

# ANALISIS PERUBAHAN TEKANAN VAKUM KONDENSOR TERHADAP KINERJA KONDENSOR DI PLTU TANJUNG JATI B UNIT 1

Anggun Sukarno<sup>1)</sup>  
Bono<sup>2)</sup>, Budhi Prasetyo<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Mahasiswa Program Studi Teknik Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin Polines

<sup>2)</sup> staf pengajar Program Studi Teknik Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin Polines

Jl. Prof. H. Sudarto, S.H., Tembalang, Semarang, 50275, PO BOX 6199 / SMS

Telp. (024) 7473417, 7499585, Faks. (024) 7472396

<http://www.polines.ac.id>, e-mail : [secretariat@polines.ac.id](mailto:secretariat@polines.ac.id)

## Abstrak

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui perubahan tekanan vakum terhadap kinerja kondensor di PLTU Tanjung Jati B dengan melihat berbagai parameter seperti laju aliran masa air pendingin, temperatur air pendingin masuk dan temperatur air pendingin keluar, temperatur uap keluaran turbin tekanan rendah. Pengambilan data dengan metode observasi di PT. PLN (PERSERO) Pembangkitan Tanjung Jati B. Untuk mengetahui kinerja kondensor digunakan metode perhitungan efektivitas-NTU. Kinerja kondensor dapat dilihat dari nilai efektivitas, laju perpindahan panas, dan tekanan vakum di dalam kondensor. Pada hasil penelitian perhitungan kinerja kondensor terbaik adalah pada bulan Januari dengan efektivitas sebesar 52,128 % kemudian laju perpindahan panas sebesar 10,365MW dan bekerja pada tekanan vakum 74,35 mbar absolut. terjadi ketika beban antara 90 % sampai 100 %."

Kata kunci : Kondensor, perubahan beban, tekanan vakum, efektivitas kondensor

## 1. PENDAHULUAN

Air pendingin pada PLTU berfungsi untuk mendinginkan uap hasil keluaran dari *Low Pressure Turbin* (turbin tekanan rendah), uap yang telah didinginkan tersebut yang nantinya akan digunakan untuk proses pembakaran di dalam *Boiler*. Air pendingin yang digunakan merupakan air laut. Air laut ini awalnya diambil dari penampungan air (*water intake*) menggunakan pompa air pendingin (*circulating water pump*). Kemudian dibersihkan dari zat-zat pengotor dan biota-biota laut terlebih dahulu, dengan cara diinjeksi *chlorine* pada *chlorination plant*. Dalam proses perubahan fasa dari uap hasil keluaran turbin tekanan rendah (*Low Pressure Turbin*) menjadi air diperlukan adanya sebuah instalasi alat yang bernama *Kondensor*.

Kondensor adalah alat penukar panas yang menerima panas dari turbin uap tekanan rendah yang nantinya akan diubah menjadi air setelah melalui proses perpindahan panas, pada PLTU Tanjung Jati B kondensor yang digunakan adalah tipe *Steam surface condenser* dan mampu menghasilkan panas sebesar  $8.2992 \times 10^8$  W. Komponen

kondensor terdiri dari *water box*, *Hotwell*, pipa air pendingin.

Pipa-pipa kondensor diatur dalam dua zona yang berbeda yaitu zona kondensasi dan zona pendinginan gas. Uap keluar dari turbin yang merupakan uap yang akan terkondensasi berada di zona kondensasi dan gas yang tidak terkondensasi didinginkan di zona pendinginan gas sebelum dihisap oleh pompa vakum untuk memvakumkan kondensor karena kondensor sendiri bekerja pada tekanan vakum.

### 1.1. Sistem Air Pendingin

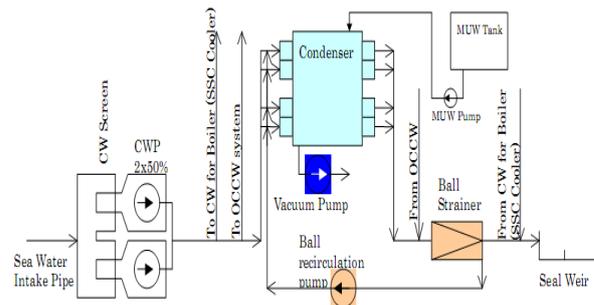
Pada satu sistem unit pembangkit termal khususnya untuk PLTU diperlukan sistem pendingin utama, fungsi utama dari sistem air pendingin utama adalah menyediakan dan memasok air pendingin yang diperlukan untuk menyerap panas laten uap keluaran dari turbin tekanan rendah (*Low Pressure Turbin*) kemudian mengkondensasikan uap keluaran tersebut di dalam kondensor. Jumlah dan temperatur air pendingin yang tersedia akan menentukan kerja kondensor yang dapat dicapai, oleh karena itu PLTU dibangun di tepi pantai (laut) karena

berhubungan dengan tersedianya sumber air yang tak terbatas.

