



ENTHALPY : Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik Mesin

Journal homepage: <http://ojs.uho.ac.id/index.php/ENTHALPY>



Analisis Pengaruh Perubahan Tekanan Vakum Kondensator Terhadap *Heat Rate* Turbin Di PLTU Moramo Sebelum dan Sesudah Perawatan

Bagus Andi Saputro¹⁾, Budiman Sudia²⁾, Abd. Kadir³⁾

¹⁾ Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Halu Oleo

^{2,3)} Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Halu Oleo

Jl. H.E.A Makadompit, Kampus Hijau Bumi Tridarma Andounohu, Kendari 93232

E-mail: bagusandisaputro88@gmail.com

Article Info

Available online March 10, 2021

Abstrak

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Moramo merupakan salah satu *Independent Power Producer* (IPP) yang memasok kebutuhan listrik ke PT PLN. PLTU Moramo menggunakan turbin-generator dengan kapasitas terpasang 2x50 MW jenis *Steam Turbine - Full Condensing*. PLTU Moramo Unit 1 mengalami kenaikan nilai vakum kondensator setelah dilakukannya perawatan rutin, kenaikan nilai vakum tersebut berpengaruh terhadap nilai *heat rate* dan efisiensi siklus turbin uap. Penelitian ini menganalisa pengaruh perubahan nilai vakum kondensator terhadap nilai *heat rate* dan efisiensi siklus turbin uap dengan menggunakan pendekatan analisa termodinamika dan metode *input-output* energi. Data analisa menggunakan parameter aktual saat operasi normal yang diambil pada *Distributed Control System* (DCS). Hasil yang didapatkan dalam penelitian ini menunjukkan bahwa kenaikan nilai vakum kondensator berpengaruh terhadap nilai *heat rate* dan efisiensi siklus turbin uap, kenaikan nilai vakum -1 kPa mengakibatkan penurunan rata-rata *heat rate* turbin 57.673 kJ/kWh untuk beban 40 MW Netto dan 93.575 kJ/kWh untuk beban 50 MW Netto. Sedangkan untuk nilai efisiensi siklus turbin uap mengalami kenaikan sebesar 0.37% untuk beban 40 MW Netto dan 2.19% untuk beban 50 MW Netto.

Kata Kunci: *heat rate*, efisiensi, PLTU, vakum.

Abstrac

PLTU Moramo is one of the Independent Power Producers (IPP) that supplies electricity to PT PLN. PLTU Moramo make use of turbine-generator with an installed capacity of 2x50 MW Steam Turbine - Full Condensing. PLTU Moramo Unit 1 experienced an increase in the condenser vacuum value after routine maintenance, the increase in the vacuum value affected to the heat rate and efficiency of the steam turbine cycle. The research conducted is to analyzes the effect of changes in the value of the condenser vacuum on the heat rate and efficiency of the steam turbine cycle by using a thermodynamic analysis approach and energy input-output methods. Data analysis uses actual parameters taken from the Distributed Control System (DCS) during normal operation. The results obtained in this study indicate that an increase in the condenser vacuum value affects the heat rate and efficiency of the steam turbine cycle, an increase in the vacuum value of -1 kPa results in a decrease in the average turbine heat rate of 57,673 kJ/kWh for a load of 40 MW Net and 93,575 kJ/kWh for 50 MW Net load. Meanwhile, the average value of the steam turbine cycle efficiency increased by 0.37% for a load of 40 MW Net and 2.19% for 50 MW Net.

Keywords: *heat rate*, efficiency, PLTU, vacuum.

1. Pendahuluan

Analisis Pengaruh Perubahan Tekanan Vakum Kondensator Terhadap *Heat Rate* Turbin Di PLTU Moramo Sebelum Dan Sesudah Perawatan

Kebutuhan energi listrik di Indonesia cukup tinggi dan diimbangi dengan penyediaan kapasitas pembangkitan, sampai dengan akhir tahun 2019 kapasitas terpasang pembangkit tenaga listrik di Indonesia mencapai 69.678,85 MW yang terdiri dari pembangkit PLN sebesar 42.355,17 MW dan Non PLN sebesar 27.323,73 MW [1].

Pemeliharaan atau perawatan merupakan suatu usaha agar kontinuitas produksi dapat terjamin dan menciptakan suatu keadaan operasi produksi yang sesuai dengan rencana, serta meningkatkan efektifitas dan efisiensi dari sistem pembangkit listrik [2].

Turbin Uap

Turbin merupakan suatu alat yang digunakan untuk mengkonversi energi uap yang temperatur tinggi dan tekanan tinggi menjadi energi mekanik (putaran). Turbin uap berfungsi untuk merubah energi yang terkandung dalam uap (entalpi) menjadi energi mekanik berupa momen putar pada poros turbin. Saat uap kecepatan tinggi mengalir melalui sudu gerak yang terpasang pada rotor turbin, maka terjadilah perubahan energi kinetik menjadi energi mekanik berupa putaran poros turbin [3].

