

ANALISA PERFORMA PEMBANGKIT BERDASARKAN TINGKAT KEVAKUMAN KONDENSOR PADA PLTU BARRU UNIT 2

Apollo, La Ode Musa¹⁾, Amrul Ariyansyah G, Andi Aswarriansyah²⁾

Abstract: *Vacuum condenser is one of the parameters that affect the performance of the plant. To keep the plant's performance remains stable then it takes a good degree of vacuum in the condenser. This final project aims to determine the performance of plants based on the level of vacuum condenser different. The method used is collecting data on the actual load conditions 50 %, 75 % and 100 % and then perform data analysis. The results will be presented in tables and graphs then be deduced. Based on data and analysis that has been carried out, the results obtained are better condenser vacuum pressure, the specific steam consumption, specific fuel consumption and turbine heat rate (heat rate) will decrease, while the efficiency of the turbine will increase.*

Keywords: *vacuum pressure, specific steam consumption, specific fuel consumption, heat rate, turbine efficiency.*

I. PENDAHULUAN

Salah satu cara untuk menjaga performa pembangkit tetap stabil dibutuhkan tingkat kevakuman yang baik pada kondensor. Dalam operasionalnya, tekanan vakum pada kondensor harus tetap dijaga kestabilannya sehingga performa daripada pembangkit juga dapat dijaga kestabilannya (Forever, 2012). Pada PLTU Barru sendiri, tingkat kevakuman dalam kondensor dijaga pada tekanan -89,5 kPa. Namun pada kenyataannya akibat penggunaan alat yang secara terus-menerus mengakibatkan penurunan nilai kevakuman pada kondensor. Saat ini hal tersebut terjadi di PLTU Barru Unit 2 dimana tingkat kevakuman pada kondensor sudah sulit untuk mencapai tingkat kevakuman yang sesuai standard operasional, sehingga saat terjadi penurunan tingkat kevakuman kondensor akan berpengaruh pada penurunan putaran pada sisi turbin yang kemudian berdampak pada penggunaan bahan bakar, laju aliran massa uap, laju kalor (*heat rate*) turbin hingga efisiensi turbin uap.

Dalam kajian analisis pengaruh kevakuman kondensor pada suatu pembangkit tenaga uap menunjukkan bahwa tekanan kondensor merupakan parameter penting yang mempengaruhi daya output, potensi daya, dan efisiensi termal dan exergi siklus (Vosough, Amir. et. all. 2011). Selain itu penelitian yang lebih memfokuskan pada faktor operasi dan efektivitas alat berdasarkan kevakuman kondensor dari suatu pembangkit uap, telah dilakukan pada tahun 2012 di unit 4 PT. Pembangkit Jawa Bali

¹⁾ Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang

²⁾ Alumni Program D4 Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang

Unit Pembangkitan Gresik dengan menggunakan pendekatan analisa termodinamika dalam perhitungan performa siklus serta dilakukan simulasi dalam *software Gate Cycle* untuk mengetahui pengaruh penurunan tekanan vakum pada kondensor terhadap parameter-parameter operasional pada komponen utama pembangkit. Hasil penelitian diperoleh penurunan tekanan vakum mengakibatkan kenaikan nilai parameter operasional yaitu kenaikan laju aliran massa, suhu, tekanan dan entalpi pada *low pressure turbine*, kondensor, *condensate pump*, dan *feed water heater*1 (Hariyadi dan Setiyawan, 2012). Namun demikian, penelitian ini hanya menganalisa performa pembangkit dengan menggunakan aplikasi simulasi bukan secara teoritis, sehingga perlu dilakukan penelitian yang menghitung secara teoritis dalam menghitung performa pembangkit agar lebih akurat.

