

STUDI EFEKTIVITAS *VACUUM PUMP* PADA KONDENSOR UNIT 1 PT. PLN NUSANTARA POWER UPK NAGAN RAYA

Fauzan¹, Subhan², Syafia Aisyah Keumala³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Lhokseumawe
Email: fauzan@pnl.ac.id¹, subhan@pnl.ac.id², syafiaaisyahkeumala@gmail.com³

Abstrak – Kevakuman pada kondensor PT. PLN Nusantara Power UPK Nagan Raya wajib dijaga dengan bantuan dari *vacuum pump*, karena dapat menjaga tekanan udara. Teknik analisis data berupa Perhitungan mencari nilai efektivitas *Vacuum Pump*, mencari nilai laju perpindahan panas pada kondensor dan menghitung nilai kinerja turbin uap. Nilai efektivitas pompa vakum mengalami penurunan sebesar 29% sejak 9 tahun beroperasi. Sehingga Pada tahun 2021 tekanan yang diberikan oleh pompa vakum sebesar -88,41 kPa dengan laju perpindahan panas sebesar 38 MW, dan daya aktual turbin uap sebesar 83 KW, tahun 2022 tekanan vakum yang diberikan sebesar -87,30 kPa dengan laju perpindahan panas sebesar 28 MW, dan daya aktual turbin sebesar 74 KW, dan pada tahun 2023 tekanan vakum yang diberikan oleh pompa vakum sebesar -87,30 kPa dengan laju perpindahan panas sebesar 25 MW, dan daya aktual turbin sebesar 71 KW.

Kata-kata kunci: *Vacuum pump, kondensor, kevakuman kondensor*

Abstract - *Vacuum in condenser PT. PLN Nusantara Power UPK Nagan Raya must be maintained with the help of a vacuum pump, because it can maintain air pressure. Data analysis techniques include calculations to find the effectiveness value of the Vacuum Pump, find the value of the heat transfer rate in the condenser and calculate the performance value of the steam turbine. The effectiveness value of the vacuum pump has decreased by 29% since 9 years of operation. So that in 2021 the pressure provided by the vacuum pump is -88.41 kPa with a heat transfer rate of 38 MW, and the actual power of the steam turbine is 83 KW, in 2022 the vacuum pressure provided is -87.30 kPa with a heat transfer rate of 28 MW, and the actual turbine power is 74 KW, and in 2023 the vacuum pressure provided by the vacuum pump will be -87.30 kPa with a heat transfer rate of 25 MW, and the actual turbine power will be 71 KW.*

Keywords: *Vacuum pump, condenser, vacuum condenser*

I. PENDAHULUAN

PT. PLN Nusantara Power UPK Nagan Raya salah satu pembangkit listrik tenaga thermal yang banyak digunakan di Indonesia, jumlah daya listrik yang dihasilkan oleh perusahaan ini sebesar 2×110 MW yang terdiri dari dua unit. Dalam pengoperasian turbin uap yang berputar seporos dengan generatornya diperlukan peralatan-peralatan pendukung agar mencapai tingkat pengoperasian yang maksimal. Diantaranya adalah kondensor. Kondensor adalah salah satu jenis pesawat penukar kalor yang berfungsi mengkondensasikan uap bekas dari turbin, yaitu air demin yang akan digunakan kembali.

Kondensor memiliki peran yang sangat penting terhadap performa pengoperasian turbin uap. Dimana kinerja kondensor sendiri dipengaruhi oleh perpindahan panas yang baik, air keluaran kondensor sangat diperhatikan, oleh sebab itu agar uap tetap terkondensasi dengan sempurna maka kevakuman pada kondensor harus dijaga dengan menggunakan pompa vakum, karena dengan adanya pompa vakum pada kondensor akan membuat tekanan udara tetap terjaga. Maka dari itu perlunya dilakukan perhitungan efektivitas pompa

vacuum, pengaruhnya terhadap laju perpindahan panas pada kondensator, dan kinerja turbin.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Pembangkit listrik tenaga uap (PLTU)

PLTU merupakan mesin untuk konversi energi panas menjadi energi listrik. Pada pembangkit ini mempunyai alat untuk melakukan pembakaran batubara dipembangkit menyebutnya boiler fungsinya untuk membuat uap yang panas kering atau (*steam*) yang uap bertekannya dimanfaatkan tujuannya memutar sudu-sudu turbin. Setelahnya pada sudu sudu turbin uap yang berputar akan memutar juga poros turbin yang sudah terhubung langsung dengan poros generator, hasilnya akan menjadi energi listrik dari gerak memutar generator. Generator memiliki fungsi untuk mengubah energi mekanik atau energi gerak yang berupa poros turbin yang bergerak menghasilkan energi listrik yang selanjutnya akan ditransmisikan ke gardu induk melalui transformator.

