



**STUDI ANALISIS PERBANDINGAN LAJU PERPINDAHAN PANAS  
PADA TUBE KONDENSOR MENGGUNAKAN MATERIAL  
ALUMINIUM BRASS DI STEAM TURBINE UNIT 3.0 PLTGU PT PJB  
UP GRESIK DAN MATERIAL TITANIUM DI STEAM TURBINE UNIT  
2 PLTU PT PJB UP PAITON**

**Royyan Firdaus<sup>1</sup>, Maula Nafi<sup>2</sup>, Moch Yanuar Ramadhan<sup>3</sup>, Rizcky Eka<sup>4</sup>**

Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya, Indonesia

email: [royyanf@untag-sby.ac.id](mailto:royyanf@untag-sby.ac.id)

**ABSTRAK**

Tube kondensor steam turbine 3.0 PLTGU PT PJB UP Gresik rencana mengalami pergantian tube atau retubing dengan material tube pada awalnya Aluminium Brass menjadi Titanium. Penggunaan material Titanium sudah diterapkan di PT PJB UP Paiton. Sehingga, perlu dilakukan analisis perbandingan penggunaan material Aluminium Brass dan material Titanium dalam proses perpindahan panas.

Penelitian ini berdasarkan dari kondensor di PT PJB UP Gresik dan PT PJB UP Paiton serta data yang dibutuhkan meliputi: data sheet kondensor, data aktual steam dan air pendingin saat masuk ke kondensor dan keluar kondensor, serta properti dari masing-masing fluida dan material tube.

Hasil dari analisis perbandingan laju perpindahan panas pada tube kondensor diperoleh hasil yaitu nilai laju perpindahan panas menggunakan material Aluminium Brass: 454,4 KW dan material Titanium: 105,6 KW serta untuk nilai efektifitas material Aluminium Brass: 0,6683 untuk material Titanium: 0,2616. Hasil tersebut sangat dipengaruhi oleh besaran nilai konduktifitas termal masing-masing material. Nilai untuk konduktifitas termal material Aluminium Brass: 100,42 W/(m.K) dan material Titanium: 21,9 W/(m.K). Sehingga nilai laju perpindahan panas dan nilai efektifitas selalu berbanding lurus dengan nilai konduktifitas termal material yang digunakan.

Penggunaan material Aluminium Brass sangat disarankan dalam proses perpindahan panas, sehingga material Titanium kurang disarankan karena proses perpindahan panas kurang maksimal.

**Kata kunci:** kondensor, tube, retubing, laju perpindahan panas, efektifitas, Aluminium Brass,  
*Kata kunci: Titanium*

**PENDAHULUAN**

Kebutuhan listrik penduduk semakin meningkat setiap harinya. Dengan beban puncak kelistrikan khusus pulau Jawa Bali hampir mencapai 27.000 MW dan jumlah pelanggan seluruh Indonesia 75,7 juta baik (Statistik PLN, 2019).

Salah satu usaha yang dilakukan untuk mencukupi kebutuhan masyarakat ini adalah dengan mengoptimalkan produksi listrik dari PT PJB yang merupakan anak perusahaan PT PLN (Persero) salah satunya adalah PT PJB UP Gresik dan PT PJB UP Paiton.

Terdapat empat komponen utama dalam sistem pembangkit listrik yaitu: pompa, boiler, turbin dan kondensor. Kondensor merupakan suatu sistem pendingin yang mampu meningkatkan efisiensi unit karena kondensor berfungsi untuk mengkondensasi pada *steam* yang berasal dari *low pressure turbine* berubah menjadi air jenuh yang selanjutnya akan disirkulasikan kembali kedalam sistem.

*Tube* kondensor *steam turbine* unit 3.0 PLTGU PT PJB UP Gresik rencana mengalami pergantian *tube* atau *retubing* dengan material *tube* pada awalnya Aluminium Brass menjadi Titanium. Penggunaan *tube* Titanium pada kondensor sudah diaplikasikan di kondensor *steam turbine* unit 2 PLTU PT PJB UP Paiton.

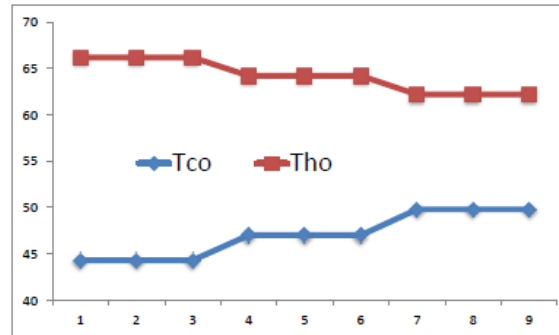
Pergantian material *tube* pada kondensor dari Aluminium Brass menjadi Titanium akan meringankan dan memperkecil biaya perawatan (*maintenance*) yang dilakukan pihak pembangkit terutama PT PJB UP Gresik. Rencana pergantian *tube* ini tentu menimbulkan perbedaan dari segi proses pengkondensasi *steam* menjadi air jenuh, laju perpindahan panas, dan performa kondensor.