Penelitian mengenai kevakuman kondensor selanjutnya dikembangkan tahun 2014 dengan membahas “Pengaruh Kevakuman Terhadap Efektivitas Kondensor PLTU Barru Unit1”. Analisis data yang diperoleh selanjutnya disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk mengetahui efektivitas kondensor berdasarkan data aktual, mendapatkan nilai tekanan vakum yang optimal, serta perbandingan antara efektivitas kondensor dan aktual kondensor. Hasil yang diperoleh bahwa efektivitas dari data aktual lebih tinggi dibandingkan efektivitas dari data spesifikasi (Issaniyah dan Surahman, 2014).

Dalam penelitian yang berupaya meningkatkan kinerja pembangkit listrik tenaga uap 75 MW melalui penerapan efisiensi hukum kedua pada tekanan kondensor dan siklus Rankine, diperoleh fenomena peningkatan tekanan kondensor akan menyebabkan penurunan efisiensi siklus, tekanan kondensor harus dikurangi untuk mengurangi penyebab irreversibilitas dalam sistem (Adeoye, Adeyinka O. et al. 2015).

Oleh karena itu, untuk mengetahui bagaimana pengaruh kevakuman kondensor terhadap performa pembangkit, maka dilakukan studi mengenai analisa performa pembangkit berdasarkan tingkat kevakuman kondensor.

A. Pengaruh Kevakuman Kondensor

Pengaruh vakum kondensor pada sistem PLTU ada paling tidak ada dua hal. Pertama, meningkatkan beban turbin uap. Vakum kondensor mempengaruhi tinggi rendah beban yang dihasilkan oleh turbin uap. Apabila vakum tinggi dengan jumlah energi masuk turbin yang sama akan di dapat beban yang lebih tinggi. Kedua, meningkatkan efisiensi pembangkitan. Efisiensi yang dihasilkan berhubungan dengan energi yang dibangkitkan. Semakin tinggi energi yang dibangkitkan efisiensi juga akan naik (Prandono, 2011).

B. Konsumsi Uap Spesifik / *Specific Steam Consumption (SSC)*

SSC merupakan besarnya jumlah uap yang dikonsumsi oleh suatu turbin uap untuk bisa menghasilkan energi sebesar 1 kWh.

$$SSC = \frac{\dot{m}_{uap}}{P_G} \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan:

- SSC = konsumsi uap spesifik (kg/kWh)
- \dot{m}_u = laju aliran massa uap (kg/h)
- P_G = daya output generator (kW)

C. Konsumsi Bahan Bakar Spesifik / *Specific Fuel Consumption (SFC)*

SFC diartikan sebagai rasio penggunaan bahan bakar dengan daya generator yang dibangkitkan oleh suatu unit pembangkit.

$$SFC = \frac{\dot{m}_f}{P_G} \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan:

- SFC = konsumsi bahan bakar spesifik (kg/kWh)
- \dot{m}_f = laju aliran massa bahan bakar (kg/h)
- P_G = daya output generator (kW)

D. Laju Kalor (*Heat Rate*) Turbin

Heat rate pada pembangkit listrik tenaga uap dapat diartikan sebagai jumlah pasokan energi yang diperlukan untuk menghasilkan listrik sebesar 1 kWh.

$$H_T = \frac{Q_{uap} - Q_{fw}}{P_G} = \frac{(h_{uap} \cdot \dot{m}_{uap}) - (h_{fw} \cdot \dot{m}_{fw})}{P_G} \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan:

- H_T = *Heat Rate* turbin (kcal/kWh)
- h_{uap} = entalpi uap masukan turbin (kCal/kg)
- \dot{m}_{uap} = laju aliran massa uap masukan turbin (kg/h)
- h_{fw} = entalpi air umpan masukan boiler (kCal/kg)
- \dot{m}_{fw} = laju aliran massa air umpan masukan boiler (kg/h)
- P_G = daya output generator (kW)

E. Efisiensi Turbin

Efisiensi turbin merupakan kemampuan turbin dalam memaksimalkan energi termal (uap) yang diterima menjadi energi kinetik, sehingga mampu memutar generator dan menghasilkan energi listrik.

$$\eta_T = \frac{859,845}{H_T} \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan:

- η_T = Efisiensi turbin (%)
- H_T = *Heat rate* turbin (kCal/kWh)

II. METODE PENELITIAN

Pengambilan data:

1. Mencatat parameter-parameter yang diperlukan dengan bantuan data *histrend* tampilan *DCS*.
2. Data diambil pada kondisi beban 50% (25 MW), 75% (37,5 MW), 100% (50 MW) $\pm 0,5$ MW.

