

## ANALISIS PERPINDAHAN PANAS DAN EFEKTIVITAS ECONOMIZER PADA BOILER UNIT 4 PLTU PANGKALAN SUSU

George Michael Richardo Hulu & Rahmawaty

Jurusan Teknik Mesin Program Studi Teknik Konversi Energi, Politeknik Negeri Medan  
Jl. Almamater No.1, Padang Bulan, Kec. Medan Baru, Kota Medan, Sumatera Utara 20155  
Email: georgerichardo@students.polmed.ac.id, rahmawaty@polmed.ac.id

---

### ABSTRAK

*Economizer* adalah bagian dari komponen *Heat Recovery Area* yang berfungsi untuk memanfaatkan kembali panas dari *flue gas* hasil pembakaran pada *furnace* yang masih bersuhu tinggi. Pada *Economizer* terjadi perpindahan panas secara konveksi dan konduksi. Konveksi antara *flue gas* dengan pipa bagian luar, lalu konduksi antara pipa bagian luar dengan pipa bagian dalam, lalu konveksi antara pipa bagian dalam dengan air yang mengalir dalam pipa. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui koefisien perpindahan panas dan efektivitas *Economizer*. Dari data yang di dapat, *Economizer* pada Boiler unit 4 PLTU Pangkalan Susu adalah jenis aliran lawan arah, jenis kondensasi tak langsung dan jenis *tube* yang digunakan adalah *Coiled Tube*. Besar koefisien perpindahan panas menyeluruh pada ekonomiser ini adalah  $8583,69 W/m^2\text{°C}$  Dari hasil perhitungan yang diperoleh, perpindahan panas yang terjadi di ekonomiser PLTU Pangkalan Susu adalah  $1.962.118 J/s$  Efektivitas yang didapat dari ekonomiser ini adalah 32,08%. Semua perhitungan terjadi pada beban 190 MW.

**KATA KUNCI:** *Economizer*, Perpindahan Panas, PLTU

### 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. Era globalisasi yang kian hari kian maju membuat perkembangan teknologi ikut berkembang pesat dan mengakibatkan persaingan antar negara. Hal ini sangat berdampak pada pemenuhan energi yang semakin bertambah, yang mana dunia perindustrian merupakan pengguna energi terbesar. Dalam kasus tersebut, pemerintah terus berusaha namun tetap kurang mampu mengimbangi pemenuhan kebutuhan energi sehingga berdampak pada bidang perekonomian.

Pembangkit Listrik Tenaga Uap merupakan salah satu upaya pemerintah dalam memenuhi pasokan energi listrik. Sistem pembangkit tenaga uap ini juga banyak digunakan industri-industri besar. Secara umum, pembangkit listrik tenaga uap terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu: pompa, boiler, turbin uap, generator, kondensor. Adapun keunggulan sistem pembangkit tenaga uap adalah usia kerja atau *life time* yang relatif panjang dan mampu dioperasikan dengan berbagai bahan bakar. PLTU juga mempunyai nilai efisiensi yang sangat baik, karena *flue gas* dari sisa pembakaran juga masih bisa dimanfaatkan kembali. Panas dari gas buang bisa dimanfaatkan kembali untuk memanaskan udara, air, dan juga bisa memproduksi uap yang menjadi fluida kerja pada PLTU. Dari panas gas buang yang masih memiliki temperatur tinggi, diciptakan alat atau komponen yang disebut *Heat Recovery Area* sebagai ruang pemanfaatan panas sisa pembakaran bahan bakar dari *furnance*. Bagian-bagian dari HRA yaitu *Ekonomiser*, *Airheater*, *Primary Superheater* dan *Finishing Superheater*.

Pada Tugas Akhir ini, penulis memilih Economiser untuk dianalisis. Economiser adalah alat yang berfungsi untuk memanaskan air sebelum masuk ke *boiler drum* dengan memanfaatkan gas buang yang masih memiliki temperatur tinggi.

Dari latar belakang di atas, maka penulis tertarik untuk membahas dan ingin mengetahui lebih banyak lagi tentang prinsip kerja Economiser, bagian-bagian, dan total perpindahan panas berdasarkan beban tertinggi (190 MW)

