

Perbandingan Efisiensi *Cooling Tower* Unit 2 PLTP Lahendong Sebelum dan Sesudah *Overhaul*

Fingki Astrika Kulo^{1)*}, Rolles Nixon Palilingan^{2)*}, dan Cyrke A. N. Bujung^{3)*}

^{1,2,3)} Program Studi Fisika, Universitas Negeri Manado, Kabupaten Minahasa, 95618, Indonesia

*email: fingkiastrika@gmail.com

Diterima 20 April 2023; Disetujui 28 April 2023

ABSTRAK

Pembangkit listrik tenaga panas bumi (PLTP) merupakan pembangkit listrik yang memanfaatkan panas yang dihasilkan oleh perut bumi untuk menghasilkan tenaga listrik. efisiensi di definisikan sebagai perbandingan antara output terhadap input dalam suatu proses. Efisiensi merupakan salah satu persamaan yang penting dalam termodinamika untuk mengetahui seberapa baik konversi energi atau proses transfer terjadi. Lokasi penelitian PLTP Lahendong unit 2 yang terletak di Kelurahan Tondangow, Kecamatan Tomohon Selatan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besar perbandingan efisiensi *Cooling Tower* unit 2 sebelum dan sesudah dilaksanakan *Overhaul* dengan cara mengolah data menggunakan aplikasi perangkat lunak Ms.excel kemudian di analisis. Berdasarkan hasil analisis nilai Efisiensi *Cooling Tower* PLTP Lahendong Unit 2 sebelum *Overhaul* memiliki nilai rata-rata sebesar 59% dan nilai rata-rata efisiensi *Cooling Tower* sesudah *Overhaul* sebesar 63%. Besar perbandingan efisiensi dari adanya *Overhaul* mengakibatkan nilai rata-rata efisiensi *Cooling Tower* naik sebesar 4%.

Kata Kunci : PLTP, Analisa Menara Pendingin, Perbandingan Efisiensi *Cooling Tower*.

ABSTRACT

Geothermal Power Plant (PLTP) is a power plant that utilizes the heat generated by the bowels of the earth to produce electricity. efficiency is defined as the ratio between output and input in a process. Efficiency is one of the important equations in thermodynamics to determine how well the energy conversion or transfer process occurs. The research location of PLTP Lahendong unit 2 is located in Tondangow Village, South Tomohon District. This study aims to determine the comparison of the efficiency of Cooling Tower unit 2 before and after Overhaul by processing data using the Ms. software application. Based on the results of the analysis, the efficiency value of the Cooling Tower of PLTP Lahendong Unit 2 before Overhaul has an average value of 59% and the average value of Cooling Tower efficiency after Overhaul is 63%. The magnitude of the efficiency comparison from the Overhaul results in the average value of Cooling Tower efficiency increasing by 4%.

Keywords : PLTP, Cooling Tower Analysis, Cooling Tower Efficiency Comparison.

1. PENDAHULUAN

Geothermal adalah sumber tenaga panas yang terbentuk secara alami pada bagian bawah permukaan bumi (Wenas & Bujung, 2018). Sumber energi tersebut berasal dari pemanasan magma terhadap batuan dan air beserta unsur-unsur yang terkandung didalam kerak bumi. Buat pemanfaatannya perlu dilakukan banyak sekali cara yaitu penambangan berupa tahap eksplorasi dan pendayagunaan untuk mentransfer energi panas yang berasal dari dalam perut bumi ke permukaan dalam wujud air panas, uap panas atau campuran uap dan air serta partikel-partikel lain yang terkandung didalamnya.

Fenomena eksistensi suatu lokasi panas bumi biasanya terjadi di lokasi (*ring of fire*) gunung berapi atau lokasi bekas letusan gunung berapi (Saputri, 2014). Sehingga

dibeberapa daerah telah dimanfaatkan sebagai sumber energi khususnya sebagai pembangkit listrik tenaga panas bumi.

Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) adalah pembangkit listrik yang memanfaatkan energi panas bumi sebagai pembangkit listrik utama. Pada prinsipnya sama dengan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), hanya saja pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap dibuat di atas tanah dengan menggunakan boiler, sedangkan pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap uapnya berasal dari reservoir panas bumi (Sihombing, 2020).