Setelah selesai melakukan pengambilan data, maka dilakukan pengolahan data berdasarkan rumus yang diperoleh dari beberapa referensi, antara lain konsumsi uap spesifik (*SSC*), konsumsi bahan bakar spesifik (*SFC*), laju kalor (*heat rate*) turbin dan efisiensi turbin. Pengolahan data dilakukan dengan bantuan aplikasi *Interpolation Android* dan *Microsoft Excel 2013*. Hasil analisa data yang diperoleh disajikan dalam bentuk tabel dan grafik. Berdasarkan tabel dan grafik tersebut maka ditarik kesimpulan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengaruh Tekanan Vakum Kondensor yang Berbeda-beda Terhadap Konsumsi Uap Spesifik / Specific Steam Consumption (SSC)

Untuk beban 25 MW

$$\text{Diperoleh: } \begin{aligned} \dot{m}_{uap} &= 114,499 \text{ t/h} = 114499 \text{ kg/h} \\ P_G &= 25 \text{ MW} = 25000 \text{ kW} \end{aligned}$$

$$\text{Maka, } SSC = \frac{\dot{m}_{uap}}{P_G} = \frac{114499}{25000} = 4,579 \text{ kg/kWh.}$$

Untuk beban 37,5 MW

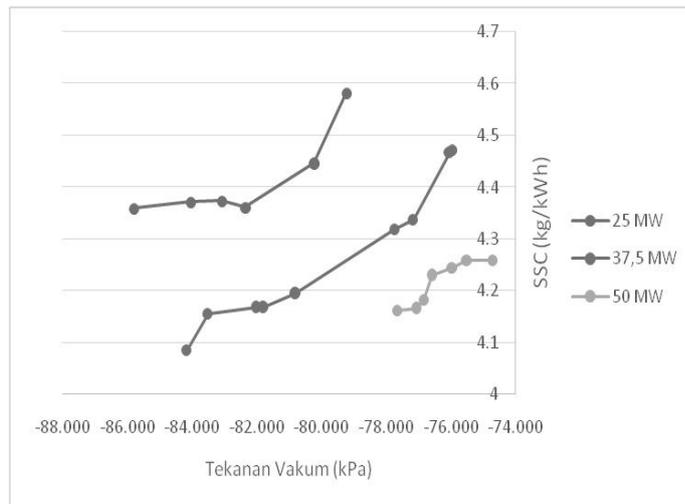
$$\text{Diperoleh: } \begin{aligned} \dot{m}_{uap} &= 167,625 \text{ t/h} = 167625 \text{ kg/h} \\ P_G &= 37,5 \text{ MW} = 37500 \text{ kW} \end{aligned}$$

$$\text{Maka, } SSC = \frac{\dot{m}_{uap}}{P_G} = \frac{167625}{37500} = 4,47 \text{ kg/kWh.}$$

Untuk beban 50 MW

$$\text{Diperoleh: } \begin{aligned} \dot{m}_{uap} &= 212,89 \text{ t/h} = 212890 \text{ kg/h} \\ P_G &= 50 \text{ MW} = 50000 \text{ kW} \end{aligned}$$

$$\text{Maka, } SSC = \frac{\dot{m}_{uap}}{P_G} = \frac{212890}{50000} = 4,257 \text{ kg/kWh.}$$



Gambar 1. Grafik Hubungan antara konsumsi uap spesifik (kg/kWh) terhadap tekanan vakum (kPa) pada beban 25 MW, 37,5 MW, dan 50 MW.

