

Penentuan Nilai Efektivitas Kondensor Di PLTSa Merah Putih Bantar Gebang

Noor Hidayati, Berlian Firdaus Sumadipraja

Jurusan Teknik Mesin , Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy,

Kampus UI, Depok, 16425

e-mail : noor.hidayati@mesin.pnj.ac.id

Received 15 Agustus 2024 | Revised 1 Januari 2025 | Accepted 13 Januari 2025

ABSTRAK

Kondensor merupakan perangkat penukar panas yang menerima uap panas dari turbin uap dan kemudian mendinginkannya menjadi air kondensat setelah mengalami proses perpindahan panas. Karena kondensor merupakan peralatan utama dalam Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa), jika terjadi kerusakan pada kondensor maka dapat menghambat proses produksi listrik di PLTSa Merah Putih Bantar Gebang. Tujuan penelitian yakni mendapatkan nilai menentukan efektivitas dan variabel-variabel yang memengaruhi kinerja kondensor di PLTSa Merah Putih Bantar Gebang. Selanjutnya melakukan analisis dengan menggunakan metode yaitu LMTD (Log Mean Temperature Difference) dan NTU (Number Of Transfer Unit) – Efektivitas(ϵ). Berdasarkan hasil penelitian perhitungan pada tanggal 09 Oktober 2023 – 23 Oktober 2023 kondensor PLTSa Merah Putih Bantar Gebang didapatkan nilai efektivitas kondensor terbaik sebesar 99,81% dan rata-rata sebesar 99,80%. Besarnya nilai efektivitas dipengaruhi oleh variabel-variabel seperti (LMTD), Rasio kapasitas panas, NTU, dan tekanan vakum kondensor. Berdasarkan evaluasi dapat disimpulkan efektivitas dari kondensor PLTSa tergolong mempunyai performa yang baik

Kata kunci: Kondensor, Log Mean Temperature Difference, Number of Transfer Unit, Efektivitas Kondensor

ABSTRACT

The condenser is a heat exchanger device that receives hot steam from the steam turbine and then cools it down into condensate water after undergoing the heat transfer process. As the condenser is a key component in the Waste-to-Energy Power Plant (PLTSa), any damage to the condenser can impede electricity production at the Merah Putih Bantar Gebang PLTSa. The research aims to determine the effectiveness and variables that affect the performance of the condenser at the Merah Putih Bantar Gebang PLTSa. Following, the analysis is done using the methods LMTD (Log Mean Temperature Difference) and NTU (Number of Transfer Units) – Effectiveness (ϵ). Based on the calculation results from October 9, 2023 to October 23, 2023, the best effectiveness value of the Merah Putih Bantar Gebang PLTSa condenser was 99.81% with an average of 99.80%. The effectiveness value is influenced by variables such as (LMTD), Heat capacity ratio, NTU, and condenser vacuum pressure. Based on the evaluation, it can be concluded that the effectiveness of the PLTSa condenser falls into the category of good performance..

Keywords: Condenser, Log Mean Temperature Difference, Number of Transfer Units, Condenser Effectiveness

1. Pendahuluan

Konversi energi thermal menjadi energi mekanik atau yang umum disebut dengan siklus Rankine merupakan konsep dasar yang digunakan pada pembangkit listrik konvensional[1]. Umumnya pembangkit listrik dengan siklus Rankine menggunakan bahan bakar fosil yang tidak dapat diperbarui. Untuk mengatasi hal tersebut alternatif sumber energi diganti dengan sampah, mengingat sampah pada treatment yang tepat dapat memiliki nilai kalor mencapai 4000 cal/gr [2].salah satu Pembangkit listrik tenaga sampah di Indonesia yaitu PLTSA merah putih, menerapkan prinsip siklus Rankine untuk menghasilkan listrik. Siklus Rankine secara sederhana terdiri dari 4 komponen yaitu: pompa, boiler, turbin, kondensor[3]. Performa siklus pembangkit listrik tenaga sampah dipengaruhi dari berbagai faktor, salah satunya adalah performa dari komponen kondensor.

Sebagai alat penukar panas, kondensor berperan penting dalam optimasi produksi energi [4]. Kondensor sebagai alat penukar panas, menerima uap panas dari turbin uap yang kemudian akan didinginkan menjadi air kondensat. Sebagai peralatan utama dalam siklus rankine, apabila terjadi kerusakan pada kondensor maka dapat menghambat proses produksi listrik di PLTSA Merah Putih Bantar Gebang. Oleh karena itu, penulis ingin mengetahui performa sebuah kondensor baik atau tidak dilihat dari salah satu cara yaitu dengan mencari nilai efektivitas dari kondensor tersebut. Untuk mendapatkan nilai efektivitas dari performa kondensor digunakan rumus LMTD, NTU dan ϵ , serta tekanan vakum.

