

# PENGARUH VARIASI TEMPERATUR AIR PENDINGIN KONDENSOR TERHADAP TEKANAN PADA BEBAN TETAP

**Atoni<sup>1</sup>, Kisman H. Mahmud<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jakarta

<sup>2</sup>Departemen Fisika Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jakarta

Jl. Cempaka Putih Tengah-27, Jakarta Pusat 10510, Indonesia

Email : [kismanmahmud@yahoo.co.id](mailto:kismanmahmud@yahoo.co.id)

## ABSTRACT

*The main function of steam condensor in steam plant installation is to condense exhaust steam from turbine which causes the high quality water feed to be reused in the cycle. When the circulating cooling water is low, it will cause low reverse pressure to bring the steam out from the turbine. This will decrease the end pressure which exit from the turbine which in turn causes the turbine power to become higher than the installation which does not use condensor. It means that the fixed turbine power increases efficiency of installation. Steam condensor which is water-cooling heat alternator significantly will be affected by the water cooling condition or the circulation, either its temperature or its cleanness. This paper will analyze the effect of the water-cooling temperature variation on condensor performance. The analysis was carried out based on the data collected from PLTU Muara Karang Unit 3. The result showed that the high temperature of water cooling increased the condensor pressure, the saturated temperature of condensor, the difference of the average temperature, the coefficient of total exchanging heat, and the condensor heat load. As a result, it will reduce the efficiency of cycle thermal.*

Keywords: Condensor, Heat Exchanging

## ABSTRAK

*Fungsi utama kondensor uap pada suatu instalasi pembangkit tenaga uap adalah untuk mengkondensasikan uap buangan dari turbin dan dengan demikian mengembalikan air-umpan berkualitas tinggi untuk dipakai lagi dalam siklus. Jika air pendingin yang bersirkulasi cukup rendah, akan menimbulkan tekanan balik yang rendah untuk membuang uap keluar dari turbin. Hal ini akan menurunkan tekanan akhir yang keluar dari turbin sehingga daya turbin akan menjadi lebih besar dibandingkan dengan instalasi yang tidak menggunakan kondensor. Atau dengan daya turbin yang tetap, efisiensi instalasi akan meningkat. Kondensor uap yang merupakan alat penukar kalor berpendingin air akan sangat dipengaruhi oleh kondisi air pendingin atau sirkulasi, baik suhu atau kebersihannya. Pada pembuatan tulisan ini akan diperhitungkan pengaruh dari variasi suhu air pendingin terhadap unjuk kerja kondensor. Perhitungan diambil berdasarkan data-data yang didapat dari PLTU Muara Karang unit 3. Hasil akhir dapat dilihat bahwa dengan semakin tingginya suhu air pendingin, maka akan meningkatkan tekanan kondensor, suhu saturasi kondensor, beda suhu rata-rata, koefisien perpindahan kalor total dan beban kalor kondensor. Dan dari sini akan mengakibatkan makin menurunnya efisiensi termal siklus.*

Kata kunci : Kondensor, perpindahan kalor

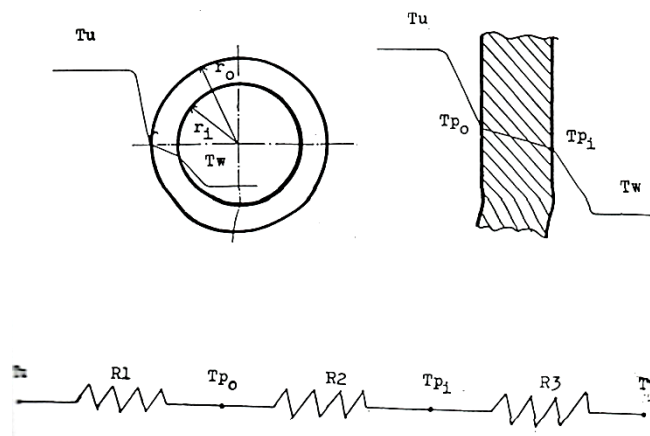
## I. PENDAHULUAN

Proses dalam suatu system termodinamika, khususnya bidang temperature entropi mempunyai peran yang penting. Apabila zat mengalami proses reversibel tidak terdapat perubahan energi dalam netto untuk suatu daur, jadi perpindahan energy netto ke satu-satuan massa zat sebagai panas selama daur berlangsung harus sama dengan perpindahan energy netto sebagai energy kerja dari zat. Salah satu usaha yang menghasilkan perbaikan yang sangat berarti terhadap efisiensi konversi energy, dengan memperhatikan keluaran kerja turbin akan bertambah besar apabila tekanan keluar turbin dibuat lebih rendah. Untuk menciptakan suatu daerah bertekanan rendah dimana fluida dari turbin dapat dibuang. Hal ini dapat dicapai dengan penambahan sebuah kondensor.