Tujuan penelitian ini yaitu:

1. Menganalisa laju perpindahan panas pada kondensor dengan material *tube* yang berbeda.
2. Menganalisa efektifitas *tube* kondensor dengan material Aluminium Brass dan material Titanium.
3. Mengetahui performansi kondensor dengan material Aluminium Brass dan material Titanium.

Kajian yang dilakukan oleh Chandrasa Soekardi bertujuan untuk memperoleh seberapa besar pengaruh harga efektifitas perpindahan panas dan tahanan termal terhadap hasil perancangan sebuah alat penukar kalor dan mengidentifikasi kondisi perancangan paling optimal.

Kajian dilakukan dengan sebuah alat penukar kalor tipe *shell & tube* yang dilakukan dengan metode perhitungan efektifitas-NTU.

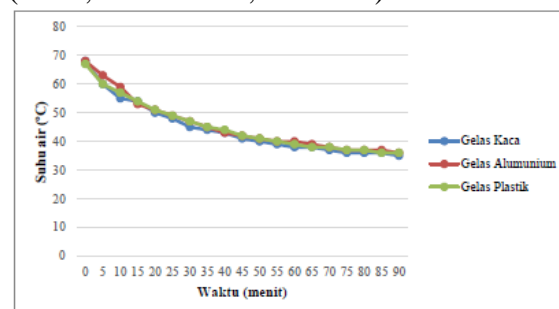


Gambar 1 Nilai temperatur pada saat meninggalkan alat penukar kalor

Dalam kajian yang dilakukan oleh Chandrasa Soekardi diperoleh bahwa nilai efektifitas alat penukar kalor dipengaruhi oleh jumlah banyaknya *tube* sehingga mengakibatkan semakin besarnya diameter *shell*.

Penelitian yang dilakukan oleh Indrawati Supu bertujuan untuk mengetahui perubahan suhu terhadap perpindahan panas pada suatu material yang berbeda pada suhu ruangan sehingga dapat mengetahui penggunaan material yang sesuai dan lebih ekonomis.

Penelitian yang dilakukan menggunakan metode eksperimen dengan alat gelas ukur dengan material yang berbeda (Kaca, Aluminium, dan Besi).



Gambar 2 Grafik hubungan waktu dengan perubahan suhu dengan material gelas ukur yang berbeda.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Indrawati Supu terdapat faktor yang mempengaruhi terjadinya penurunan suhu pada gelas ukur dengan material berbeda:

1. Konduktifitas material masing-masing gelas ukur
2. Temperatur di sekeliling gelas ukur
3. Kecepatan dari udara sekeliling gelas ukur

Bambang Setyoko (ISSN 0852-1697)

Penelitian yang dilakukan oleh Bambang Setyoko untuk mengetahui kerja suatu alat penukar panas (*Heat Exchanger*) berfungsi sebagai pemanas *crude oil* yang menggunakan solar sebagai media pemanas dengan menghitung *fouling factor*. Pada pelaksanaan penelitian yang dilakukan oleh Bambang Setyoko menggunakan berbagai macam analisa perhitungan:

1. *Heat Duty*
2. *LMTD (Log Mean Temperature Difference)*
3. *Flow Area*
4. Kecepatan Massa
5. Faktor Dimensi Untuk *Exchanger*
6. Bilangan Prandtl
7. Koefisien Perpindahan Panas
8. Rasio Viskositas Fluida
9. *Fouling Factor*

Tabel 1 Hasil analisa perhitungan *fouling factor* pada alat penukar kalor (*Heat Exchanger*)

No	Uraian	Satuan	Tube	Shell
1	Neraca panas	BTU/ jam	1244505,21	1269463,54
2	LMTD	<sup>o</sup> F	211,7	
3	Calorik temperatur	<sup>o</sup> F	132,04	340,59
4	Flow area	Ft <sup>2</sup>	1,45	1,009
5	Kecepatan massa	BTU/ jam ft <sup>2</sup> <sup>o</sup> F	16154,063	4422,8275
6	Viskositas	lb/ ft jam	5,19332	8,91186
7	Diameter	Ft	0,0695	0,146
8	Bilangan reynold		144,20	880,36
9	Koefisien <i>heat exchanger</i>	BTU/ jam ft <sup>2</sup> <sup>o</sup> F	7,94	24,33
10	Temperatur dinding tube	<sup>o</sup> F	295,98	
11	Viskositas pada dinding tube	lb/ ft jam	2,03	2,03
12	Perbandingan viskositas dalam dan luar tube	lb/ ft jam	1,21	0,94
13	Koefisien perpindahan panas terkoreksi	BTU/ jam ft <sup>2</sup> <sup>o</sup> F	9,60	22,87
14	<i>Coefficient clean overall</i>	BTU/ jam ft <sup>2</sup> <sup>o</sup> F	5,93	
15	<i>Coeffisien design</i>	BTU/ jam ft <sup>2</sup> <sup>o</sup> F	5,87	
16	<i>Dirf factor</i>	BTU/ jam ft <sup>2</sup> <sup>o</sup> F	0,00149	
17	<i>Dirf factor yang diizinkan</i>	BTU/ jam ft <sup>2</sup> <sup>o</sup> F	0,004	
18	<i>Pressure drop</i>	Psi	2,84 · 10 <sup>-4</sup>	4,93 · 10 <sup>-4</sup>
19	<i>Pressure drop ijin</i>	Psi	10	10