2. Landasan Teori

2.1. Kondensor

Tugas utama kondensor pada sistem pembangkit listrik konvensional adalah mengkondensasikan uap panas menjadi kondensat yang dapat digunakan kembali sebagai pendingin. Adapun manfaat kondensor lainnya, yaitu menjaga tekanan keluar turbin rendah, sehingga dapat menaikkan efisiensi pembangkit listrik[5]. Secara sederhana prinsip dasar dari kondensor adalah memindahkan panas laten di uap panas ke media pendingin seperti udara maupun air. Dengan hilangnya panas laten di uap, akan mengubah uap menjadi cair. Cairan inilah yang disebut sebagai kondensat. Kondensat yang terbentuk selanjutnya dapat digunakan kembali sebagai media pendingin (*coolant*) untuk mendinginkan uap panas. Proses ini tentunya sangat menghemat biaya produksi air pendingin baru (*make up water*) yang di ambil dari sumber air permukaan seperti air danau, sungai, dan sumur[6]

Untuk menjaga performa kondensor Adapun factor yang perlu diperhatikan adalah kebersihan alat kondensor, karena penumpukan kotoran akan mempengaruhi transfer panas, kriteria air pendingin seperti volume, komposisi, dan parameter fisik air. Sebagai contoh, apabila peralatan bersih namun air pendingin mengandung alga atau sedimen tentunya akan mengendap dan merusak peralatan condenser olehkarenanya kondisi fisik dan kimia air pendingin penting untuk di perhatikan.

Proses pemindahan panas dari uap ke air pendingin di dalam kondensor sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor penting. Pertama, volume aliran air pendingin berperan besar dalam efektivitas pendinginan. Kedua, kondisi kebersihan pipa kondensor dan pelat tabung sangat menentukan, karena kebersihan yang baik akan meningkatkan efisiensi perpindahan panas. Ketiga, efisiensi kerja unit pembuang uap turbin juga mempengaruhi kinerja keseluruhan sistem kondensasi. Selanjutnya, adanya kebocoran udara dalam sistem dapat mengganggu proses pendinginan dengan menciptakan hambatan yang tidak diinginkan. Terakhir, suhu air pendingin itu sendiri menjadi faktor krusial; air pendingin dengan suhu lebih rendah akan lebih efektif dalam menyerap panas dari uap. Semua faktor ini bekerja bersama-sama untuk memastikan bahwa proses perpindahan panas berlangsung secara optimal dalam kondensor [7].Jenis kondensor yang digunakan di PLTSA Merah Putih Bantar Gebang adalah jenis Surface Condenser tipe Shell and Tube dengan aliran Counter Flow.

2.2. Asas Black

Konsep perpindahan panas pada kondensor terjadi saat aliran panas dan aliran dingin saling berkontak, panas akan terus berpindah dari aliran bersuhu tinggi ke aliran bersuhu rendah sampai kedua aliran memiliki suhu yang sama. Fenomena ini dikenal dengan asas black [8]

Secara matematis dirumuskan:

$$Q_{lepas} = Q_{terima} \quad (1)$$

2.3. Kalor Laten

Terjadinya perpindahan panas tanpa merubah suhu namun dapat merubah fase zat tersebut maka panas yang berpindah tersebut dikenal dengan panas laten atau latent heat, Adapun rumusnya sebagai berikut: [9]

$$Q = \dot{m}h \cdot L \quad (2)$$

Dimana:

- $\dot{m}h$ = kecepatan massa (kg/s)
- L = kalor laten spesifik (kJ/kg)

2.4. Efektivitas Kondensor

Efektivitas kondensor adalah perbandingan antara jumlah panas yang ditransfer dari uap ke air pendingin dengan jumlah panas teoritis yang dapat ditransfer. Efektivitas kondensor dapat mempengaruhi langsung terhadap performa pembangkit. Kondensor yang bekerja dengan efisien akan menghasilkan listrik dengan efisien pula. Semakin tinggi nilai efektivitas kondensor, maka semakin baik juga performa pembangkit listrik, karena semakin sedikit energi yang terbuang ke lingkungan dalam bentuk uap yang tidak terkondensasi. Untuk mengetahui efektivitas performa kondensor, beberapa perhitungan yang dipakai yaitu:

2.4.1. Kecepatan aliran massa air pendingin

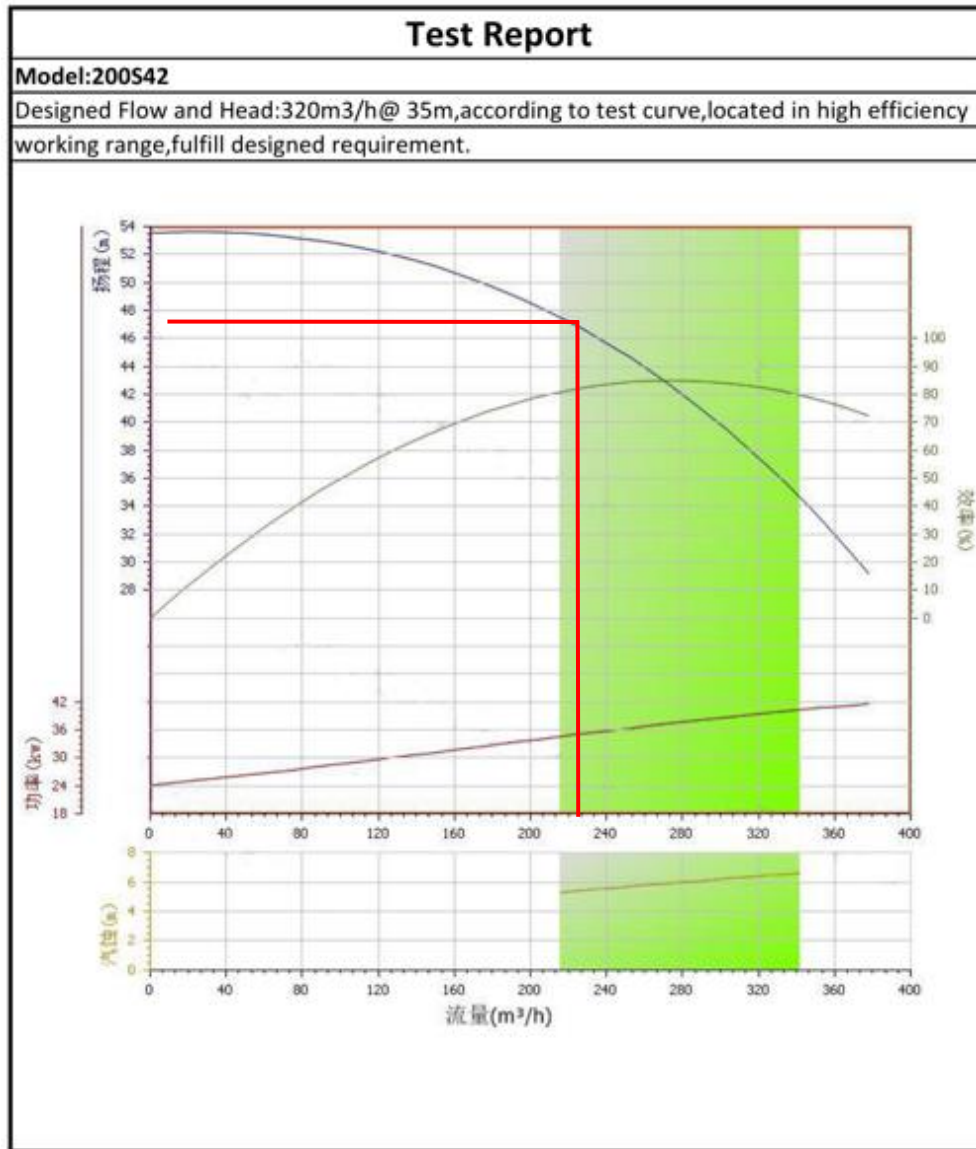
Untuk mengetahui laju aliran massa fluida pendingin yang mengalir pada tube-tube kondensor, penulis menggunakan pendekatan dengan cara grafik performa pompa melalui pressure gauge pompa CT (P_g) dan pressure inlet kondensor (P_{cin}). [10]

$$P_{ct} = P_g + P_{cin} \quad (2)$$

Dimana:

- P_{ct} = Total tekanan pada aliran fluida pendingin (meterhead)
- P_g = Tekanan pada setiap pompa (bar)
- P_{cin} = Tekanan pada inlet kondensor (bar)

Setelah mendapatkan nilai total tekanan pada aliran fluida pendingin maka nilai tersebut dapat dimasukkan kedalam grafik datasheet performa pompa Sichuanmingzhubengyeyouxiangongsi. dan didapatkan data debit fluida pendingin. [10]



Gambar 1. Grafik datasheet performa pompa (Dokumen PLTSa)

$$\dot{Q}_c = \dot{Q}_c A + \dot{Q}_c B \quad (3)$$

Dimana:

- \dot{Q}_c = Total debit aliran fluida pendingin (m^3/h)
- $\dot{Q}_c A$ = Debit aliran pompa CT A (m^3/h)
- $\dot{Q}_c B$ = Debit aliran pompa CT B (m^3/h)

Dengan diketahui debit pada pompa CT A dan B dan densitas yang didapatkan dari temperatur cooling water inlet kondensor lalu disesuaikan dengan tabel density of liquid water, maka laju aliran massa air pendingin yaitu: [6]

$$\dot{m}_c = \rho \times \dot{Q}_c \quad (4)$$

Dimana:

- \dot{m}_c = kecepatan aliran massa air pendingin (kg/s)

- ρ = Densitas air (kg/m³)

a. Laju perpindahan panas yang diterima oleh fluida pendingin

Persamaan laju perpindahan panas ini digunakan untuk mencari nilai koefisien perpindahan panas menyeluruh (U) lalu dikarenakan aliran fluida pendingin tidak mengalami perubahan fase. Laju perpindahan panas aliran fluida pendingin dapat dihitung menggunakan persamaan: [7]

$$Q_c = \dot{m}_c \times C_{pc} \times (T_{c,o} - T_{c,i}) \quad (5)$$

Dimana:

- Q_c = Laju perpindahan panas diserap oleh air pendingin (kW)
- \dot{m}_c = kecepatan aliran massa air pendingin (Kg/s)
- C_{pc} = Kalor jenis air (kJ/Kg°C)
- $T_{c,i}$ = suhu masuk air pendingin (°C)
- $T_{c,o}$ = suhu keluar air pendingin (°C)

b. Logarithmic Mean Temperature Difference (LMTD)

Untuk menghitung seberapa besar rata-rata perpindahan panas yang terjadi di sepanjang pipa dapat dinyatakan dengan Logarithmic Mean Temperature Difference (LMTD). Perhitungan LMTD diperlukan untuk menentukan koefisien perpindahan panas keseluruhan yang terjadi dalam kondensor. Dikarenakan kondensor di PLTSa Merah Putih Bantar Gebang memiliki aliran counter flow LMTD dapat di hitung melalui persamaan: [8]

$$\Delta LMTD = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}} \quad (6)$$