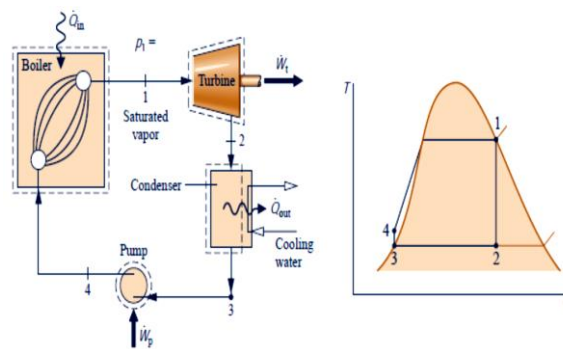
Sistem Vakum Kondensor PLTU

Sistem vakum merupakan system pembuatan kondisi vakum pada peralatan yang digunakan untuk keperluan efisiensi seperti penurunan titik didih, titik uap, pengembunan, pemisahan fase dan penurunan tekanan (dimaksudkan agar aliran mengalir dari tekanan tinggi ke tekanan yang lebih rendah) [4]

Nilai vakum atau tingkat kevakuman kondensor selalu dijaga nilainya, apabila terjadi perubahan nilai kevakuman kondensor yang signifikan akan berpengaruh terhadap nilai efisiensi turbin uap. Beberapa permasalahan yang ada pada pembangkit, khususnya PLTU adalah kotornya pipa – pipa kondensor yang ditunjukkan dengan turunnya nilai presentase condenser cleanliness, sehingga menyebabkan nilai kevakuman kondensor mendekati tekanan atmosfer dan mengakibatkan penurunan efisiensi turbin uap. [5]

Siklus Rankine

Siklus Rankine merupakan siklus ideal untuk pembangkit listrik tenaga uap. Pada siklus Rankine ideal sederhana terdiri dari 4 proses yang dapat dilihat pada gambar 1 di bawah ini dan diagram T-S dibawah ini: [4].



Gambar 1. Siklus rankine sederhana [4]

Secara umum proses siklus rankine sederhana diatas adalah : [6].

Proses 1-2 : Ekspansi isentropik dari fluida kerja melalui turbin dari uap jenuh pada kondisi 1 hingga mencapai tekanan kondensor.

Proses 2-3 : Perpindahan kalor dari fluida kerja ketika mengalir pada tekanan konstan melalui kondensor dengan cairan jenuh pada kondisi 3

Proses 3-4 : Kompresi isentropik dalam pompa menuju kondisi 4 dalam daerah cairan hasil kompresi.

Proses 4-1 : Perpindahan kalor ke fluida kerja ketika mengalir pada tekanan konstan melalui boiler untuk menyelesaikan siklus. [6].

Heat Rate

Turbine Heat Rate adalah jumlah kalor yang dibutuhkan untuk memproduksi listrik sebesar 1 kWh. Dan dinyatakan dalam (kJ/kWh). *Turbine Heat Rate* Turbin dapat dihitung dengan persamaan : [7].

$$HR = \frac{\dot{m}_{ms} \cdot h_{ms} - \dot{m}_{fw} \cdot h_{fw} - \dot{m}_{spray} \cdot h_{spray}}{P_g} \quad (1)$$

Dimana,

HR : *Turbine Heat Rate* [kJ/kWh]

\dot{m}_{ms} : *Flow main steam* [t/h]

h_{ms} : *Entalpi main steam* [kJ/kg]

\dot{m}_{fw} : *Flow feedwater* [t/h]

h_{fw} : *Enthalpi feedwater* [kJ/kg]

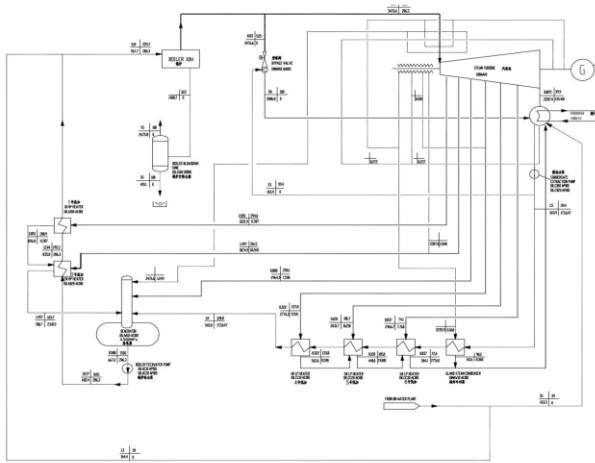
\dot{m}_{spray} : *Flowspraywater* [t/h]

h_{spray} : *Entalpi spraywater* [kJ/kg]

P_g : *Daya generator* [kW]

Efisiensi Siklus Turbin Uap

Efisiensi siklus turbin uap ditentukan berdasarkan *Heat Mass Balance Diagram* PLTU Moramo Unit 1, berikut ini siklus PLTU Moramo Unit 1 [11].