## TINJAUAN PUSTAKA

### Prinsip Kerja Economizer

Adapun prinsip kerja dari ekonomiser adalah guna menaikkan temperatur air sebelum masuk ke dalam boiler. Air yang dipompakan ke dalam Economizer akan mengalami perpindahan panas secara konveksi dari dinding *tube* ke air yang mengalir di dalamnya. Kemudian air yang telah naik temperaturnya itu akan kembali ke boiler untuk kembali dipanaskan di *furnace*. Setelah air berubah fase menjadi uap, maka akan diarahkan ke *super heater*. Dan biasanya pemasangan ekonomiser dapat dilihat pada laluan gas buang dan cerobong asap. Economiser ada yang menggunakan sirip (*fin*) dan tidak, namun kebanyakan ekonomiser yang digunakan dalam industri dirancang mempunyai banyak sirip dan material logam untuk memperluas permukaan singgung perpindahan kalor dari gas buang yang bertemperatur tinggi ke fluida air yang bertemperatur lebih rendah. Karena hal tersebut, fluida pada ekonomiser akan mudah menyerap panas dari gas buang dari proses pembakaran. Temperatur air yang keluar ekonomiser lebih tinggi dari temperatur lingkungan sehingga setelah masuk boiler tidak dibutuhkan energi kalor yang besar.

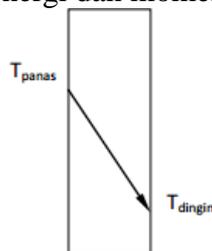
Energi kalor yang dibutuhkan hanya untuk menaikkan temperatur dari ekonomiser menjadi temperatur didih boiler. Sehingga dengan pemasangan ekonomiser akan menaikkan efisiensi sistem. Karena ekonomiser disinggung dengan gas buang yang banyak mengandung zat-zat polusi yang dapat menimbulkan korosi, maka pemilihan material dari ekonomiser bergantung dari jenis bahan bakar yang digunakan. Suhu gas buang dan cerobong asap yang meninggalkan ekonomiser tidak boleh kurang dari  $80^{\circ}\text{C}$ , yaitu suhu di atas temperatur titik embun gas buang karena akan mengakibatkan kondensasi pada saluran gas buang yang dingin dimana air terbentuk akibat kondensasi tersebut memiliki sifat yang asam dan korosif karena mengandung  $\text{SO}_2$  dan  $\text{SO}_3$ .

### Perpindahan Panas

Perpindahan panas dapat didefinisikan sebagai suatu proses berpindahnya suatu energi (panas) dari satu zat ke zat lain akibat adanya perbedaan suhu pada daerah tersebut (Nugroho Tri Utomo, 2016) Ada tiga bentuk mekanisme perpindahan panas yang diketahui, yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi.

#### a. Perpindahan panas secara konduksi

Perpindahan panas secara konduksi adalah proses dengan dimana panas mengalir dari daerah yang bersuhu lebih tinggi ke daerah yang bersuhu lebih rendah di dalam satu medium (padat, cair atau gas) atau antara medium-medium yang berlainan yang bersinggungan secara langsung sehingga terjadi pertukaran energi dan momentum.



Gambar 1 Perpindahan Panas Konduksi pada Dinding  
Sumber: J.P. Holman, 1997

Besarnya laju konduksi panas adalah

$$q = -kA \frac{\partial T}{\partial x}$$

Dimana:

q = Laju Perpindahan Panas (kJ/det; kW)

k = Konduktifitas Termal (W/m.°C)

A = Luas Penampang (m<sup>2</sup>)

$\partial T$  = Perbedaan Temperatur (°C, °F)

$\partial x$  = Perbedaan Jarak (m)

Besarnya nilai k menunjukkan cepat atau lambatnya panas yang dikondisikan dari suatu tempat ke tempat lain. Besarnya nilai k tergantung dari masing-masing bahan, untuk isolator maka harga k kecil.

$$Q = \frac{2 \pi k l (T_2 - T_1)}{\ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right)}$$

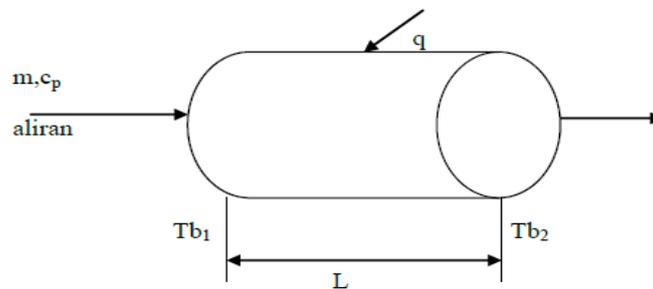
Tetapan keseimbangan (k) adalah sifat bahan atau material yang disebut konduktivitas termal. Berdasarkan rumusan maka dapatlah dilaksanakan pengukuran dalam percobaan untuk menentukan konduktivitas termal berbagai bahan. Pada umumnya konduktivitas termal itu sangat tergantung pada suhu.

