

## ANALISIS PERPINDAHAN PANAS PADA *EKONOMISER* DI PLTU PULANG PISAU

Syahrul Fajar Setiawan<sup>1)</sup>, Aqli Mursadin<sup>2)</sup>

<sup>1,2</sup>Program Studi Teknik Mesin

Fakultas Teknik Universitas Lambung Mangkurat

Jl. Akhmad Yani Km.36 Banjarbaru, Kalimantan Selatan, 70714

E-mail: Syahrulsetiawan056@gmail.com

### Abstract

Economizer is a tool used to heat feed water before entering boiler by utilizing heat from the combustion gas in the boiler. With the increasing temperature of boiler filler water, it is also expected to increase boiler efficiency. In this study, data collection was carried out in the control room and the data that was taken,  $T_{c,i}$  (the temperature of the incoming water economizer),  $T_{c,o}$  (the exit water temperature of the economizer),  $T_{h,i}$  (flue gas temperature before entering economizer) and  $T_{h,o}$  (flue gas temperature exit the economizer). High heat transfer coefficient 4260,492 Btu/h.ft<sup>2</sup>.°F and low heat transfer coefficient 4251,243 Btu/h.ft<sup>2</sup>.°F. Highest the efficiency 87,43 % and the lowest 80,76 %.

**Keywords:** Economizer, Heat Transfer, Efficiency

### Abstrak

Ekonomiser adalah alat yang digunakan untuk memanaskan air umpan sebelum memasuki boiler dengan memanfaatkan panas dari gas pembakaran di boiler. Dengan meningkatnya suhu air pengisi boiler, juga diharapkan meningkatkan efisiensi boiler. Dalam penelitian ini, pengumpulan data dilakukan di ruang kontrol dan data yang diambil, yaitu  $T_{c,i}$  (suhu economizer air yang masuk),  $T_{c,o}$  (suhu air keluar dari economizer),  $T_{h,i}$  (suhu gas buang sebelum memasuki economizer) dan  $T_{h,o}$  (suhu gas asap keluar dari economizer). Koefisien perpindahan panas tertinggi 4260.492 Btu / h.ft<sup>2</sup>. ° F dan koefisien perpindahan panas terendah 4251.243 Btu / h.ft<sup>2</sup>. ° F. Efisiensi tertinggi 87,43% dan terendah 80,76%.

**Kata kunci:** Ekonomiser, Perpindahan Panas, Efisiensi

### PENDAHULUAN

Energi yang paling dibutuhkan manusia untuk menunjang kehidupan salah satunya adalah energi listrik. Manusia membutuhkan energi listrik untuk kepentingan rumah tangga, industri serta untuk menunjang sarana prasarana yang lainnya. Kebutuhan hidup manusia semakin lama semakin meningkat, peningkatan kebutuhan manusia juga diikuti dengan kebutuhan energi yang juga semakin meningkat. Energi listrik yang besar serta penggunaannya yang terus menerus tidak dapat tersedia secara alami. Oleh sebab itu dibutuhkan pembangkit listrik yang handal (Supriyo 2015).

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) merupakan pembangkit listrik dengan bahan bakar batubara yang memanfaatkan fluida kerja berupa uap (*steam*) untuk menggerakkan turbin yang bertindak sebagai penggerak mula yang

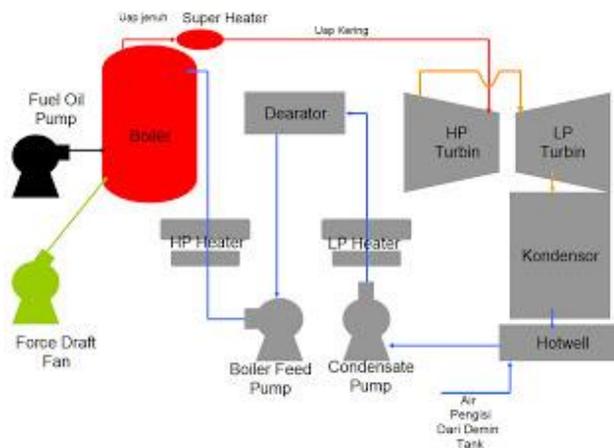
kemudian turbin akan memutar *rotor generator* untuk menghasilkan listrik. Dalam proses produksi listrik, banyak terjadi proses konversi energi. Proses konversi energi sendiri merupakan proses perubahan energi berdasarkan perubahan bentuk dan sifatnya. Berawal dari energi kimia yang terdapat pada barubara yang dikonversi menjadi energi kalor dalam proses pembakaran. Kemudian dikonversi lagi menjadi energi kinetik berupa aliran uap (*steam*), selanjutnya dikonversi menjadi energi mekanik melalui putaran turbin dan pada proses akhirnya energi mekanik tersebut dikonversikan menjadi energi listrik melalui generator (Supriyo 2015). PLTU Pulang Pisau memiliki kapasitas  $2 \times 60$  MW, digunakan untuk mengalirkan listrik untuk wilayah Kalimantan Tengah.