Gambar 2. Heat Mass Balance Diagram PLTU Moramo [8]

Perhitungan efisiensi siklus turbin uap menggunakan persamaan berikut ini : [8].

$$\eta_{siklus} = \frac{W_{net}}{Q_{in}} = \frac{W_{turbin} - W_{pompa}}{\dot{Q}_{boiler}} \quad (2)$$

Dimana :

- η_{siklus} : Efisiensi siklus [%]
- W_{turbin} : Entalpi masuk turbin [kJ/kg]
- W_{pompa} : Entalpi pompa [kJ/kg]
- \dot{Q}_{in} : Kerja Boiler [kJ/h]

Perhitungan kerja boiler (\dot{Q}) menggunakan persamaan berikut ini : [8].

$$\dot{Q} = (\dot{m}_{ms} \cdot h_{ms}) - (\dot{m}_{fw} \cdot h_{fw}) \quad (3)$$

Dimana :

- \dot{Q} : kerja boiler [kJ/h]
- \dot{m}_{ms} : flow main steam [t/h]
- h_{ms} : entalpi main steam [kJ/kg]
- \dot{m}_{fw} : flow feedwater [t/h]
- h_{fw} : entalpi feedwater [kJ/kg]

Perhitungan untuk menentukan nilai kerja pompa (W_p) menggunakan persamaan : [8]

$$W_p = (\dot{m}_{out} \cdot h_{out}) - (\dot{m}_{in} \cdot h_{in}) \quad (4)$$

Dimana :

- W_p : kerja pompa [kJ/h]
- \dot{m}_{in} : flow masuk pompa [t/h]
- h_{in} : entalpi masuk pompa [kJ/kg]
- \dot{m}_{out} : flow keluar pompa [t/h]
- h_{out} : entalpi keluar pompa [kJ/kg]

Kerja turbin uap ditentukan berdasarkan siklus turbin uap pada gambar 2, maka didapatkan turunan persamaan sebagai berikut:

$$W_{Turbin} = \dot{m}_{ms} (h_1 - h_2) + (\dot{m}_{ms} - \dot{m}_1)(h_2 - h_3) + (\dot{m}_{ms} - \dot{m}_1 - \dot{m}_2)(h_3 - h_4) + (\dot{m}_{ms} - \dot{m}_1 - \dot{m}_2 - \dot{m}_3)(h_4 - h_5) + (\dot{m}_{ms} - \dot{m}_1 - \dot{m}_2 - \dot{m}_3 - \dot{m}_4)(h_5 - h_6) + (\dot{m}_{ms} - \dot{m}_1 - \dot{m}_2 - \dot{m}_3 - \dot{m}_4 - \dot{m}_5)(h_6 - h_7) + (\dot{m}_{ms} - \dot{m}_1 - \dot{m}_2 - \dot{m}_3 - \dot{m}_4 - \dot{m}_5 - \dot{m}_6)(h_7 - h_8) \quad (5)$$

Dimana :

- W_{Turbin} : Kerja Turbin [kJ/h]
- \dot{m} : Laju aliran uap [t/h]
- h : Entalpi [kJ/kg]

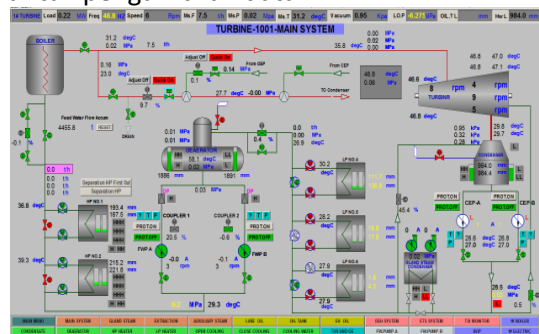
2. Metode Penelitian

Penelitian dalam tugas akhir ini mulai dilaksanakan pada minggu kedua bulan Januari 2021. Data operasi yang akan dianalisis adalah data operasi harian bulan September 2020 dan Oktober 2020. Sumber data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data operasional harian PLTU Moramo unit 1 yang diperoleh langsung dari data *Distributed Control System (DCS)* selama unit beroperasi dan observasi langsung pada petugas yang bertugas di PLTU Moramo di bagian *Central Control Room (CCR)*.

Alat dan Bahan Pendukung Penelitian

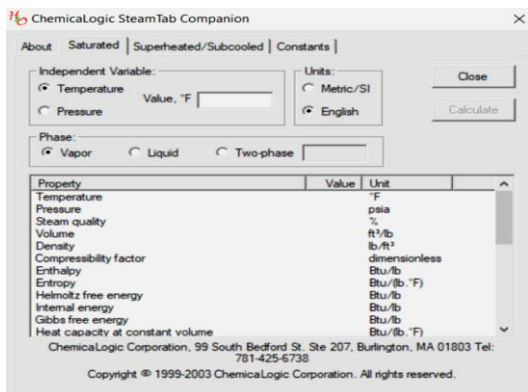
Jenis data yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah jenis data kuantitatif dan kualitatif dari PLTU Moramo unit 1. Untuk mendapatkan data perhitungan digunakan alat-alat sebagai berikut :

- a. Tahap pengumpulan data operasi yang akan digunakan dalam penelitian, dengan mengklasifikasikan data sesuai dengan tahapan formulasi perhitungan, tujuannya agar data dapat diinput sesuai kebutuhan dan lebih spesifik. Data yang diambil bersumber dari data operasi unit satu melalui *Distributed Control System (DCS)*. Berikut *display DCS* untuk pengambilan data.



Gambar 3. Display DCS PLTU Moramo

- b. Menentukan nilai data entalpi yang diambil melalui aplikasi *SteamTab*, dengan cara menginput nilai tekanan dan temperature yang akan dicari, sesuai dengan persamaan perhitungan *heat rate* dan efisiensi siklus turbin uap.