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

Dimana:

- $T_{h,i}$ = suhu *hot water in* (°C)
- $T_{h,o}$ = suhu *hot water out* (°C)
- $T_{c,i}$ = suhu *cooling water in* (°C)
- $T_{c,o}$ = suhu *cooling water out* (°C)

c. Menentukan Faktor Koreksi Kondensasi Aliran Counter Flow (F)

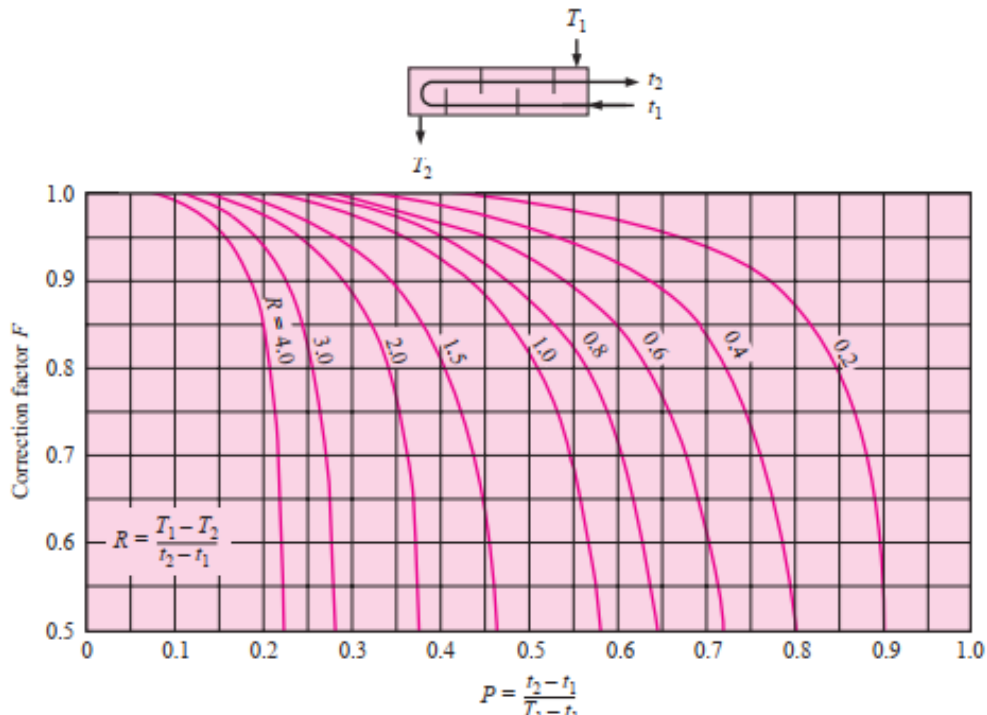
Nilai LMTD perlu dikoreksi dengan faktor koreksi (F) untuk menentukan perbedaan suhu yang sesungguhnya dari nilai LMTD di berbagai jenis heat exchanger shell and tube dan aliran berlawanan yang mempunyai lebih dari satu aliran atau multi-pass. Menentukan nilai F perlu dihitung terlebih dahulu dengan parameter berikut: [9]

- Nilai R adalah rasio laju kapasitas energi panas

$$R = \frac{T_{h,i} - T_{h,o}}{T_{c,o} - T_{c,i}} \quad (7)$$

- Nilai P adalah keefektifan temperatur pada sisi fluida dingin :

$$P = \frac{T_{c,o} - T_{c,i}}{T_{h,i} - T_{c,i}} \quad (8)$$



Gambar 2 Grafik Faktor Koreksi Shell and Tube [11]

d. Overall Heat Transfer Coefficient (U)

Overall Heat Transfer Coefficient yang diartikan sebagai koefisien perpindahan panas keseluruhan, didefinisikan sebagai hantaran perpindahan panas dari pengumpulan panas di sebuah dinding yang memiliki fluida panas di sisi satu dan fluida dingin di sisi lain. Nilai U dipergunakan pada persamaan berikut: [9]

$$U = \frac{Q}{A \times F \times \Delta LMTD} \quad (9)$$

Dimana:

- Q = Kalor yang berpindah atau laju perpindahan panas (kW)
- A = Luas Permukaan perpindahan panas (m²)
- U = Overall heat transfer coefficient (kW/m² .°C)

F = Faktor koreksi kondensasi

e. Laju aliran massa uap

Menghitung laju aliran massa uap menggunakan pembagian dari kalor laten yang di serap air dengan kalor laten uap air sebesar 2257 kJ/Kg, dimana laju perpindahan panas antara steam dan air pendingin akan sama dengan menerapkan prinsip asas black. [9]

$$\dot{m}h = \frac{Q}{L} \quad (10)$$

Dimana:

- Q = Qc
- $\dot{m}h$ = Laju aliran massa uap (Kg/s)
- L = Kalor laten uap air 2257 (kJ/kg)

f. Metode *Number Of Transfer Unit* (NTU) – Efektivitas (ϵ)

adalah angka tanpa satuan yang menyatakan perpindahan panas dalam *heat exchanger*. Rumus untuk NTU adalah: [8]

$$NTU = \frac{U.A}{C_{min}} \quad (11)$$

Dengan C_{min} nilai terkecil yang diperoleh dari Ch (hot) atau Cc (cold). [10]

$$C_c = \dot{m}c \times C_{pc} \quad (12)$$

$$C_h = \dot{m}h \times C_{ph} \quad (13)$$

Dimana:

- C_c = kapasitas panas fluida dingin (kW.K)
- C_h = kapasitas panas fluida panas (kW.K)
- $\dot{m}c$ = kecepatan massa fluida dingin (kg/s)
- $\dot{m}h$ = kecepatan massa fluida panas (kg/s)
- C_{pc} = Panas spesifik fluida dingin (kJ/kg.K)
- C_{ph} = Panas spesifik fluida panas (kJ/kg.K)

Rasio perbandingan antara laju perpindahan panas yang sebenarnya dengan laju perpindahan panas tertinggi yang mungkin pada alat oemindah panas disebut dengan Efektivitas (ϵ). Dikarenakan tipe kondensor di PLTSa adalah shell and tube dengan four passes maka efektivitas dapat dinyatakan sebagai berikut: [8]

$$\epsilon = \frac{2}{1 + C_r + (1 + C_r^2)^{0,5}} \times \frac{1 + \exp[-NTU(1 + C_r^2)^{0,5}]}{1 - \exp[-NTU(1 + C_r^2)^{0,5}]} \quad (14)$$

Dimana:

C_r = Rasio kapasitas panas, dirumuskan sebagai berikut: [8]

$$C_r = \frac{C_{min}}{C_{max}} \quad (15)$$

3. Metodologi

Selain kajian pustaka, tahap yang dilakukan untuk menjawab tujuan adalah pengambilan data. Data skunder yang diperoleh didapat dari ruang kontrol, maupun literatur, buku manual ataupun data operasional. Untuk memverifikasi data dilakukan wawancara dengan mentor dan operator lapangan.

Pengambilan data untuk laporan ini bertempat di PLTSa Merah Putih Bantar Gebang, data yang diperoleh dari logsheet steam turbine mulai dari tanggal 09 Oktober 2023 – 23 Oktober 2023. Data yang diperoleh antara lain suhu dan tekanan *cooling water in* (T_{ci} , P_{ci}), suhu dan tekanan *cooling water out* (T_{co} , P_{co}), temperatur uap keluar turbin uap, temperatur hotwell atau air kondensat, tekanan vakum kondensor. Pada pengambilan data laju aliran air pendingin dilakukan pendekatan dengan cara grafik perfoma pompa melalui pressure pompa CT (Cooling Tower).



Gambar 3 Diagram Alir Penelitian

Data yang telah di kumpulkan kemudian diolah menggunakan rumus LMTD, NTU dan efektifitas, dimana nilai efektifitas disini adalah nilai kinerja kondensor. Hasil perhitungan akan didapatkan nilai kecepatan aliran massa uap, kecepatan perpindahan panas, nilai U, NTU dan Efektivitas (ϵ). Hasil analisa akan berupa grafik efektifitas kodensor Vs. Delta P vakum, serta grafik hubungan Efektifitas kodensor dengan NTU. sehingga didapatkan faktor yang mempengaruhi kinerja kodensor

4. Hasil dan Pembahasan

A. Spesifikasi Kondensor PLTSa Merah Putih Bantar Gebang

Berikut spesifikasi kondensor yang digunakan untuk mengkondensasikan uap keluaran turbin di PLTSa Merah Putih Bantar Gebang sebagai berikut.

Tabel 1 Spesifikasi Kondensor

Spesifikasi Kondensor	
<i>Maker</i>	PT. INDONESIAN MARINE (C-3483).
<i>Merk</i>	<i>Chem Process Systems</i>
<i>Probject</i>	PLTSa Merah Putih Bantar Gebang
<i>Type</i>	<i>Surface Condenser (Shell&Tube)</i>
<i>Surface Area</i>	135,28 m ²
<i>No of Tubes</i>	728 tube
<i>Number Of Water Passes</i>	4
<i>Cooling Water Temperature Inlet</i>	32 °C

Cooling Water Temperature Outlet	40 °C
Tekanan air pendingin	2,5 Bar
Debit air pendingin	341 m ³ /hr
Steam flow	5000 kg/hr
Steam Pressure	0,097 Bara

B. Data Operasi Kondensor

Pengambilan data diperoleh dalam penelitian ini berasal dari observasi lapangan dan logsheet pada tanggal 09 Oktober 2023 – 23 Oktober 2023. Data yang dikumpulkan selama observasi lapangan ini kemudian akan menjadi dasar untuk analisa lebih lanjut dan kesimpulan dalam penelitian mengenai kondensor.

Tabel 2 Data Aktual Kondensor tanggal 09 Oktober 2023 – 23 Oktober 2023

Tanggal	Temperatur (°C)				Tekanan Vakum (bar)
	T _{c,o}	T _{c,i}	T _{h,i}	T _{h,o}	
09/10/2023	34,49	29,59	61,32	56,65	-0,81
10/10/2023	34,46	29,71	61,61	57,96	-0,79
11/10/2023	34,42	29,98	60,68	56,67	-0,80
12/10/2023	34,48	29,96	62,18	57,36	-0,80
13/10/2023	34,32	29,78	60,9	57,16	-0,80
14/10/2023	33,98	29,4	63,16	57,27	-0,80
15/10/2023	33,88	29,1	64,59	58	-0,79
16/10/2023	34,63	29,73	62,15	58	-0,78
17/10/2023	33,85	29,13	63,48	59	-0,78
18/10/2023	34,28	29,34	62,29	58,96	-0,78
19/10/2023	34,83	29,91	64,19	60	-0,78
20/10/2023	34,58	29,8	62,52	58,6	-0,78
21/10/2023	34,9	30,32	61,61	58,27	-0,78
22/10/2023	34,42	29,58	61,6	58,6	-0,78
23/10/2023	34,7	29,24	64,35	62	-0,69

Untuk menghitung data aktual tentang kondensor, metode yang sama digunakan. Untuk lebih memudahkan analisis, hasil perhitungan performa keseluruhan kondensor disajikan sebagai berikut.