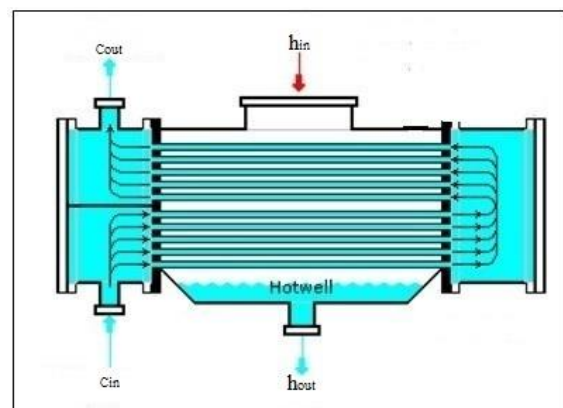
Dalam hasil analisa perhitungan diperoleh panas yang diberikan oleh solar tidak semuanya diterima oleh *crude oil* sehingga panas terbuang ke lingkungan hal ini dapat dilihat dari harga *fouling factor* yang besar daripada nilai yang diizinkan.

## PROSEDUR EKSPERIMEN

Dalam perhitungan perbedaan laju perpindahan panas pada material Aluminium Brass dan Titanium yang perlu dilakukan adalah studi literatur yang dilakukan di perpustakaan Untag Surabaya, PT PJB UP Gresik dan Paiton (Ruang CCR (*Computer Control Room*), ruang Rendal OP dan ruang *Corrective Maintenance*), diskusi dengan pembimbing di PT PJB UP Gresik dan Paiton, dan dosen pembimbing. Dalam memperkuat dalam penelitian ini diperlukan referensi berupa jurnal, diktat, dan referensi dari internet. Data yang diperoleh untuk perhitungan berasal dari : *data sheet* dan *log sheet* Kondensor *Steam Turbine* unit 3.0 dan Kondensor *Steam Turbine* 2, jurnal, dan diktat tentang *heat exchanger*.

*Textbook* pendukung digunakan :

1. “*Fundamental of Heat and Mass Transfer*” Theodore L. Bergman dan Adrienne S. Lavine.
2. “*Heat Transfer A Practical Approach 2nd edition*” Yunus A. Cengel
3. “*Perpindahan Panas*” Agus Haryanto, dan berbagai sumber yang relevan.



Gambar 3 Kondisi kondensator yang digunakan

### *Perpindahan Panas pada Sisi Shell*

Perhitungan perpindahan panas pada sisi *shell*, menggunakan data aktual berupa suhu *steam* masuk ke dalam kondensator dan suhu air jenuh didalam *hotwell* tempat penampungan hasil kondensasi *steam*.

Mencari angka Reynold untuk mengetahui jenis aliran. Selanjutnya menghitung angka Nusselt dan angka Nusselt

dapat digunakan untuk menghitung koefisien konveksi didalam *shell*.

**Perpindahan Panas pada Sisi Tube**

Perhitungan perpindahan panas pada sisi *tube*, menggunakan data aktual berupa temperatur air laut (pendingin) yang masuk dan keluar dari *tube* kondensor dengan material yang berbeda.

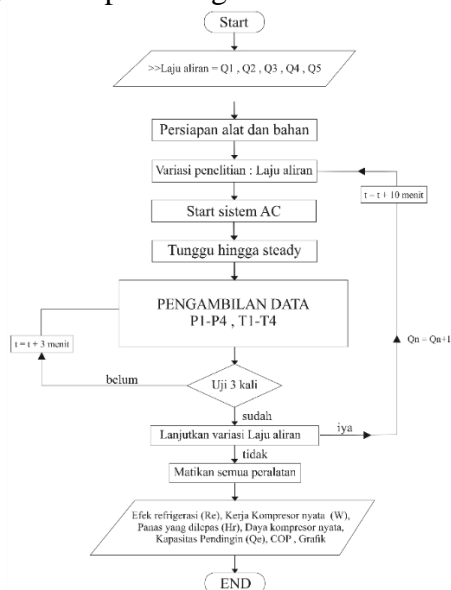
Mencari angka Reynold untuk menentukan jenis aliran. Selanjutnya menghitung angka Nusselt dan angka Nusselt dapat digunakan untuk menghitung koefisien konveksi didalam *tube*.