Pada gambar 1 terlihat bahwa pada beban 25 MW, 37,5 MW, dan 50 MW semakin baik tekanan vakum kondensor maka konsumsi uap spesifik (SSC) akan menurun. Namun pada beberapa titik tertentu terjadi kenaikan konsumsi uap spesifik. Hal ini disebabkan karena laju aliran massa uap yang tidak stabil. Nilai konsumsi uap spesifik (SSC) tertinggi terjadi pada beban 25 MW yaitu sebesar 4,579 kg/kWh dengan tekanan vakum kondensor sebesar -79,229 kPa. Sedangkan nilai konsumsi uap spesifik (SSC) terendah terjadi pada beban 37,5 MW yaitu sebesar 4,084 kg/kWh dengan tekanan vakum -84,152 kPa.

B. Pengaruh Tekanan Vakum Kondensor yang Berbeda-beda Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Spesifik / Specific Steam Consumption (SSC)

Untuk beban 25 MW

$$\text{Diperoleh: } \frac{\dot{m}_{bb}}{P_G} = \frac{24,775 \text{ t/h} = 24775 \text{ kg/h}}{25 \text{ MW} = 25000 \text{ kW}}$$

$$\text{Maka, SFC} = \frac{\dot{m}_{bb}}{P_G} = \frac{24775}{25000} = 0,991 \text{ kg/kWh.}$$

Untuk beban 37,5 MW

$$\text{Diperoleh: } \frac{\dot{m}_{bb}}{P_G} = \frac{33,708 \text{ t/h} = 33708 \text{ kg/h}}{37,5 \text{ MW} = 37500 \text{ kW}}$$

$$\text{Maka, SFC} = \frac{\dot{m}_{bb}}{P_G} = \frac{33708}{37500} = 0,898 \text{ kg/kWh.}$$

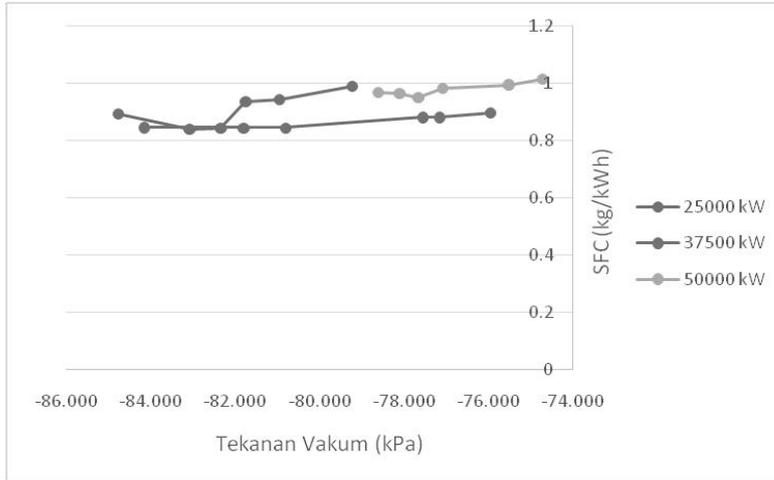
Untuk beban 50 MW

$$\text{Diperoleh: } \dot{m}_{bb} = 50,829 \text{ t/h} = 50829 \text{ kg/h}$$

$$P_G = 50 \text{ MW} = 50000 \text{ kW}$$

$$\dot{m}_{bb} = 50829$$

Maka, $SFC = \frac{\dot{m}_{bb}}{P_G} = \frac{50829}{50000} = 1,016 \text{ kg/kWh}$.



Grafik 2. Hubungan antara konsumsi bahan bakar spesifik (kg/kWh) terhadap tekanan vakum (kPa) pada beban 25 MW, 37,5 MW, dan 50 MW.