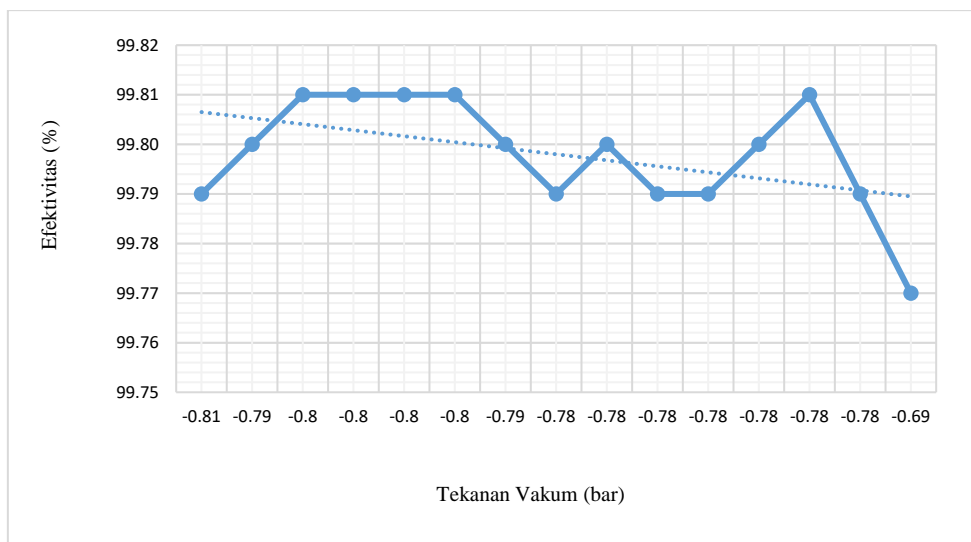
Tabel 3 Hasil Perhitungan Data Aktual Kondensor

Tanggal	\dot{m}_c (Kg/s)	Q (kW)	U (kW/m ²)	$\Delta LMT D$ (°C)	\dot{m}_h (Kg/s)	C _c	C _h	C _r	NTU	Efektivas (%)
09/10/2023	118,93	2434,80	0,667966	26,94	1,079	496,90	2,06	0,00416	43,76	99,79

10/10/2023	125,35	2487,61	0,663936	27,70	1,102	523,71	2,11	0,00403	42,53	99,80
11/10/2023	128,34	2380,67	0,664722	26,47	1,055	536,19	2,02	0,00377	44,53	99,81
12/10/2023	109,53	2068,39	0,554985	27,55	0,916	457,61	1,76	0,00384	42,76	99,81
13/10/2023	111,19	2109,02	0,577879	26,98	0,934	464,54	1,79	0,00385	43,71	99,81
14/10/2023	116,20	2223,56	0,576323	28,52	0,985	485,49	1,89	0,00389	41,30	99,81
15/10/2023	121,74	2431,17	0,603150	29,80	1,077	508,61	2,07	0,00406	39,49	99,80
16/10/2023	121,59	2489,16	0,659658	27,89	1,103	507,99	2,11	0,00416	42,23	99,79
17/10/2023	118,42	2335,18	0,580232	29,75	1,035	494,74	1,98	0,00401	39,55	99,80
18/10/2023	114,36	2360,27	0,605651	28,81	1,046	477,79	2,01	0,00420	40,85	99,79
19/10/2023	116,17	2387,88	0,593854	29,72	1,058	485,34	2,03	0,00419	39,55	99,79
20/10/2023	112,46	2245,92	0,585241	28,37	0,995	469,86	1,91	0,00406	41,48	99,80
21/10/2023	114,29	2186,88	0,591597	27,33	0,969	477,48	1,86	0,00389	43,11	99,81
22/10/2023	116,17	2349,06	0,618171	28,09	1,041	485,34	1,99	0,00411	41,94	99,79
23/10/2023	126,16	2878,00	0,682329	31,18	1,275	527,11	2,45	0,00465	37,66	99,77
Rata-rata										99,80

Hasil perhitungan efektivitas antara data kondensor tidak berubah secara signifikan. Nilai efektivitas terendahnya adalah 99,77% dan nilai efektivitas tertingginya adalah 99,81%. Jika nilai efektivitas kondensor sama atau tidak terlalu jauh berbeda antara satu sama lain selama beberapa waktu, kondensor dianggap baik performanya. Ada kemungkinan bahwa kondensor yang ada di PLTSa Merah Putih Bantar Gebang memiliki kinerja yang sangat baik. Nilai rata-rata: Data aktual dari 09 Oktober 2023 hingga 23 Oktober 2023 menunjukkan nilai efektivitas rata-rata 99,80% pada kondensor. Nilai tekanan vakum kondensor dapat bertanggung jawab atas penurunan ini.