Kondensor adalah alat pengatur panas, dengan proses perpindahan panas terjadi dari suatu fluida kerja yang temperaturnya tinggi ke fluida kerja yang temperaturnya rendah. Terjadi perubahan fasa dari fluida kerja bertemperatur tinggi pada kondisi tekanan dan temperatur konstan (uap ke cair). Tekanan dan temperatur uap adalah besaran yang mempunyai kaitan satu dengan yang lainnya, dimana untuk suatu harga temperatur tertentu akan didapat suatu harga tekanan uap yang tertentu pula. Pemakaian suatu kondensor memungkinkan suatu pendaoran berkesinambungan fluida yang sama, berarti bahwa air yang dimurnikan dapat digunakan sebagai fluida kerja. Tujuan dalam penelitian ini adalah melakukan studi analisa pengaruh dari perubahan temperatur air pendingin masuk kondensor terhadap perubahan harga tekanan uap kondensor dan tingkat kevakuman kondensor.

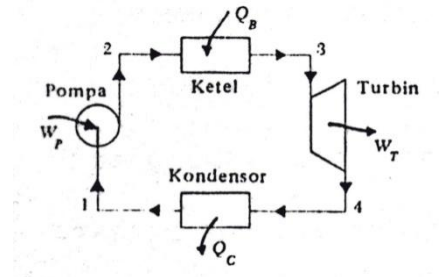
## II. KAJIAN PUSTAKA

Proses perpindahan panas dapat terjadi dari benda ke benda lain yg mempunyai temperatur lebih rendah, dimana mekanisme proses perpindahan dapat terjadi dengan cara konduksi, konveksi dan radiasi, sedangkan untuk sistem kondensor, air pendingin yang dialirkan didalam pipa pendingin mempunyai perbedaan temperatur terhadap uap yang mengalir didalam shell sehingga terjadi proses perpindahan energi panas antara kedua fluida kerja.



Gb. Proses aliran perpindahan panas dan analogi rangkaian listriknya

Turbin uap adalah suatu penggerak mula yang mengubah energi potensial uap menjadi energi kinetik dan selanjutnya diubah menjadi energi mekanis dalam bentuk putaran poros turbin. Turbin uap dapat digunakan pada berbagai bidang industri, untuk pembangkit tenaga listrik dan untuk transportasi.



Gb. Skema pembangkit Tenaga Uap

## 2.1. Jatuh tekanan

Jatuh tekanan didalam kondensor terdiri atas jatuh tekanan didalam kotak air dan jatuh tekanan gesekan didalam tabung. Ini bergantung pada beberapa faktor, seperti pola aliran dan ukuran kotak air, tabung masuk dan keluar pada plat tabung, ukuran dan panjang tabung, serta suhu dan kecepatan air.

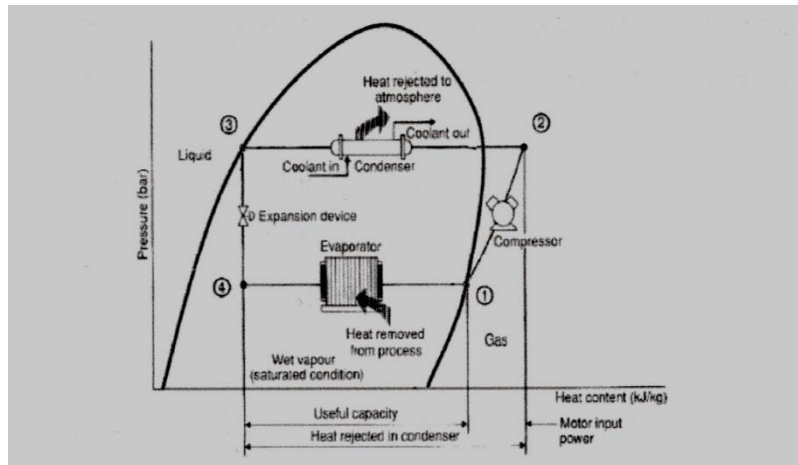
Jatuh tekanan dinyatakan dengan istilah tinggi-tekan(Head) H, yang dihubungkan dengan  $\Delta P$  maka persamaannya :

$$\Delta P = \rho H \frac{g}{gc}$$

Dimana :  $\rho$  = densitas  
 $g$  = percepatan gravitasi  
 $gc$  = faktor konversi