*Ekonomiser* merupakan suatu alat pemindah panas berbentuk tubular yang fungsinya untuk memanaskan air umpan boiler sebelum masuk kedalam steam drum. Istilah *ekonomiser* diambil dari fungsinya alat tersebut, yaitu untuk menghemat (*to economize*) pemakaian bahan bakar dengan memanfaatkan panas (*recovery*) gas buang sebelum dibuang ke atmosfer (Akbar 2009). Gas buang yang temperaturnya cukup tinggi tidak dibuang begitu saja, tetapi digunakan untuk memanaskan air sebelum air tersebut dipanaskan didalam boiler. Dengan dipanaskannya air di ekonomiser menyebabkan temperatur air yang masuk kedalam boiler sudah cukup tinggi, sehingga dapat mengurangi pemakaian bahan bakar.

### Pembangkit Listrik Tenaga Uap

Dalam PLTU, energi primer yang dikonversikan menjadi energi listrik adalah bahan bakar. Bahan bakar yang digunakan dapat berupa batubara (padat), minyak (cair), atau gas. Ada kalanya PLTU menggunakan kombinasi beberapa macam bahan bakar (Muslim 2008).

Konversi energi tingkat pertama yang berlangsung dalam PLTU adalah konversi energi primer menjadi energi panas (kalor). Hal ini dilakukan dalam ruang bakar dari ketel uap PLTU. Energi panas ini kemudian dipindahkan ke dalam air yang ada dalam pipa ketel untuk menghasilkan uap yang dikumpulkan dalam drum dari ketel. Uap dari drum ketel dialirkan ke turbin uap. Dalam turbin uap, energi uap dikonversikan menjadi energi mekanis penggerak generator, dan akhirnya energi mekanik dari turbin uap ini dikonversikan menjadi energi listrik oleh generator (Muslim 2008). Secara umum siklus PLTU dapat dilihat seperti Gambar 1.

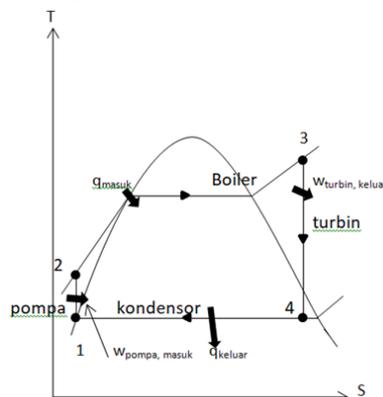


Gambar 1. Siklus PLTU

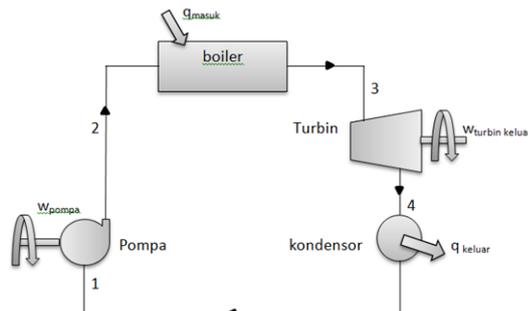
Pertama air dingin yang berada pada *hotwell* menuju *condensate pump* untuk dipompakan menuju ke LP Heater (*Low Pressure Heater*), didalam LP Heater ini air dipanaskan tahap pertama dengan memanfaatkan uap dari ekstraksi turbin. Setelah dari LP Heater air menuju *Dearator*, di *dearator* ini air akan melepaskan ion-ion mineral kemungkinan masih terkandung dalam air yang tidak diperlukan seperti oksigen dan lain-lain. Selanjutnya air menuju *boiler feed pump* untuk dipompakan menuju keboiler, air yang dipompakan melalui *boiler fee pump* tersebut menjadi bertekanan tinggi. Sebelum air menuju keboiler, air tersebut melewati HP Heater (*High Pressure Heater*) terlebih dahulu, didalam HP Heater ini juga dilakukan pemanasan air. Setelah melewati HP Heater air tersebut juga melewati *ekonomiser*, di *ekonomiser* ini air juga dipanaskan dengan memanfaatkan gas buang sisa pembakaran didalam boiler. Didalam boiler air dipanaskan hingga menjadi uap. Tetapi uap dari pemanasan diboiler tersebut masih berupa uap jenuh, setelah melewati *super heater* barulah uap jenuh tersebut berubah menjadi uap kering. Uap kering inilah yang digunakan untuk memutar turbin. Uap yang telah selesai digunakan untuk memutar turbin kemudian didinginkan di kondensor, didalam kondensor ini uap mengalami proses kondensasi sehingga uap tersebut berubah menjadi air lagi dan masuk kedalam *hotwell*.