B. Kondensator

Kondensator merupakan alat penukar kalor (*Heat Exchanger*) yang berfungsi mengkondensasikan uap bekas dari turbin tekanan rendah (*Low Pressure Turbine*) menjadi titik-titik air (air kondensat) dan air yang terkondensasi menjadi air ditampung pada *Hot wheell*. Di dalam kondensator terdapat siklus yang saling berkaitan, yaitu siklus fluida panas dari uap keluaran turbin tekanan rendah dan siklus air pendingin yang diperoleh dari air laut, yang mana keduanya saling bersilangan arah (*cross flow*).

Prinsip kerja kondensator dimana proses perubahannya dilakukan dengan cara mengalirkan uap ke dalam suatu ruangan yang berisi pipa-pipa (*tubes*). Uap mengalir di luar pipa-pipa (*shell side*) sedangkan air sebagai pendingin mengalir di dalam pipa-pipa (*tube side*). Kondensator seperti ini disebut kondensator tipe *surface* (permukaan). Kebutuhan air untuk pendingin di kondensator sangat besar sehingga dalam perencanaan biasanya sudah diperhitungkan. Air pendingin diambil dari sumber yang cukup persediannya, yaitu dari danau, sungai atau laut. Posisi kondensator umumnya terletak dibawah turbin sehingga memudahkan aliran uap keluaran bekas pemutaran turbin untuk masuk ke kondensator karena tekanan di dalam kondensator lebih rendah dari pada di dalam turbin [1].

C. Tekanan Vakum Kondensator

Kondensator ini parameter kerjanya dipantau berdasarkan memiliki nilai vakum atau *pressure* yang dihasilkan. Nilai vakum kondensator ini akan mempengaruhi bagaimana kinerja steam turbine bekerja. Pengaruh vakum kondensator pada sistem PLTU ada dua hal. Pertama meningkatkan beban turbin uap. Vakum kondensator akan 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 akan berhubungan dengan energi yang dibangkitkan. Semakin tinggi energi yang dibangkitkan efisiensi juga akan naik. Untuk nilai tekanan vakum kondensator sendiri berasal dari konstruksi kondensator itu sendiri.

D. Turbin Uap

Turbin uap adalah komponen konversi energi utama dalam sebuah pembangkit listrik tenaga termal. Turbin uap berfungsi untuk mengubah energi panas dari uap menjadi energi mekanik (putaran) sebagai penggerak generator untuk menghasilkan energi listrik. Biasanya turbin uap langsung terkopel dengan generator sehingga sering disebut *steam turbine generator*. Prinsip kerja dari turbin uap yaitu uap masuk ke dalam turbin melalui nosel. Nosel tersebut berfungsi mengubah energi panas dari uap menjadi energi kinetis. Tekanan uap pada saat keluar dari nosel lebih kecil dari pada saat masuk ke dalam nosel, akan tetapi sebaliknya kecepatan uap

keluar nosel lebih besar dari pada saat masuk ke dalam nosel. Uap yang memancar keluar dari nosel diarahkan ke sudu sudu turbin yang berbentuk lengkungan dan dipasang disekeliling rotor turbin. Uap yang mengalir melalui celah antara sudu turbin itu dibelokkan mengikuti arah lengkungan dari sudu turbin. Perubahan kecepatan uap ini menimbulkan gaya yang mendorong dan kemudian memutar poros turbin yang menghasilkan energi mekanik. Untuk mengetahui kinerja turbin uap dapat dihitung menggunakan Persamaan 1 [2].

$$Wt = m(h_1 - h_2) \quad (1)$$

Keterangan:

m : laju aliran massa (kg/jam)

h₁ : entalpi inlet (kJ/kg)

h₂ : entalpi outlet (kJ/kg)