Lapangan panas bumi Lahendong merupakan salah satu pembangkit energi panas bumi yang berada di Indonesia. Terletak di wilayah jalur vulkanik aktif yang artinya bagian dari salah satu kawah yang besar, yaitu kawah Tondano serta Pangolombian, dan diapit oleh

beberapa gunung yaitu: Gunung Lengkoan, Gunung Kasuratan dan Gunung tampusu. Sisa-sisa dari kegiatan vulkanik selain kawah ialah Danau Linau, Danau Kasuratan, serta Danau Pangolombian. Lapangan panas bumi lahendong mulai menghasilkan listrik sejak 21 Agustus 2001. Di awal produksi beroperasi PLTP Unit 1 dengan kapasitas 1 x 20 MW. Selanjutnya pada tahun 2007 beroperasi PLTP Unit II, PLTP Unit III di tahun 2009, PLTP Unit IV pada tahun 2016 beroperasi unit V dan VI masing-masing menghasilkan 1 x 20 MW perunit (Saptadji, 2001).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besar perbandingan efisiensi *Cooling Tower* unit 2 sebelum dan sesudah dilaksanakan *Overhaul* dengan cara mengolah data menggunakan aplikasi perangkat lunak Ms.excel kemudian di analisis.

2. KAJIAN LITERATUR

Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP)

Indonesia merupakan salah satu penghasil panas bumi terbesar di dunia. Per Desember 2019, potensi panas bumi Indonesia mencapai 23,9 GW. Potensi tersebut baru dimanfaatkan sebesar 2.130,6 MW atau 8,9% dari total pemanfaatan sebesar 10,4 GW yang setara dengan Sulawesi, Sumatera, Jawa, Bali, Kalimantan, Maluku, Nu Serten Jara hingga Papua (EBTKE, 2020).

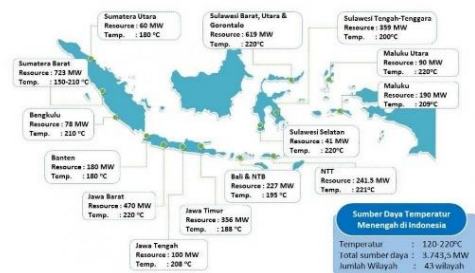
Sulawesi Utara berpotensi sebagai daerah pengembangan panasbumi baik secara eksklusif maupun tidak eksklusif, dikarenakan Sulawesi Utara merupakan salah satu provinsi di Indonesia yang memiliki banyak gunung api aktif. Potensi panasbumi di Sulawesi Utara mencapai 20% dari potensi yang dimiliki Indonesia (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral).



Gambar 1. Lokasi potensi panas bumi. (Peta Kementerian ESDM)

Pembangkit listrik energi panas bumi (PLTP) merupakan pembangkit listrik yang memanfaatkan panas yang didapatkan oleh perut bumi untuk menghasilkan energi listrik. Panas yang dihasilkan oleh perut bumi ini bisa

berupa uap air maupun air panas yang kemudian digunakan buat memutar turbin yang dikopel eksklusif menggunakan rotor generator untuk menghasilkan tenaga listrik (Gultom, 2015).

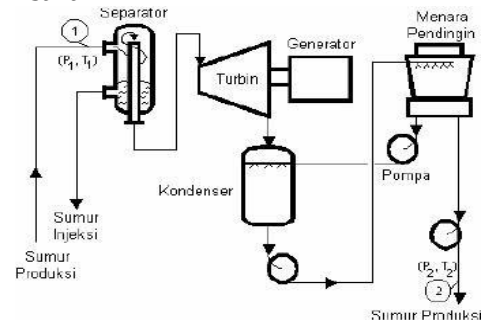


Gambar 2. Distribusi sumber daya panas bumi temperatur menengah (Direktorat Jenderal EBTKE - Kementerian ESDM)

Sistem PLTP Lahendong

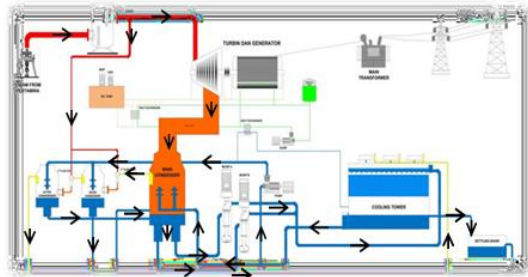
Fluida panas bumi yang sudah dikeluarkan ke permukaan bumi mengandung energi panas yang akan dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik. Hal ini dimungkinkan oleh suatu energi konversi energi fluida panas bumi (geothermal power cycle) yang mengubah energi panas dari fluida menjadi energi listrik (Saptadji, 2001)