## 2.2. Kondensor dan Analisis Kondensor

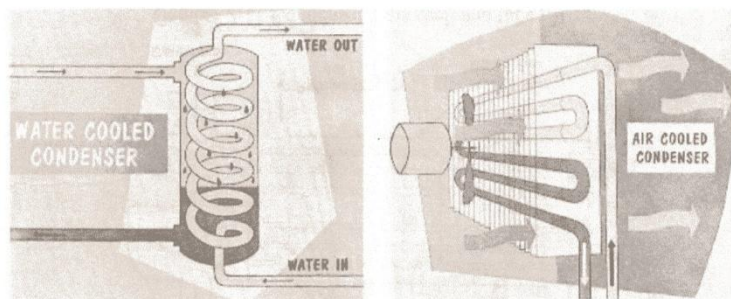
Pada diagram  $P-h$  dari siklus kompresi uap, kondensor mempunyai tugas merealisasikan garis 2-3. Pada prinsipnya kondensor merupakan APK yang fungsinya merubah fasa refrigeran yaitu merubah fase refrigeran dari uap menjadi cair. Pada dasarnya kondensor mempunyai dua fungsi, yaitu : Kondensor membuang panas yang diambil oleh refrigeran dari dalam evaporator dan kondensor mengkondensasikan refrigeran uap menjadi refrigeran cair.



**Gb. Skema diagram p-h siklus kompresi uap**

Pemindahan panas dan proses kondensasi didalam kondensor dapat terjadi dalam dua cara, yaitu :

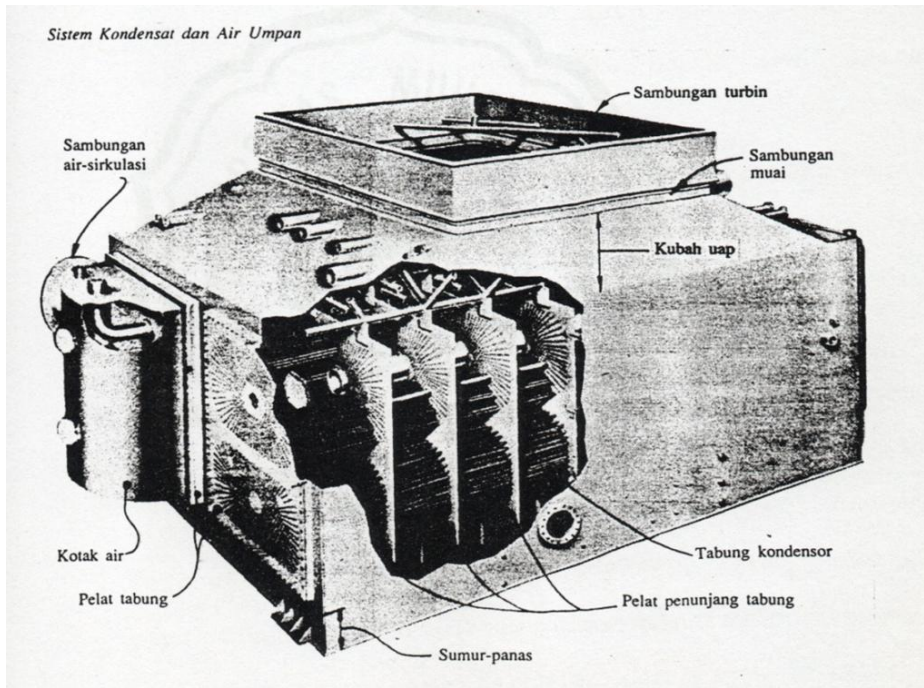
- I. Proses dengan bantuan air. Air digunakan untuk membantu mengambil panas dari refrigeran uap. Refrigeran uap yang mengalir dalam kondensor disimpan dalam suatu tempat atau air dilewatkan pada kondensor yang berisi refrigeran uap. Air masuk mempunyai temperatur lebih rendah dibandingkan dengan temperatur refrigeran uap. Panas dari refrigeran uap dipindahkan ke air melalui dinding kondensor. Air tersebut membawa panas dari wadah melalui saluran ke luar. Jika medium pendingin yang digunakan adalah air, kelebihanannya adalah air mempunyai sifat membawa dan memindahkan panas yang jauh lebih baik daripada udara.
- II. Proses dengan bantuan udara. Udara digunakan untuk membuang panas dari refrigeran uap melalui permukaan kondensor. Udara dihembuskan dengan menggunakan kipas ke permukaan kondensor. Karena udara lebih dingin dari refrigeran uap maka terjadi perpindahan panas dari refrigeran uap ke udara bebas melalui permukaan kondensor.