E. Perpindahan Panas Konduksi

Konduksi merupakan perpindahan panas yang dalam proses perpindahannya melibatkan benda padat. Benda padat yang dapat menghantarkan panas disebut dengan konduktor. Sedangkan benda padat yang tidak dapat menghantarkan panas dengan baik disebut dengan isolator. Laju perpindahan panas (Q) secara konduksi sebagai perkalian antara konduktivitas panas (k) dengan luas penampang (A) dan selisih suhu kedua titik (T₂ - T₁) lalu dibagi dengan jarak kedua titik (X). Maka rumus laju perpindahan panasnya seperti pada Persamaan 2 [3].

$$Q = k \times A \times (T_2 - T_1) / X \quad (2)$$

F. Pompa Vakum

Pompa vakum adalah sebuah alat untuk mengeluarkan molekul-molekul gas dari dalam sebuah ruangan tertutup untuk mencapai tekanan vakum. Pompa vakum pertama ditemukan pada tahun 1650 oleh Otto von Guericke yang didahului oleh pompa hisap. Efisiensi dapat dihitung dengan daya output dibagi input dikali 100% karena satuan efisiensi adalah presentase persamaan tersebut berarti membandingkan antara daya yang masuk dengan daya yang dihasilkan oleh sebuah pompa. Dengan kata lain seberapa besar kemampuan suatu peralatan untuk merubah daya yang diberikan menjadi daya yang dikeluarkan. Semakin besar nilai efisiensinya atau mendekati 100% maka semakin baik kondisi atau performa sebuah pompa. Dapat dilihat pada Persamaan [4].

$$\text{Efisiensi pompa} = \frac{\eta_{\text{out}}}{\eta_{\text{in}}} \times 100 \quad (3)$$

Keterangan:

H_{out} = Daya Hidrolis (Watt)

η_{in} = Daya Listrik (Watt)

Dan untuk mencari nilai Daya Hidrolis sebagai nilai η_{out} pada Persamaan 3 dengan menggunakan Persamaan 4 [4].

$$P_{hidrolis} = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{1000} \quad (4)$$

Keterangan:

- Phidro = Daya hidrolis (watt)
- Q = Kapasitas (m3/s)
- g = Percepatan gravitasi (9,81 m/s²)
- ρ = Massa jenis fluida (1000 kg/m³)
- H = Head (m)

Efisiensi pompa akan menurun dari waktu ke waktu, namun yang perlu dijaga adalah pompa masih bisa beroperasi dengan baik selama umur ekonomis pompa dikatakan baik atau tidak dapat diketahui dengan melihat penurunan nilai efisiensi.

G. Motor Induksi

Motor induksi adalah suatu mesin listrik yang merubah energi listrik menjadi energi gerak dengan menggunakan gandengan medan listrik dan mempunyai slip antara medan stator dan medan rotor. Motor induksi 3-fase dioperasikan pada sistem tenaga 3-fasa dan banyak digunakan di dalam berbagai bidang industri dengan kapasitas yang besar. Stator adalah bagian yang diam dan letaknya berada di luar. Stator mempunyai coil yang di aliri oleh arus listrik bolak balik dan nantinya akan menghasilkan medan magnet yang berputar. Bagian yang kedua yaitu rotor. Rotor adalah bagian yang berputar dan letaknya berada di dalam (di sebelah dalam stator). Rotor bisa bergerak karena adanya torsi yang bekerja pada poros dimana torsi tersebut dihasilkan oleh medan magnet yang berputar.

III. METODOLOGI

Metodologi yang diterapkan untuk memperoleh informasi melalui pengambilan data lapangan pada *Central Control Room* (CCR), rental operator, literatur buku dan *manual book*.

A. Teknik Pengumpulan Data

Pompa Vakum yang di gunakan pada PT. PLN Nusantara Power UPK Nagan Raya tipe pompa vakum *Liquid-ring*. Seperti yang telah dijelaskan diatas bahwa gas akan mengalir melewati *suction connection* yang selanjutnya akan di-*sealing* memakai liquid. Dan kemudian barulah gas dibuang dengan menggunakan *discharge connection*. Data spesifikasi sesuai nameplate pada pompa vakum PT. PLN Nusantara Power UPK Nagan Raya dapat dilihat pada Tabel 1 [5].

