

Analisa Energi Dan Pemanfaatan Uap Terbuang Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi Unit I Di PLTP Lahendong

Redi Marthen Pappang, Glanny Mangindaan, Marthinus Pakiding
Teknik Elektro Universitas Sam Ratulangi Manado, Jl. Kampus Bahu-Unsrat Manado 95115
Email: redimarthen27@gmail.com, glanny_m@unsrat.ac.id, marthinus.pakiding@gmail.com

Abstrak--Pada saat ini PLTP Lahendong unit I menggunakan sistem single flash dimana proses flashngnya hanya sekali saja di separator, kemudian uap yang bersih di teruskan ke turbin untuk memutar poros-poros turbin dan brine yang terbuang di separator di di teruskan ke penampungan air untuk disuntikkan lagi kedalam perut bumi. Berdasarkan perhitungan dalam penelitian ini dapat diketahui PLTP Lahendong unit I dapat membangkitkan energi listrik sebesar 20,1 mw dengan efisiensi sistem sebesar 13,33%. Untuk meningkatkan efisiensi PLTP lahendong Unit I dapat dilakukan beberapa cara, salah satunya yaitu memanfaatkan brine yang terbuang di separator, brine tersebut masih memiliki kandungan uap yang bisa digunakan dengan menerapkan sistem siklus biner pada sistem PLTP Lahendong. Kemudian saran untuk PLTP Lahendong adalah sebaiknya melakukan pemeliharaan secara rutin dan untuk siklus biner agar dilakukan penelitian yang lebih lanjut untuk memaksimalkan pembangkitan listrik di PLTP.

Kata kunci : PLTP, single flash, siklus biner

Abstract -- At this time, PLTP Lahendong unit I uses a single flash system where the flashing process is only used once in the separator, then the clean steam is passed to the turbine to rotate the turbine shafts and the brine which is wasted in the separator is continued to the water reservoir for injected again into the bowels of the earth. Based on the calculations in this study, it can be seen that PLTP Lahendong unit I can generate electrical energy of 20.1 mw with a system efficiency of 13.33%. To increase the efficiency of the Lahendong PLTP Unit I, several ways can be done, one of which is to use the brine that is wasted in the separator, the brine still contains steam which can be used by applying the binary cycle system to the Lahendong PLTP system. Then the suggestion for the Lahendong PLTP is that it is better to carry out routine maintenance and for the binary cycle to carry out further research to maximize electricity generation in the PLTP.

Keywords : Geothermal Plant, single flash, binary cycle

I. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik meningkat seiring berkembangnya perekonomian, oleh karena itu upaya pembaharuan energi untuk memanfaatkan seluruh sumber daya alam sudah merupakan solusi untuk mengatasi terbatasnya minyak bumi, gas dan batu bara.

Indonesia adalah salah satu negara yang mempunyai potensi energi panas bumi terbesar di dunia. Karakteristik dari panas bumi ialah bisa didapat secara terus-menerus tanpa terpengaruh oleh keadaan musim, selain dari pada itu untuk mengubah energi panas bumi menjadi energi listrik memerlukan proses yang relative sederhana dibandingkan dengan Pembangkit thermal lainnya.

Sumber panas bumi di Indonesia merupakan sumber dengan sistem hydrothermal yang didominasi oleh jenis dominasi air, dengan karakteristik sekitar 20% uap dan 80% air. Jenis pembangkit di Indonesia yang digunakan saat ini untuk memanfaatkan sumber dominasi air adalah sistem single-flash. Brine hasil single-flash masih memiliki temperatur yang cukup tinggi, sehingga dapat dimanfaatkan sebagai sumber panas untuk pembangkit listrik sistem double-flash atau sistem siklus biner. Oleh karena itu jenis sistem pembangkit listrik dengan memanfaatkan brine hasil flashing menjadi sangat layak untuk dikembangkan karena menghasilkan daya yang lebih besar dengan efisiensi yang lebih baik.

Sistem yang digunakan pada PLTP Lahendong unit I saat ini menggunakan sistem Single Flash, dimana brine hasil pemisahan dari separator unit pembangkit tersebut masih memiliki kandungan energi yang cukup besar dan bisa dimanfaatkan dengan menerapkan sistem double flash atau siklus biner.