Uap PLTP berasal dari reservoir panas bumi. Prinsip kerja di pembangkit listrik pada PLTP Lahendong memakai sistem Siklus Uap Hasil Pemisahan (Separated Steam). Fluida panas bumi keluar dari kepala sumur sebagai campuran fluida 2 fasa (fasa uap serta fasa cair) maka terlebih dahulu dilakukan proses pemisahan pada fluida. Hal ini dimungkinkan dengan melewati fluida ke dalam separator, sehingga fasa uap akan terpisahkan dari fasa cairnya. Fraksi uap yang didapatkan dari separator inilah yang kemudian dialirkan ke turbin. Oleh karena itu uap yang digunakan ialah hasil pemisahan maka, sistem konversi energi ini dinamakan siklus uap hasil pemisahan



Gambar 3. Skema Diagram Pembangkit Listrik untuk fluida dominasi air (Saptadji 2006)

Gambar di atas menunjukkan proses pembangkitan listrik dari lapangan panasbumi yang menghasilkan fluida 2 fasa, yaitu campuran uap dan air. Fluida dari sumur dipisahkan menjadi fasa uap dan air di dalam separator dimana uapnya kemudian dialirkan ke turbin dan airnya diinjeksikan kembali ke bawah permukaan.



Gambar 4. Synoptic Diagram PLTP Lahendong.

Peralatan PLTP

Separator

Sumur-sumur panas bumi biasanya memproduksi fluida campuran, uap dan air, sedangkan turbin pada PLTP digerakkan oleh fluida kerja berupa uap kering atau hampir superheated (uap air). Pemisahan uap dan air ini dilakukan di separator. Karakteristik operasional separator yang wajib dicapai pada pemisahan fluida panas bumi yang paling penting ialah efisiensi pemisahan fluida yang harus tinggi dan penurunan tekanan yang kecil selama di separator untuk mencegah terjadi endapan (scaling) dan korosi pada sudut turbin (blade) serta menghasilkan listrik yang tinggi (Asof dkk, 2016).

Demister

Demister adalah sebuah alat yang berbentuk tabung silinder yang didalamnya terdapat kisi-kisi baja yang berfungsi untuk mengeliminasi butir-butir air yang terbawa oleh uap dari sumur-sumur geothermal. Dibagian bawahnya ada kerucut buat menangkap air serta partikel-partikel padat lainnya yang lolos dari separator sehingga uap yang masuk ke turbin benar-benar bersih dari partikel-partikel yang tak diinginkan. Demister ini dipasang pada jalur uap utama sesudah alat pemisah akhir (final separator) yang ditempatkan di bangunan rangka besi yang sangat kokoh serta terletak pada luar gedung pembangkit. Uap bersih akan masuk ke saluran keluar yang sebelumnya melewati saringan terlebih dahulu dan buat

selanjutnya diteruskan ke turbin (Gultom, 2015).

Turbin Uap

Turbin uap artinya suatu penggerak mula yg membarui energi potensial uap menjadi energi kinetik serta energi kinetik ini selanjutnya diubah menjadi energi mekanis pada bentuk putaran poros turbin. Poros turbin, langsung atau dengan donasi roda gigi reduksi, dihubungkan menggunakan mekanisme yang akan digerakkan. Tergantung pada jenis prosedur yg digunakan, turbin uap dapat dipergunakan di banyak sekali bidang seperti pembangkit tenaga listrik (Apriandi & Mursadin (2016).

Generator

Generator adalah sebuah alat yang berfungsi untuk merubah energi mekanik putaran poros turbin menjadi energi listrik (Zulfikar dkk, 2019).

Stator

Stator atau bagian yang diam terdiri dari bagian luar (rangka stator) dan bagian dalam. Rangka stator terbuat dari besi tuang dan artinya rumah dari seluruh bagian generator. Agar generator yang didapatkan berkualitas, maka rangka luar stator harus tahan terhadap getaran selama mesin bekerja maupun di waktu stress mekanik, seperti di waktu terjadi hubung singkat. Bagian dalam stator dirancang dari kumpulan laminasi lembaran baja (denga permeabilitas yang tinggi) serta memiliki banyak slot yang mengelilingi pinggiran dalamnya. Laminasi ini di isolasi satu sama lain. Jumlah slot yang diperlukan tergantung pada ukuran mesin, jumlah kutub, dan jumlah kumparan per kutub per fasa. Bagian dalam stator dibuat bentuk lembaran supaya bisa mengurangi rugi-rugi arus pusar. Kumpulan laminasi ini disatukan untuk membentuk bagian yang padu melalui baut dan disatukan menggunakan rangka stator melalui pengelasan atau pengikatan yang kuat (di beberapa mesin yang berukuran kecil).