**Analisis Laju Perpindahan Panas Keseluruhan**

Analisis laju perpindahan panas keseluruhan dapat diperoleh dengan perhitungan data aktual alat penukar kalor dan data yang telah dihitung sebelumnya yang meliputi luas permukaan dalam dan luar *tube*, nilai koefisien perpindahan panas, nilai faktor-faktor yang menyebabkan kinerja penukar kalor turun, dan nilai perubahan suhu.

**Analisis Efektifitas dengan Metode NTU**

Efektifitas digunakan untuk menentukan unjuk kerja dari suatu *heat exchanger* dengan membandingkan antara laju perpindahan panas yang telah diperhitungkan.



Gambar 4 *Flowchart* analisis laju perpindahan panas dan nilai efektifitas metode NTU.

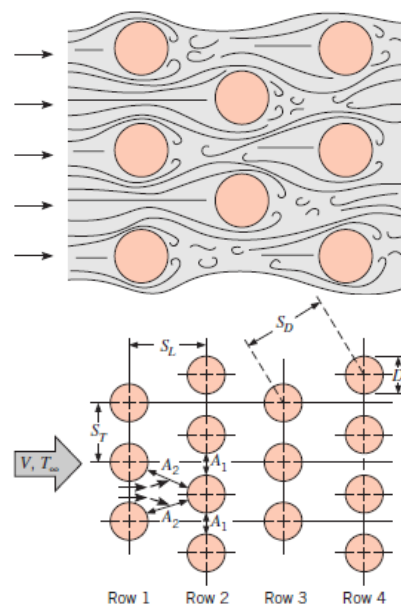
**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Data yang digunakan dari data spesifikasi dan data aktual pada kondensor di PT PJB UP Gresik dan PT PJB UP Paiton.

Tabel 2 Properti pada kondensor

Data	PT PJB UP Gresik	PT PJB UP Paiton	Satuan	
Material	Aluminium Brass	100,42	-	W/(m.K)
	Titanium	-	21,9	W/(m.K)
Cooling water in	303,828	304,059		K
Cooling water out	309,992	311,686		K
Exhaust steam	314,628	315,742		K
Hotwell kondensor	311,065	313,081		K
Kecepatan cooling water		2,1		m/s
Kecepatan exhaust steam		6,9		m/s
Cooling surface area		14150		m <sup>2</sup>
Debit cooling water		12,797		m <sup>3</sup> /s
Diameter dalam tube		0,025		m
Diameter luar tube		0,0275		m
Panjang tube		11,791		m
ST		0,05412		m
SD		0,03125		m
SL		0,03125		m
Air	Viskositas Kinematis	0,0000082		m <sup>2</sup> /s
	Pr	5,58		
	Koefisien perpindahan panas	0,613		W/(m.K)
Steam	Cp	4,18		kJ/(kg.K)
	Viskositas Kinematis	0,0000131		m <sup>2</sup> /s
	Pr	1,125		
Factor fouling	Koefisien perpindahan panas	0,613		W/(m.K)
	Cp	2,084		kJ/(kg.K)
		0,0001		m <sup>2</sup> .K/W

Susunan tube kondensor yang digunakan dalam analisa laju perpindahan panas adalah susunan *staggered*. Untuk menentukan nilai koefisien perpindahan panas pada sisi *shell* diperlukan nilai  $V_{max}$ ,  $Re_{max}$ ,  $Nu$ .



Gambar 5 Susunan *tube staggered*

$V_{max}$  terjadi pada A1 dengan rumus sebagai berikut :

$$V_{\max} = \frac{ST}{ST - D_o} V$$

$V_{\max}$  = Kecepatan aliran fluida maksimal (m/s)

$D_o$  = Diameter luar *tube* (m)

$V$  = Kecepatan aliran fluida (m/s)

Kecepatan maksimum digunakan untuk mencari kelajuan aliran apakah turbulen atau laminar dengan menggunakan Angka Reynold maksimal ( $Re_{\max}$ ) sebagai berikut :

$$Re_{\max} = \frac{V_{\max} D_o}{\nu}$$

$Re_{\max}$  = Angka Reynold maksimal

$V_{\max}$  = Kecepatan aliran fluida maksimal (m/s)

$D_o$  = Diameter luar *tube* (m)

$\nu$  = Viskositas kinematik (m<sup>2</sup>/s)

Sebelum menentukan Angka Nusselt terlebih dahulu mencari nilai C dalam tabel konstanta untuk *tube bank* dalam aliran silang.