Pada PLTP Lahendong unit I perlu diketahui Energi yang terbuang di separator, kemudian uap tersebut digunakan untuk meningkatkan efisiensi di sistem thermal. Maka dari itu, saya mengangkat tugas akhir ini dengan menganalisa energi pada setiap komponenen dan menggunakan uap terbuang untuk dimanfaatkan lagi memutar turbin dengan menggunakan model siklus biner, dengan judul "Analisa Energi dan Pemanfaatan Uap Terbuang di PLTP Lahendong Unit I"

1. Sistem Single Flash

Pembangkit listrik sistem single-flash merupakan jenis pembangkit yang hanya mengalami satu kali proses flashing. Kandungan air dipisahkan sedangkan uap digunakan untuk memutar turbin

2. Sistem Double flash

Pembangkit listrik sistem double-flash merupakan pengembangan dari sistem single flash yang dapat memproduksi daya yang lebih besar dengan kondisi fluida panas yang sama. Pada prinsipnya, sistem ini sama dengan sistem single-flash, namun pada sistem double-flash, brine hasil flashing pertama diflash ulang menggunakan throttle valve sehingga diperoleh fasa uap yang digunakan untuk memutar turbin.

3. Sistem Siklus Biner

Siklus biner merupakan siklus pembangkitan listrik yang dalam prosesnya menggunakan bantuan fluida sekunder atau fluida kerja bertitik didih rendah untuk mengoptimalkan vapor yang dihasilkan oleh fluida sekunder tersebut dengan panas yang tersedia

METODOLOGI

A. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan mengumpulkan beberapa bahan referensi berupa jurnal ilmiah terkait perkembangan penelitian yang telah dilaksanakan sebelumnya, penulis juga mengumpulkan data data teknis yang terpasang pada sistem PLTP Lahendong Unit I yang didapat dari control room PLTP.

B. Data yang Digunakan

Tahap pelaksanaan penelitian dan pengolahan data:

1. Jenis Data dan Metode Pengumpulan Data:

Data Primer:

Data primer adalah data yang diolah sendiri oleh peneliti berupa data mengenai arsip elektronik di PT. Pertamina Geothermal Energy Area Lahendong.

Data Sekunder:

Data sekunder adalah data yang telah diolah dan disediakan oleh PT. Pertamina Geothermal Energy Area Lahendong berupa data-data seperti sejarah perusahaan, visi dan misi perusahaan dan referensi lain yang berkaitan dengan penelitian ini.

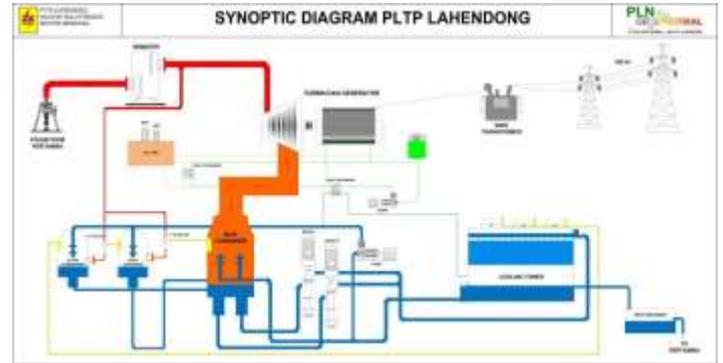
2. Pengolahan Data:

Dalam penelitian ini, penulis melakukan pengolahan data dengan menganalisa energi di tiap komponen, menghitung efisiensi PLTP, menggunakan uap terbuang di separator dan membuat pemodelan siklus biner PLTP kemudian menghitung efisiensi setelah menggunakan siklus biner tersebut

C. Perhitungan Energi di Setiap State dan Efisiensi PLTP

Dengan menggunakan data teknis temperatur, tekanan dan laju massa uap yang di dapat dari control room PLTP lahendong unit I, kita dapat

menghitung keadaan atau proses di setiap state PLTP.

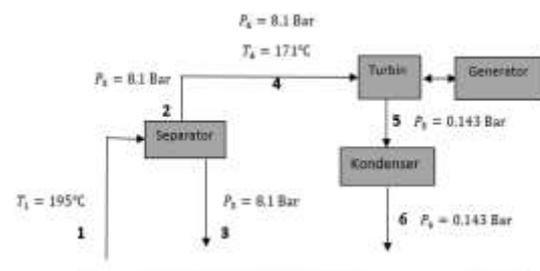
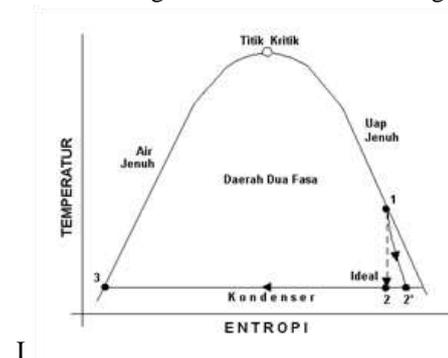


Gambar 1. Kerangka model PLTP Lahendong I

Agar lebih mudah untuk menganalisa keadaan energi di tiap state maka perlu menggunakan diagram T-s yang dibuat berdasarkan data teknis yang terpasang di PLTP Lahendong unit I.