Rotor

Rotor merupakan bagian yang berputar pada generator sinkron. Kumparan medan diletakkan pada rotor, dan disuplai oleh tegangan DC. Seperti halnya stator, rotor juga terdiri dari laminasi-laminasi untuk mengurangi rugi-rugi arus pusar. Jumlah kutub pada rotor, harus sama dengan jumlah kutub

pada stator. Pada rotor itu sendiri, memiliki kutub-kutub magnet dengan banyaknya lilitan-lilitan dimana kawatnya dialiri oleh arus yang satu arah. Dimana kutub-kutub rotor itu sendiri memiliki dua jenis rotor. Yang pertama adalah jenis rotor kutub yang memiliki kutub yang menonjol (salient), jenis rotor kutub yang menonjol ini memiliki tipe yang dapat digunakan untuk generator dengan kecepatan rendah hingga menengah (Farhan, 2021).

Condenser

Condenser adalah suatu alat untuk mengkondensasikan uap bekas dari turbin dengan kondisi tekanan yang hampa. Secara sederhana fungsi condenser yaitu mengubah bentuk air dari gas menjadi cair (liquid). Proses berubahnya bentuk uap menjadi air yang terjadi di dalam condenser disebut pengembunan. Pengembunan ini membutuhkan air yang berasal dari *Cooling Tower* yang kemudian di injeksikan melalui *spray nozzle*. Kemudian, air yang terkondensasi tersebut dihisap oleh *Main Cooling Water Pump* (MCWP) dan kembali lagi ke *cooling tower*, yang membentuk siklus tertutup (Effendi, 2020)

Main Cooling Water Pump (MCWP)

Main cooling water pump adalah pompa utama yang berfungsi untuk memompakan air kondensat dari kondensor ke *Cooling Tower* untuk kemudian didinginkan (Saputro, A., & Suparto, K., 2021).

Cooling Tower (Menara Pendingin)

Air yang keluar dari kondenser akan dipompakan ke *Cooling Tower* oleh MCWP. Air yang dipompakan tersebut masuk ke *Cooling Tower* melalui bagian atas dan disemprotkan ke menara melalui *spray nozzle* sehingga air akan menjadi butiran-butiran yang halus dan didinginkan oleh kipas pendingin *Cooling Tower* (Azizah, 2017). Setelah proses pendinginan terjadi, air akan turun karena gaya gravitasi yang menarik air turun menuju bak penampungan air dingin (cool water basin). Air dingin tersebut kemudian disaring oleh filter *Cooling Tower* dan dikembalikan ke main condenser.

Primary Cooling Water Pump (PCWP)

PCWP berfungsi untuk memompakan air berasal menara pendingin untuk mengkondensasikan uap di flash tangk, inter condenser serta after condenser (Kahembau,

2016). PCWP juga berperan sebagai media pendingin buat secondary cooling water system dengan cara heat exchanger (penukar panas).

Secondary Cooling Water Pump (SCWP)

Secondary cooling water pump merupakan suatu motor listrik yang berfungsi untuk memompakan air untuk mendinginkan generator, mendinginkan minyak (oil) dan udara dari compressor melalui sistem heat exchanger (Aritonang, 2017).

Efisiensi

Secara umum, efisiensi di definisikan sebagai perbandingan antara output terhadap input dalam suatu proses. Efisiensi merupakan salah satu persamaan yang penting dalam termodinamika untuk mengetahui seberapa baik konversi energi atau proses transfer terjadi. (Damaputra, Rachmat, Koswara, 2019). PLTP dirancang untuk menghasilkan output berupa energi listrik dalam besaran tertentu untuk sejumlah input. Bila seluruh komponen PLTP memiliki efisiensi yang tinggi, maka performance PLTP tersebut dikatakan tinggi sehingga biaya operasi PLTP semakin rendah. Seandainya karena suatu sebab performance PLTP turun, berarti PLTP memerlukan lebih banyak bahan utama atau gas untuk menghasilkan output energi listrik sesuai desain. Akibatnya biaya operasi menjadi semakin tinggi.

Idealnya, kita menghedaki agar energi panas (input) dapat di ubah seluruhnya menjadi energi listrik (output). Pada kenyataanya, hal ini mungkin dapat di laksanakan karena adanya berbagai kerugian (losses) yang terjadi hampir di setiap komponen PLTP. Akibat kerugian-kerugian tersebut, maka energi listrik yang di hasilkan PLTP selalu lebih kecil dari suatu energi panas yang masuk ke sistem PLTP. Umumnya pada PLTP dihitung efisiensi termal, dalam konteks efisiensi termal maka output dan input harus di nyatakan dalam besaran yang sama yaitu besaran panas. Ini dikarenakan fluida panas bumi mempunyai suhu yang relatif lebih rendah dibandingkan dengan uap yang berasal dari boiler. Suhu yang rendah ini mengakibatkan konversi energi pada mesin kalor menjadi terbatas. Selain itu proses adiabatik yang terjadi pada sistem memungkinkan terjadinya perpindahan panas ke lingkungan sehingga dapat menurunkan efisiensi.