Tabel 6 Konstanta untuk *tube bank* dalam aliran silang

Conguration	$Re_{D,\max}$	$C_1$	$m$
Aligned	10–10 <sup>2</sup>	0.80	0.40
Staggered	10–10 <sup>2</sup>	0.90	0.40
Aligned	10 <sup>2</sup> –10 <sup>3</sup>	Approximate as a single (isolated) cylinder	
Staggered	10 <sup>2</sup> –10 <sup>3</sup>		
Aligned ( $S_T/S_L > 0.7$ ) <sup>a</sup>	10 <sup>3</sup> –2 × 10 <sup>5</sup>	0.27	0.63
Staggered ( $S_T/S_L < 2$ )	10 <sup>3</sup> –2 × 10 <sup>5</sup>	0.35( $S_T/S_L$ ) <sup>0.15</sup>	0.60
Staggered ( $S_T/S_L > 2$ )	10 <sup>3</sup> –2 × 10 <sup>5</sup>	0.40	0.60
Aligned	2 × 10 <sup>5</sup> –2 × 10 <sup>6</sup>	0.021	0.84
Staggered	2 × 10 <sup>5</sup> –2 × 10 <sup>6</sup>	0.022	0.84

<sup>a</sup>For  $S_T/S_L < 0.7$ , heat transfer is inefficient and aligned tubes should not be used.

$$C = 0,35 \left( \frac{ST}{SL} \right)^{1/5}$$

$$Nu = C Re_{\max}^m Pr^{0,36} \left( \frac{Pr}{Pr_s} \right)^{1/4}$$

$Nu$  = Angka Nusselt

$Re_{\max}$  = Angka Reynold maksimal

$Pr$  = Angka Prandtl

$Pr_s$  = Angka Prandtl pada bagian permukaan

Selanjutnya dilakukaniiperhitungan koefisien perpindahan panas pada sisi *shell* :

$$h_o = Nu \frac{k}{D_o}$$

$h_o$  = Koefisien perpindahan panas konveksi dalam *tube* (W/(m<sup>2</sup>.K))

$Nu$  = Angka Nusselt

$k$  = Konduktivitas termal fluida (W/(m.K))

$D_o$  = Diameter luar *tube* (m)

Menentukan nilai koefisien perpindahan panas pada sisi *tube* diperlukan nilai Angka Reynold ( $Re$ ) dan Angka Nusselt ( $Nu$ ). Menentukan Angka Reynold dirumuskan:

$$Re = \frac{V D_i}{\nu}$$

$Re$  = Angka Reynold

$V$  = Kecepatan aliran fluida (m/s)

$\nu$  = Viskositas kinematik (m<sup>2</sup>/s)

$D_i$  = Diameter dalam *tube* (m)

$Re \geq 10.000$  (Aliran Turbulen)

$Re < 10.000$  (Aliran Laminar)

Didapatkan Angka Reynold  $\geq 10.000$  yang menandakan aliran tersebut turbulen. Perhitungan Angka Nusselt didapat menggunakan persamaan *Dittus-Boulter* dengan syarat aliran turbulen. Sehingga:

$$Nu = 0,023 Re^{0,8} Pr^{0,4}$$

$Nu$  = Angka Nusselt

$Re$  = Angka Reynold maksimal

$Pr$  = Angka Prandtl

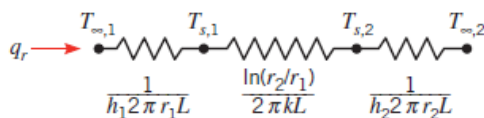
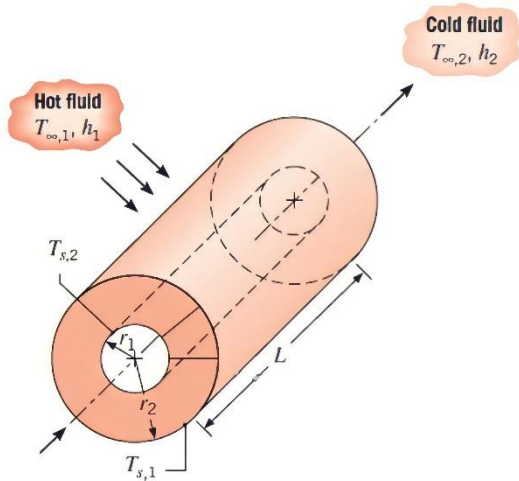
Perhitungan koefisien perpindahan panas pada sisi *tube* dengan rumus adalah:

$$h_i = Nu \frac{k}{D_i}$$

$h_i$  = Koefisien perpindahan panas konveksi dalam *tube* ( $W/(m^2.K)$ )  
 $Nu$  = Angka Nusselt  
 $k$  = Konduktivitas termal fluida ( $W/(m.K)$ )  
 $D_i$  = Diameter dalam *tube* (m)

$A_i$  = Luas permukaan dalam *tube* (m)  
 $D_o$  = Diameter luar *tube* (m)  
 $D_i$  = Diameter dalam *tube* (m)  
 $k$  = Konduktivitas termal material ( $W/(m.K)$ )  
 $L$  = Panjang *tube* (m)