Pada grafik 2 terlihat bahwa untuk beban 25 MW, 37,5 MW, dan 50 MW semakin baik tekanan vakum kondensor maka konsumsi bahan bakar spesifik (SFC) akan menurun. Namun pada beberapa titik tertentu terjadi kenaikan konsumsi bahan bakar spesifik. Hal ini disebabkan karena laju aliran massa bahan bakar yang tidak stabil. Nilai konsumsi bahan bakar spesifik (SFC) tertinggi terjadi pada beban 50 MW yaitu sebesar 1,016 kg/kWh dengan tekanan vakum -74,713 kPa. Sedangkan nilai konsumsi bahan bakar spesifik (SFC) terendah terjadi pada beban 25 MW yaitu sebesar 0,840 kg/kWh dengan tekanan vakum -83,076 kPa.

C. Pengaruh Tekanan Vakum Kondensor yang Berbeda-beda Terhadap Heat Rate Turbin (H_T) dan Efisiensi Turbin (η_T)

1. Perhitungan Heat Rate Turbin (H_T)

Untuk beban 25 MW

Diperoleh:

$$P_{uap} = 7,849 \text{ Mpa}$$

$$T_{uap} = 526,718 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\dot{m}_{uap} = 114,499 \text{ t/h} = 114499 \text{ kg/h}$$

$$P_{fw} = 14,862 \text{ Mpa}$$

$$T_{fw} = 185,225 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\dot{m}_{fw} = 115,563 \text{ t/h} = 115563 \text{ kg/h}$$

$$P_G = 25 \text{ MW} = 25000 \text{ kW}$$

Berdasarkan data tersebut diketahui P_{uap} masukan turbin = 7,849 Mpa dan T_{uap} masukan turbin = 526,718 °C. Maka pada tabel uap A-6 dan aplikasi *Android Interpolation* diperoleh:

$$h_{uap} = 3466,479 \text{ kJ/kg} = 828,508 \text{ kCal/kg}$$

Berdasarkan data tersebut diketahui P_{fw} masukan boiler = 14,862 Mpa dan T_{fw} masukan boiler = 526,718 °C. Maka pada tabel uap A-7 dan aplikasi *Android Interpolation* diperoleh:

$$h_{fw} = 793,156 \text{ kJ/kg} = 189,569 \text{ kCal/kg.}$$

$$\begin{aligned} \text{Jadi, } H_T &= \frac{(h_{uap} \cdot \dot{m}_{uap}) - (h_{fw} \cdot \dot{m}_{fw})}{P_G} \\ &= \frac{(828,508 \cdot 114499) - (189,569 \cdot 115563)}{25000} \\ &= 2918,249 \text{ kCal/kWh.} \end{aligned}$$

2. Perhitungan Efisiensi Turbin (η_T)

Diketahui: $H_T = 2918,249 \text{ kCal/kWh}$

$$\text{Maka, } \eta_T = \frac{H_T}{859,845} \times 100\% = \frac{2918,249}{859,845} 100\% = 29,464 \%$$

3. Perhitungan *Heat Rate* Turbin (H_T)

Untuk beban 37,5 MW

$$\begin{aligned} \text{Diketahui: } P_{uap} &= 8,406 \text{ Mpa} \\ T_{uap} &= 532,285 \text{ °C} \\ \dot{m}_{uap} &= 167,473 \text{ t/h} = 167473 \text{ kg/h} \\ P_{fw} &= 15,282 \text{ Mpa} \\ T_{fw} &= 195,188 \text{ °C} \\ \dot{m}_{fw} &= 166,521 \text{ t/h} = 166521 \text{ kg/h} \\ P_G &= 37,5 \text{ MW} = 37500 \text{ kW} \end{aligned}$$