Air laut ini awalnya diambil dari penampungan air (*water intake*) menggunakan pompa air pendingin (*Circulating Water Pump*), kemudian diinjeksi chlorine pada chlorination plant dan melalui beberapa penyaring seperti saringan kasar (*bar screen*), saringan halus yang berputar (*travelling screen*) untuk menghilangkan kotoran baik berupa biota laut maupun sampah yang ikut terbawa air. Setelah itu, air dari penampungan air dengan temperatur 31,32 °C dialirkan menuju ke kondensor sebagai media pendingin dan pengubah uap keluaran turbin tekanan rendah yang bertemperatur 40,95°C menjadi air hasil kondensasi yang bertemperatur 40,52 °C, selanjutnya air hasil kondensasi ditampung di hotwell yang kemudian oleh pompa air hasil kondensasi (*Condensate Extraction Pump*) kemudian air yang telah digunakan dibuang ke pembuangan air (*outfall*), air tersebut memiliki temperatur 36,16 °C.

## 1.2. Kondensor

Kondensor PLTU Tanjung Jati B Unit 1 merupakan alat penukar panas yang digunakan untuk mengubah uap bekas dari turbin tekanan rendah menjadi air hasil kondensasi untuk dapat disirkulasikan kembali, Fungsi utama Kondensor adalah untuk mengkondensasikan uap *exhaust* dan menghilangkan panas laten dari turbin tekanan rendah dengan temperatur 57,24°C, panas pada uap tersebut ditransfer ke air pendingin dengan temperatur 29,40°C yang dipompakan oleh pompa air pendingin dari penampungan air menuju ke kondensor, air pendingin ini dilewatkan melalui media *condenser tube*. Hasil dari proses kondensasi memiliki temperatur 42,79°C, yang kemudian digunakan sebagai penyedia air umpan untuk boiler. Fungsi kedua dari kondensor adalah untuk memisahkan air dengan uap dari *tube* sehingga temperaturnya mendekati temperatur saturasi pada *shell*.



Gambar 1 Diagram Alir Kondensor

## 1.3. Pompa Vakum

Pompa vakum berfungsi menjaga tekanan di penampung air kondensor (*waterbox condenser*) tetap vakum atau dibawah tekanan atmosfer ( $\pm 72$  mbar) sehingga dapat mengoptimalkan kondensasi uap keluar turbin menjadi air hasil kondensasi. Tekanan vakum kondensor dijaga sesuai jumlah uap yang akan dikondensasi dengan cara mengekstraksi udara dari kondensor ke pompa vakum melalui *Butterfly Valve* dan *Check Valve*. Prinsip kerjanya bersamaan dengan proses pengaliran air, udara dilewatkan melalui saluran *wet pressure* ke separator dimana air dipisahkan dari udara. Udara meninggalkan unit *atmospheric pressure* melalui *check valve* pada sambungan keluaran. Pompa vakum di PLTU Tanjung Jati B terdapat 2 unit berkapasitas 2 x 50% dan memiliki jenis Water Ring Type Rotary Vacuum Pump dan daya yang dibutuhkan sebesar 65 kW.

## 1.4. Proses Perpindahan Panas

Untuk *heat exchanger* bertipe Aliran Silang (*Cross Flow*), prosesnya berawal dari uap yang berasal dari turbin tekanan rendah menuju ke shell-shell yang ada pada kondensor kemudian dari arah yang berlawanan (*horizontal*) air pendingin yang berasal dari turbin tekanan rendah mengalir menuju ke *tube-tube* di dalam kondensor.