Koefisien perpindahan panas menyeluruh adalah total tahanan termal antar dua fluida yang terjadi perpindahan panas. Tahanan termal dalam proses perpindahan panas dalam penukar kalor meliputi tahanan konveksi dan konduksi sehingga dapat digambarkan menjadi :



Gambar 7 Tahanan termal keseluruhan

Sehingga rumus untuk koefisien perpindahan panas menyeluruh adalah:

$$UA_s = \frac{1}{\frac{1}{A_i h_i} + \frac{\ln(D_o/D_i)}{2\pi k L} + \frac{1}{h_o A_o}} \text{ (W/K)}$$

$UA_s$  = Koefisien perpindahan panas menyeluruh ( $W/K$ )  
 $h_i$  = Koefisien perpindahan panas konveksi dalam *tube* ( $W/(m^2.K)$ )  
 $h_o$  = Koefisien perpindahan panas konveksi luar *tube* ( $W/(m^2.K)$ )  
 $A_o$  = Luas permukaan luar *tube* (m)

Dengan memperhitungkan faktor pengotor (*fouling*) dalam penukar kalor maka koefisien perpindahan panas menyeluruh ( $UA_s$ ) sehingga menjadi :

$$UA_s = \frac{1}{\frac{1}{A_i h_i} + \frac{R_{f,i}}{A_i} + \frac{\ln(D_o/D_i)}{2\pi k L} + \frac{R_{f,o}}{A_o} + \frac{1}{h_o A_o}} \text{ (W/K)}$$

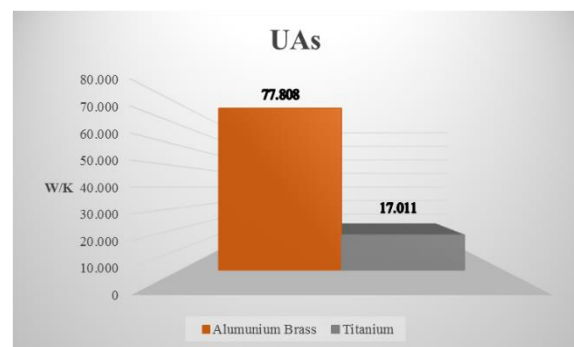
$R_{f,i}$  = Faktor *fouling* dalam *tube* ( $m^2.K/W$ )

$R_{f,o}$  = Faktor *fouling* luar *tube* ( $m^2.K/W$ )

Tabel 3 Faktor *fouling*

Fluid	$R^*$ ( $m^2 \cdot K/W$ )
Seawater and treated boiler feedwater (below 50°C)	0.0001
Seawater and treated boiler feedwater (above 50°C)	0.0002
River water (below 50°C)	0.0002–0.001
Fuel oil	0.0009
Refrigerating liquids	0.0002
Steam (nonoil bearing)	0.0001

Dari hasil perumusan tersebut didapatkan grafik dibawah ini :



Gambar 8 Nilai koefisien perpindahan panas menyeluruh

Nilai perbedaan pada koefisien perpindahan panas menyeluruh ( $UA_s$ ) yang berbeda dipengaruhi oleh perbedaan konduktivitas termal material ( $K$ ) yang berbeda dimana nilai Aluminium Brass =  $100,42 W/m.K$  dan Titanium =  $21,9 W/m.K$

Arah aliran fluida yang digunakan untuk menentukan  $\Delta T_{lm}$  dengan susunan *tube*

staggered adalah aliran secara counterflow sehingga:

$$\Delta T_{lm} = \frac{(T_{h, in} - T_{c, out}) - (T_{h, out} - T_{c, in})}{\ln\left(\frac{(T_{h, in} - T_{c, out})}{(T_{h, out} - T_{c, in})}\right)}$$

$\Delta T_{lm}$  = Perbedaan tempertur rata-rata (K)

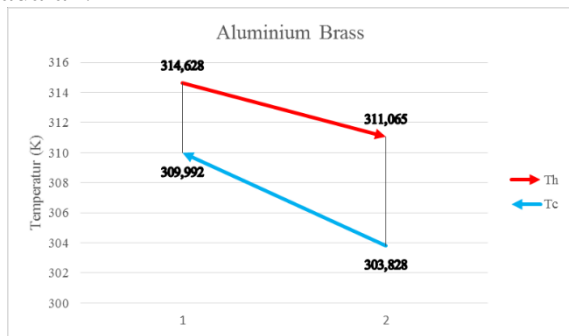
$T_{h,i}$  = Temperatur masuk steam (K)

$T_{h,o}$  = Temperatur hotwell (K)