Gambar 4. Aplikasi Steamtab

- c. Data yang diinput berasal dari 2 sumber yaitu data operasi dan perhitungan manual.
- d. Kemudian dilanjutkan menghitung nilai *heat rate* turbin pada kondisi operasi unit dengan variasi beban 40 MW dan 50 MW.
- e. Data dimasukkan ke dalam tabulasi excel untuk disajikan dalam bentuk grafik Melalui data grafik hasil perhitungan, penulis menganalisa hubungan pengaruh vakum terhadap efisiensi turbin, dan pengaruh vakum terhadap *heat rate* turbin. Data tersaji dalam dua variasi beban, yaitu 40 MW dan 50 MW.
- f. Dari hasil analisis melalui grafik, kemudian dapat ditarik kesimpulan dari penelitian yang dilakukan.

Perhitungan Heat Rate Turbin

Perhitungan *heat rate* turbin menggunakan persamaan (1), data yang dibutuhkan untuk menghitung *heat rate* disajikan dalam tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Data analisa perhitungan *heat rate* turbin uap

Parameter	Simbol	Unit	Sampel Data
Flow Mainsteam	\dot{m}_{ms}	kg/h	171517
Entalpi Mainsteam	h_{ms}	kJ/kg	3479.568
Flow Feedwater	\dot{m}_{fw}	kg/h	179304
Entalpi Feedwater	h_{fw}	kJ/kg	924.321
Flow Spraywater	\dot{m}_{spay}	kg/h	6699
Entalpi Spraywater	h_{spray}	kJ/kg	924.321
Daya Generator	P_g	kW	45945

Perhitungan *heat rate* turbin menggunakan persamaan (1) dengan memasukkan data pada Tabel 1.

$$HR = (\dot{m}_{ms} \cdot h_{ms} - \dot{m}_{fw} \cdot h_{fw} - \dot{m}_{spray} \cdot h_{spray}) / P_g$$

$$HR = [(171517) \times (3479.568) - (179304) \times (924.321) - (6699) \times (924.321)] / 45945$$

$$HR = 9247.547 \text{ kJ/kWh}$$

Perhitungan Kerja Boiler

Kerja *boiler* dihitung menggunakan persamaan 3, kerja *boiler* dibutuhkan untuk menentukan energi yang masuk pada turbin yang berasal dari proses pembakaran pada *boiler*. Data yang digunakan disajikan pada tabel 1.

$$\dot{Q} = (\dot{m}_{ms} \cdot h_{ms}) - (\dot{m}_{fw} \cdot h_{fw})$$

$$\dot{Q} = (171517 \times 3479.568) - (179304 \times 924.321)$$

$$\dot{Q} = 431070578.597 \text{ kJ/h}$$

Perhitungan Kerja Pompa

Pompa yang beroperasi terdiri dari *Boiler Feedwater Pump* (BFWP) dan *Condensate Extraction Pump* (CEP). Berikut ini data operasi untuk kedua pompa.

Tabel 2. Data operasi pompa BFWP dan CEP

Parameter	Simbol	Unit	Sampel Data
Flow BFWP	\dot{m}_{bfbwp}	kg/h	179304
Entalpi Inlet BFWP	h_{in}	kJ/kg	587.143
Entalpi Outlet BFWP	h_{out}	kJ/kg	644.372
Flow CEP	\dot{m}_{cep}	kg/h	160235
Entalpi Inlet CEP	h_{in}	kJ/kg	202.899
Entalpi Outlet CEP	h_{out}	kJ/kg	205.286

Data Tabel 2, digunakan untuk menghitung kerja pompa BFWP, dihitung menggunakan persamaan (4) sebagai berikut ini :

$$W_p = \dot{m}_{bfbwp} \cdot (h_{out} - h_{in})$$

$$W_p = 179304 \cdot (644.372 - 587.143)$$

$$W_p = 10261362.879 \text{ kJ/h}$$

Kerja pompa CEP dihitung dengan menggunakan persamaan (4), berikut ini :

$$W_p = \dot{m}_{cep} \cdot (h_{out} - h_{in})$$

$$W_p = 160235 \cdot (205.286 - 202.889)$$

$$W_p = 10643914.597 \text{ kJ/h}$$

Perhitungan Kerja Turbin Uap

Kerja turbin uap dihitung berdasarkan siklus PLTU Moramo yang terdapat pada gambar 4. Perhitungan kerja turbin uap menggunakan persamaan (5). Berikut ini data yang digunakan untuk perhitungan kerja turbin uap. Satuan atau unit yang digunakan dikonversikan ke dalam satuan absolute.

Tabel 3 Data sampel untuk perhitungan kerja turbin uap.

Parameter	Simbol	Unit	Sampel Data
Flow Main steam	\dot{m}_{ms}	t/h	171517
Entalpi Mainsteam	h_1	kJ/kg	3479.568
Entalpi Extraction 1	h_2	kJ/kg	3190.565
Entalpi Extraction 2	h_3	kJ/kg	3140.688
Entalpi Extraction 3	h_4	kJ/kg	2935.834
Entalpi Extraction 4	h_5	kJ/kg	2813.599
Entalpi Extraction 5	h_6	kJ/kg	2549.406
Entalpi Extraction 6	h_7	kJ/kg	2504.452
Entalpi Exhaust Turbin	h_8	kJ/kg	2179.400
Flow Extraction 1	\dot{m}_1	t/h	10481.193
Flow Extraction 2	\dot{m}_2	t/h	9419.015
Flow Extraction 3	\dot{m}_3	t/h	4118.070
Flow Extraction 4	\dot{m}_4	t/h	9284.071
Flow Extraction 5	\dot{m}_5	t/h	12102.661
Flow Extraction 6	\dot{m}_6	t/h	1032.139
Flow Exhaust Turbin	\dot{m}_7	t/h	125079.850