$\Delta T_{lmt}$  (*Log Mean Temperature Difference*) merupakan persamaan yang menggambarkan perbedaan temperature rata-rata yang digunakan untuk menganalisa alat penukar panas dalam hal ini kondensor.

$$\Delta T_{lmtcd} = \frac{(Thi - Tco) - (Tho - Tci)}{\ln\left(\frac{Thi - Tco}{Tho - Tci}\right)} \dots\dots\dots 1$$

Dimana Tci adalah Suhu air pendingin masuk kondensor (°C); Tco adalah Suhu air pendingin keluar kondensor (°C); Thi adalah Suhu uap masuk kondensor berasal dari turbin tekanan rendah (°C); Tho adalah: Suhu air hasil kondensasi pada kondensor (°C)

Panas yang dilepas oleh fluida panas kemudian diterima oleh fluida dingin dengan menembus luasan sebesar A dengan koefisien U dan beda suhu rata-rata ΔTm dinyatakan dalam bentuk persamaan :

$$q = U.A.F.\Delta T_{lmtcd} \dots\dots\dots 2$$

Dimana U adalah Koefisien perpindahan menyeluruh (W/m<sup>2</sup>.K); A adalah permukaan penukar kalor yang mengalami perpindahan panas (m<sup>2</sup>); F adalah Faktor koreksi

Dalam kaitannya dengan efektivitas dari kondensor maka dapat dihubungkan dengan metode ε-NTU, dimana NTU (*Number Of Transfer Unit*) dinyatakan dengan

$$NTU = \frac{U.A}{C_{min}} \dots\dots\dots 3$$

Untuk menentukan Efektivitas (*effectiveness*, ε) penukar kalor tipe aliran cross flow dapat digunakan persamaan sebagai berikut :

$$\varepsilon = 1 - \exp\left\{-\frac{1}{C} [1 - \exp(-C.NTU)]\right\} \dots\dots 4$$

Dimana  $C = \frac{C_{min}}{C_{max}} \dots\dots\dots 5$

**2. METODE PENELITIAN**

Pengambilan data untuk tugas akhir bertempat di PT PLN (Persero) Pembangkitan Tanjung Jati B, dimana pengambilan data dimulai pada saat jam kerja selama pelaksanaan magang yaitu dari tanggal 18 Februari 2014 s/d 17 Mei 2014. Data yang diperoleh antara lain beban aktual, vakum kondensor, temperatur inlet dan outlet air laut, temperatur uap keluaran LP turbin uap, dan temperatur air *hotwell*.

Pengolahan data tugas akhir ini merupakan pemasukan data kedalam metode perhitungan perpindahan panas secara *cross flow*. Dimana metode perhitungan data menggunakan metode perpindahan panas LMTD (*Log Mean Temperature Differensial*) dan NTU-*Effectiveness*. Dimana nilai *effectiveness* yang telah didapat nilainya, diasumsikan sebagai kinerja kondensor. Dari metode perhitungan yang digunakan, maka akan didapatkan nilai laju aliran uap, laju perpindahan panas, koefisien perpindahan panas total, dan nilai NTU-*Effectiveness*.

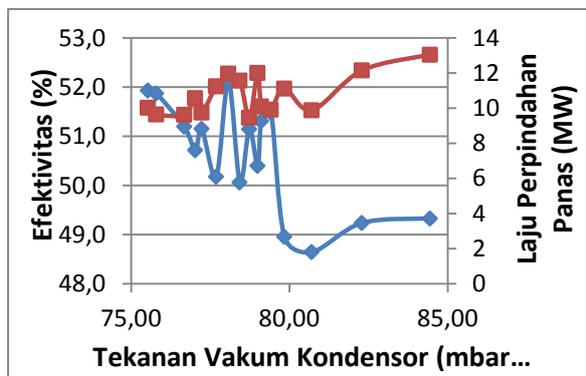
Nilai *effectiveness* yang telah didapat selanjutnya dibandingkan dengan data-data yang telah diperoleh dalam tahap perhitungan yaitu perpindahan panas jenis cross flow yang terjadi dan membandingkan nilai *effectiveness* sebagai asumsi kinerja kondensor pada saat terjadi perubahan tekanan vakum pada kondensor di PLTU Tanjung Jati B.

Setelah membandingkan data perhitungan, selanjutnya menganalisa data perhitungan yang telah dibuat, kemudian digambarkan dalam bentuk grafik yang nantinya akan dianalisa sesuai dengan bentuk grafik yang terjadi. Dimana analisa data dilakukan dengan bentuk grafik hubungan efisiensi kinerja kondensor serta laju perpindahan panas kondensor terhadap perubahan tekanan vakum dari bulan Januari hingga Juni, jadi dari analisa tersebut maka dapat diketahui pengaruh apa saja yang mempengaruhi kinerja kondensor.