(a) air

(b) udara

**Gb. Jenis Pendingin Kondensor**



### 2.3. Analisa Kondensor

Laju perpindahan panas pada refrigerant dan air pendingin dapat dihitung dengan persamaan :

$$Q_r = \dot{m}_r (h_2 - h_1)$$

Dan

$$Q_w = \dot{m}_w c_p (T_{w,o} - T_{w,i})$$

Di mana :

- $Q_r$  = laju perpindahan panas refrigerant (kJ/s)
- $\dot{m}_r$  = laju aliran massa refrigerant (kg/s)
- $h$  = entalpi refrigerant pada diagram p-h (Kj/kg)
- $Q_w$  = laju perpindahan panas air (kJ/s)
- $\dot{m}_w$  = laju aliran massa air (kg/s)
- $c_p$  = kalor jenis air (4,19 kJ/kg.K)
- $T_{w,o}$  = temperatur air keluar kondensor (K)
- $T_{w,i}$  = temperature air masuk kondensor (K)

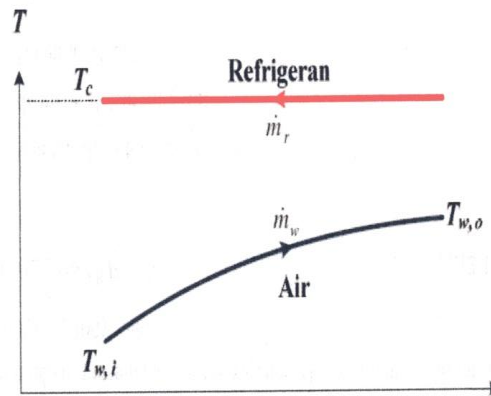
Besar laju aliran massa air pendingin dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$m_w = \frac{Q}{c_p (T_2 - T_1)}$$

Dimana :  $Q$  = beban kalor  
 $T_1$  = suhu masuk  
 $T_2$  = suhu keluar  
 $c_p$  = kalor spesifik air

#### 2.4. Perbedaan Suhu Rata-rata

Air pendingin yang keluar dari kondensator akan mempunyai temperatur yang lebih rendah dibandingkan dengan temperatur uap ataupun kondensatnya. Jika digambarkan harga temperatur uap sampai terjadi kondensat terhadap temperatur air pendingin sepanjang kondensator, maka kenaikan harga perbedaan temperatur relative antara kedua fluida kerja, tetapi pada saat air pendingin keluar kondensator temperaturnya masih tetap lebih kecil dar pada temperatur kondensator.



Gb. Profil Temperatur pada Kondensator

Dan besarnya perbedaan temperatur logaritma rata-rata tersebut dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$\Delta T_m = \frac{\Delta T_i - \Delta T_o}{\ln \left( \frac{\Delta T_i}{\Delta T_o} \right)}$$

#### *Jenis kondensator yang dianalisa*

### KARAKTER UMUM

NUMBER FURNISHED	ONE PER UNIT
MANUFAKTURED	TAKASAGO MACHINERY WORKS
TYPE	SURFACE, SINGLEPASS, DIVEDED
TOTAL EFPEKTIVE TUBE SURFAR	9,430 M2
SIZE OF TUBES	25,4 mm OD x 12,140 mm EFFECTIVE LENGTH, 1,245 mm THICKNESS OD 7/8 In, 18 BWG
TYPE AND NUMBER OF TUBES	:
90 - 10 Cu-Ni	: 9224
70 - 30 Cu-Ni	: 514
TOTAL	: 9738
HOT WELL STORAGE CAPACITY	40,000 1 AT NORMAL OPERATION LEVEL
TYPE OF TURBINE EXCHAUSET	VERTICAL
EXPANSION JOINT	STAILESS BELLOWS

### III. Metode Analisa dan Perhitungan

Tingkat kevakuman dari suatu kondensor akan dipengaruhi oleh tekanan uap dan tekanan udara yang bekerja pada kondensor. Sedangkan tekanan uap yang bekerja akan bergantung kepada laju aliran uap masuk kedalam kondensor, tekanan uap masuk, temperatur air pendingin masuk kondensor, laju aliran air pendingin masuk kondensor dan laju aliran udara yang dihisap keluar (oleh pompa vakum).