Perhitungan kerja turbin uap berikut ini:

$$W_{Turbin} = \dot{m}_{ms}(h_1-h_2)+(\dot{m}_{ms}-\dot{m}_1)(h_2-h_3)+(\dot{m}_{ms}-\dot{m}_1-\dot{m}_2)(h_3-h_4)+(\dot{m}_{ms}-\dot{m}_1-\dot{m}_2-\dot{m}_3)(h_4-h_5)+(\dot{m}_{ms}-\dot{m}_1-\dot{m}_2-\dot{m}_3-\dot{m}_4)(h_5-h_6)+(\dot{m}_{ms}-\dot{m}_1-\dot{m}_2-\dot{m}_3-\dot{m}_4-\dot{m}_5)(h_6-h_7)+(\dot{m}_{ms}-\dot{m}_1-\dot{m}_2-\dot{m}_3-\dot{m}_4-\dot{m}_5-\dot{m}_6)(h_7-h_8)$$

$$W_{Turbin} = 189531759.515 \text{ kJ/h}$$

Perhitungan Efisiensi Siklus Turbin Uap

Efisiensi siklus turbin uap dihitung dengan menggunakan persamaan (2), data yang digunakan

menggunakan sampel data hasil perhitungan kerja boiler, kerja pompa, dan kerja turbin.

$$\eta_{siklus} = \frac{W_{net}}{Q_{in}} = \frac{W_{turbin}-W_{pompa}}{Q_{boiler}}$$

$$\eta_{siklus} = \frac{W_{turbin}-W_{pompa}}{Q_{boiler}}$$

$$\eta_{siklus} = \frac{189531759.515 - 10643914.597}{431070578.597}$$

$$\eta_{siklus} = 0.41499$$

$$\eta_{siklus} = 41.50 \%$$

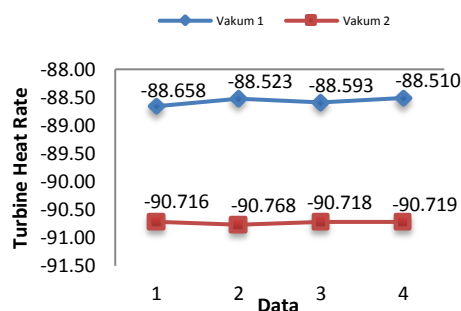
Data hasil perhitungan heat rate dan efisiensi siklus turbin, akan ditabulasikan dalam bentuk tabel yang dianalisa berdasarkan data-data yang telah diambil untuk perhitungan. Hasil tabel akan diproyeksikan dalam bentuk grafik untuk memaparkan hubungan perbandingan antara nilai vakum, heat rate, dan efisiensi siklus turbin. Data yang disajikan merupakan data beban 40 MW Netto dan 50 MW Netto, sehingga dengan kedua data tersebut dapat dilihat perbedaan dari kenaikan vakum terhadap variasi kedua beban tersebut.

3. Hasil Dan Pembahasan

Hasil penelitian ini disajikan dalam bentuk grafik yang menampilkan hubungan kenaikan nilai vakum kondensor terhadap nilai heat rate turbin dan efisiensi siklus turbin uap. Penelitian yang dilakukan akan membandingkan kondisi sebelum dilakukannya perawatan atau pemeliharaan dan sesudah dilakukannya perawatan peralatan auxiliary turbin uap. Data yang disajikan dalam penelitian ini disajikan dalam 2 variasi pembebanan (net load), yaitu 40 MW Netto dan 50 MW Netto.

Kenaikan Nilai Vakum Kondensor

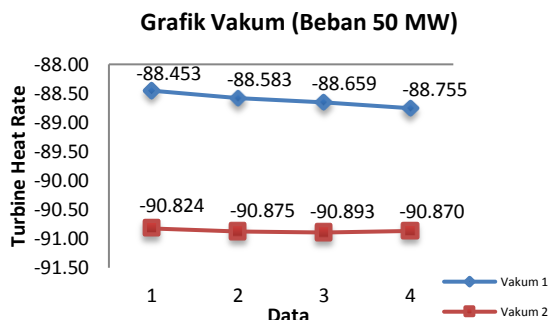
Nilai vakum kondensor mengalami kenaikan setelah dilakukannya proses perawatan, berikut ini grafik perbandingan nilai vakum sebelum dan sesudah perawatan.



Gambar 5. Grafik perbandingan nilai vakum kondensor beban 40 MW Netto

Grafik pada gambar 5 menunjukkan bahwa terjadi kenaikan nilai vakum, "vakum 1" menunjukkan kondisi sebelum perawatan,

sedangkan “vakum 2” menunjukkan kondisi setelah perawatan. Pada beban 40 MW Netto, nilai kenaikan rata-rata sebesar -2.159 kPa, dengan nilai tertinggi adalah -90.765 kPa.