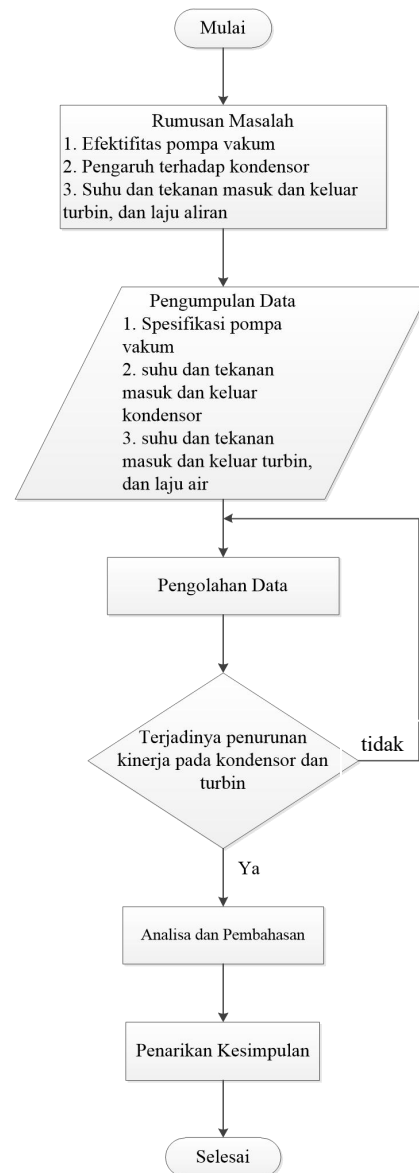
TABEL I
Spesifikasi Pompa Vakum

Model	2BW5253-OEK4
<i>Flow capacity</i>	35 kg/h (<i>dry air flow</i>)
<i>Limit vacuum</i>	3.3 kPa (a)
<i>Pump efficiency</i>	49% (<i>design working condition: under pressure of 8.0 KPa 0r 8.7 KPa, the cooling water temperature: 30°C</i>)

Model	2BW5253-OEK4
<i>Rotating speed</i>	740 r/min
<i>Makeup water volume of working medium</i>	< 0.5 m ³ /h
<i>Working medium water</i>	<i>Demineralized water and fresh water</i>
<i>Makeup water pressure of working medium</i>	≤ 1.0 Mpa (g)
<i>Heat exchanger type</i>	<i>Tube</i>
<i>Cooling area</i>	12.5 m ²
<i>Cooling water volume</i>	25 m ³ /h
<i>Cooling water temperature</i>	Normal 30 °C, max. 33 °C
<i>Overall heat transfer coefisien</i>	908.1451 W/m ² °C
<i>Water resistance of cooling water side</i>	0.03 Mpa
<i>Cooling water</i>	<i>Seawater</i>
<i>Manufacturer</i>	WU HAN WEILONG PUMP CO., LTD

B. Flowchart

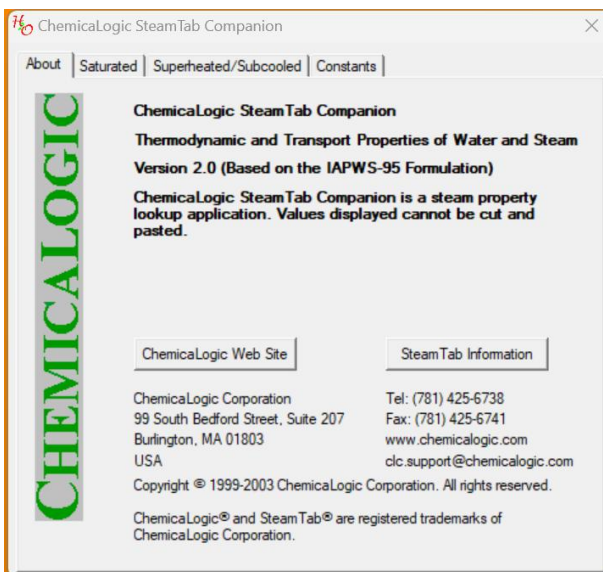
Langkah-langkah penelitian seperti diperlihatkan pada Gambar 1.



Gbr. 1 Flowchart Diagram Alir Penelitian

C. Teknik Analisis Data

Pada penelitian ini menggunakan *software* untuk mempermudah proses perhitungan serta membuat perhitungan menjadi lebih valid. *Software* juga mempercepat waktu dalam pengerjaan penelitian sehingga diharapkan oleh peneliti dapat menyelesaikan penelitiannya tepat waktu sesuai yang sudah dijadwalkan. Adapun *software* yang digunakan adalah *ChemicalLogis Steam Tab*. Dengan *ChemicalLogis Steam Tab* penulis dapat dengan mudah mencari nilai nilai entalphi, nilai temperatur saturasi, mencari nilai *heat capacity at constant pressure* atau *Cpc* dari fluida dingin. Seperti pada Gambar 2.