Fraksi uap sumur (kualitas)	: 40% = 0,4
Temperatur masuk separator	: 171°C
Tekanan masuk turbin	: 8,1 Bar
Tekanan masuk kondenser	: 0,143 Bar
Laju massa uap kondenser	: 40,5 kg/s

Gambar 4.2 Diagram T-s PLTP Lahendong Unit



Gambar state PLTP Lahendong Unit I

Berdasarkan tabel termodinamika maka nilai dari

$$s_f = 2,2832$$

$$s_{fg} = 4,1846$$

Maka nilai entropi pada state 1 adalah:

$$s_1 = s_f + x s_{fg}$$

$$s_1 = 2,2832 + 0,4(4,1846)$$

$$s_1 = 3,95704 \text{ kJ/kg.K}$$

Berdasarkan tabel termodinamika nilai dari

$$h_f = 829,79$$

$$h_{gf} = 1959,0$$

Maka nilai entalpi pada state 1 adalah:

$$h_1 = h_f + x h_{fg}$$

$$h_1 = 829,79 + 0,4(1959,0)$$

$$h_1 = 1613,39 \text{ kJ/kg}$$

Nilai entalpi pada state 1 sama dengan nilai entalpi state 2 sehingga:

$$h_2 = h_1 \rightarrow 1613,39 \text{ kJ/kg}$$

Untuk nilai entropi dari state 2 harus menghitung fraksi uap atau kualitas uap terlebih dahulu sehingga, berdasarkan tabel termodinamika nilai dari

$$h_f = 723,46$$

$$h_{fg} = 2045,4$$

Maka fraksi uap:

$$x_2 = \frac{(h_2 - h_{f2})}{h_{fg}}$$

$$x_2 = \frac{(1613,39 - 723,46)}{2045,4}$$

$$x_2 = 0,447$$

Berdasarkan tabel termodinamika nilai dari

$$s_f = 2,0515$$

$$s_{fg} = 4,6053$$

Maka nilai entropi:

$$s_2 = s_f + x s_{fg}$$

$$s_2 = 2,0515 + 0,447(4,6053)$$

$$s_2 = 4,1100 \text{ kJ/kg.K}$$

Untuk nilai entalpi dan entropi dapat dilihat pada tabel termodinamika, karena fluida kerja sudah mencapai keadaan fase air ataupun keadaan jenuh air maka:

Entropi:

$$s_3 = s_{f3} \rightarrow 2,0515 \text{ kJ/kg}$$

Entalpi;

$$h_3 = h_{f3} \rightarrow 3,46 \text{ kJ/kg.K}$$

Untuk nilai entalpi dan entropi dapat terlihat pada tabel termodinamika, karena fluida kerja sudah mencapai keadaan fase uap jenuh serta fase uap superheated maka

Entropi:

$$s_4 = s_{g4} \rightarrow 6,6567 \text{ kJ/kg}$$

Entalpi:

$$h_4 = h_{g4} \rightarrow 2768,9 \text{ kJ/kg}$$

Nilai entropi pada state 5s sama dengan nilai entropi pada state 4 sehingga

Entropi:

$$s_{5s} = s_4 \rightarrow 6,6567 \text{ kJ/kg.K}$$

Untuk nilai entalpi dari state ini harus menghitung fraksi uap terlebih dahulu.