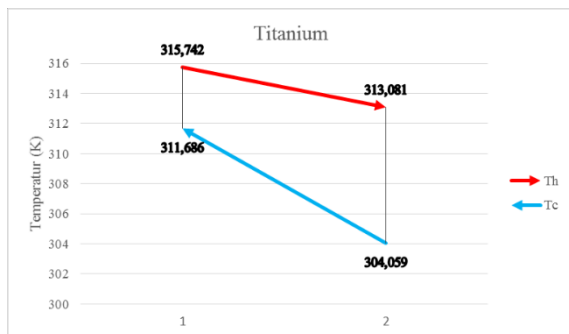
$T_{c,i}$  = Temperatur masuk air laut (K)

$T_{c,o}$  = Temperatur keluar air laut (K)

Sehingga grafik hasil distribusi temeperatur heat exchanger tipe counterflow adalah:



Gambar 9 Log mean temperature difference (LMTD) penggunaan material Aluminium Brass



Gambar 10 Log mean temperature difference (LMTD) penggunaan material Titanium

Hasil perhitungan dan pengolahan perbandingan hasil perhitungan laju perpindahan panas (Q) antara material titanium dan Alumunium Brass pada tube kondensor menggunakan persamaan:

$$Q = UA_s \Delta T_{lm}$$

Q = Laju perpindahan panas (W)

$UA_s$  = Koefisien perpindahan panas menyeluruh ( $W/K$ )

$\Delta T_{lm}$  = Perbedaan tempertur rata-rata (K)

Atau

$$Q = \left( \frac{1}{\frac{1}{A_i h_i} + \frac{R_{f,i}}{A_i} + \frac{\ln(D_o/D_i)}{2\pi k L} + \frac{R_{f,o}}{A_o} + \frac{1}{h_o A_o}} \right) \times \left( \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} \right)$$



Gambar 11 Nilai laju perpindahan panas antara menggunakan material Aluminium Brass dan Titanium

Dimana perbedaan tersebut dipengaruhi oleh konduktifitas termal material (K) yang berbeda dan suhu yang keluar dari exhaust steam dan cooling water out pada kondensor.

Perhitungan dengan metode NTU digunakan untuk mencari jumlah satuan perpindahan dengan persamaan:

$$NTU = \frac{U_{as}}{C_{min}}$$

NTU = Jumlah satuan perpindahan

$UA_s$  = Koefisien perpindahan panas menyeluruh ( $W/K$ )

$C_{min}$  = Kapasitas panas fluida minimum ( $W/K$ )

Hasil dari NTU digunakan untuk menemukan nilai dari efektifitas ( $\epsilon$ ). Menentukan nilai efektifitas ( $\epsilon$ ) menggunakan NTU Relation pada aliran counterflow.

Tabel 4 Tabel hubungan antara efektifitas dan NTU

Flow Arrangement	Relation	
Parallel ow	$e = \frac{1 - \exp[-NTU(1 + C_r)]}{1 + C_r}$	(11.28a)
Counterow	$e = \frac{1 - \exp[-NTU(1 - C_r)]}{1 - C_r \exp[-NTU(1 - C_r)]}$ ( $C_r < 1$ )	
	$e = \frac{NTU}{1 + NTU}$ ( $C_r = 1$ )	(11.29a)
Shell-and-tube		
One shell pass (2, 4, ... tube passes)	$e_1 = 2 \left\{ 1 + C_r + (1 + C_r^2) \times \frac{1 + \exp[-(NTU)(1 + C_r^2)^{0.5}]}{1 - \exp[-(NTU)(1 + C_r^2)^{0.5}]} \right\}^{-1}$	(11.30a)
n shell passes (2n, 4n, ... tube passes)	$e = \left[ \left( \frac{1 - e_1 C_r}{1 - e_1} \right)^n - 1 \right] \left[ \left( \frac{1 - e_1 C_r}{1 - e_1} \right)^n - C_r \right]^{-1}$	(11.31a)
Cross-ow (single pass)		
Both fluids unmixed	$e = 1 - \exp \left[ \left( \frac{1}{C_r} \right) (NTU)^{0.22} (\exp[-C_r(NTU)^{0.78}] - 1) \right]$	(11.32)
$C_{min}$ (mixed), $C_{max}$ (unmixed)	$e = \left( \frac{1}{C_r} \right) (1 - \exp[-C_r(1 - \exp(-NTU))])$	(11.33a)
$C_{min}$ (mixed), $C_{max}$ (unmixed)	$e = 1 - \exp(-C_r^{-1}(1 - \exp[-C_r(NTU)]))$	(11.34a)
All exchangers ( $C_r = 0$ )	$e = 1 - \exp(-NTU)$	(11.35a)

Tabel 5 Hasil perhitungan secara keseluruhan

Nilai	Aluminium Brass	Titanium
UA <sub>s</sub>	77.807,905 W/K	17.011,118 W/K
ΔT <sub>lm</sub>	5,841 K	6,211 K
Q	454.420,496 W	105.666,686 W
NTU	1,458	0,318
ε	0,6683	0,2616

Nilai laju perpindahan panas menggunakan material Aluminium Brass lebih tinggi daripada menggunakan material Titanium. Nilai tersebut berbanding lurus dengan nilai konduktifitas termal masing-masing material. Sehingga penggunaan material Aluminium Brass lebih baik dalam proses perpindahan panas setelah mengetahui hasil nilai perhitungan laju perpindahan panas.