#### 1.1. Analisa Variasi Air Temperatur Pendingin Masuk Kondensor Terhadap Tekanan Uap Kondensor.

Tekanan dan temperatur uap adalah suatu besaran yang mempunyai kaitan satu sama lainnya, dimana untuk suatu harga temperatur tertentu akan didapat satu harga tekanan uap yang tertentu pula. Temperatur uap yang bekerja pada kondensor dihitung dengan persamaan :

$$T_u = T_{wi} + \left( \frac{Q}{C_p \cdot mv} \right) + \left( \frac{Q}{A \cdot U} \right)$$

Dimana :  $T_u$  = temperatur uap pada kondensor  
 $T_{wi}$  = temperatur air pendingin masuk kondensor  
 $Q$  = beban kalor pada kondensor  
 $C_p$  = kalor spesifik air  
 $m$  = laju aliran massa air

- A = luas permukaan luar tabung keseluruhan
- U = koefisien perpindahan kalor menyeluruh kondensor

Naiknya harga temperatur air pendingin masuk maka temperatur uap kondensor akan naik pula. Hal ini menyebabkan tingkat keadaan uap keluar turbin (masuk kondensor) yang meningkat sehingga daya output dari turbin uap turun. Tetapi jika terjadi keadaan sebaliknya atau temperatur air pendingin masuk turun, maka temperatur uap kondensor akan turun pula (tingkat keadaan uap keluar turbin turun) dan menghasilkan daya output turbin yang lebih besar.

### 1.1.1. Hasil Perhitungan

Dari hasil program yang didapat, harga-harga perubahan tekanan kondensor terhadap variasi temperatur air pendingin masuk kondensor, demikian juga terhadap tekana uap. Berikut hasil perhitungan

Twi (C)	Tu (C)	Pu (mPa)
20	35,28	0,00574
21	36,28	0,00603
22	37,28	0,00641
23	38,28	0,00678
24	39,28	0,00716
25	40,28	0,00754
26	41,28	0,00792
27	42,28	0,00836
28	43,28	0,00883
29	44,28	0,00929
30	45,28	0,00976

### 1.2. Variasi temperatur air pendingin masuk kondensor terhadap tekanan hampa/vakum

Tekanan didalam kondensor lebih rendah dari tekanan atmosfer. Tekanan atmosfer yang lebih rendah disebut tekanan hampa/vakum. Jika dihubungkan dengan tekanan absolute P dan tekanan barometer PB, maka tekanan hampa dinyatakan dengan persamaan :

$$P_u = PB - P$$



Dimana PB adalah tekanan barometer 760 mmHg = 76 cmHg.

Dari hasil perhitungan didapatkan harga perubahan tekanan hampa/vakum terhadap variasi temperatur air pendingin masuk (Twi)

Twi (C)	Pu (cm Hg)
20	70,3748
21	70,0906
22	69,7182
23	69,3556
24	68,9832
25	68,6108
26	68,2384
27	67,8072
28	67,3466
29	66,8958
30	66,4352

#### IV. Kesimpulan

- a. Dengan menghitung dan menganalisa variasi temperatur air pendingin masuk, maka dapat diketahui pada temperatur air pendingin masuk dengan temperatur derajat berapa yang lebih menguntungkan (ekonomis), dalam analisa tersebut yang pengaruhnya terhadap tekanan uap dan tingkat kevakuman kondensor.
- b. Pemilihan variasi temperatur air pendingin masuk kondensor mempunyai batas pertimbangan yaitu jangan mencapai daerah kubah uap yang mempunyai kualitas yang besar, karena akan mengakibatkan adanya tetesan cairan yang dapat menumbuk sudut-sudut turbin sehingga menimbulkan kerusakan yang cukup serius.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Haga, H. W., 1953. Mesin Uap Torak Jilid II, Buku Teknik STAN, Jakarta
2. El-Wakil, 1992, Instalasi Pembangkit Daya Jilid I, Erlangga, Jakarta
3. A. Muin, Syamsir, 1993, Pesawat-pesawat Konversi Energi II (Turbin Uap), Rajawali Press, Jakarta
4. Sushkov, V.V, `1965, Technical Thermodynamics, New York Hordon and Breach, New York
5. Haywood, R.Q, 2009, Analisis Siklus-Siklus Teknik, Edisi 4.