistem berada dalam kesetimbangan dengan lingkungannya, maka sistem tersebut tidak mungkin lagi untuk menggunakan energi dalam sistem tersebut untuk menghasilkan kerja. Pada kondisi ini, eksergi dari suatu sistem telah dimusnahkan sepenuhnya. Untuk menentukan nilai *Availability Exergy* tersebut yaitu

$$Ex_{H.in} = ex_{H.in} \cdot \dot{m}$$

untuk menentukan nilai *availability Work Hot & Cold* yaitu :

$$Ex_{H.out} = ex_{H.out} \cdot \dot{m}_H$$

$$Ex_C = (Ex_{C.out} - Ex_{C.in}) \cdot \dot{m}_c$$

Untuk menentukan nilai kehilangan eksergi dan efisiensi eksergi selama proses yaitu :

$$Ex_{loss} = Ex_{H.in} - Ex_{H.out} - Ex_C$$

Dan dari nilai *availability* dan nilai kehilangan eksergi, maka untuk menentukan nilai efisiensi :

$$\eta_{EX} = \frac{Ex_{Hin}}{Ex_{loss}} \times 100$$

**METODE PENELITIAN**

**Waktu dan Tempat**

Penelitian ini dilakukan dilab Enegi Program Studi Teknik Mesin Universitas Ibn Khaldun Bogor dan PLTU Bukit Asam. Dimulai pada bulan Oktober 2018 - Agustus 2019

**Alat dan Bahan**

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan alat yang sesuai dengan prosedur pembangkit listrik berbahan bakar batu bara

terutama pada *Air Heater*, berikut alat-alat yang digunakan.

**Alat**

Berikut ini adalah alat yang digunakan dalam penelitian:

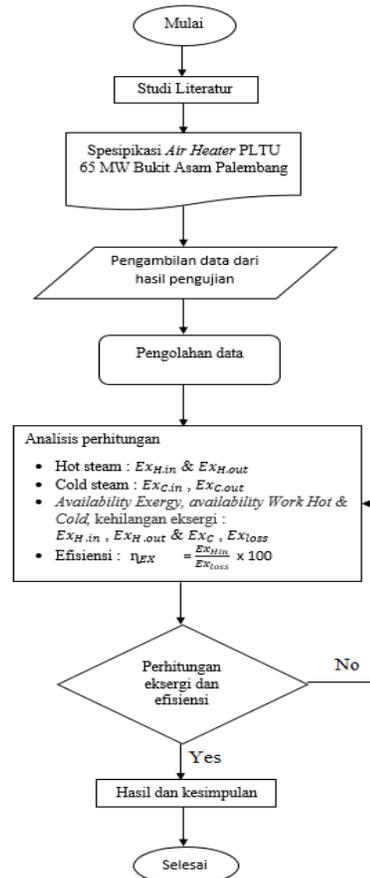
1. *preassure gauge*
2. *preassure transmiter*
3. pompa
4. *Gas analyzer* (Servotough FlugasExact 2700)
5. *Solenoid valve*
6. *Expantion joint (rectangular steel)*
7. *Expantion joint sealing (rectangular)*
8. *Computer personal (desktop)*

**Bahan**

Berikut ini adalah bahan yang digunakan dalam penelitian:

1. *Tube Sheet* (SA-36/SS-400)
2. *Tube* (SA 106 Gr)
3. *Deeflacting* (SA-36/SS-400)
4. *Baffle* (SA-36/SS-400)
5. *Hopper* (SA-36/SS-400)

**Alur Kerja Penelitian**



**Gambar 1.** Diagram alir penelitian

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Data yang dikumpulkan berdasarkan dengan kebutuhan untuk analisis Eksergi, antara lain dibagi menjadi 2 yaitu hot dan cold :