Berdasarkan tabel termodinamika nilai dari:

$$s_f = 0,59901$$

$$s_{fg} = 7,6192$$

Maka fraksi uap:

$$x_5 = \frac{(s_i - s_f)}{s_{fg}}$$

$$x_2 = \frac{(6,6567 - 0,59901)}{7,6192}$$

$$x_2 = 0,795$$

Berdasarkan tabel termodinamika nilai dari:

$$h_f = 175,89$$

$$h_{fg} = 2401,21$$

Maka nilai entalpi

$$h_{5s} = h_f + xh_{fg}$$

$$h_{5s} = 175,89 + 0,795(2401,21)$$

$$h_{5s} = 2084,85 \text{ kJ/kg}$$

Laju massa uap pada keadaan ini adalah:

$$m = 50,5 \text{ kg/s}$$

Kemudian untuk menghitung entalpi pada keadaan 5s dapat dihitung menggunakan persamaan efisiensi isentropik turbin dengan asumsi nilai efisiensi 80% sehingga

$$\eta_4 = \frac{h_4 - h_5}{h_4 - h_{5s}}$$

$$0,8 = \frac{2768,9 - h_5}{2768,9 - 2084,85}$$

$$684,05 \times 0,8 = 2768,9 - h_5$$

$$h_5 = 2768,9 - 547,24$$

$$h_5 = 2221,66 \text{ kJ/s}$$

Untuk nilai entropi pada state ini harus menghitung

fraksi uap terlebih dahulu.

Berdasarkan tabel termodinamika nilai dari:

$$h_f = 175,21$$

$$h_{fg} = 2401,21$$

Maka fraksi atau kualitas uap:

$$x_5 = \frac{(h_i - h_f)}{h_{fg}}$$

$$x_5 = \frac{((2221,66 - 175,89))}{2401,21}$$

$$x_5 = 0,851$$

Jadi kualitas uap adalah sebesar 85,1%

Berdasarkan tabel termodinamika nilai dari:

$$s_f = 0,59901$$

$$s_{fg} = 7,6192$$

Maka nilai entropi:

$$s_5 = s_f + xs_{fg}$$

$$s_5 = 0,59901 + 0,851(7,6192)$$

$$s_5 = 7,0829 \text{ kJ/kg.K}$$

Untuk nilai entalpi dan entropi dapat dilihat pada tabel termodinamika, karena fluida sudah mencapai keadaan fase jenuh air maka

Entropi:

$$s_5 = s_f \rightarrow 0,59901 \text{ kJ/kg.K}$$

Entalpi:

$$h_6 = h_f \rightarrow 175,89 \text{ kJ/s}$$

Laju massa di state ini adalah

$$m = 40,5 \text{ kg/s}$$

1. Proses diturbin kesetimbangan laju energi dan massa pada turbin menjadi dapat dihitung dengan:

$$W_T = h_4 - h_5$$

Dimana:

W_T = Kerja turbin persatuan massa (Watt/kg)
 h_4 = Entalpi keadaan 4 (Joule/kg)
 h_5 = Entalpi keadaan 5 (Joule/kg)

Sedangkan kesetimbangan laju energi dan massa atau kerja pada diturbin menjadi:

$$\frac{W_T}{m} = h_1 - h_2$$

Atau

$$W_T = m(h_1 - h_2)$$

Dimana:

W_T = Laju Kerja Turbin (Watt)

m = Laju masa uap (kg/s)

h_1 = Entalpi keadaan 1 (Joule/kg)

h_2 = Entalpi keadaan 2 (Joule/kg)

2. Proses pada kondensder

kesetimbangan laju massa dan energi yang melingkupi bagian kondensasi dari penukar kalor adalah:

$$\frac{Q_{out}}{m} = h_5 - h_6$$

Atau

$$Q_{out} = m(h_5 - h_6)$$

Dimana:

Q_{out} = Laju kalor keluar (Watt)

h_5 = Entalpi keadaan 5 (Joule/kg)

h_6 = Entalpi keadaan 6 (Joule/kg)

3. Proses pada sumur produksi

kesetimbangan laju massa dan energi pada proses ini memenuhi persamaan:

$$\frac{Q_{in}}{m} = h_1$$

Atau

$$Q_{in} = m(h_1)$$

Dimana:

Q_{in} = Laju kalor masuk (Watt)

m = Laju masa uap (kg/s)

h_1 = Entalpi keadaan 2 (Joule/kg)

h_3 = Entalpi keadaan 3 (Joule/kg)

4. Efisiensi Sistem

Efisiensi termal dari siklus tenaga adalah:

$$\eta = \frac{W_t - W_p}{Q_{in}}$$

Dimana:

η = Efisiensi termal pembangkit

W_T = Laju kerja turbin (Watt)

W_p = Laju kerja pompa pendingin utama (Watt)

Q_{in} = Laju kalor masuk (Watt)