Tekanan vakum kondensor diukur dalam satuan bar. Nilai efektivitas yang dihasilkan berkorelasi positif dengan tekanan vakum yang ada pada kondensor. Tekanan vakum kondensor semakin rendah, efektifitas semakin tinggi. Ini disebabkan oleh fakta bahwa tekanan vakum adalah tekanan udara yang diubah menjadi tekanan atmosfer.



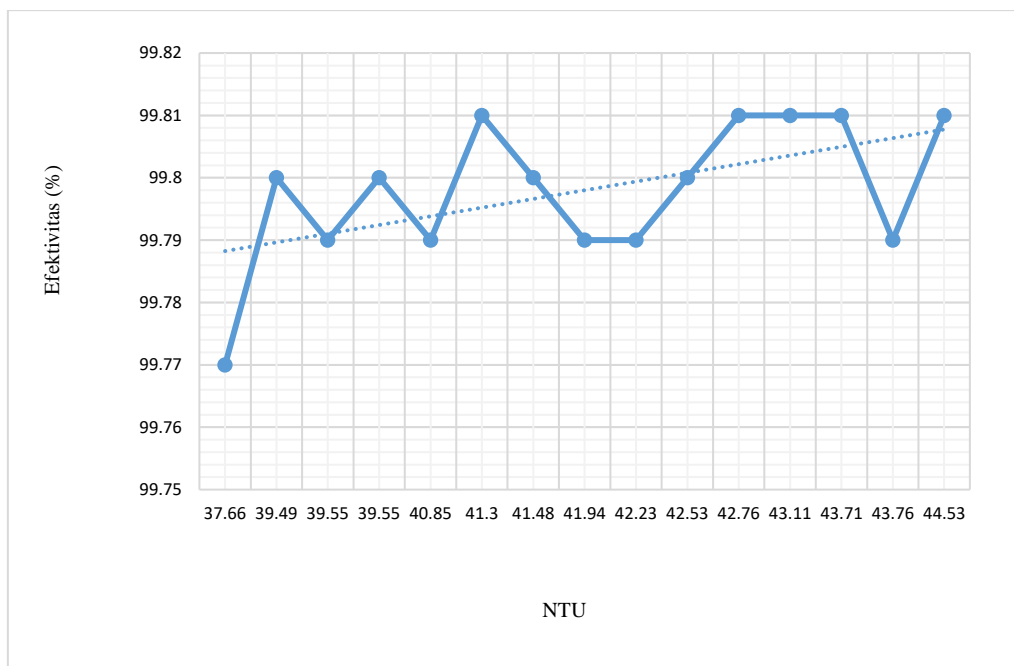
Gambar 4 Grafik pengaruh tekanan vakum terhadap efektivitas

Gambar 4 menunjukkan bahwa tekanan vakum memengaruhi nilai efektivitas kondensator secara signifikan. Semakin tinggi tekanan vakum pada kondensator, semakin baik kinerjanya saat mengkondensasikan uap menjadi air kondensat.

Salah satu faktor yang dapat memengaruhi tingkat vakum kondensator adalah suhu air pendingin. Jika suhu air pendingin lebih rendah, uap akan terkondensasi lebih cepat, yang menyebabkan tekanan di dalam kondensator menjadi lebih vakum. Untuk efektivitas kondensator terbesar dihasilkan pada tanggal 11 – 14 Oktober 2023 saat tekanan vakum -0,80 bar yaitu 99,81%, sedangkan untuk efektivitas kondensator terkecil pada tanggal 23 Oktober 2023 dihasilkan pada saat tekanan vakum -0,69 bar yaitu 99,77%.

Grafik menunjukkan kenaikan dan penurunan, yang dikenal sebagai fluktuasi. Hal ini dapat disebabkan oleh tidak sempurna dan meratanya kondensasi gas di dalam kondensator. Sehingga dapat menaikkan tekanan kondensator [2], serta mengurangi kecepatan perpindahan panas. Karena adanya gas oksigen dalam kondensator, korosi dapat terjadi pada sekat kondensator, yang mengurangi efektivitas pengoperasian turbin uap. Oksigen dibuang untuk mempertahankan usia peralatan. Alat penghilang udara, atau alat penghilang udara, seperti ejector pada PLTSA Merah Putih Bantar Gebang ini, adalah salah satu metode untuk menghilangkan gas-gas ini.

Penurunan laju perpindahan panas pada kondensator dapat disebabkan oleh fouling (endapan), baik dikarenakan oleh scaling korosi, atau bio fouling lainnya. Untuk menghilangkan fouling dapat dilakukan dengan penggunaan coagulant dan water treatment, pelaksanaan *backwash* perlu untuk membuang padatan yang tersaring atau terbawa oleh air pendingin, selain itu perawatan tube kondensator dapat menggunakan ball tapping cleaning kondensator pada kondisi tidak beroperasi. Ball cleaning ini akan membersihkan permukaan tube kondensator. Bola-bola ini akan dimasukkan pada setiap tube kondensator lalu dilakukan penyemprotan dengan air bertekanan untuk mendorong bola-bola cleaning kondensator, dimana bola masuk dan keluar pada water box inlet dan outlet kondensator.