**Tabel 1.** Data entalpi dan entropi temperatur Hot Stream Air Heater

| Waktu (Menit) | Hout / Tgb,out (°C) | hf (kJ/kg) | sf (kJ/kg. °C) | Hin / Tgb,in (°C) | hf (kJ/kg) | sf (kJ/kg. °C) |
|---------------|---------------------|------------|----------------|-------------------|------------|----------------|
| 0             | 185,354             | 785,48     | 2,1881         | 357,701           | 1733,6     | 3,8736         |
| 60            | 184,9               | 782,34     | 2,1828         | 357,701           | 1733,6     | 3,8736         |
| 120           | 184,749             | 780,65     | 2,1781         | 358,588           | 1749,8     | 3,8842         |
| 180           | 185,96              | 787,12     | 2,1894         | 360,36            | 1760,9     | 3,9155         |
| 240           | 185,96              | 787,12     | 2,1894         | 359,621           | 1753,5     | 3,8894         |
| 300           | 186,565             | 792,14     | 2,1898         | 360,655           | 1767,2     | 3,9194         |
| 360           | 185,203             | 781,18     | 2,1823         | 345,72            | 1628,7     | 3,6847         |
| 420           | 183,235             | 776,88     | 2,1624         | 359,474           | 1751,2     | 3,8812         |
| 480           | 187,019             | 788,79     | 2,1965         | 360,065           | 1762,2     | 3,9113         |
| 540           | 188,684             | 802,67     | 2,2046         | 352,232           | 1674,8     | 3,7789         |
| 600           | 190,349             | 807,89     | 2,2364         | 356,44            | 1692,5     | 3,8023         |
| 660           | 195,796             | 830,12     | 2,2849         | 361,984           | 1772,6     | 3,9182         |
| 720           | 198,973             | 841,33     | 2,3042         | 362,427           | 1779,8     | 3,9198         |
| 780           | 195,039             | 829,18     | 2,2826         | 362,427           | 1779,8     | 3,9198         |
| 840           | 194,586             | 828,34     | 2,2803         | 363,903           | 1783,9     | 3,9234         |

**Tabel 2.** Data entalpi dan entropi temperatur Hot Stream Air Heater

| Waktu (Menit) | Tout / Tfa,out (°C) | hf (kJ/kg) | sf (kJ/kg. °C) | Tin / Tfa,in (°C) | hf (kJ/kg) | sf (kJ/kg. °C) |
|---------------|---------------------|------------|----------------|-------------------|------------|----------------|
| 0             | 189,441             | 805,13     | 2,2306         | 35,523            | 151,24     | 0,5088         |
| 60            | 189,441             | 805,13     | 2,2306         | 35,167            | 150,18     | 0,5052         |
| 120           | 189,743             | 806,11     | 2,2257         | 34,99             | 148,19     | 0,5004         |
| 180           | 190,046             | 807,72     | 2,2368         | 35,167            | 150,18     | 0,5052         |
| 240           | 190,197             | 807,88     | 2,2379         | 35,108            | 150,02     | 0,5029         |
| 300           | 190,803             | 807,97     | 2,2396         | 35,7              | 156,87     | 0,5097         |
| 360           | 212,882             | 907,56     | 2,4463         | 36,056            | 157,92     | 0,5109         |
| 420           | 206,836             | 886,28     | 2,3965         | 35,76             | 156,98     | 0,5102         |
| 480           | 170,365             | 725,65     | 2,0548         | 36,708            | 156,56     | 0,5099         |
| 540           | 153,557             | 641,77     | 1,8644         | 37,043            | 159,22     | 0,5169         |
| 600           | 136,755             | 569,28     | 1,6897         | 36,411            | 156,08     | 0,5067         |
| 660           | 149,772             | 630,82     | 1,7048         | 36,648            | 156,21     | 0,5078         |
| 720           | 150,832             | 633,24     | 1,8423         | 37,004            | 159,12     | 0,5151         |
| 780           | 158,1               | 669,203    | 1,9267         | 36,945            | 159,01     | 0,5142         |
| 840           | 157,342             | 663,25     | 1,9218         | 36,885            | 158,91     | 0,5134         |

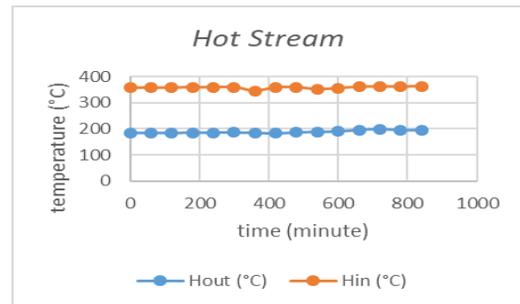
Dari data diatas dapat diketahui nilai dari setiap keluaran dan masukan pada Air Heater. Dimana nilai data diatas sudah diketahui untuk Entalpi dan Entropi. Dimana nilai tersebut digunakan untuk perhitungan analisa Eksergi

Dan pada tabel berikutnya yaitu tabel adalah data nilai rata rata untuk tabel sebelumnya yaitu tabel 1 dan tabel 2

**Tabel 3.** Nilai rata-rata

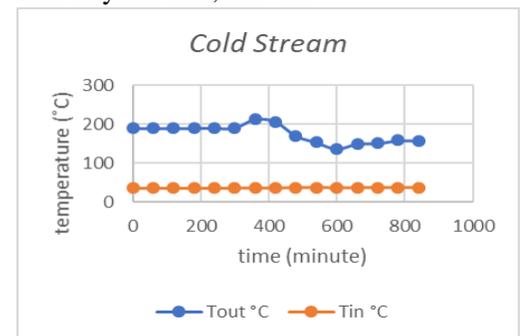
| Description   | Temperature (°C) | Enthalphy hf (kJ/kg) | Entropi sf (kJ/kg. °C) |
|---------------|------------------|----------------------|------------------------|
| Hin/Tgb, in   | 358,61           | 1747,9               | 3,895                  |
| Hout/Tgb, out | 188,82           | 802,2                | 2,224                  |
| Tout/Tfa,out  | 175,74           | 741,1                | 2                      |
| Tin/Tfa,in    | 36,07            | 150,8                | 0,519                  |
| T0            | 30               | 125,7                | 0,436                  |