Berdasarkan data tersebut diketahui P_{uap} masukan turbin = 8,406 Mpa dan T_{uap} masukan turbin = 532,285 °C. Maka pada tabel uap A-6 dan aplikasi *Android Interpolation* diperoleh:

$$h_{uap} = 3474,159 \text{ kJ/kg} = 830,344 \text{ kCal/kg}$$

Berdasarkan data tersebut diketahui P_{fw} masukan boiler = 15,282 Mpa dan T_{fw} masukan boiler = 195,188 °C. Maka pada tabel uap A-7 dan aplikasi *Android Interpolation* diperoleh:

$$h_{fw} = 837,038 \text{ kJ/kg} = 200,056 \text{ kCal/kg.}$$

$$\text{Jadi, } H_T = \frac{(h_{uap} \cdot \dot{m}_{uap}) - (h_{fw} \cdot \dot{m}_{fw})}{P_G}$$

$$= \frac{(830,344 \cdot 167473) - (200,056 \cdot 166521)}{37500}$$

$$= 2819,907 \text{ kCal/kWh.}$$

4. Perhitungan Efisiensi Turbin (η_T)

Diperoleh: $H_T = 2819,907 \text{ kCal/kWh}$

$$\frac{859,845}{H_T} \quad \frac{859,845}{2819,907}$$

Maka, $\eta_T = \frac{H_T}{H_T} \times 100\% = \frac{859,845}{2819,907} 100\% = 30.491 \%$

1. Perhitungan *Heat Rate* Turbin (H_T)

Untuk beban 50 MW

Diperoleh: $P_{uap} = 8,376 \text{ Mpa}$
 $T_{uap} = 532,109 \text{ }^\circ\text{C}$
 $\dot{m}_{uap} = 210,535 \text{ t/h} = 210535 \text{ kg/h}$
 $P_{fw} = 14,161 \text{ Mpa}$
 $T_{fw} = 214,018 \text{ }^\circ\text{C}$
 $\dot{m}_{fw} = 217,024 \text{ t/h} = 217024 \text{ kg/h}$
 $P_G = 50 \text{ MW} = 50000 \text{ kW}$

Berdasarkan data tersebut diketahui P_{uap} masukan turbin = 8,376 Mpa dan T_{uap} masukan turbin = 532,109 °C. Maka dengan menggunakan tabel uap A-6 dan aplikasi *Android Interpolation* diperoleh:

$$h_{uap} = 3474,044 \text{ kJ/kg} = 830,316 \text{ kCal/kg}$$

Berdasarkan data tersebut P_{fw} masukan boiler = 14,161 Mpa dan T_{fw} masukan boiler = 214,018 °C. Maka dengan menggunakan tabel uap A-7 dan aplikasi *Android Interpolation* diperoleh:

$$h_{fw} = 920.381 \text{ kJ/kg} = 219,976 \text{ kCal/kg.}$$

$$\frac{(h_{uap} \cdot \dot{m}_{uap}) - (h_{fw} \cdot \dot{m}_{fw})}{P_G}$$

$$\text{Jadi, } H_T = \frac{(830,316 \cdot 210535) - (219,976 \cdot 217024)}{50000}$$