### Siklus Rankine

Siklus yang dipakai pada PLTU merupakan siklus rankine, ciri-ciri utama siklus rankine yaitu fluida yang digunakan berupa air. Siklus rankine merupakan siklus ideal untuk pembangkit tenaga uap. Pada siklus rankine sederhana terdapat 4 proses, dapat dilihat pada Gambar 2 dan Gambar 3.



Gambar 2. Siklus Rankine

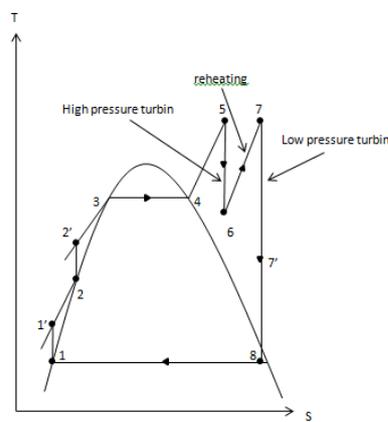


Gambar 3. Siklus Rankine

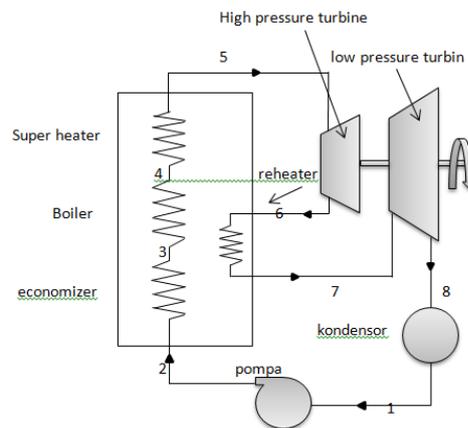
- 1-2 Fluida dalam bentuk air dipompa dari tekanan rendah hingga menjadi tekanan tinggi.
- 2-3 Fluida air tekanan tinggi masuk ke dalam boiler, kemudian air dipanaskan hingga menjadi uap.
- 3-4 Uap dari boiler digunakan untuk memutar turbin.
- 4-1 Setelah uap keluar dari turbin, uap tersebut masuk kedalam kondensor dan berubah menjadi cair kembali.

### Siklus Rankine Reheat Ideal

Dalam siklus rankine reheat ideal melakukan 2 proses *ekspansi*, *ekspansi* yang pertama pada HPH (*High Pressure Turbin*) kemudian ekspansi kedua pada LPH (*Low Pressure Turbin*). Proses siklus rankine reheat ideal dapat dilihat pada Gambar 4 dan Gambar 5.



Gambar 4. Siklus Rankine Reheat Ideal



Gambar 5. Siklus Rankine Reheat Ideal

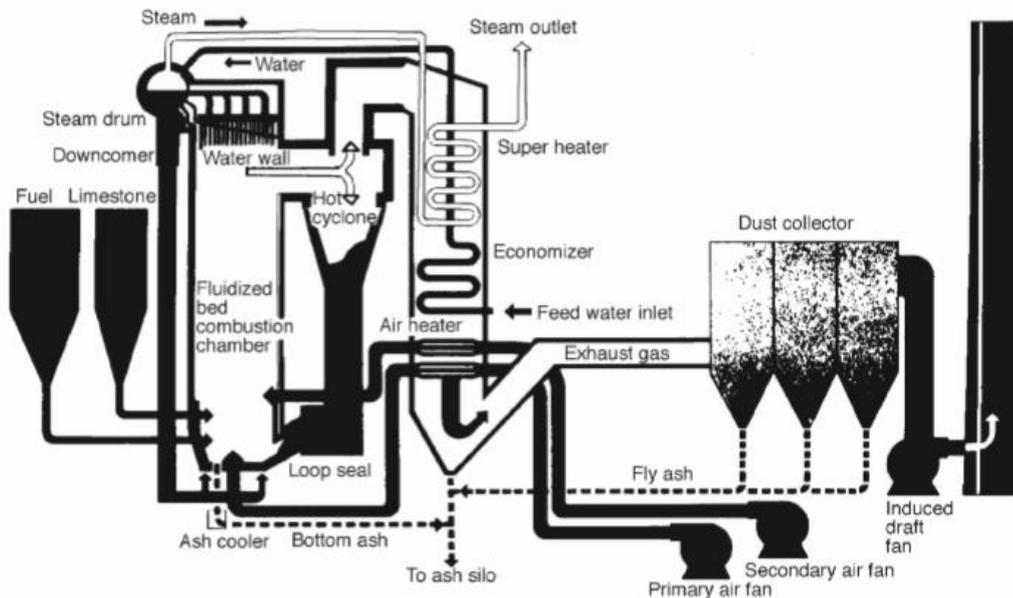
- 1 – 1' Terjadi kenaikan tekanan pada air, menggunakan *condensate extraction pump*.
- 1' – 2 Terdapat proses pemanasan air pada *low pressure heater*.
- 2 – 2' Air dipompa dengan *boiler feed pump* sehingga tekanan naik.
- 2' – 3 Proses pemanasan air pada *high pressure heater* dan *ekonomiser*.
- 3 – 4 Terjadi proses pemanasan air didalam boiler hingga menjadi uap.
- 4 – 5 Pemanasan uap sehingga akan menjadi uap kering pada *superheater*.
- 5 – 6 *Ekspansi* uap pada *high pressure turbine*.