Gbr. 2 Chemical Logis Steam Tab

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang didapatkan diproses dengan menggunakan persamaan sehingga menghasilkan hasil yang sesuai dan konkrit.

A. Nilai Efektivitas Pompa Vakum

Menghitung nilai efektivitas pompa vakum menggunakan Persamaan 3 dimana nilai input berupa daya listrik pompa, dan daya output berupa daya hidrolis pompa. Untuk menghitung daya hidrolis diketahui nilai ρ (rho) sebesar 450 Kg/m^3 [6], nilai gravitasi sebesar $9,8 \text{ m/s}^2$, nilai luas penampang sebesar $122,7 \text{ m}^2$, dengan ketinggian sebesar 28 m . Untuk menghitung daya hidrolis dengan Persamaan 4 adalah:

$$P_{hidrolis} = \frac{450 \times 9,8 \times 122,7 \times 28}{1000} = 15,2 \text{ KW}$$

Setelah diketahui nilai daya hidrolisnya sebesar $15,2 \text{ KW}$ sebagai nilai η_{out} untuk menghitung nilai efisiensi pompa vakum, dan daya listrik yang sudah diketahui sebesar 75 KW sebagai nilai η_{in} untuk menghitung nilai efisiensi pompa vakum, sehingga

untuk menghitung nilai efisiensi pompa vakum dengan menggunakan Persamaan 3 adalah:

$$Efisiensi = \frac{15,2 \text{ KW}}{75 \text{ KW}} \times 100 = 20\%$$

Sesuai dengan modul *Turbine Auxiliaries Operation Manual* dan WU HAN WEILONG PUMP CO., LTD efisiensi pompa vakum model 2BW5253-OEK4 pada tahun 2012 sebesar 49%. Dan setelah beroperasi selama 9 tahun pompa vakum mengalami penurunan kinerja yakni $49\% - 20\% = 29\%$. Penurunan nilai efektifitas dari pompa vakum disebabkan oleh jarak *Preventive Maintenance* yang terlalu lama yakni 48 minggu, sedangkan pompa sering beroperasi melewati batas jam operasinya.

B. Laju Perpindahan Panas pada Kondensor

Data yang didapatkan dari CCR (*Central Control Room*) mulai dari tahun 2021, 2022, dan 2023. Pada tahun 2021 tekanan vakum yang diberikan oleh pompa vakum kepada konsensor sebesar $-88,41 \text{ kPa}$, pada tahun 2022 tekanan vakum yang diberikan sebesar $-87,30 \text{ kPa}$, dan pada tahun 2023 sebesar $-86,42 \text{ kPa}$, seperti yang telah tercantum dalam Tabel 2.

TABEL II
Data Tahunan Suhu dan Tekanan

No	Year	Temp. hot fluid inlet	Temp. hot fluid outlet	Temp. cold fluid inlet	Temp. cold fluid outlet	Conden. Vacuum (kPa)
1.	2021	53,1	42,1	33,2	42,5	-88,41
2.	2022	53,5	39,4	32,8	40,8	-87,30
3.	2023	52,8	39,3	33,1	39,3	-86,42

Menghitung nilai laju perpindahan panas pada kondensor dimulai dengan menghitung nilai T1 dan T2. Pada tahun 2021 suhu cairan panas di saluran masuk $53,1^\circ\text{C}$ dan suhu cairan panas saluran keluar $24,1^\circ\text{C}$ suhu cairan dingin saluran masuk $33,2^\circ\text{C}$ dan suhu cairan dingin saluran keluar $42,5^\circ\text{C}$, sehingga untuk menghitung nilai T1 dan T2 adalah:

$$T1 = (53,1 - 42,1) = 11^\circ\text{C}$$

$$T2 = (23,1 - 42,5) = -19^\circ\text{C}$$

Telah didapati nilai T1 dan T2 pada tahun 2021 sebesar 11°C dan -19°C untuk mencari nilai laju perpindahan panas. Sesuai dengan perpindahan konveksi. Untuk demontrasinya pada tahun 2021 untuk nilai luas penampang diketahui sebesar 7500 m^2 dan nilai koefisien perpindahan kalor menyeluruh sebesar $908,1451 \text{ W/m}^2$. Sehingga untuk menghitung nilai laju perpindahan panas dengan menggunakan Persamaan 2 adalah:

$$Q = 908,1451 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \times (11^\circ\text{C} - (-19^\circ\text{C})) \times 13,8 \text{ m}^2 = 38 \text{ MW}$$