Range

Range merupakan perbedaan atau jarak antara temperatur air masuk dan keluar menara pendingin. Range yang tinggi berarti bahwa menara pendingin telah mampu menurunkan suhu air secara efektif dan kinerjanya baik (Handoyo, 2015).

$$T_{in} - T_{out} \quad (1)$$

Approach

Perbedaan antara suhu air keluar *Cooling Tower* dengan suhu bola basa udara yang masuk atau selisih antara suhu air dingin dan suhu bola basa (*wet bulb*) dari udara (Handoyo, 2015).

$$T_{out} - T_{wb} \quad (2)$$

Efisiensi pendinginan cooling tower

Efisiensi pendinginan merupakan perbandingan antara range dan approach. Semakin tinggi perbandingan ini maka semakin tinggi efisiensi perbandingan *cooling tower*.

$$\text{Efisiensi pendinginan (\%)} = 100\% \times \frac{\text{Range}}{\text{range} + \text{approach}} \quad (3)$$

Perbandingan efisiensi diambil dari data sebelum dan sesudah *Overhaul* yaitu pada tanggal 8-14 Oktober sebelum *Overhaul* dan 23-29 Oktober 2021 sesudah *Overhaul*.

3. METODE PENELITIAN

Metode yang di gunakan pada penelitian ini yaitu metode penelitian kuantitatif dengan perhitungan termodinamika dengan menggunakan data sekunder logsheet yang merupakan kumpulan data harian operasi pada tanggal 08-14 Oktober 2021. Lokasi penelitian PLTP Lahendong unit 2 yang terletak di Kelurahan Tondangow, Kecamatan Tomohon.



Gambar 5. Synoptic Diagram PLTP Lahendong Lokasi PLTP Lahendong Unit 1 dan 2

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain yaitu Logsheets operasi

PLTP Lahendong Unit 2: Formulir yang memuat tentang data-data operasional alat-alat pembangkitan; Inlet water temp, main cooling water temp, wet bulb, temperatur udara; Kamera: Alat dokumentasi; Laptop: pengolahan data; dan Alat tulis menulis.

Variabel Yang Digunakan Efisiensi cooling tower

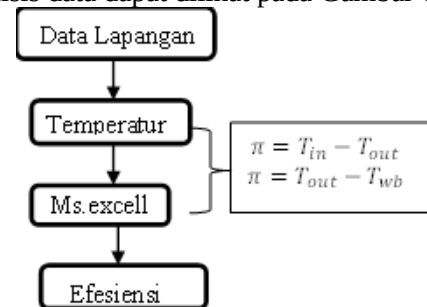
Nilai efisiensi *Cooling Tower* adalah nilai yang didapat dengan membandingkan besar temperatur input dan output pada *Cooling Tower* (Komarudin, R. S., & Baskoro, S. Y., 2017).

Overhaul

Overhaul adalah bagian dari pemeliharaan yang dilakukan oleh PLTP Lahendong berguna untuk memeriksa dan memperbaiki komponen-komponen utama pada mesin PLTP, dan bertujuan untuk meningkatkan kembali efisiensi efisiensi pada mesin-mesin yang ada di PLTP. Dalam penelitian ini, dibutuhkan data yang akan digunakan sebagai input untuk analisis lebih lanjut dan data yang diperoleh dari pengukuran di lapangan. Pengukuran di lapangan berupa temperatur yang akan dilakukan setiap hari. Pengambilan sampel yang akan di analisis lebih lanjut untuk mengetahui nilai temperatur masuk dan keluar, serta nilai temperatur wet bulb (bola basa) dari cooling tower.