- 6 – 7 Uap keluaran dari *high pressure turbine* dipanaskan kembali didalam *reheater*.
- 7 – 7' *Ekspansi* uap yang keluar dari *reheater* di dalam *intermediate pressure turbine*.
- 7' – 8 *Ekspansi* uap di dalam *low pressure turbine*.
- 8 – 1 Uap didinginkan didalam kondensor sehingga berubah kembali menjadi air.

**Boiler**

Boiler adalah bejana tertutup dimana panas pembakaran dialirkan ke air sampai terbentuk air panas atau steam. Air panas atau steam pada tekanan tertentu kemudian digunakan untuk mengalirkan panas ke suatu proses. Air adalah media yang berguna dan murah untuk mengalirkan panas ke suatu proses. Jika air dididihkan sampai menjadi steam, volumenya akan meningkat sekitar 1.600 kali, menghasilkan tenaga yang menyerupai bubuk mesiu yang mudah meledak (UNEP, 2006).

Boiler terdiri atas beberapa sistem: 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. Sistem steam untuk mengumpulkan dan mengontrol produksi steam didalam boiler. Steam dialirkan melalui sistem pemipaan ketitik pengguna. Sistem bahan bakar merupakan semua peralatan yang digunakan untuk menyediakan bahan bakar untuk menghasilkan panas yang dibutuhkan (UNEP, 2006).



Gambar 6. Boiler

***Ekonomiser***

*Ekonomiser* merupakan alat yang digunakan sebagai pemanas air umpan (*feed water*) sebelum air tersebut menuju boiler, yang memanfaatkan panas dari gas buang sisa pembakaran pada boiler. Dengan meningkatnya temperatur air keluar dari *ekonomiser* maka temperatur air pada steam drum juga akan tinggi.

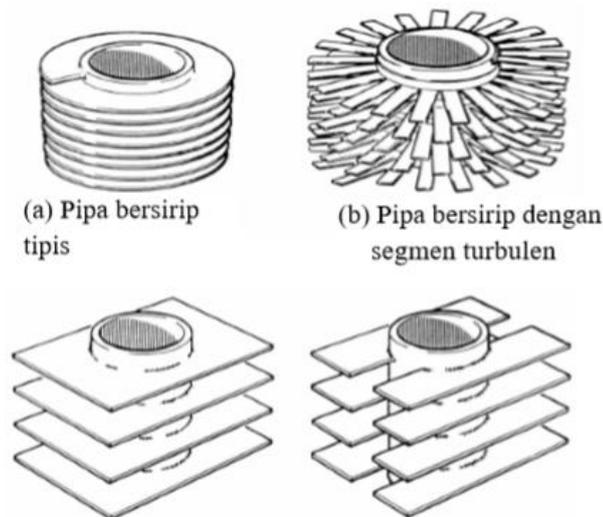
Penggunaan ekonomiser pada boiler ini diharapkan dapat menaikkan efisiensi pada boiler. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Murni (2011), yang berjudul “Menaikkan Efisiensi Boiler Dengan Memanfaatkan Gas Buang Untuk Pemanas *Ekonomiser*”. Boiler dengan menggunakan *ekonomiser* sebagai pemanas air dapat menaikkan efisiensi boiler tersebut. Efisiensi pada boiler ini naik sekitar 1,7 %. Bila efisiensi ini dikalikan dengan pemakaian bahan bakar rata-rata dan harga bahan bakar batu bara, dapat menghemat pemakaian bahan bakar selama satu bulan.



Gambar 7. *Ekonomiser*

### **Model Pipa *Ekonomiser***

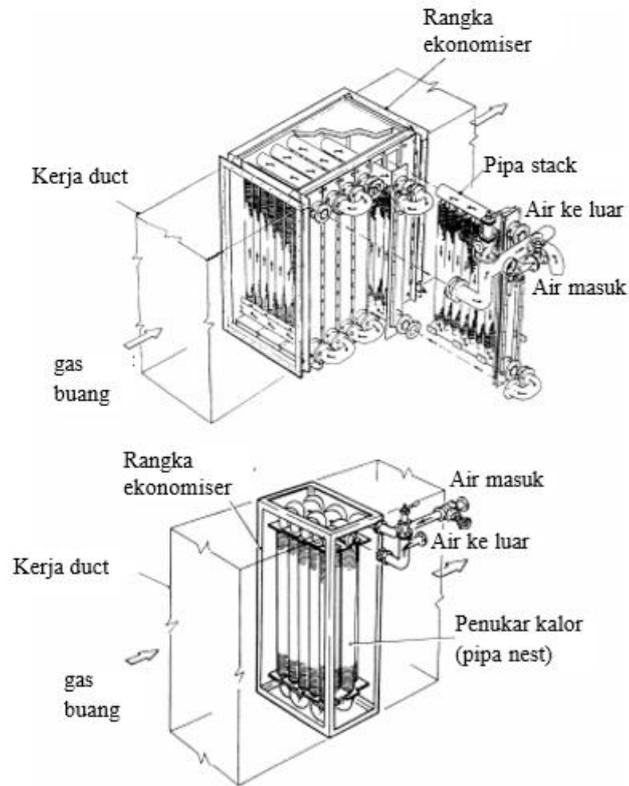
Pada pipa ekonomiser terdapat beberapa model yang dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Model pipa pada *ekonomiser*