**Grafik temperatur terhadap waktu Hot Stream dan Cold Stream Air Heater**



**Gambar 2.** Hot stream temperatur terhadap waktu

Berdasarkan tabel diatas temperatur terhadap waktu dari menit 0 sampai dengan menit 840. Dimana nilai Hout terendah berada dimenit 420 yaitu 183,235 °C dan nilai tertinggi ada yaitu pada menit 720 yaitu 198,973 °C. Dan untuk nilai Hin terendah yaitu pada menit 360 yaitu 345,72 °C, dan nilai tertinggi ada pada menit 840 yaitu 363,903 °C.



**Gambar 3.** Cold Stream temperatur terhadap waktu

Berdasarkan tabel diatas temperatur terhadap waktu dari menit 0 sampai dengan menit 840. Dimana nilai Tout terendah berada dimenit 600 yaitu 136,755 °C dan nilai tertinggi ada yaitu pada menit 360 yaitu 212,882 °C. Dan untuk nilai Tin terendah yaitu pada menit 120 yaitu 34,99 °C, dan nilai tertinggi ada pada menit 540 yaitu 37,043 °C.

**Analisis Eksergi pada Air Heater 65 MW**

Untuk langkah pertama pada analisa Eksergi yaitu menghitung nilai Hot Steam dan Cold Steam.

$$Ex_{Hin} = (h_{H.in} - h_0) - T_0 (s_{H.in} - s_0)$$

$$Ex_{Cin} = (h_{C.in} - h_0) - T_0 (s_{C.in} - s_0)$$

Hot Stream (gas buang)

$$Ex_{Hin} = (h_{H.in} - h_0) - T_0 (s_{H.in} - s_0)$$

$$= (1747,9 - 125,7) - 30 (3,895 - 0,436)$$

$$= 1518,43 \text{ kJ/kg}$$

$$Ex_{Hout} = (h_{H.out} - h_0) - T_0 (s_{H.out} - s_0)$$

$$= (802,2 - 125,7) - 30 (2,224 - 0,436)$$

$$= 662,86 \text{ kJ/kg}$$

Cold Stream (Fresh Air)

$$Ex_{Cin} = (h_{C.in} - h_0) - T_0 (s_{C.in} - s_0)$$

$$= (150,8 - 125,7) - 30 (0,519 - 0,436)$$

$$= 22,61 \text{ kJ/kg}$$

$$Ex_{Cout} = (h_{C.out} - h_0) - T_0 (s_{C.out} - s_0)$$

$$= (741,1 - 125,7) - 30 (2,0 - 0,436)$$

$$= 568,48 \text{ kJ/kg}$$

Hasil perhitungan awal pada Hot Stream dan Cold Stream yaitu :

Dimana nilai keluaran dan masukan pada Air Heater Hot Stream sebesar 662,86 kJ/kg dan Cold Stream sebesar 568,48 kJ/kg.

Dan selanjutnya yaitu dengan menentukan nilai Availability Exergy, Availability Work dan Availability Exergy

$$Ex_{Hin} = ex_{H.in} \cdot \dot{m}_H$$

$$= 1518,43 \cdot 105,5$$

$$= 160194,5 \text{ kW}$$

Availability Work

$$Ex_{Hout} = ex_{H.out} \cdot \dot{m}_H$$

$$= 662,86 \cdot 105,5$$

$$= 69931,73 \text{ kW}$$

$$Ex_C = (Ex_{C.out} - Ex_{C.in}) \cdot \dot{m}_C$$

$$= (568,48 - 22,61) \cdot 87,8$$

$$= 47927,38 \text{ kW}$$

Maka hasil perhitungan diatas,dimana nilai pada Availability Exergy sebesar 160194,5 kW, Availability Work  $Ex_{Hout}$  sebesar 69931,73 kW dan availability Work  $Ex_C$  sebesar 47927,38 kW

Dan untuk mengetahui nilai Eksergi loss yaitu dengan menjumlahkan terlebih dahulu dari nilai yang sudah dihitung yaitu, nilai Availability Exergy dan Availability Work.

$$Ex_{loss} = Ex_{H.in} - Ex_{H.out} - Ex_C$$

$$= 160194,5 - 69931,73 - 47927,38$$

$$= 42335,39 \text{ kW}$$

Dan dari hasil perhitungan diatas maka, nilai Eksergi loss yaitu sebesar 42335,39 kW