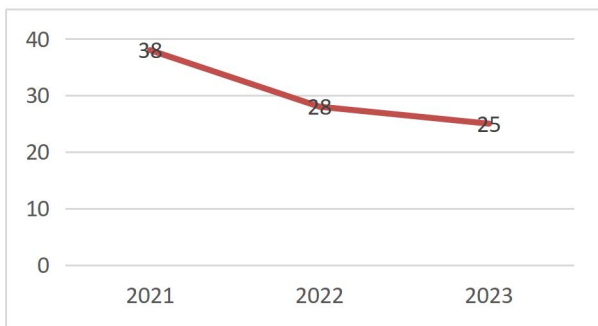
Dan didapatkan nilai laju perpindahan panas pada tahun 2021 sebesar 38 MW pada tahun berikutnya juga

menggunakan Persamaan yang sama sehingga didapat hasil nilai laju perpindahan panas pada tahun 2022 sebesar 28 MW, dan pada tahun 2023 sebesar 25 MW, terjadi penurunan yang terlihat jelas setiap tahunnya, seperti pada Tabel 3.

TABEL III
Hasil Pencarian Nilai Laju Perpindahan Panas

No.	Tahun	Laju Perpindahan Panas (MW)
1.	2021	38
2.	2022	28
3.	2023	25

Dapat dilihat bahwa setiap tahunnya mengalami penurunan secara perlahan, laju perpindahan panas pada tahun 2021 sebesar 38 MW, dilanjutkan dengan tahun 2022 sebesar 28 MW, dan pada tahun 2023 sebesar 25 MW, dapat dilihat pada Gambar 2. Salah satu penyebab dari gangguan pada kondensor ini adalah besarnya tekanan vakum yang diberikan oleh pompa vakum kepada kondensor yang akan menghisap udara yang tidak dapat dikondensasikan lagi oleh kondensor. Sehingga kualitas dan kuantitas air pendingin yang mengalir pada tube-tube kondensor yang berasal dari *chanel intake* lebih cepat memanas, seperti pada Gambar 3.



Gbr. 3 Grafik Laju Perpindahan Panas

Dengan menurunnya tekanan vakum yang diberikan oleh pompa vakum menyebabkan nilai laju perpindahan panas ikut menurun sehingga dapat menghambat uap yang akan menuju ke kondensor.

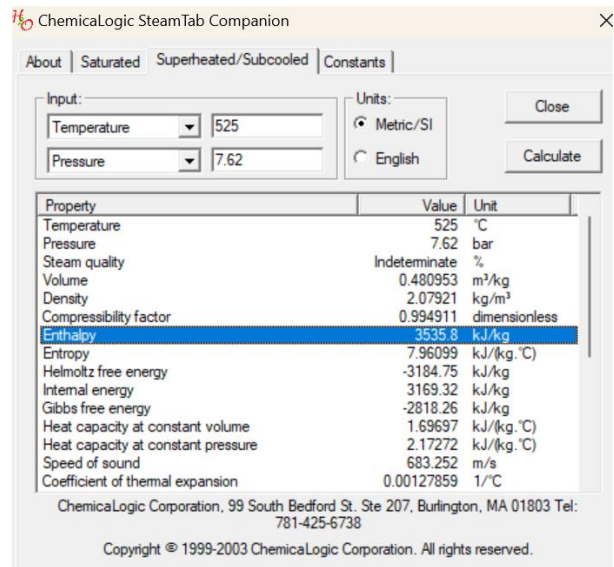
C. Kinerja Turbin Uap

Pengumpulan data tekanan, laju aliran masa, dan temperatur pada turbin uap, diambil di CCR (Central Control Room) pada tahun 2021 dengan beban 90,61 MW, laju aliran sebesar 356 t/h, seperti yang dijelaskan melalui Tabel IV.