### Konstruksi *Ekonomiser*

Dapat dilihat pada Gambar 9 merupakan konstruksi pada ekonomiser.



Gambar 9. Konstruksi *ekonomiser*

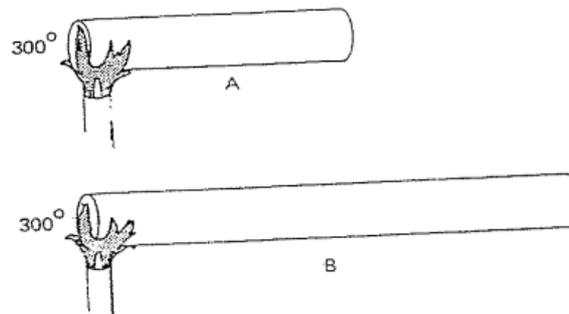
### Perpindahan Panas (*Heat Transfer*)

*Heat transfer* atau perpindahan panas merupakan ilmu yang mempelajari tentang cara menghasilkan panas, menggunakan panas dan mengubah panas pada suatu sistem.

Menurut (Buchori, 2004) perpindahan panas terjadi menurut 3 mekanisme yaitu:

1. Perpindahan panas konduksi

Perpindahan panas konduksi merupakan proses perpindahan panas yang temperaturnya mengalir dari tempat yang temperatur tinggi ke temperatur yang lebih rendah, tetapi media untuk perpindahan panasnya tetap.



Gambar 10. Perpindahan Panas Konduksi Pada Bahan Dengan Panjang Yang Berbeda

2. Perpindahan panas konveksi

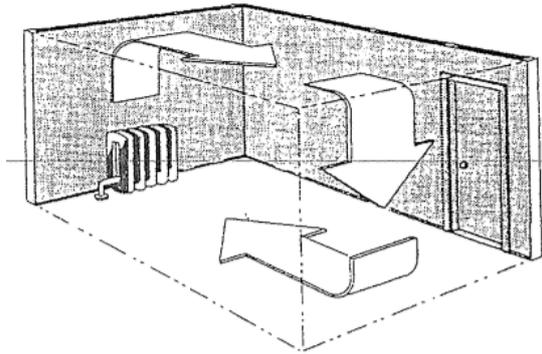
Perpindahan panas konveksi adalah perpindahan panas di mana cair atau gas yang mengalir dari temperatur tinggi ke temperatur yang rendah. Perpindahan panas konveksi ini terjadi antara permukaan padat dengan fluida yang mengalir disekitarnya. Perpindahan panas secara konveksi terjadi melalui 2 cara, yaitu.

a. Konveksi bebas

Perpindahan panas secara konveksi bebas disebabkan oleh beda suhu dan beda rapat saja dan tidak ada tenaga dari luar yang mendorongnya.

b. Konveksi paksa

Perpindahan panas secara konveksi paksa yaitu ketika perpindahan panas yang aliran gas atau cairannya disebabkan adanya tenaga dari luar.



Gambar 11. Ruangan dengan Sumber Panas pada Salah Satu Sudutnya

3. Perpindahan panas radiasi

Perpindahan panas radiasi merupakan perpindahan panas yang terjadi karena pancaran sinar radiasi gelombang *elektromagnetik*. Jadi perpindahan panas radiasi tidak memerlukan media, sehingga perpindahan panas bisa saja berlangsung dalam ruangan hampa udara.

**Analisis Perpindahan Panas**

Menentukan bilangan *Reynold*

Bilangan *reynold* dapat dicari dengan menggunakan rumus dibawah ini.