Teknik Analisis Data

Data hasil pengukuran lapangan selanjutnya dilakukan pengolahan data dengan mencari nilai rata-rata dari temperatur setiap hari menggunakan aplikasi perangkat lunak Ms.excel, kemudian mencari nilai range dan approach guna mengetahui nilai efisiensi. Diagram alir teknik pengolahan data dan analisis data dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Teknik Pengolahan Data dan Analisis Data

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Efisiensi *Cooling Tower* Sebelum *Overhaul*

Data sebelum *Overhaul* di ambil pada tanggal 8-14 Oktober 2021 dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai Temperatur Inlet Atau Masuk Ke Dalam *Cooling Tower*

Tanggal	$T_{in}(^{\circ}\text{C})$	$T_{out}(^{\circ}\text{C})$	$T_{wb}(^{\circ}\text{C})$
08/10/2021	53,02	35,65	24
09/10/2021	53,19	36,04	24
10/10/2021	53,17	35,81	24
11/10/2021	54,29	36,03	24
12/10/2021	54,67	36,58	24
13/10/2021	54,73	36,62	24
14/10/2021	54,65	36,48	24
avg	53,99	36,17	24

Berdasarkan Tabel 1, Nilai temperatur inlet atau masuk ke dalam *Cooling Tower* sebelum *Overhaul* sebesar 53,17 C - 54,73 C dengan nilai rata-rata temperatur masuk turbin sebesar 53,99 C. Nilai ini kemudian mengalami penurunan ketika keluar dari *Cooling Tower* sehingga nilai temperatur outlet *Cooling Tower* sebelum *Overhaul* menjadi 35,65 C - 36,62 C dengan rata-rata nilai temperatur yang keluar dari turbin sebelum *Overhaul* sebesar 36,17 C Sementara nilai temperatur wet bulb (bola basah) sebelum *Overhaul* sebesar 24 C.

Nilai Range didapatkan dengan melakukan pengurangan pada T_{in} dan T_{out} . Sementara nilai approach didapatkan dengan melakukan pengurangan pada $T_{out} - T_{wb}$.

Tabel 2. Nilai Range dan Approach

Range	Approach
17,55	11,65
17,15	12,04
17,36	11,81
18,26	12,03
18,09	12,58
18,11	12,62
18,17	12,48
17,81	12,17

Nilai Range adalah perbedaan suhu air masuk dan air keluar. Nilai range sebelum *Overhaul* pada tanggal 08-14 Oktober 2021 sebesar 17,15 – 18,26 dengan nilai range rata-rata adalah 17,81. Sementara nilai approach adalah perbedaan nilai suhu air keluar dan suhu bola basah. Nilai approach sebelum *Overhaul* sebesar 11,65 – 12,62 dengan nilai rata-rata approach sebesar 12,17.

Tabel 3. Perhitungan Efisiensi

Tanggal	$T_{in}(^{\circ}\text{C})$	$T_{out}(^{\circ}\text{C})$	$T_{wb}(^{\circ}\text{C})$	Range	Approach	Efisiensi
08/10/2021	53,02	35,65	24	17,55	11,65	60%
09/10/2021	53,19	36,04	24	17,15	12,04	59%
10/10/2021	53,17	35,81	24	17,36	11,81	60%
11/10/2021	54,29	36,03	24	18,26	12,03	60%
12/10/2021	54,67	36,58	24	18,09	12,58	59%
13/10/2021	54,73	36,62	24	18,11	12,62	59%
14/10/2021	54,65	36,48	24	18,17	12,48	59%
avg	53,99	36,17	24	17,81	12,17	59%

Dengan menggunakan rumus efisiensi maka didapatkan nilai efisiensi *Cooling Tower* sebelum *Overhaul* adalah 59% - 60% dengan nilai rata-rata efisiensi *Cooling Tower* sebelum *Overhaul* adalah 59 %.

Data sesudah *Overhaul* di ambil pada tanggal 23-29 Oktober 2021 dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Nilai Temperatur Inlet Atau Masuk Ke Dalam *Cooling Tower*

Tanggal	$T_{in}(^{\circ}\text{C})$	$T_{out}(^{\circ}\text{C})$	$T_{wb}(^{\circ}\text{C})$
23/10/2021	47,13	31,04	22
24/10/2021	46,77	31,17	22
25/10/2021	47,16	31,48	22
26/10/2021	47,06	31,58	22
27/10/2021	46,72	31,06	22
28/10/2021	48,29	31,69	22
29/10/2021	47,81	31,25	22
avg	47,35	31,45	22

Berdasarkan Tabel 4, nilai temperatur inlet atau masuk ke dalam *Cooling Tower* sesudah *Overhaul* sebesar 46,72 C sampai 48,29 C dengan nilai rata-rata temperatur masuk turbin sebesar 47,35 C. Nilai ini kemudian mengalami penurunan ketika keluar dari *Cooling Tower* sehingga nilai temperatur outlet *Cooling Tower* sesudah *Overhaul* menjadi 31,04 C- 31,69 C dengan rata-rata nilai temperatur yang keluar dari *Cooling Tower* sesudah *Overhaul* sebesar 31,45 C Sementara nilai temperatur wet bulb (bola basah) sesudah *Overhaul* sebesar 22,01 C.