Gambar 6. Grafik perbandingan nilai vakum kondensor beban 50 MW Netto

Grafik pada gambar 6 terlihat bahwa terjadi kenaikan nilai vakum kondensor yang signifikan pada Unit 1 PLTU Moramo, pada beban 50 MW Netto, nilai kenaikan rata-rata sebesar -2.253 kPa, dengan nilai tertinggi adalah -90.893 kPa. Kenaikan nilai vakum kondensor ini merupakan hasil dari kegiatan perawatan yang dilakukan pada peralatan *auxiliary system* turbin uap, khususnya pada peralatan yang berhubungan dengan sistem kevakuman, antara lain *strainer inlet condensor*, *filter inlet vacuum pump*, *vacuum pump*, *heat exchanger vacuum pump*, dan *sealing* pada bagian *stem Motorized Valve* yang ada pada sistem kevakuman.

Pengaruh Vakum Terhadap Heat Rate Turbin

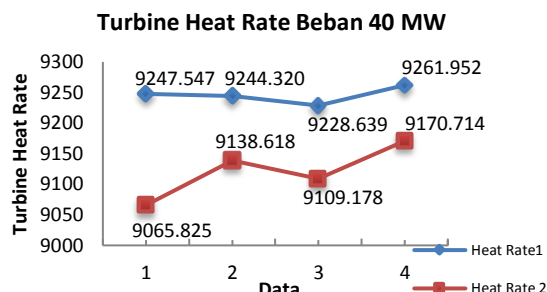
Kenaikan nilai vakum kondensor akan berpengaruh terhadap nilai *heat rate* turbin, berikut ini tabel hasil perhitungan dan pengaruh nilai vakum terhadap *heat rate* turbin.

Tabel 4. Hasil perhitungan nilai *Heat Rate* turbin pada beban 40 MW Netto

<i>Turbine Heat Rate Beban 40 MW Net</i>			
Sebelum Perawatan		Setelah Perawatan	
Vakum	THR	Vakum	THR
kPa	kJ/kWh	kPa	kJ/kWh
-88.658	9247.547	-90.716	9065.825
-88.523	9244.320	-90.768	9138.618
-88.593	9228.639	-90.718	9109.178
-88.510	9261.952	-90.719	9170.714
-88.571	9245.615	-90.730	9121.084

Data yang disajikan pada tabel 4 menunjukkan bahwa telah adanya penurunan nilai *heat rate* turbin pada kondisi sebelum perawatan dan sesudah perawatan. Nilai rata-rata *heat rate* turbin

pada kondisi sebelum perawatan dari keempat data adalah 9245.615 kJ/kWh, sedangkan nilai rata-rata *heat rate* turbin pada kondisi setelah perawatan adalah 9121.084 kJ/kWh. Berikut ini grafik kenaikan *heat rate* turbin setelah dilakukannya perawatan.



Gambar 7. Grafik perbandingan nilai *Heat Rate* turbin pada beban 40 MW Netto

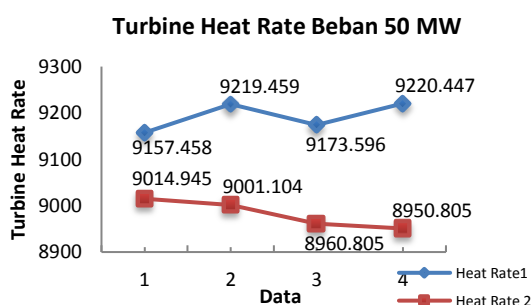
Berdasarkan data perhitungan, rata-rata penurunan nilai *Heat Rate* sebelum dan sesudah perawatan adalah sebesar 124.531 kJ/kWh, artinya kenaikan nilai vakum kondensor sebesar -2.159 kPa, menyebabkan penurunan nilai *Heat Rate* turbin sebesar 124.531 kJ/kWh. Jadi, kenaikan -1 kPa nilai vakum kondensor unit 1 PLTU Moramo pada kondisi tersebut mengakibatkan penurunan *Heat Rate* turbin sebesar 57.673 kJ/kWh.

Tabel 5. Hasil perhitungan nilai *heat rate* turbin pada beban 50 MW Netto

<i>Turbine Heat Rate Beban 50 MW Net</i>			
Sebelum Perawatan		Setelah Perawatan	
Vakum	THR	Vakum	THR
kPa	kJ/kWh	kPa	kJ/kWh
-88.453	9157.458	-90.824	9014.945
-88.583	9219.459	-90.875	9001.104
-88.659	9173.596	-90.893	8960.805
-88.755	9220.447	-90.870	8950.805
-88.613	9192.740	-90.866	8981.915

Berdasarkan data hasil perhitungan pada tabel 5, rata-rata penurunan nilai *Heat Rate* sebelum dan sesudah perawatan pada beban 50 MW Netto adalah sebesar 210.825 kJ/kWh. Kenaikan nilai vakum kondensor sebesar -2.253 kPa, mengakibatkan terjadinya penurunan nilai *Heat Rate* rata-rata sebesar 210.825 kJ/kWh. Jadi, kenaikan -1 kPa tekanan vakum kondensor unit 1 PLTU Moramo pada kondisi beban 50 MW Netto mengakibatkan penurunan *Heat Rate* turbin sebesar 93.575 kJ/kWh, dengan nilai *heat rate* lebih

besar dibandingkan dengan nilai kenaikan *heat rate* pada beban 40 MW Netto.



Gambar 8. Grafik perbandingan nilai *Heat Rate* turbin pada beban 50 MW Netto

Gambar 7 dan 8 di atas merupakan grafik kenaikan nilai *heat rate* turbin sebelum dan sesudah perawatan. Terlihat bahwa adanya penurunan yang signifikan terhadap *heat rate* setelah dilakukannya perawatan.