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot d}{\mu} \quad (1)$$

Di mana:

$\rho$  = densitas fluida ( $\text{kg/m}^3$ )

$v$  = kecepatan aliran fluida ( $\text{m/s}$ )

$d$  = diameter pipa ( $\text{m}$ )

$\mu$  = viskosita fluida ( $\text{kg/m.s}$ )

Menentukan bilangan *prandtl*

Bilangan *prandtl* dapat dicari menggunakan aplikasi *steam tab* atau dengan rumus rumus seperti dibawah ini.

$$Pr = \frac{\mu \cdot Cp}{k} \quad (2)$$

Di mana:

$\mu$  = viskositas kinematik ( $m^2/s$ )

$Cp$  = kalor spesifik fluida ( $kJ/kg \cdot ^\circ K$ )

$K$  = konduktivitas termal ( $W/m \cdot ^\circ K$ )

Menentukan bilangan *nusselt*

Bilangan nusselt dapat dicari dengan menggunakan rumus dibawah ini.

$$Nu = 0.023 \cdot Re^{4/5} \cdot Pr^n \quad (3)$$

Di mana:

$Re$  = Bilangan *Reynold*

$n = 0.4$  untuk memanaskan fluida

$n = 0.3$  untuk mendinginkan fluida

Menentukan koefisien perpindahan panas

Koefisien perpindahan panas dapat dicari dengan menggunakan rumus dibawah ini.

$$h = Nu \frac{k}{d} \quad (4)$$

Di mana:

$h$  = koefisien perpindahan panas ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ )

$Nu$  = bilangan *nusselt*

$K$  = konduktivitas termal ( $W/m \cdot ^\circ K$ )

Menentukan *Log Mean Temperture Difference* (LMTD)

*Log Mean Temperature Difference* dapat dicari dengan menggunakan rumus dibawah ini.

$$LMTD = \frac{(T_{h,i} - T_{c,o}) - (T_{h,o} - T_{c,i})}{\ln \frac{(T_{h,i} - T_{c,o})}{(T_{h,o} - T_{c,i})}} \quad (5)$$

Di mana:

$T_{c,i}$  = temperatur air masuk *ekonomiser*

$T_{c,o}$  = temperatur air keluar *ekonomiser*

$T_{h,i}$  = temperatur gas buang masuk *ekonomiser*

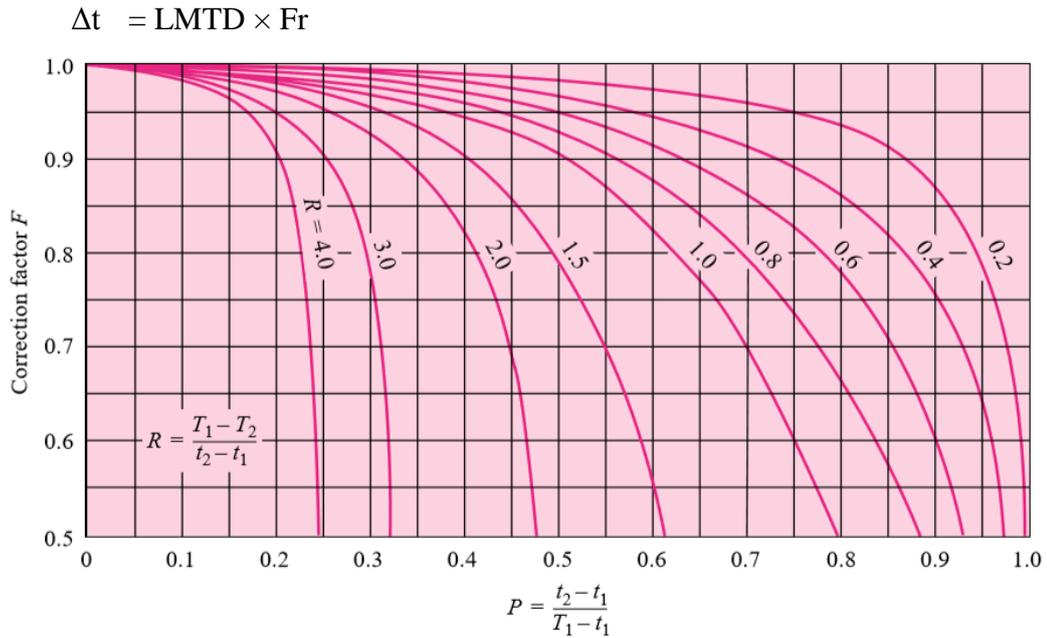
$T_{h,o}$  = temperatur gas buang keluar *ekonomiser*

Faktor koreksi untuk LMTD

$$R = \frac{T_{h,i} - T_{h,o}}{T_{c,o} - T_{c,i}}$$

$$P = \frac{T_{c,o} - T_{c,i}}{T_{h,i} - T_{c,i}}$$

Dari grafik faktor koreksi antara hubungan R dan P akan didapatkan nilai Fr.