Nilai Range didapatkan dengan melakukan pengurangan pada T_{in} dan T_{out} . Sementara nilai approach didapatkan dengan melakukan pengurangan pada $T_{out} - T_{wb}$.

Tabel 5. Nilai Range dan Approach

Range	Approach
15,73	9,04
15,06	9,17
15,68	9,48
16,02	9,58
15,12	9,06
16,06	9,69
16,56	9,25
15,90	9,45

Nilai Range adalah perbedaan suhu air masuk dan air keluar. Nilai range sesudah *Overhaul* pada tanggal 23-29 Oktober 2021 sebesar 15,06 – 16,56 dengan nilai range rata-rata adalah 15,90. Sementara nilai approach adalah perbedaan nilai suhu air keluar dan suhu bola basah. Nilai approach sesudah *Overhaul* sebesar 9,04–9,69 dengan nilai rata-rata approach sebesar 9,45.

Tabel 6. Perhitungan Efisiensi

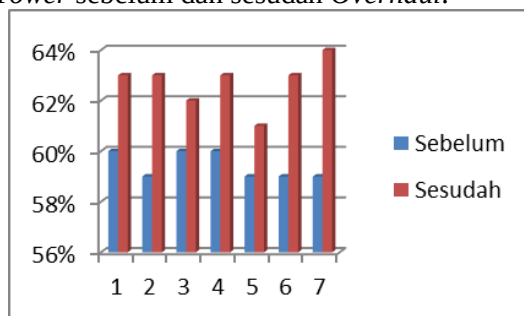
Tanggal	$T_{in}(^{\circ}C)$	$T_{out}(^{\circ}C)$	$T_{wb}(^{\circ}C)$	Range	Approach	Efisiensi
23/10/2021	47,13	31,04	22	15,73	9,04	63%
24/10/2021	46,77	31,17	22	15,06	9,17	63%
25/10/2021	47,16	31,48	22	15,68	9,48	62%
26/10/2021	47,06	31,58	22	16,02	9,58	63%
27/10/2021	46,72	31,06	22	15,12	9,06	61%
28/10/2021	48,29	31,69	22	16,06	9,69	63%
29/10/2021	47,81	31,25	22	16,56	9,25	64%
avg	47,35	31,45	22	15,90	9,45	63%

Dengan menggunakan rumus efisiensi maka didapatkan nilai efisiensi *Cooling Tower* sesudah *Overhaul* adalah 61% - 64% dengan nilai rata-rata efisiensi *Cooling Tower* sesudah *Overhaul* adalah 63%. Perbandingan Efisiensi *Cooling Tower* Sebelum dan Sesudah *Overhaul*. Nilai efisiensi *Cooling Tower* sebelum dan sesudah dilakukannya *Overhaul* dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Nilai Efisiensi Sebelum dan Sesudah *Overhaul*

No.	Efisiensi	
	Sebelum	Sesudah
1	60%	63%
2	59%	63%
3	60%	62%
4	60%	63%
5	59%	61%
6	59%	63%
7	59%	64%
avg	59%	63%

Berdasarkan tabel maka dibuat grafik perbandingan untuk nilai efisiensi *Cooling Tower* sebelum dan sesudah *Overhaul*.

Gambar 7. Grafik Perbandingan Efisiensi *Cooling Tower* Sebelum dan Sesudah

Overhaul

Berdasarkan gambar menunjukan perbandingan antara efisiensi *Cooling Tower* sebelum dilaksanakannya *Overhaul* yang ditunjukan oleh grafik berwarna biru dan grafik berwarna merah menunjukan efisiensi *Cooling Tower* sesudah dilaksanakannya *Overhaul*. Nilai efisiensi *Cooling Tower* tertinggi pada saat sebelum dilakukannya *Overhaul* sebesar 60% dengan nilai rata-rata sebesar 59%. Nilai efisiensi *Cooling Tower* tertinggi setelah dilakukannya *Overhaul* sebesar 64% dengan nilai rata-rata sebesar 63%. Nilai efisiensi *Cooling Tower* sebelum *Overhaul* lebih rendah dibandingkan dengan efisiensi *Cooling Tower* sesudah *Overhaul* yang dapat dilihat pada grafik berwarna merah yang cenderung lebih tinggi dari grafik berwarna biru.