TABEL IV
Data Awal Turbin Uap

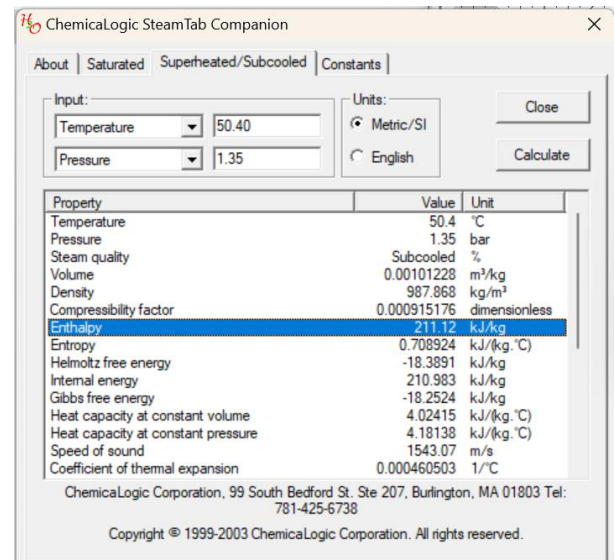
No	Time	Load (MW)	Flow (T/h)	Temp T1	Temp T2	Press P1	Press P2
1.	2021	90,61	356	525	50,40	7,62	1,35
2.	2022	90,75	318	528	52,30	7,40	1,32
3.	2023	90,57	306	519	50,60	7,98	1,68

Langkah awal dalam melakukan perhitungan kinerja turbin uap adalah dengan mencari nilai entalpi dari parameter Tekanan (P) dan Suhu (T). Dalam mencari data nilai entalpi pada tahun 2021 dengan nilai tekanan masuk P1 = 7,62 MPa dan nilai suhu masuk turbin T1 = 525 °C. Sehingga didapatkan nilai entalpi h1 dengan menggunakan aplikasi *ChemicalLogic SteamTab* pada Gambar 2.



Gbr. 4 Nilai enthalpy inlet h1

Sedangkan pencarian nilai entalpi outlet (h2) pada penelitian pada tahun 2021 dengan parameter nilai tekanan P2 = 1,35 MPa (vakum) dan parameter nilai suhu T2 (*exhaust steam*) = 50,40 °C didapatkan nilai h2 sebesar 211,12 kJ/kg, yang dapat dilihat pada Gambar 5.



Gbr. 5 Nilai Entalphy h2

Sehingga dari aplikasi *ChemicalLogic SteamTab* didapatkan hasil nilai entalpi tiap tahunnya, pada tahun 2021 nilai entalpi 1 sebesar 3535,8 kJ/kg dan nilai entalpi 2 sebesar 211,12 kJ/kg, seperti pada Tabel V.

TABEL V
Hasil Pencarian Nilai Entalphy Turbin Uap

No	Time	Load (MW)	Flow (T/h)	Entalpi h1 (kJ/kg)	Entalpi h2 (kJ/kg)
1.	2021	90,61	356	3535,8	211,12
2.	2022	90,75	318	3541,97	219,063
3.	2023	90,57	306	3522,41	211,985

Kerja turbin uap ditentukan dengan Persamaan 1 dan diperlukan parameter berupa laju aliran massa sebesar 356 t/h dikonversikan menjadi 98,89 kg/s, entalpi inlet 3535,8 kJ/kg, dan nilai entalpi outlet 211,12 kJ/kg.

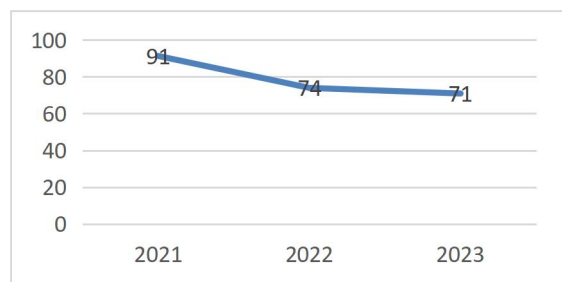
$$W_t = 98,89(3324,68) = 328777,6052 \text{ kJ/kg}$$

Dapat dilihat pada Tabel VI hasil nilai kinerja turbin pada tahun yang berbeda.

TABEL VI
Hasil Perhitungan dari Kinerja Turbin Uap

No.	Time	Load (MW)	W _T (kJ/h)	W _T (KW)
1.	2021	90,61	328777,6052	91,327113
2.	2022	90,75	266280,23647732	73,966732
3.	2023	90,57	255269,58453229	70,908218

Sama halnya dengan nilai laju perpindahan panas, kinerja turbin uap juga mengalami penurunan tiap tahunnya, pada tahun 2021 kinerja turbin mencapai 91 KW, dilanjutkan dengan tahun 2022 mencapai 74 KW, dan pada tahun 2023 kinerja turbin mencapai 71 KW. Dapat dilihat pada Gambar 6 yang menunjukkan grafik kinerja turbin.