Gambar 5 Grafik hubungan NTU terhadap efektivitas

Berdasarkan Gambar diatas menyatakan korelasi efektivitas terhadap *Number of Transfer Unit* (NTU) 09 Oktober 2023 – 23 Oktober 2023, dapat diketahui bahwa nilai efektivitas meningkat seiring dengan nilai NTU yang dihasilkan semakin besar, yang mana nilai NTU sendiri dapat dipengaruhi luas permukaan perpindahan panas (A) didapatkan dari spesifikasi kondensor.

Sedangkan Untuk nilai beda temperatur air pendingin yang masuk dan keluar, dan kecepatan air pendingin akan mempengaruhi kecepatan perpindahan panas (Q) yang nantinya akan berpengaruh ke koefisien perpindahan panas keseluruhan (U), nilai (LMTD) ditentukan oleh suhu uap, dan air pendingin yang masuk maupun yang keluar, luas permukaan perpindahan panas (A), dan nilai kapasitas panas minimum (Cmin) ditentukan oleh aliran uap. Nilai NTU menjadi semakin kecil seiring dengan peningkatan nilai LMTD dan Cmin.

5. Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil perhitungan nilai efektivitas pada kondensor di PLTSa Merah Putih Bantar Gebang, didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai efektivitas kondensor terbesar di PLTSa Merah Putih Bantar Gebang dihasilkan pada saat tekanan vakum -0,80 bar yaitu 99,81%, sedangkan efektivitas kondensor terendah yang dihasilkan pada saat tekanan vakum -0,69 bar yaitu 99,77%.
2. Nilai efektivitas rata - rata kondensor di PLTSa Merah Putih Bantar Gebang berdasarkan perhitungan data aktual pada tanggal 09 Oktober 2023 – 23 Oktober 2023 yaitu sebesar 99,80% dengan menggunakan metode LMTD dan metode Efektivitas (ϵ) serta NTU.
3. Seiring dengan peningkatan nilai tekanan vakum kondensor yang dihasilkan maka efektivitas kondensor juga semakin meningkat
4. Semakin besar nilai NTU kondensor yang ada maka efektivitas yang dihasilkan semakin besar.
5. Besarnya nilai efektivitas dapat dipengaruhi oleh variabel-variabel antara lain yaitu Δ LMTD, Rasio kapasitas panas, NTU, dan tekanan vakum kondensor

6. Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih atas bantuan dan dukungan pada penelitian ini kepada Engineer Mekanik PLTSA Merah Putih Bantar Gebang atas perizininan serta kepada Politeknik Negeri Jakarta [267/PL3.A.10/PT.00.06/2024 , tanggal 25 April 2024].

7. Daftar Pustaka

- [1] O. W. Irawan, L. S. Pratama, and C. Insani, “Analisis Termodinamika Siklus Pembangkit Listrik Tenaga Uap Kapasitas 1500 kW,” *JTM-ITI (Jurnal Tek. Mesin ITI)*, vol. 5, no. 3, p. 109, 2021, doi: 10.31543/jtm.v5i3.579.
- [2] B. Zaman, W. Oktiawan, M. Hadiwidodo, E. Sutrisno, and P. Purwono, “Calorific and greenhouse gas emission in municipal solid waste treatment using biodrying,” *Glob. J. Environ. Sci. Manag.*, vol. 7, no. 1, 2021, doi: 10.22034/gjesm.2021.01.03.
- [3] J. Yu, “Steam Power Conversion System,” in *Marine Nuclear Power Technology*, Singapore: Springer Singapore, 2020, pp. 253–267. doi: 10.1007/978-981-15-2894-1_7.
- [4] B. Yadav, “A Review on Thermal Performance Analysis of Steam Surface Condenser,” 2020, [Online]. Available: <https://consensus.app/papers/a-review-on-thermal-performance-analysis-of-steam-surface-yadav/94569264afaf555c824afde86068e7c4/>
- [5] J. D. J. Joseph, K. R. Chakravarthi, and M. Sarathkumar, “Analysis on Performance of Condenser in Thermal Power Plant,” *ETDM - 2017 Conf. Proc.*, vol. 5, no. 07, pp. 5–8, 2017.
- [6] M. F. Bono and W. P. Widyaningsih, “Analisis kinerja kondensor terhadap perubahan tekanan vakum di PT PLN (PERSERO) sektor pembangkitan PLTGU Cilegon,” *Eksergi J. Tek. Energi.*, vol. 10, no. 1, 2014.
- [7] H. Hairudin and A. Mursadin, “Analisis Kinerja Condenser Shell and Tube Unit 2 Di Pt. Pln (Persero) Sektor Asam-Asam Kalimantan Selatan,” *Jtam Rotary*, vol. 3, no. 2, pp. 203–218, 2021, doi: 10.20527/jtam_rotary.v3i2.4139.
- [8] E. Siregar, R. Fadilah, and Kasmawati, “Sosialisasi Praktikum Fisika Materi Suhu dan Kalor di MAS,” *Kalandra J. Pengabd. Kpd. Masy.*, vol. 02, pp. 161–167, 2023.
- [9] C. R. John Bird, *Mechanical Engineering Principles*. 2019. doi: <https://doi.org/10.1201/9780429287206>.
- [10] M. C. Potter, D. C. Wiggert, and M. Hondzo, *Mechanics of Fluids Subsequent Edition*. Prentice Hall, 1997.