Nilai efektifitas berbanding lurus dengan nilai laju perpindahan panas. Sehingga, penggunaan material Aluminium Brass pada kondensor lebih disarankan dari pada menggunakan material Titanium.

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### Kesimpulan

Hasil penelitian yang telah dilakukan terdapat perbedaan yang *significant* pada nilai laju perpindahan panas antara penggunaan material Aluminium Brass di PT PJB UP Gresik dengan penggunaan material Titanium di PT PJB UP Paiton. Sehingga hasil penelitian dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Nilai laju perpindahan panas pada kondensor menggunakan material Aluminium Brass adalah 454.420,496 W dan material Titanium adalah 105.666,686 W
2. Semakin tinggi nilai konduktifitas termal material maka materail tersebut semakin baik melakukan proses perpindahan panas
3. Nilai efektifitas kondensor menggunakan Aluminium Brass adalah 0,6683 dan material Titanium adalah 0,2616
4. Performa kondensor dalam melakukan proses perpindahan panas dan nilai efektifitas *tube* kondensor berbanding lurus dengan nilai laju perpindahan panas

#### Saran

Penggunaan material Aluminium Brass sebagai tube kondensor lebih disarankan karena memiliki nilai laju perpindahan panas lebih tinggi daripada material Titanium sehingga akan berbanding lurus dengan nilai efektifitas tube kondensor.

### REFERENSI

- Cengel, Y. A. (2004), "Heat Transfer A Practicial Approach 2nd edition", Singapore, Mc Graw Hill Book
- Dawami. (2016), "Kondensor PLTGU", Gresik, PT PJB UP GRESIK
- Haryanto, A. (2015), "Perpindahan Panas", Yogyakarta, Innosain
- Incropera, F. P., Dewitt, D. P. (2011), "Fundamental of Heat and Mass Transfer 7<sup>th</sup> edition. United States of America", John Wiley & Sons
- Lini, A. S. Z., Rudyanto, B. (2016), "Penentuan Nilai Efektivitas Condenser di PLTU Paiton Unit 5 PT. YLT Jawa Timur", Jurnal Ilmiah Rotary, Vol. 1, No. 1, hal. 1-7
- Ma'a, M. (2013), "Karakteristik Perpindahan Panas Pada Double Pipe Heat Exchanger, Perbandingan Aliran Parallel Dan Counter Flow", Jurnal Teknik Elektro dan Komputer, Vol. 1, No. 2, hal. 161-168
- Reynolds, W. C., Perkins, H. C. (1994), "Termodinamika Teknik", Jakarta, Penerbit Erlangga



- Rosyda, A., Anhar, A. R., dan Silanegara, I. (2017), "Analisis Kinerja Kondensor Unit IV Sebelum dan Sesudah Overhaul", *Jurnal Politeknologi*, Vol. 16, No. 3 hal. 233-238
- Setyoko, B. (2008), "Evaluasi Kinerja Heat Exchanger Dengan Metode Fouling Factor", *Jurnal Teknik*, Vol. 29 No. 20, hal. 148-153
- Sualeman., Satria, N. (2014), "Analisis Efektivitas Alat Penukar Panas", *Jurnal Teknik Mesin*. Vol. 4, No. 1, hal. 22-24
- Suliyantoko, A. (2009), "Pengendalian Operasi PLTU & PLTGU", Jakarta, PT Lintang Panca Semesta
- Supu, I., Usman, B., Basri, S., dkk. (2016), "Pengaruh Suhu Terhadap Perpindahan Panas Pada Material Yang Berbeda", *Jurnal Dinamika*, Vol. 7, No. 1, hal. 62-73
- Soekardi, C. (2015), "Analisis Pengaruh Efektifitas Perpindahan Panas Dan Tahanan Termal Terhadap Rancangan Termal Alat Penukar Kalor Shell & Tube", *Jurnal Sinergi*, Vol. 19, No. 1, hal. 19-24
- Titahelu, N. (2011), "Analisis Pengaruh Diameter Pada Susunan Setengah Tube Heat Exchanger Dalam Enclosure Terhadap Karakteristik Perpindahan Panas", *Jurnal Teknologi*, Vol. 8, No. 1, hal. 889-894
- Zakaria, T., Suryaman, T. (2020), "Analisa Kerusakan Kondensor Unit 1-4 PLTU-XYZ Banten (AN ENGINEERING REPORT CASE STUDY)", *Jurnal Intent*, Vol. 3, No. 2, hal. 111-121