Gbr. 6 Grafik Kinerja Turbin selama 2 Tahun Beroperasi

Dapat dilihat dari Gambar 6 yang menunjukkan tingkat kinerja turbin selama 2 tahun kebelakang mengalami penurunan berkala dari tahun ke tahun. Tingkat kinerja turbin tertinggi pada tahun 2021 yaitu sebesar 91 KW, namun pada tahun 2023 menurun hingga 71 KW. Penurunan kinerja turbin dapat disebabkan oleh beberapa faktor, yaitu: lamanya pemeliharaan, sering terjadinya derating (penurunan beban), kesalahan dalam pengoperasian dan perawatan, dan salah satunya yaitu karena menurunnya tekanan uap, dan menurunnya temperatur uap. lambatnya proses kondensasi di dalam kondensor yang mana disebabkan oleh menurunnya tingkat kevakuman pada konsendor sehingga laju uap bekas dari turbin LP terhambat, dan

mengakibatkan laju aliran yang menurun dan berdampak pada kinerja turbin.

V. KESIMPULAN

Dari hasil yang didapat dalam perhitungan diatas penulis dapat menarik kesimpulan:

1. Nilai efektivitas pompa vakum mengalami penurunan sebesar 29% sejak 9 tahun beroperasi. Sesuai dengan modul *Turbine Operation Manual* nilai pompa vakum sebesar 49% dan pada tahun 2023 menurun menjadi 20%. Hal ini disebabkan oleh jauhnya jarak *Preventive Maintenance* yang dimana pompa sering beroperasi melewati jam pengoperasian.
2. Pengaruh tekanan vakum yang diberikan pompa vakum pada kondensor dapat mempengaruhi laju perpindahan panas. Saat tekanan vakumnya rendah maka laju perpindahan panas yang terjadi juga ikut menurun. Pada tahun 2021 tekanan yang diberikan oleh pompa vakum sebesar -88,41 kPa dengan laju perpindahan panas sebesar 38 MW, tahun 2022 tekanan vakum yang diberikan sebesar -87,30 kPa dengan laju perpindahan panas sebesar 28 MW, dan pada tahun 2023 tekanan vakum yang diberikan oleh pompa vakum sebesar -87,30 kPa dengan laju perpindahan panas sebesar 25 MW.
3. Menurunnya tekanan vakum pada kondensor yang disebabkan oleh pompa vakum yang menurun juga berdampak pada kinerja turbin. Kinerja turbin uap mengalami penurunan pertahunnya, pada tahun 2021 tekanan vakum sebesar -88,41 kPa dan daya aktual turbin uap sebesar 83 KW, pada tahun 2022 tekanan vakum sebesar -87,30 kPa dan daya aktual turbin sebesar 74 KW, dan pada tahun 2023 tekanan vakum sebesar -87,30 kPa dan daya aktual turbin sebesar 71 KW. Sehingga dapat disimpulkan bahwa penurunan efektivitas pompa vakum secara tidak langsung akan berdampak pada pembangkit PLTU Nagan Raya.

REFERENSI

- [1] Faturrakhman, M., & Widyaningsih, W. P. (2016). Analisis Kinerja Kondensor Terhadap Perubahan Tekanan Vakum Di Pt Pln (Persero) Sektor Pembangkitan Pltgu Cilegon. *Eksergi: Jurnal Teknik Energi*, 10(1).
- [2] Jantri, J., & Armelia, P. (2021). ANALISA PENURUNAN KINERJA KONDENSOR PADA TURBIN PLTU UNIT 4 DI PT. PLN (Persero) UNIT PEMBANGKITAN (UPK) BELAWAN. *Jurnal Teknologi Mesin UDA*, 2(1), 27-38.
- [3] Kreith, F. (1997). Prinsip-prinsip Perpindahan Panas, terj Arko Prijono. *Jakarta: Penerbit Erlangga*.

-
- [4] Widi, M. (2021). Efisiensi Energi Pompa. Bandung: Mutiara.
- [5] Shaanxi Northwest Power Generation CO., LTD. (2012). PLTU Nagan Raya NAD 2×110 MW. In T.O. Manual, *Manual Book*.
- [6] Sternheim, K. (1991). Fisika. Jakarta: Departemen Pendidikan dan Kebudayaan.