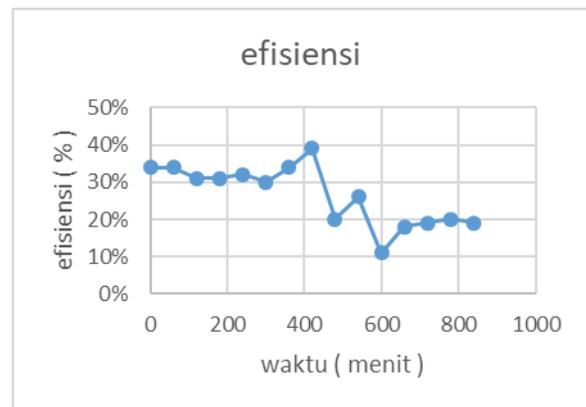
**Efisiensi Eksergi**

Setelah mengetahui nilai dari Availability Exergy, Availability Work dan Eksergi loss maka dapat menentukan nilai efisiensi.

$$\eta_{EX} = \frac{\text{availability work} - \text{lost work}}{\text{availability work}} \times 100$$

$$= \frac{69931,73 - 42335,39}{69931,73} \times 100 \%$$

$$= 39 \%$$



**Gambar 4.** Efisiensi terhadap waktu

Secara umum, semakin tinggi temperatur lingkungan dan temperatur masukan pada Hin dari Boiler, maka terjadi peningkatan efisiensi. Dengan perbedaan temperatur lingkungan dan inlet Boiler, maka efisiensi pada Air Heater mengalami perubahan. Efisiensi paling rendah sebesar 37% yaitu pada menit 600, sedangkan nilai efisiensi tertinggi yaitu 93% yaitu pada menit 420. Sedangkan untuk nilai rata rata untuk

efisiensi yaitu sebesar 79%. Efisiensi pada air *Air Heater* cenderung menurun dikarenakan penurunan faktor lingkungan dan kualitas energi yang terpakai.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Nilai besar kerja maksimal / energi yang dihasilkan pada air heater :
  - Nilai/besaran *Hot Stream* pada Air Heater. Nilai yang masuk sebesar 1518,43 kJ/kg dan nilai yang keluar sebesar 662,86 kJ/kg
  - Nilai/besaran *Cold Stream* pada Air Heater. Nilai yang masuk sebesar 22,61 kJ/kg dan nilai yang keluar sebesar 568,48 kJ/kg
  - Nilai/besaran *Availability Exergy* sebesar 160194,5 kW, *Availability Work*  $EX_{Hout}$  sebesar 69931,73 kW dan  $EX_C$  sebesar 47927,38 kW
  - Nilai/besaran Eksergi *loss* sebesar 42335,39 kW
2. Dan nilai/besaran efisiensi yang dihasilkan pada *Air Heater* yaitu sebesar 39 %

### Saran

Adapun saran yang dapat penulis sampaikan untuk penelitian pada *air heater* selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan pengecekan pada instrumen *Air Heater* yang telah berlangsung cukup lama, dikarenakan hal ini berpengaruh pada kinerja *tube* dan *tube sheet* yang menyebabkan efisiensi pada *Air Heater* menurun.
2. Jangka waktu untuk pergantian komponen pada *Air Heater* lebih dipercepat.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aries Karyadi, C. R. (2016). *Analisa Energi Dan Eksergi Pembangkit Listrik Tenaga Uap*. 1–9.
- Cangel Yunus A. And Michael A. Boles. (2002) *“Thermodynamics and Engineering Approach”* Third Edition. McGraw-Hill Inc

- Heri, J. (2015). *Analisis perhitungan efisiensi gas air heater di pltu cirebon*.
- Hilga, J. N., Denny, M. S., & Haryanto, R. (2014). *PENGARUH PERUBAHAN BEBAN TERHADAP SISTEM UAP EKSTRAKSI PADA DEAERATOR PLTU TANJUNG JATI B UNIT 2*. 10(3), 94–98.
- Nasruddin, P. S. (2015). *Analisa Energi , Exergi dan Optimasi pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap Super Kritis 660 MW*. 7–8.
- PLTU Bukit Asam Palembang. (2017). *Air heater unit 3 & 4 pltu bukit asam*.
- Sinaga, R. D. (2015). *Analisa Pemakaian Air Heater Terhadap Peningkatan Efisiensi Boiler Unit 3 PLTU PT. PLN (Persero) Sektor Belawan*.
- Ulum, Bahrul, Nurrohman, Ambrita, E, Gaos, Y. (2017). *Energy and Exergy Analysis of Mount Salak Geothermal Power Plant Unit 1-2-3*.
- Wildan tajudin & teguh hady. (2015). *Evaluasi Kinerja Rotary Air Preheater dengan Metode  $\epsilon$ -NTU pada Pengaruh Sudut Seal*. 14–17.