Perubahan nilai vakum kondensor akan mempengaruhi beberapa parameter utama di antaranya: *main steam flow*, tekanan *main steam*, temperatur *main steam*, beban yang dibangkitkan, dan *feedwater*. Sehingga akan mengakibatkan perubahan nilai entalpi *feedwater* dan *main steam* yang akan digunakan untuk memutar turbin uap. [10]

Besarnya beban yang dibangkitkan merupakan akibat dari perubahan nilai vakum kondensor, dengan laju uap yang sama tetapi nilai vakum berbeda, maka akan mengakibatkan perbedaan beban yang dibangkitkan.

Pengaruh Vakum Terhadap Efisiensi Siklus Turbin Uap

Efisiensi siklus turbin uap ditentukan dengan metode *input-output energy balance* sesuai dengan *Heat Mass Balance Diagram* PLTU. Efisiensi siklus turbin uap dihitung dengan menggunakan persamaan 2. Berikut ini tabel hasil perhitungan nilai efisiensi siklus turbin uap pada beban 40 MW Net dan 50 MW Net.

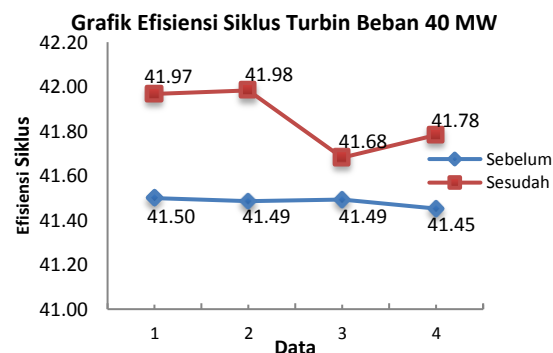
Tabel 6. Data hasil perhitungan efisiensi siklus turbin uap beban 40 MW

Sebelum Perawatan		Sesudah Perawatan	
Vakum	Efisiensi	Vakum	Efisiensi
kPa	%	kPa	%
-88.658	41.50	-90.716	41.97
-88.523	41.49	-90.768	41.98
-88.593	41.49	-90.718	41.68
-88.510	41.45	-90.719	41.78
-88.571	41.48	-90.730	41.85

Tabel 7. Data hasil perhitungan efisiensi siklus turbin uap beban 50 MW Netto

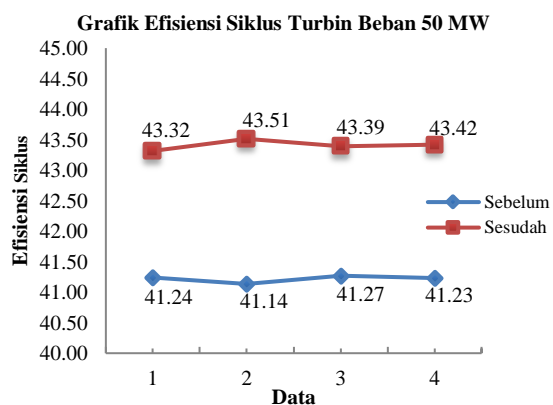
Sebelum Perawatan		Sesudah Perawatan	
Vakum	Efisiensi	Vakum	Efisiensi
kPa	%	kPa	%
-88.453	41.24	-90.824	43.32
-88.583	41.14	-90.875	43.51
-88.659	41.27	-90.893	43.39
-88.755	41.23	-90.870	43.42
-88.613	41.22	-90.866	43.41

Berdasarkan data yang tersaji pada tabel 6 dan 7 di atas, terjadi kenaikan nilai efisiensi siklus pada beban 40 MW dan 50 MW kondisi sebelum dan sesudah perawatan. Nilai rata-rata efisiensi siklus turbin uap pada beban 40 MW Netto mengalami kenaikan dari 41.48% menjadi 41.85%, sedangkan untuk beban 50 MW Netto terjadi kenaikan nilai rata-rata efisiensi siklus yang cukup signifikan, yaitu dari 41.22% menjadi 43.41%.



Gambar 10. Grafik perbandingan nilai efisiensi siklus beban 40 MW Netto

Nilai efisiensi siklus turbin tertinggi setelah dilakukannya pemeliharaan yaitu 41.98%, sedangkan nilai terendahnya yaitu 41.68%. Kenaikan efisiensi siklus turbin ini dikarenakan kenaikan nilai vakum setelah dilakukannya perawatan pada komponen *auxiliary* turbin, khususnya peralatan kevakuman.