5. Efisiensi Siklus biner

Efisiensi Siklus Biner dapat dihitung dengan

$$\eta = \frac{W_t - W_p}{Q_{in}}$$

η = Efisiensi keseluruhan PLTP

W_t = Laju kerja turbin siklus biner (Watt)

W_p = Laju kerja pompa siklus biner (Watt)

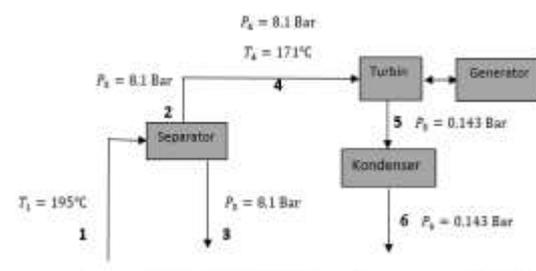
Q_{in} = Laju panas masuk/sumber (Watt)

III. HASIL DAN ANALISA DATA

A. Perhitungan Energi di Setiap State dan Efisiensi PLTP

Pada penelitian ini kita menghitung efisiensi dari sistem PLTP Lahendong unit I untuk membandingkan efisiensi sebelum dan sesudah menerapkan sistem siklus biner.

Berikut adalah tahapan tahapan untuk menghitung efisiensi dari PLTP Lahendong:



Gambar state PLTP Lahendong Unit I

- kalor yang masuk ke dalam fluida kerja yang berasal dari dalam perut bumi dapat dihitung dengan persamaan

$$Q_{in} = m \cdot h_1$$

Dengan melihat hasil perhitungan keadaan di state 1 maka:

$$m = 101,25 \text{ kg/s}$$

$$h_1 = 1613,39 \text{ kJ/kg}$$

maka persamaan tersebut dimasukkan ke dalam rumus menjadi

$$Q_{in} = m \cdot h_1$$

$$Q_{in} = 101,25 \cdot 1613,39$$

$$Q_{in} = 163355,73 \text{ kJ/s}$$

Jadi besarnya laju energi kalor yang masuk ke dalam fluida kerja adalah 157496,98 kJ/s atau dapat di bulatkan menjadi 163,3mw

Jadi besarnya laju energi kalor yang yang keluar pada brine adalah 43950,19 kJ/s atau dapat di bulatkan menjadi 43,9 mw

Laju energi dari separator PLTP Lahendong I

- Laju energi kalor keluar pada separator dapat dinyatakan dengan:

$$Q_s = m_s \cdot (h_4)$$

Dengan memasukan nilai hasil perhitungan pada keadaan state 4maka:

$$m_s = 40,5 \text{ kJ/s}$$

$$h_4 = 2770,8 \text{ kJ/k}$$

maka persamaan tersebut dimasukkan ke dalam rumus menjadi

$$Q_s = m_s \cdot (h_4)$$

$$Q_b = 40,5 (2770,8)$$

$$Q_b = 112217,4 \text{ kJ/kg}$$

Jadi besarnya laju energi kalor yang yang keluar pada separator adalah 112217,4 kJ/s atau dapat di bulatkan menjadi 112,2 mw

- Analisa Pada Turbin PLTP Lahendong Unit I Untuk menghitung besarnya laju kerja turbin pada kondisi aktual dengan persamaan

$$W_T = m_s \cdot \eta_t (h_4 - h_{5s})$$

Dengan melihat hasil perhitungan keadaan pada turbin maka:

$$m_s = 40,5 \text{ kg/s}$$

$$h_4 = 2768,9 \text{ kJ/s}$$

$$h_{5s} = 2084,85 \text{ kJ/s}$$

$$\eta_t = 80\%$$

maka persamaan tersebut dimasukkan ke dalam rumus menjadi

$$W_T = m_s \cdot \eta_t (h_4 - h_{5s})$$

$$W_T = 40,5 \cdot 0,8 (2768,9 - 2084,85)$$

$$W_T = 22163,22$$

Maka pada keadaan ideal laju kerja turbin adalah 22,1mw

- Analisa Energi Brine (uap terbuang di separator) PLTP Lahendong I.