5. KESIMPULAN

Efisiensi *Cooling Tower* PLTP Lahendong Unit 2 sebelum *Overhaul* memiliki nilai rata-rata sebesar 59% dan nilai rata-rata efisiensi *Cooling Tower* sesudah *Overhaul* sebesar 63%. Besar perbandingan efisiensi dari adanya *Overhaul* mengakibatkan efisiensi rata-rata *Cooling Tower* naik sebesar 4%. Efisiensi *Cooling Tower* dipengaruhi oleh perbandingan range dan approach, semakin besar perbandingan semakin bagus efisiensi sebaliknya semakin kecil perbandingan semakin kecil efisiensinya.

6. REFERENSI

- Apriandi, R., & Mursadin, A. (2016). Analisis Kinerja Turbin Uap Berdasarkan Performance Test Pltu Pt. Indocement P-12 Tarjun. *Scientific Journal of Mechanical Engineering Kinematika*, 1(1), 37-46.
- Aritonang, J. P. (2017). Analisa pengaruh pembebanan terhadap efisisensi generator di pltgu di pt. pln (persero) sektor pembangkitan keramasan (doctoral dissertation, Politeknik Negeri Sriwijaya).
- Asof, A., Pasra, N., & Hidayat, T. (2016). Kajian Gas Removal System Dengan Memanfaatkan Second Ejector Dan Men-Stanby-Kan Liquid Ring Vacuum Pump Pada Sub Unit Darajat, UPJP Kamojang. *Jurnal Powerplant*, 4(1), 21-26.
- Azizah, K. H. (2017). Hubungan Antara Sistem Pendingin Utama Dengan Nilai

- Efisiensi PLTP Kamojang Unit 4 (Doctoral dissertation, Universitas Negeri Jakarta).
- Damaputra, M. K., Rachmat, A., & Koswara, E. (2019). Proses Pendinginan dan Perbandingan Efisiensi *Cooling Tower* Unit 3 di PT. Indonesia Power Unit Pembangkit dan Jasa Pembangkitan (UPJP) Kamojang. Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim, 43-46.
- EBTKE, H. (2020). Menteri Arifin: Transisi Energi Mutlak Diperlukan. Retrieved from EBTKE ESDM: <https://ebtke.esdm.go.id/post/2020/10/22/2667/menteri.arifin.transisi.energi.mutlak.diperlukan>.
- Effendi, A. R. (2020). Analisis Perubahan Tekanan Vakum Kondensor Terhadap Kerja Turbin Dan Produksi Listrik PLTU Unit 1 Sebalang Menggunakan Simulasi Cycle Tempo. Jurnal Powerplant, 8(1), 1-29.
- Farhan, M. (2021). Pengaruh Pembebanan Terhadap Arus Eksitasi Generator Unit 2 PLTMH Curug. Jurnal Simetrik, 11(1), 398-403.
- Gultom, C. (2015). Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi 2x5. 65 Mw Di Sibayak (Doctoral dissertation).
- Handoyo, Y. (2015). Analisis Performa *Cooling Tower* LCT 400 Pada PT XYZ, Tambun Bekasi. Jurnal Ilmiah Teknik Mesin, 3(1), 38-52.
- Kahembau, Y. E. (2016). Pemeliharaan Primary Cooling Water Pump Di PLTP Lahendong (Doctoral dissertation, Politeknik Negeri Manado).
- Komarudin, R. S., & Baskoro, S. Y. (2017). Analisis Pengaruh Penyerapan Kalor Terhadap Efisiensi *Cooling Tower* Pada Tungku Induksi Pengecoran Logam Di Polman Astra. Bina Teknik, 13(1), 11-21.
- Saptadji, N. M. (2006, November). Update on geothermal development in Indonesia. In Proceedings of the 28th New Zealand Geothermal Workshop, University of Auckland, New Zealand.
- Saptadji, N. M. (2001). Teknik Panas Bumi. Bandung, Penerbit ITB.
- Saputri, S. A. (2014). Geologi dan Identifikasi Manifestasi Panas Bumi di Daerah Gunung Pandan dan Sekitarnya. Jurnal Teknik Geologi ITATS, 3(1).
- Saputro, A., & Suparto, K. (2021). Analisis Performa Main Cooling Water Pump Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) PT. X. Jurnal Tera, 1(2), 253-267.
- Sihombing, C. (2020). Analisa Efisiensi Termal Turbin, Kondensor dan Menara Pendingin pada Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi. Majalah Ilmiah Swara Patra, 9-10.
- Zulfikar, Z., Harahap, P., & Laksono, H. A. (2019). Analisa Perbandingan Pengaruh Variasi Jumlah Sudu 4 Dan 8 Pada Turbin Angin Savonius Terhadap Tegangan Dan Arus Generator Dc. RELE (Rekayasa Elektr. dan Energi) J. Tek. Elektro, 2(1), 1-8.