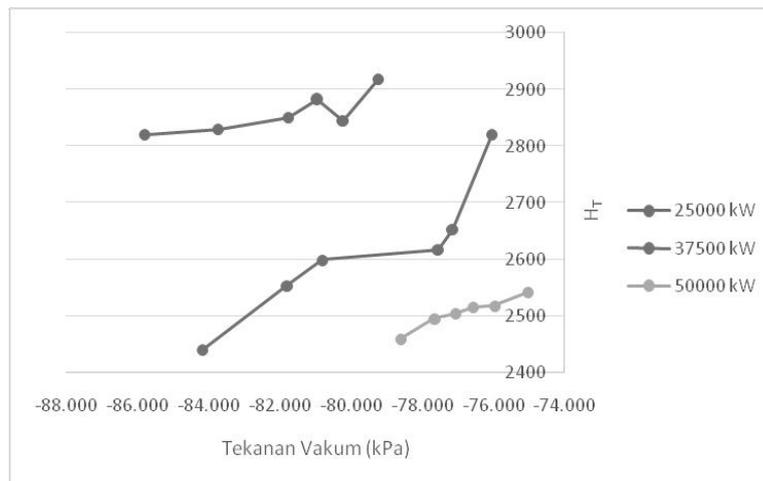
$$= 2541.410 \text{ kCal/kWh.}$$

2. Perhitungan Efisiensi Turbin (η_T)

Diperoleh: $H_T = 2541.410 \text{ kCal/kWh}$

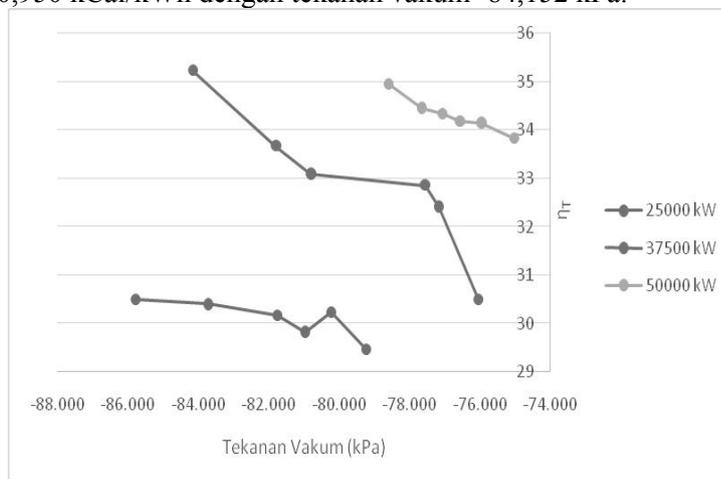
$$\frac{859,845}{H_T} \quad \frac{859,845}{2541,410}$$

Maka, $\eta_T = \frac{H_T}{H_T} \times 100\% = \frac{859,845}{2541,410} 100\% = 33.833 \%$



Grafik 3. Hubungan antara laju kalor turbin (kCal/kWh) terhadap tekanan vakum (kPa) pada beban 25 MW, 37,5 MW, dan 50 MW.

Pada gambar 3 terlihat bahwa pada beban 25 MW, 37,5 MW, dan 50 MW semakin baik tekanan vakum kondensor maka heat rate turbin (H_T) semakin menurun. Namun pada beberapa titik tertentu terjadi kenaikan heat rate turbin. Hal ini disebabkan karena laju aliran massa uap dan laju aliran massa air umpan yang tidak stabil. Nilai heat rate turbin (H_T) tertinggi terjadi pada beban 25 MW yaitu sebesar 2918,249 kCal/kWh dengan tekanan vakum kondensor sebesar -79,229 kPa. Sedangkan nilai heat rate turbin (H_T) terendah terjadi pada beban 37,5 MW yaitu sebesar 2440,950 kCal/kWh dengan tekanan vakum -84,152 kPa.



Gambar 4. Grafik hubungan antara efisiensi turbin (%) terhadap tekanan vakum (kPa) pada beban 25 MW, 37,5 MW, dan 50 MW.

Pada gambar 4 terlihat bahwa pada beban 25 MW, 37,5 MW, dan 50 MW semakin baik tekanan vakum kondensor maka efisiensi turbin (η_T) semakin meningkat. Namun pada beberapa titik tertentu terjadi penurunan nilai efisiensi turbin. Hal ini disebabkan karena heat rate turbin yang tidak stabil. Nilai efisiensi turbin (η_T) tertinggi terjadi pada beban 37,5 MW yaitu sebesar 35,226 % dengan tekanan vakum kondensor sebesar -84,152 kPa. Sedangkan nilai efisiensi turbin (η_T) terendah terjadi pada beban 25 MW yaitu sebesar 29,464 % dengan tekanan vakum -79,229 kPa.