Laju energi kalor keluar pada brine dapat dinyatakan dengan:

$$Q_b = m_b \cdot (h_3)$$

Dengan memasukan nilai hasil perhitungan pada keadaan state 3maka:

$$m_b = 60,75 \text{ kg/s}$$

$$h_3 = 723,46 \text{ kJ/kg}$$

maka persamaan tersebut dimasukkan ke dalam rumus menjadi

$$Q_b = m_b \cdot (h_3)$$

$$Q_b = 60,75 (723,46)$$

$$Q_b = 43950,19 \text{ kJ/s}$$

- Analisa Energi Pada Kondenser PLTP Lahendong Unit I

besarnya energi kalor yang keluar dari fluida kerja saat berproses dalam kondenser dihitung dengan persamaan:

$$Q_{out} = m_s (h_5 - h_6)$$

Dengan memasukan nilai-nilai hasil perhitungan laju massa uap dan entalpi di tiap keadaan

$$m_s = 40,5 \text{ kg/s}$$

$$h_5 = 2221,66 \text{ kJ/kg}$$

$$h_6 = 175,89 \text{ kJ/kg}$$

maka persamaan tersebut dimasukkan ke dalam rumus menjadi

$$Q_{out} = m_s (h_5 - h_6)$$

$$Q_{out} = 40,5 (2221,66 - 175,89)$$

$$Q_{out} = 82853,685 \text{ kJ/s}$$

Jadi besarnya laju energi kalor yang keluar adalah 82853,685 kJ/s atau dapat di bulatkan menjadi 82,8mw

B. Efisiensi dan Daya listrik yang Dibangkitkan PLTP Lahendong I

Setelah menghitung keadaan di tiap state PLTP Lahendong Unit I kita juga dapat menghitung efisiensi thermal dengan perbandingan besarnya suatu kerja yang dilakukan oleh turbin dikurangi kerja dari pompa utama atau dengan besarnya laju energi kalor yang masuk ke dalam suatu sistem sehingga persamaannya menjadi

$$\eta = \frac{W_t - W_p}{Q_{in}}$$

Dengan menginput nilai dari hasil perhitungan laju energi kalor yang masuk beserta laju kerja turbin

$$\text{Laju kerja turbin} = 22,1 \text{ MW}$$

$$\text{Laju kerja pompa utama} = 0,25 \text{ MW}$$

$$\text{Laju kalor masuk} = 163,3 \text{ MW}$$

Maka hasil perhitungannya menjadi

$$\eta = \frac{W_t - W_p}{Q_{in}}$$

$$\eta = \frac{22,1 - 0,25}{163,3}$$

$$\eta = 0,133 \rightarrow 13,33\%$$

Jadi besarnya efisiensi keseluruhan proses pembangkitan pembangkit listrik tenaga panas bumi Lahendong I saat ini adalah sebesar 13,33 %.

Kemudian untuk menghitung daya listrik yang dihasilkan generator, kita menggunakan asumsi efisiensi generator sesuai dengan name plate (91%) maka nilai daya listrik yang dihasilkan adalah

$$P_g = P_t \eta_g$$

$$P_g = 22,1 \cdot 0,91$$

$$P_g = 20,1 \text{ mw}$$

C. *Efisiensi Siklus Biner PLTP Lahendong Unit I*
Setelah menghitung keadaan di tiap state PLTP Siklus Biner Lahendong Unit I selanjutnya kita dapat pada PLTP Lahendong I saat ini adalah sebesar 12 %.

D. *Efisiensi Total Pembangkit*

Untuk menghitung efisiensi keseluruhan sistem dengan penambahan siklus biner adalah dengan membandingkan seluruh daya yang dihasilkan PLTP dengan energi yang berasal dari sumur produksi sehingga persamaanya menjadi:

$$\eta = \frac{W_T + W_t - (W_{hp} + W_p)}{Q_{in}}$$

Dengan menginput nilai dari hasil perhitungan laju energi kalor yang masuk, energi pompa utama beserta laju kerja turbin

$$W_T = 22,1 \text{ mw}$$

$$W_t = 2,3 \text{ mw}$$

$$W_p = 0,2 \text{ mw}$$

$$W_{hp} = 0,25 \text{ mw}$$

$$Q_{in} = 163,3 \text{ mw}$$

Maka hasil perhitungannya menjadi

$$\eta = \frac{W_T + W_t - (W_{hp} + W_p)}{Q_{in}}$$

$$\eta = \frac{22,1 + 2,3 - (0,25 + 0,2)}{163,3}$$

$$\eta = \frac{23,95}{163,3}$$

$$\eta = 0,1446 \rightarrow 14,46\%$$

Jadi efisiensi keseluruhan PLTP Lahendong Unit I apabila menggunakan siklus biner adalah sebesar 14,46 %, atau meningkat sebesar 1,13%