**3. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Dari hasil perhitungan data yang telah dilakukan dapat digunakan sebagai pembanding antara data satu dengan data lainnya, sehingga dapat dianalisis antara laju perpindahan panas dan efektivitas kondensor terhadap tekanan vakum kondensor yang dapat digambarkan pada analisa dan grafik berikut:

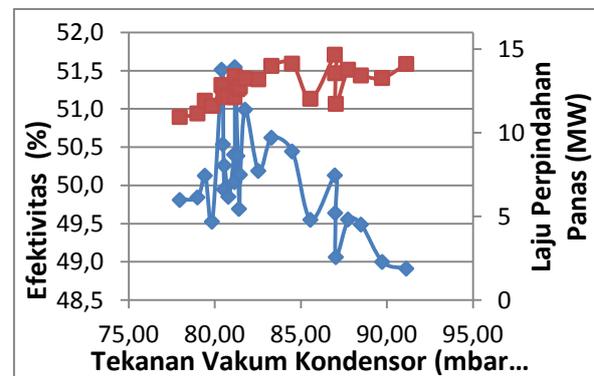
### 1. Grafik Hubungan Efektivitas Dan Laju Perpindahan Panas Terhadap Tekanan Vakum Kondensor Pada Bulan Februari



Gambar 2. Grafik Hubungan Efektivitas Dan Laju Perpindahan Panas Terhadap Tekanan Vakum Kondensor Pada Bulan Februari

Dapat dilihat pada hubungan antara tekanan vakum kondensor dengan laju perpindahan panas dan hubungan antara tekanan vakum kondensor dengan efektivitas pada kondensor saat bulan februari 2013, terlihat kondensor akan mencapai kinerja maksimal pada saat tekanan vakum sebesar 78,07 mbar Absolut dengan kinerja kondensor mencapai 52,12 % dan laju perpindahan panas yang terjadi di dalam kondensor adalah sebesar 11,97 MW maka kerja dari kondensor sendiri maksimal dan dapat menyediakan kebutuhan air umpan untuk boiler kemudian jika tekanan vakum kondensor mengalami penurunan (low vacuum) yaitu saat tekanan vakum kondensor sebesar 80,71 mbar absolut, maka laju perpindahan panasnya menjadi kurang maksimal dan kinerja dari kondensor akan mengalami penurunan yaitu nilainya sebesar 9,883 mw dengan kinerja kondensor sebesar 48,647 % , penurunan tekanan vakum disebabkan oleh temperatur air pendingin yaitu air laut yang tinggi karena temperatur air pendingin ini akan berpengaruh pada kecepatan suatu steam berkondensasi dan laju aliran masa uap dari turbin tekanan rendah.

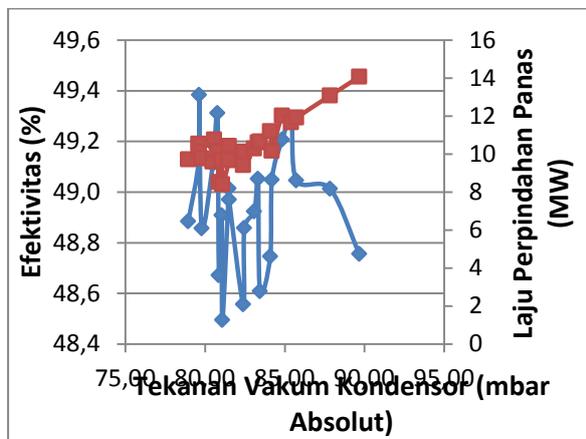
### 2. Grafik Hubungan Efektivitas Dan Laju Perpindahan Panas Terhadap Tekanan Vakum Kondensor Pada Bulan Maret



Gambar 3. Grafik Hubungan Efektivitas Dan Laju Perpindahan Panas Terhadap Tekanan Vakum Kondensor Pada Bulan Maret

Dapat dilihat pada hubungan antara tekanan vakum kondensor dengan laju perpindahan panas dan hubungan antara tekanan vakum kondensor dengan efektivitas pada kondensor saat bulan Maret 2013, terlihat kondensor akan mencapai kinerja maksimal pada saat tekanan vakum sebesar 81,17 mbar Absolut dengan kinerja kondensor mencapai 51,55 % dan laju perpindahan panas yang terjadi di dalam kondensor adalah sebesar 13,40 MW maka kerja dari kondensor sendiri maksimal dan dapat menyediakan kebutuhan air umpan untuk boiler kemudian jika tekanan vakum kondensor mengalami perubahan yaitu tekanan vakum kondensor sebesar 91,14 mbar absolut, maka laju perpindahan panasnya menjadi kurang maksimal dan kinerja dari kondensor akan mengalami penurunan yaitu nilainya sebesar 14,122 mw dengan kinerja kondensor sebesar 48,192 % , penurunan tekanan vakum disebabkan oleh temperatur air pendingin yaitu air laut yang tinggi karena temperatur air pendingin ini akan berpengaruh pada kecepatan suatu steam berkondensasi dan laju aliran masa uap dari turbin tekanan rendah.