Tabel 1 Konduktivitas Termal Berbagai Bahan pada Temperatur 0°C

BAHAN	Konduktivitas Termal (K)	
	W/m.°C	Btu/h.ft.°F
<b>LOGAM</b>		
Perak (murni)	410	237
Tembaga (murni)	385	223
Aluminium (murni)	202	117
Nikel (murni)	93	54
Besi (murni)	73	42
Baja karbon (1% C)	43	25
Timbal (murni)	35	20,3
Baja krom-nikel (18% Cr , 8% Ni)	16,3	9,4
<b>BUKAN LOGAM</b>		
Kuarsa (sejajar sumbu)	41,6	24
Magnesit	4,15	2,4
Marmar	2,08-2,94	1,2-1,7
Batu pasir	1,83	1,06
Kaca jendela	0,78	0,45
Kayu maple atau ek	0,17	0,096
Serbuk gergaji	0,059	0,034
Wol kaca	0,038	0,022
<b>ZAT CAIR</b>		
Air raksa	8,21	4,74
Air	0,556	0,327
Ammonia	0,540	0,312
Minyak lumas SAE50	0,147	0,085
Freon 12 CCl2F2	0,073	0,042
<b>ZAT GAS</b>		
Hidrogen	0,175	0,101
Helium	0,141	0,081
Udara	0,024	0,0139
Uap air (jenuh)	0,0206	0,0119
Karbon dioksida	0,0146	0,00844

b. Perpindahan panas secara konveksi

Perpindahan panas secara konveksi adalah perpindahan panas energi panas dari satu tempat ke tempat lain karena adanya aliran fluida yang melewati suatu material tertentu. Perpindahan panas konveksi dibedakan menjadi dua yaitu konveksi bebas dan konveksi paksa. Bila gerakan fluida disebabkan karena adanya perbedaan kerapatan karena perbedaan suhu, maka perpindahan panasnya disebut sebagai konveksi bebas. Bila gerakan fluida disebabkan oleh gaya pemaksa/eksitasi dari luar, misalkan dengan pompa atau kipas yang menggerakkan fluida sehingga fluida mengalir diatas permukaan, maka perpindahan panasnya disebut sebagai konveksi paksa.



Gambar 2 Perpindahan Panas Konveksi

Sumber: J.P. Holman, 1997

$$q = hA (T_w - T_\infty)$$

Dimana:

$q$  = Laju Perpindahan Panas (kJ/det; kW )

$h$  = Koefisien perpindahan Panas Konveksi ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ )

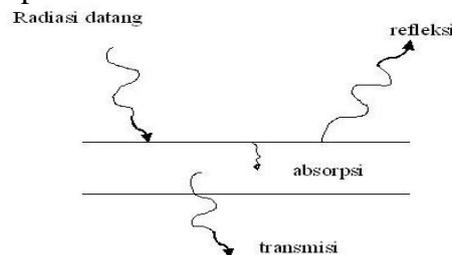
$A$  = Luas Bidang Permukaan Perpindahan Panas ( $ft^2; m^2$ )

$T_w$  = Temperature Dinding ( $^\circ C; K$ )

$T_\infty$  = Temperature Sekeliling ( $^\circ C; K$ )

c. Perpindahan panas secara radiasi

Perpindahan panas secara radiasi adalah proses dengan mana panas mengalir dari benda yang bersuhu tinggi ke benda yang bersuhu rendah bila benda-benda itu terpisah di dalam ruang, bahkan bila terdapat ruang hampa di antara benda-benda tersebut.



Gambar 3 Perpindahan Panas Radiasi

Sumber: J.P. Holman, 1997

$$Q = \epsilon \sigma A T^4$$

Untuk benda hitam :

$$Q = \sigma A T^4$$

Dimana:

$Q$  = Laju Perpindahan Panas (W)

$\sigma$  = Konstanta Boltzman ( $5,669 \cdot 10^{-8} W/m^2 \cdot K^4$ )

$\epsilon$  = Emitasi

$A$  = Luas Permukaan Benda ( $m^2$ )

$T$  = Suhu Absolut Benda (K)

## METODE PENELITIAN

### Metodologi Pengumpulan Data

Pengumpulan data aktual diambil dari *Central Control Room*. Adapun data-data yang diperoleh antara lain:

Tabel 2 Data pada beban 190 MW

No	Deskripsi	Nilai
1	Kapasitas Air	516,088 Ton/Jam
2	Suhu Air Masuk	238.341°C
3	Suhu Air Keluar	284.811°C
4	Suhu Gas Masuk (RH)	476.823°C
5	Suhu Gas Keluar (RH)	400.310°C
6	Suhu Gas Masuk (SH)	435.112°C
7	Suhu Gas Keluar (SH)	414.587°C

Tabel 3 Spesifikasi Economizer

No	Spesifikasi	Keterangan
1	Jenis Material	SA-210C
2	Diameter PipaLuar	0,043 m
3	Diameter PipaDalam	0,038 m
4	Panjang (per pipa)	4,4 m
5	Jumlah Pipa	SH=151 ; RH=101