menghitung efisiensi PLTP dengan rumus sebagai berikut:

$$\eta = \frac{W_t - W_p}{Q_{in}}$$

Dengan menginput nilai dari hasil perhitungan laju energi kalor yang masuk beserta laju kerja turbin

$$\text{Laju kerja turbin} = 2,3 \text{ mw}$$

$$\text{Laju kerja pompa utama} = 0,2 \text{ mw}$$

$$\text{Laju kalor masuk} = 17,5 \text{ mw}$$

Maka hasil perhitungannya menjadi

$$\eta = \frac{W_t - W_p}{Q_{in}}$$

$$\eta = \frac{2,3 - 0,2}{17,5}$$

$$\eta = 0,12 \rightarrow 12\%$$

Jadi besarnya efisiensi proses pembangkitan pembangkit listrik tenaga panas bumi siklus biner

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

1. Efisiensi PLTP Lahendong Unit I adalah sebesar 13,33%, yang dimanfaatkan dari kandungan energi panas bumi sebesar 163,3 mw, Rendahnya temperatur yang membatasi efisiensi dari sistem.
2. Energi uap terbuang di separator yang masih bisa dimanfaatkan adalah sebesar 43,9 mw.
3. Dengan menggunakan siklus biner untuk memanfaatkan uap yang terbuang di separator maka efisiensi PLTP Lahendong meningkat menjadi 14,46%.
4. Rendahnya efisiensi PLTP karena adanya kerugian kerugian energi panas yang berada pada komponen PLTP

B. Saran

Untuk mengurangi energi yang terbuang di setiap komponen sebaiknya melakukan pemeliharaan secara rutin dan untuk siklus biner agar dilakukan penelitian yang lebih lanjut untuk memaksimalkan pembangkitan listrik di PLTP.

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Gunawan, Hardi. 2008. *A Study Of The Geothermal Power Plant PLTP Lahendong*

Unit-1 Tomohon North Sulawesi. Universitas Sam Ratulangi

- [2] Hartono, Rudi. 2008. Modul: *Penukar Panas*. Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
- [3] Holm, Alison. Blodgett, Leslie. Jennejohn, Dan. Gawell, Karl. 2010. *Geothermal Energy: International Market Update*. Geothermal Energy Association
- [4] Moran, Michael J. Shapiro, Howard N. 1993. *Fundamentals of engineering thermodynamics*. John Wiley and Son
- [5] Armstead, H. Christopher. 1983. *Geothermal Energi*. E & FN SPON
- [6] DiPippo, Ronald. 2008. *Geothermal Power Plants: Principles, Applications, Case Studies and Environmental Impact*. Elsevier Ltd
- [7] Moran, Michael J. Shapiro, Howard N. 2000. *Termodinamika Teknik Jilid 2*. Erlangga
- [8] Rumende, Jusuf Charles. 2003. Preoyek Akhir: *Studi Sistem Pendingin Transmisi Uap dan Pendingin Air PLTPb Lahendong*. Universitas Sam Ratulangi
- [9] Moran, Michael J. Shapiro, Howard N. 2000. *Termodinamika Teknik Jilid 1*. Erlangga
- [10] Baihaqi, Rafif Tri Adi, Hensen P. K. Sinulingga, Muhamad Ridwan Hamdani. *Tekanan Flashing Optimal Pada Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi Sistem Double-Flash*. Universitas Padjadjaran. 2017.
- [11] R.S. Paiman. *Analisa Peningkatan Efisiensi Thermal PLTP Lahendong Unit II*. Universitas Sam Ratulangi. 2012

PLTP Lahendong Unit I dan II selama dua bulan pada tanggal 17 Desember 2018 – 17 Februari 2019 dan mengikuti Kuliah Kerja Terpadu angkatan 118 di desa Toundanouw, Kabupaten Minahasa Tenggara, Sulawesi Utara



TENTANG PENULIS

Penulis bernama Redi Marthen Pappang lahir di Toraja pada tanggal 27 September 1996, setelah menyelesaikan pendidikan SMA di Toraja kemudian Pada Tahun 2015 pindah ke

Manado dan memulai pendidikan di Fakultas Teknik Elektro Universitas Sam Ratulangi dengan mengambil konsentrasi minat Teknik Tenaga Listrik. Penulis melaksanakan kerja praktek di