Gambar 12. Grafik faktor koreksi untuk LMTD

Menentukan Efisiensi pada *Ekonomiser*

Efisiensi pada ekonomiser dapat dicari dengan menggunakan rumus dibawah ini.

$$\eta = \frac{T_{h,i} - T_{h,o}}{T_{h,i} - T_{c,i}} \quad (6)$$

di mana:

$T_{h,i}$  = temperatur gas buang masuk *ekonomiser*

$T_{h,o}$  = temperatur gas buang keluar *ekonomiser*

$T_{c,i}$  = temperatur air masuk *ekonomiser*

## METODE PENELITIAN

### 1. Metodologi Pengumpulan Data

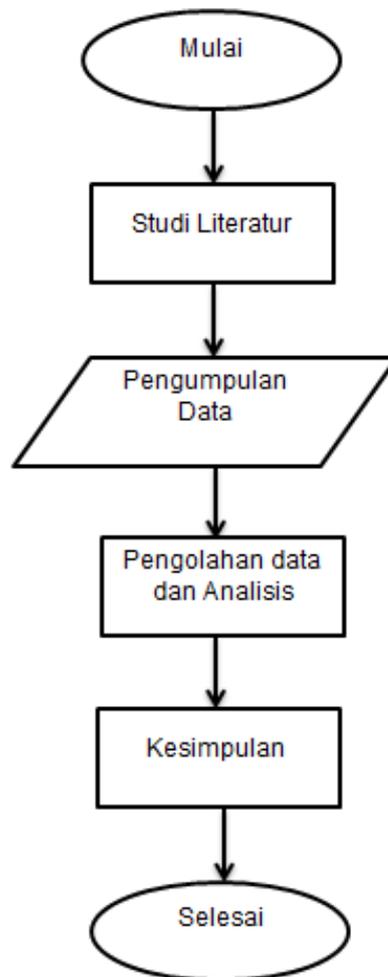
Pengumpulan data data didapatkan di komputer kontrol PLTU yang tempatnya di CCR dan data yang diperoleh yaitu,  $T_{c,i}$  = temperatur air masuk *ekonomiser*,  $T_{c,o}$  = temperatur air keluar *ekonomiser*,  $T_{h,i}$  = temperatur gas buang masuk *ekonomiser* dan  $T_{h,o}$  = temperatur gas buang keluar *ekonomiser*.

### 2. Metodologi Pengolahan Data

Metode pengolahan data dalam penelitian ini yaitu, data yang didapat kemudian dihitung secara manual dengan menggunakan rumus-rumus.

3. Digram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Diagram Alir Penelitian

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

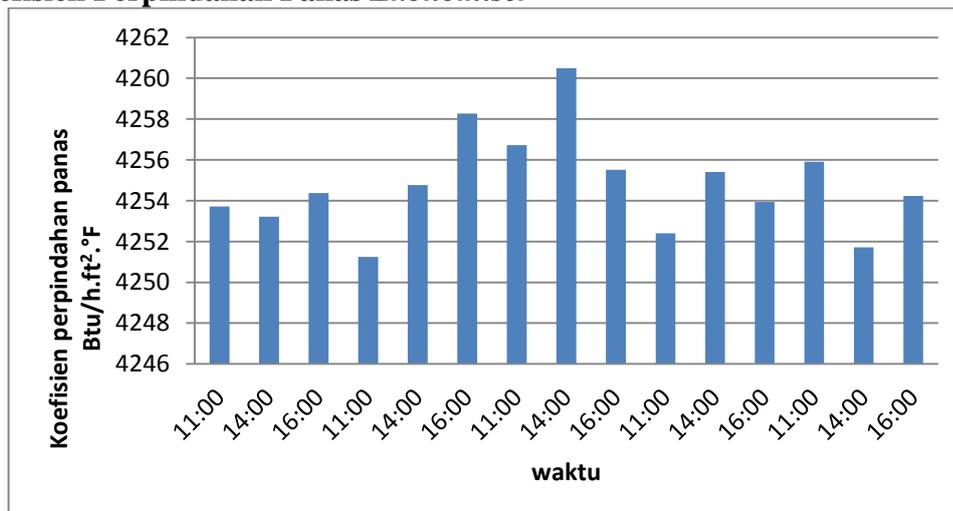
Berdasarkan perhitungan yang dilakukan sesuai dengan metodologi penelitian, maka didapatkan hasil sebagai berikut:

**Temperatur Ekonomiser**

Tabel 1. Data temperatur air dan gas buang

hari	jam	$T_{c,i}$	$T_{c,o}$	$T_{h,i}$	$T_{h,o}$
Senin 30 april 2018	11.00	193	283,5	453	242,5
	14.00	191	286	453,5	241,5
	16.00	193	289	460	240
Selasa 1 mei 2018	11.00	194	279	463,5	242
	14.00	194	284,5	461,5	243
	16.00	193	298	463,5	242,5
Rabu 2 mei 2018	11.00	193,9	289,5	456,65	242,5
	14.00	193,3	302,2	456,75	242,4
	16.00	192	292	456,5	242
Kamis 3 mei 2018	11.00	191,4	284	449,8	236,5
	14.00	192,2	287,5	448,5	236,05
	16.00	192,7	2885	450,5	225
Jum'at 4 mei 2018	11.00	191,5	291,15	488,9	235,75
	14.00	191,4	281,95	447,4	235,5
	16.00	193	283	450,5	236