### Metode Pengolahan Data

Setelah mendapatkan data-data yang dibutuhkan barulah kemudian melakukan analisis dari data yang didapat sesuai dengan studi literatur yang sudah dibuat sebelumnya. Dari data – data yang didapatkan dari *Central Control Room*, kemudian dianalisis proses perpindahan panas yang terjadi pada *Economizer*. Metode analisis perpindahan panas yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode LMTD. Sedangkan metode analisis efektivitas yang digunakan adalah metode NTU.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil analisa data pada beban 190 MW, didapatkan nilai-nilai dari tiap parameter, diantaranya:

Tabel 4 Nilai Parameter Fluida

No	Parameter	Fluida panas	Fluida dingin
1	Tc	438,56°C (711,56°K )	261,576°C (534,576°K)
2	Cp	1,0776 kJ/kg°C	4,994 kJ/kg°C
3	$\mu$	$3,366 \times 10^{-5} \text{ kg/ms}$	$0,933 \times 10^{-4} \text{ kg/ms}$
4	Pr	0,684	0,833
5	P	$0,4955 \text{ kg/m}^3$	$781,107 \text{ kg/m}^3$
6	K	$0,5294 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$	$0,606 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$

Untuk mencari laju perpindahan panas (Q) berlaku rumus:

$$Q = A \cdot U \cdot F \cdot LMTD$$

Mencari A:

$$A = p \times l$$

$$A = 3 \times 4,4$$

$$A = 13,2\text{m}^2$$

Mencari U dapat ditentukan dengan persamaan:

$$U = \frac{1}{\Sigma RT}$$

$$U = \frac{1}{0,0001165} \\ = 8.583,69 \text{ W/m}^2\text{C}$$

Untuk menentukan nilai faktor koreksi (F) dapat melalui diagram/grafik atau dapat ditentukan melalui perhitungan berikut:

$$P = \frac{T_{c_o} - T_{c_i}}{T_{h_i} - T_{c_i}} = \frac{(284,811 - 238,341)^\circ\text{C}}{(476,823 - 238,341)^\circ\text{C}} = 0,19$$

$$R = \frac{T_{h_i} - T_{h_o}}{T_{c_o} - T_{c_i}} = \frac{(476,823 - 400,310)^\circ\text{C}}{(284,811 - 238,341)^\circ\text{C}} = 1,64$$

Maka, dari grafik Faktor Koreksi F = 0,98

Mencari LMTD:

Karena jenis aliran Economiser PLTU Pangkalan Susu adalah jenis aliran berlawanan arah maka LMTD dapat dihitung dengan cara berikut:

$$\Delta T_1 = t_1 - T_2 = 476,823^\circ\text{C} - 284,811^\circ\text{C} = 192,01^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_2 = t_2 - T_1 = 400,310^\circ\text{C} - 238,341^\circ\text{C} = 161,97^\circ\text{C}$$

$$T_{LMTD} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}}$$

$$LMTD = 176,706^\circ\text{C}$$

Maka Q Ekonomiser:

$$Q = A \cdot U \cdot F \cdot LMTD$$

$$Q = 1.962,118 \text{ kJ/s}$$

Mencari Efektivitas

$$Efektivitas = \frac{Q_{actual}}{Q_{maks}}$$

Maka didapat nilai efektivitasnya sebagai berikut :

$$\epsilon = \frac{\Delta Th}{\Delta T_{maks}} \times 100\%$$

$$\epsilon = 32,08 \%$$

## SIMPULAN DAN SARAN

Pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa perpindahan panas yang terjadi adalah perpindahan panas secara konveksi dan konduksi. Nilai luas permukaan  $A = 13,2 \text{ m}^2$ , Nilai koefisien perpindahan panas menyeluruh  $(U) = 8583,69 \text{ W/m}^2\text{C}$ , Nilai LMTD =  $176,706^\circ\text{C}$ , Faktor Koreksi = 0,98, Nilai perpindahan panasnya adalah  $Q = 1.962.118 \text{ J/s}$ , Nilai efektivitasnya adalah  $\epsilon = 32,08 \%$ .

Penulis menyarankan agar dilakukan perawatan secara berkala pada pipa pipa *economizer*.

## DAFTAR PUSTAKA

Holman, J.P.1997. *Perpindahan Kalor*. Jakarta:Erlangga

Hutomo, Nugroho Tri. 2016. *Analisis Perpindahan Panas Pada Economizer Bare Tube Ladder Support Type Instalasi Boiler Pada PLTU Unit 4 PT PJB UP Gresik*. Surabaya.