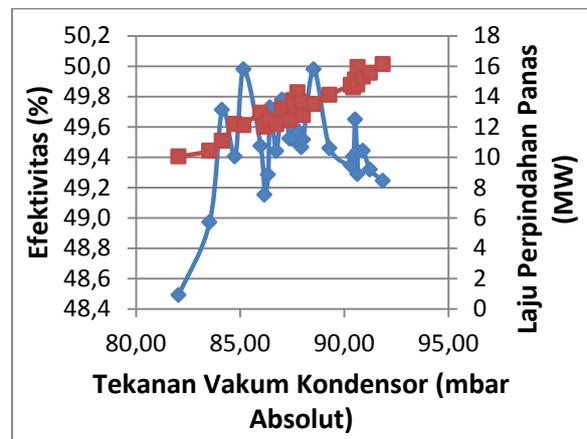
3. Grafik Hubungan Efektivitas Dan Laju Perpindahan Panas Terhadap Tekanan Vakum Kondensor pada bulan April



Gambar 4. Grafik Hubungan Efektivitas Dan Laju Perpindahan Panas Terhadap Tekanan Vakum Kondensor Pada Bulan April

Dapat dilihat pada hubungan antara tekanan vakum kondensor dengan laju perpindahan panas dan hubungan antara tekanan vakum kondensor dengan efektivitas pada kondensor saat bulan April 2013, terlihat kondensor akan mencapai kinerja maksimal pada saat tekanan vakum sebesar 79,63 mbar Absolut dengan kinerja kondensor mencapai 49,38 % dan laju perpindahan panas yang terjadi di dalam kondensor adalah sebesar 10,13 MW maka kerja dari kondensor sendiri maksimal dan dapat menyediakan kebutuhan air umpan untuk boiler kemudian jika tekanan vakum kondensor mengalami perubahan yaitu tekanan vakum kondensor sebesar 81,09 mbar absolut, maka laju perpindahan panasnya menjadi kurang maksimal dan kinerja dari kondensor akan mengalami penurunan yaitu nilainya sebesar 8,408 mw dengan kinerja kondensor sebesar 48,50 %, penurunan tekanan vakum disebabkan oleh temperatur air pendingin yaitu air laut yang tinggi karena temperatur air pendingin ini akan berpengaruh pada kecepatan suatu steam berkondensasi dan laju aliran masa uap dari turbin tekanan rendah.

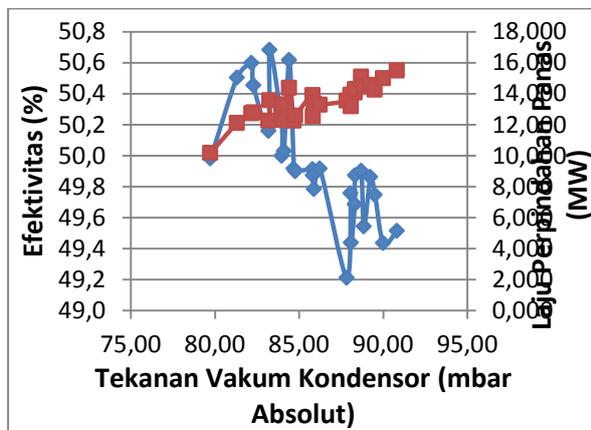
4. Grafik Hubungan Efektivitas Dan Laju Perpindahan Panas Terhadap Tekanan Vakum Kondensor pada bulan Mei



Gambar 5. Grafik Hubungan Efektivitas Dan Laju Perpindahan Panas Terhadap Tekanan Vakum Kondensor Pada Bulan Mei