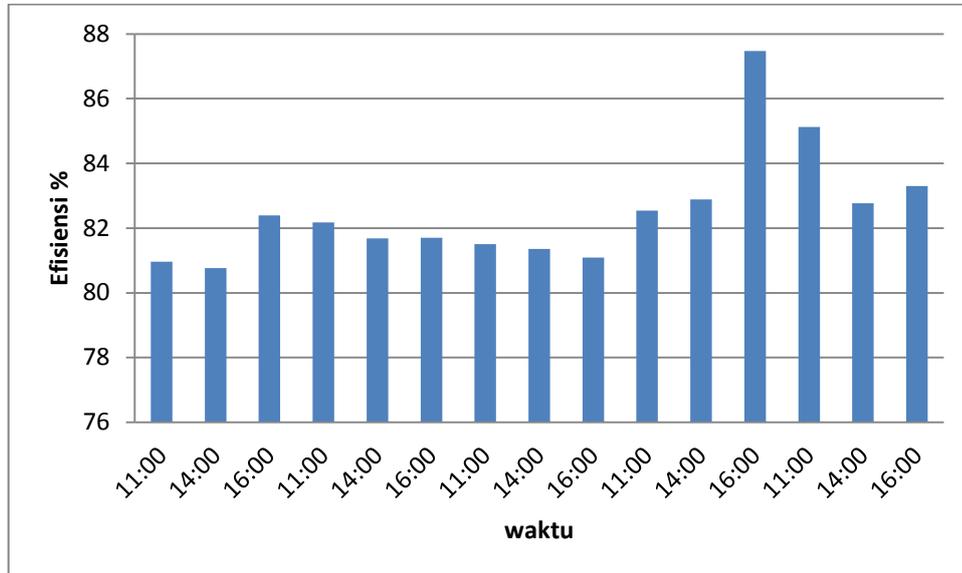
Keterangan:  $T_{c,i}$  = temperatur air masuk *ekonomiser*  
 $T_{c,o}$  = temperatur air keluar *ekonomiser*  
 $T_{h,i}$  = temperatur gas buang masuk *ekonomiser*  
 $T_{h,o}$  = temperatur gas buang keluar *ekonomiser*

**Koefisien Perpindahan Panas Ekonomiser**Gambar 14. Grafik Koefisien Perpindahan Panas Pada *Ekonomiser*

Dapat dilihat pada Gambar 14, perpindahan panas tertinggi yaitu 4260,492 Btu/h.ft<sup>2</sup>.°F. Sedangkan nilai perpindahan panas terendah yaitu 4251,243

Btu/h.ft<sup>2</sup>.°F. Faktor yang mempengaruhi tinggi dan rendahnya koefisien perpindahan panas pada *ekonomiser* adalah fluidanya itu sendiri. Semakin besar nilai temperatur rata-rata fluida maka koefisien perpindahan panasnya akan semakin besar. Sedangkan jika temperatur rata-rata fluidanya rendah maka nilai koefisien perpindahan panasnya juga akan rendah.

### Efisiensi *Ekonomiser*



Gambar 15. Grafik Efisiensi *Ekonomiser*

Dapat dilihat pada Gambar 15, efisiensi tertinggi *ekonomiser* yaitu 87,43% dan efisiensi terendah pada *ekonomiser* yaitu 80,76%. Faktor yang mempengaruhi tinggi dan rendahnya efisiensi pada *ekonomiser* adalah selisih temperatur *flue gas* masuk ( $T_{h,i}$ ) dan temperatur *feed water* masuk ( $T_{c,i}$ ). Jika selisih nilainya besar efisiensinya akan kecil dan jika selisih nilainya kecil efisiensinya besar.

### KESIMPULAN

Dari penelitian yang dilakukan dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada perhitungan koefisien perpindahan panas pada *ekonomiser*, nilai koefisien perpindahan panas tertinggi yaitu 4260,492 Btu/h.ft<sup>2</sup>.°F. Sedangkan nilai perpindahan panas terendah yaitu 4251,243 Btu/h.ft<sup>2</sup>.°F.
2. Hasil perhitungan pada efisiensi *ekonomiser*, efisiensi tertinggi yaitu 87,43% dan efisiensi terendah yaitu 80,76%.

**REFERENSI**

- Akbar,Sjahid.M, Suryadi,Fredi dan Prastyo,dwi.D. 2009. Kinerja Economizer Pada Boiler.
- Murni. 2011. Meningkatkan Efisiensi Boiler Dengan Memanfaatkan Gas Buang Untuk Pemanas *Ekonomiser*.
- Luqman Buchori. 2004. Buku Ajar Perpindahan Panas 1. Semarang.
- Sunarwo dan Supriyo. 2015. Analisa Heat Rate Pada Turbin Uap Berdasarkan Performance Test Pltu Tanjung Jati B Unit 3.
- Supari Muslim, Joko dan Puput Wanarti R. 2008. Teknik Pembangkit Tenaga Listrik.
- UNEP. 2006. Energy Efficiency Guide For Industry In Asia.