IV. KESIMPULAN

1. Setiap kenaikan tekanan vakum kondensor maka konsumsi uap spesifik (SSC) semakin menurun. Hal ini menunjukkan bahwa semakin baik tekanan vakum pada kondensor maka akan mengurangi penggunaan uap untuk memutar turbin.
2. Setiap kenaikan tekanan vakum kondensor maka konsumsi bahan bakar spesifik (SFC) semakin menurun. Hal ini menunjukkan bahwa semakin baik tekanan vakum pada kondensor maka akan mengurangi penggunaan bahan bakar.
3. Setiap kenaikan tekanan vakum kondensor maka laju kalor turbin (*heat rate*) semakin menurun. Hal ini menunjukkan bahwa semakin baik tekanan vakum pada kondensor maka laju kalor turbin (*heat rate*) yang dibutuhkan untuk membangkitkan daya 1 kWh semakin menurun.
4. Setiap kenaikan tekanan vakum kondensor maka efisiensi turbin semakin meningkat. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar efisiensi suatu turbin maka semakin baik pula kinerja turbin tersebut dalam memaksimalkan energi termal yang diterima menjadi energi mekanik.

V. DAFTAR PUSTAKA

- Adeoye , Adeyinka O. et al. 2015. Enhancing the Performance of 75mw Steam Power Plant with Second Law Efficiency, Condenser Pressure and Rankine Cycle The International Journal Of Engineering And Science (IJES)|| Volume 4, Issue 9, PP 18-29. , ISSN (e): 2319 – 1813 ISSN (p): 2319 – 1805.
- Basuki, Adi Cahyo dkk. 2008. “Analisis Konsumsi Bahan Bakar pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap dengan Metode Least Square”. Makalah Tugas Akhir. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Forever, Jaysis. 2012. *Turunnya Kevakuman Kondensor* (Online), (<https://independent.academia.edu> diakses tanggal 3 September 2015).
- Hadi, Abdul dkk. 2015. “Analisis Pengaruh Nilai Kalori dan Heat Rate (Laju Kalor) Batu Bara Terhadap Efisiensi Termal PLTU-Embalut 2x25 MW PT. Cahaya Fajar Kaltim”. Laporan Tugas Akhir. Samarinda: Universitas Mulawarman.

121 *Apollo, La Ode Musa, Amrul Ariyansyah G, Andi Aswarriansyah, Analisa Performa Pembangkit Berdasarkan Tingkat Kevakuman Kondensor pada PLTU Barru Unit 2*

Hariyadi, Slamet dan Atok Setiyawan. 2012. "Analisa Termodinamika Pengaruh Penurunan Tekanan Vakum pada Kondensor Terhadap Performa Siklus PLTU Menggunakan Software Gate Cycle". Dalam Teknik Pomits.

Haywood, R.W. 1994. *Analisis Siklus-siklus Teknik: Pusat Daya, Kilang Pendingin dan Pencairan Gas, edisi keempat*. Diterjemahkan oleh Sutanto. Jakarta: Universitas Indonesia.

Issaniyah, Achmad Yoga dan Fefrianto Muhammad Surahman. 2014. "Pengaruh Kevakuman Terhadap Efektivitas Kondensor PLTU Barru Unit 1". Laporan Tugas Akhir. Makassar: Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Prandono, Eki. 2011. *Analisa Gangguan Vakum Kondensor Rendah pada Turbin Uap di Sektor Pembangkitan Unit I PLTU Bukit Asam* (Online), (<http://digilib.polsri.ac.id> diakses tanggal 20 April 2015).

Pudjanarsa, Astu dan Djati Nursuhud. 2013. *Mesin Konversi Energi, edisi ketiga*. Yogyakarta: Penerbit Andi.

Vosough, Amir. et. all. 2011. "Improvement Power Plant Efficiency With Condenser Pressure". *International Journal of Multidisciplinary Sciences and Engineering, Vol. 2, No. 3, June 2011*.