Dapat dilihat pada hubungan antara tekanan vakum kondensor dengan laju perpindahan panas dan hubungan antara tekanan vakum kondensor dengan efektivitas pada kondensor saat bulan Mei 2013, terlihat kondensor akan mencapai kinerja maksimal pada saat tekanan vakum sebesar 88,53 mbar Absolut dengan kinerja kondensor mencapai 49,98 % dan laju perpindahan panas yang terjadi di dalam kondensor adalah sebesar 13,509 MW maka kerja dari kondensor sendiri maksimal dan dapat menyediakan kebutuhan air umpan untuk boiler kemudian jika tekanan vakum kondensor mengalami perubahan yaitu tekanan vakum kondensor sebesar 85,66 mbar absolut, maka laju perpindahan panasnya menjadi kurang maksimal dan kinerja dari kondensor akan mengalami penurunan yaitu nilainya sebesar 11,12 mw dengan kinerja kondensor sebesar 48,06 %, penurunan tekanan vakum disebabkan oleh temperatur air pendingin yaitu air laut yang tinggi karena temperatur air pendingin ini akan berpengaruh pada kecepatan suatu steam berkondensasi dan laju aliran masa uap dari turbin tekanan rendah.

### 5. Grafik Hubungan Efektivitas Dan Laju Perpindahan Panas Terhadap Tekanan Vakum Kondensor pada bulan Juni



Gambar 6. Grafik Hubungan Efektivitas Dan Laju Perpindahan Panas Terhadap Tekanan Vakum Kondensor Pada Bulan Juni

Dapat dilihat pada hubungan antara tekanan vakum kondensor dengan laju perpindahan panas dan hubungan antara tekanan vakum kondensor dengan efektivitas pada kondensor saat bulan Juni 2013, terlihat kondensor akan mencapai kinerja maksimal pada saat tekanan vakum sebesar 83,25 mbar Absolut dengan kinerja kondensor mencapai 50,68 % dan laju perpindahan panas yang terjadi di dalam kondensor adalah sebesar 13,57 MW maka kerja dari kondensor sendiri maksimal dan dapat menyediakan kebutuhan air umpan untuk boiler kemudian jika tekanan vakum kondensor mengalami perubahan yaitu tekanan vakum kondensor sebesar 87,83 mbar absolut, maka laju perpindahan panasnya menjadi kurang maksimal dan kinerja dari kondensor akan mengalami penurunan yaitu nilainya sebesar 13,55 mw dengan kinerja kondensor sebesar 49,211 %, penurunan tekanan vakum disebabkan oleh temperatur air pendingin yaitu air laut yang tinggi karena temperatur air pendingin ini akan berpengaruh pada kecepatan suatu steam berkondensasi dan laju aliran masa uap dari turbin tekanan rendah.

### 4. KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan dan analisis dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

- Semakin cepat suatu kondensor ini melakukan proses kondensasi mengubah uap pembuangan dari turbin tekanan rendah menjadi air kondensat maka tingkat vakum kondensor akan semakin tinggi.
- Temperatur air pendingin (air laut) akan mempengaruhi pressure kondensor (vakum kondensor) temperatur air pendingin ini akan berpengaruh pada kecepatan suatu steam berkondensasi. Semakin rendah temperatur, uap pembuangan dari turbin tekanan rendah akan lebih cepat terkondensasi sehingga tekanan kondensor akan rendah (vakum maksimal) dan nantinya akan berpengaruh pada kinerja kondensor setiap.
- Kinerja terbaik kondensor adalah pada bulan januari dengan efektivitas sebesar 52,128 % dengan laju perpindahan panas sebesar 10,365 MW dan bekerja pada tekanan vakum 74,35 mbar Absolut.
- Kondensor akan bekerja maksimal dengan kisaran tekanan vakum kondensor antara 72 – 83 mbar absolute karena pada tekanan vakum 72 -83 mbar absolute perpindahan panas (proses kondensasi) antara uap dan air berlangsung secara maksimal sehingga uap akan sepenuhnya berubah fasa menjadi air yang nantinya akan digunakan sebagai air umpan.

### DAFTAR PUSTAKA

- General Overview, PLTU Tanjung Jati B Presentation.* Tanpa Tempat: PT PLN Persero Pembangunan Tanjung Jati B 2005., 1.4.1.3 *Heat Exchanger Tanjung Jati B Project.* Tanpa Tempat: Toshiba Corporation
2005. *System Design Description Of Condensate and Feed Water Line.* Tanpa Tempat: Toshiba
- A. Cengel, Yunus., Tanpa Tahun. *Heat Transfer.*

Buchori, Luqman dan Soemardjo,  
Marimin.2011.*Buku Ajar  
Perpindahan Panas*.Semarang:Badan  
Penerbit Universitas Diponegoro  
Holman, J.P.1991.*Heat Transfer*, sixth  
edition.New York: McGraw Hill, Ltd

Ryans, J.L.1986.*Procces Vacuum System  
Design and Operation*.New York:Mc  
Graw-Hill Book Company