Gambar 11. Grafik perbandingan nilai efisiensi siklus beban 50 MW Netto

Berdasarkan grafik pada gambar 10 dan gambar 11 di atas, kenaikan nilai efisiensi siklus turbin uap yang signifikan terjadi pada beban 50 MW Netto, dengan kenaikan rata-ratanya sebesar 2.19%, sedangkan untuk beban 40 MW Netto kenaikannya hanya 0.37%. Hal ini dikarenakan pada kondisi beban 50 MW Netto, kenaikan nilai rata-rata vakum kondensor lebih besar yaitu -2.253 kPa, jika dibandingkan dengan beban 40 MW Netto yang hanya -2.159 kPa. Kenaikan nilai vakum kondensor berpengaruh terhadap besarnya nilai efisiensi siklus turbin uap, kenaikan nilai vakum kondensor akan mempengaruhi beberapa parameter operasi pada siklus turbin uap, hal ini akan berpengaruh terhadap perhitungan nilai efisiensi, parameter tersebut antara lain : laju aliran *main steam*, laju aliran ekstraksi turbin, temperatur air *condensate*, temperatur air *feedwater*, rasio beban yang dibangkitkan, dan temperature *exhaust* turbin uap. Parameter tersebut berubah bersamaan dengan perubahan nilai vakum kondensor. Perubahan parameter tersebut akan mempengaruhi nilai kerja turbin, kerja boiler, dan kerja pompa, sehingga akan berpengaruh terhadap nilai efisiensi siklus turbin uap. Nilai perubahan parameter untuk beban 40 MW Netto berbeda dengan beban 50 MW Netto.

4. Kesimpulan

Kenaikan nilai vakum kondensor berpengaruh terhadap nilai *heat rate* turbin uap, untuk kondisi beban 40 MW Netto kenaikan nilai rata-rata vakum kondensor dari -88.571 kPa menjadi -90.730 kPa, dengan nilai kenaikan sebesar -2.159 kPa, mengakibatkan penurunan nilai *heat rate* turbin dari 9245.615 kJ/kWh menjadi 9121.084 kJ/kWh. Begitu juga untuk beban 50 MW Netto, kenaikan

nilai rata-rata vakum kondensor dari -88.613 kPa menjadi -90.866 kPa, dengan kenaikan sebesar -2.253 kPa, menyebabkan penurunan nilai rata-rata *heat rate* turbin dari 9192.740 kJ/kWh menjadi 8981.915 kJ/kWh. Kenaikan nilai vakum kondensor berpengaruh terhadap nilai efisiensi siklus turbin uap. Nilai rata-rata vakum kondensor beban 40 MW Netto mengalami kenaikan dari -88.571 kPa menjadi -90.730 kPa, dengan nilai kenaikan sebesar -2.159 kPa, mengakibatkan kenaikan efisiensi siklus turbin uap dari 41.22% menjadi 41.85%, terjadi kenaikan rata-rata sebesar 0.37%. Sedangkan untuk beban 50 MW Netto terjadi kenaikan nilai rata-rata vakum kondensor dari -88.613 kPa menjadi -90.866 kPa, dengan nilai kenaikan sebesar -2.253 kPa, menyebabkan kenaikan nilai efisiensi siklus turbin uap dari 41.22% menjadi 43.41%, terjadi kenaikan sebesar 2.19%.

Saran

Penelitian selanjutnya disarankan untuk menambah variasi pembebanan unit pembangkit, dan melakukan analisa pengaruh perubahan nilai vakum kondensor terhadap konsumsi laju aliran *mainsteam* yang masuk digunakan untuk memutar turbin. Selanjutnya bisa dilakukan analisa perbandingan kenaikan nilai vakum terhadap konsumsi bahan bakarnya selama proses produksi listrik.

Daftar Pustaka

- [1] Direktorat Jendral Ketenaga Listrikan Kementerian Energi dan Sumber Daya Alam Mineral, "Statistik Ketenagalistrikan 2019," Sekretariat Jendral Ketenagalistrikan, Jakarta, 2020.
- [2] D. B. Rudiyanto, R. R. Isnanto and D. Windarto, "Sistem Manajemen Pemeliharaan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Rembang Secara Onlin," *TRANSIENT*, vol. 2, p. 295, Juni 2013.
- [3] B. Wahyudi, "Analisis Efisiensi Turbin Uap Terhadap Kapasitas Listrik Pembangkit," *Ilmiah*, 2019.
- [4] A. Latifianto, Y. E. Prawatya and M. Ivanto, "Analisi Pengaruh Perubahan Tekanan Kondensor (Vakum) Terhadap Efisiensi Heat

Rate Turbin Uap Di PT. PJB (Pembangkit Jawa Bali) PLTU Ketapang 10 MW," *Ilmiah*, 2020.

- [5] F. Maulidiya and M. N. Melatih, "Analisis Pengaruh Tekanan Kondensor Terhadap Daya Turbin Sistem PLTU," *Seminar Nasional Teknik Mesin*, 2016.
- [6] Sunarwo and Supriyo , "Analisa Heat Rate Pada Turbin Uap Berdasarkan Performance Test PLTU Tanjung Jati B Unit 3," *EKSERGI*, pp. 61-68, 2015.
- [7] ASME PTC 6S, Procedure for Routine Performance Tests of Steam Turbines, New York, 1998.
- [8] PK. Nag, Power Plant Engineering, New Delhi: Tata McGraw-Hill, 2008.
- [9] Direktorat Jendral Ketenaga Listrikan Kementrian Energi dan Sumber Daya Alam Mineral, "Statistik Ketenagalistrikan 2019," Sekretariat Jendral Ketenagalistrikan, Jakarta, 2020.
- [10] Operation, Turbine Work Instruction, Kendari : Kendari-3 2x50 MW Coal-Fired Power Plant , 2019.
- [11] Kendari-3 2x50 MW Coal-fired Power Plant Project, *Technical Specifications of Steam Turbine*, Dongfang Turbine Co., Ltd of Dongfang Electric Corp. Indonesia.