

Cooling Tower Performance against Generator

Kinerja Cooling Tower terhadap Generator

Bryan J. Assa, Glanny M. C. Mangindaan, Meita Rumbayan

Dept. of Electrical Engineering, Sam Ratulangi University Manado, Kampus Bahu St., 95115, Indonesia

e-mails : bryanassa023@student.unsrat.ac.id, glanny_m@unsrat.ac.id, meitarumbayan@unsrat.ac.id

Received: [date]; revised: [date]; accepted: [date]

Abstract — Lahendong Geothermal Power Plant produces electricity by utilizing geothermal energy. In this case the steam that has been filtered which is then flowed into the turbine to drive the generator. In the process of working the generator can generate heat so that a cooling medium is needed to avoid damage due to excessive heat in the generator engine. The tool used to cool the generator is the cooling tower. The purpose of this study is to analyze the performance of the generator and the performance of the cooling tower and determine how vulnerable the temperature produced by the cooling tower is to cool the generator. From the analysis that has been carried, the results obtained for one month in January with a range value of 15°C to 19°C, and an approach value of 8°C to 11°C and a cooling effectiveness of 57.7% to 70.4%. As a result of the cooling that occurs in the cooling tower, the active power generated by the generator unit 2 in January is 17 MW. This already shows the performance of the cooling tower is still good, but it is necessary to apply routine preventive maintenance to maintain the performance of the cooling tower.

Keywords — Cooling Tower, effectiveness, Generator, Temperature

Abstrak — PLTP Lahendong menghasilkan listrik dengan memanfaatkan energi panas bumi. Dalam hal ini uap yang telah disaring yang kemudian dialirkan ke turbin untuk menggerakkan generator. Dalam proses kerja generator dapat menimbulkan panas sehingga dibutuhkan media pendingin untuk menghindari akan terjadinya kerusakan akibat panas yang berlebih pada mesin generator. Alat yang digunakan untuk mendinginkan generator yaitu cooling tower. Tujuan dari penelitian ini yaitu menganalisa kinerja generator dan kinerja cooling tower serta menentukan berapa rentan suhu yang dihasilkan oleh cooling tower untuk mendinginkan generator. Dari Analisa yang telah dilakukan, didapatkan hasil penelitian selama satu bulan di bulan januari dengan nilai range sebesar 15°C sampai 19°C, dan nilai approach sebesar 8°C sampai 11°C serta efektivitas pendinginan sebesar 57,7% sampai 70,4%. Akibat dari pendinginan yang terjadi di cooling tower, daya aktif yang dihasilkan oleh generator unit 2 di bulan januari yaitu 17 MW. Hal tersebut sudah menunjukkan performa dari cooling tower yang masih bagus, akan tetapi perlu diterapkan pemeliharaan preventif yang rutin untuk mempertahankan performansi cooling tower.

Kata kunci — Cooling Tower, Efektivitas, Generator, Temperatur

I. PENDAHULUAN

Pada zaman yang semakin berkembang ini, energi listrik menjadi sangat penting bagi manusia. Dalam memenuhi kebutuhan listrik, maka dibangunlah pembangkit listrik tenaga

panas bumi (PLTP). PLTP menghasilkan energi listrik dengan memanfaatkan energi panas bumi dalam hal ini uap yang telah disaring kemudian dialirkan ke turbin untuk menggerakkan generator.

Generator merupakan mesin penghasil listrik harus bekerja dalam jangka waktu cukup panjang. Oleh karena itu, selama generator beroperasi sangat dibutuhkan adanya pendingin untuk menghindari panas yang berlebih karena arus yang melewati konduktor dalam generator bisa menghasilkan panas, isolasi di kumparan dalam generator akan melepuh jika panas yang terjadi tidak dihilangkan yang akan menyebabkan generator akan menjadi rusak. Dari hal tersebut untuk meningkatkan kinerja dari generator, diperlukan suatu sistem pendingin agar generator terjaga dari kondisi panas.

Dalam pengoperasian PLTP dibutuhkan cooling tower sebagai suatu alat yang mensirkulasikan air pendingin untuk membantu proses pendinginan pada generator. Oleh karena itu kinerja dari cooling tower harus tetap diperhatikan agar tetap berada pada standarnya. Fungsi dari cooling tower yaitu untuk memproses uap yang telah terkondensasi dan akan melalui proses pendinginan, dimana udara dan air berperan sebagai pendingin. Udara yang digunakan untuk mendinginkan air dihisap dari samping cooling tower kemudian masuk ke dalam sehingga suhu air yang terdapat pada cooling tower menurun. Proses pendinginan tersebut juga dibantu dengan air dimana nozzle akan menyemprotkan air secara merata agar proses pendinginannya terjadi secara efisien. Udara panas sisa dari pendinginan akan dihisap kembali ke atas cooling tower yang nantinya akan dikeluarkan melalui fan yang terdapat di atas cooling tower.

A. Penelitian Terkait

Menurut Pratiwi (2014), Cooling Tower merupakan peralatan yang digunakan untuk menurunkan suhu aliran air dengan cara mengekstrak panas dari air dan mengemisikan panas ke atmosfer[1].

Menurut Effendi and Wirza, (2013), Menara pendingin merupakan suatu peralatan yang digunakan untuk menurunkan suhu aliran air dengan cara mengekstraksi panas dari air dan mengemisikannya ke atmosfer. Menara pendingin menggunakan penguapan dimana sebagian air diuapkan ke aliran udara yang bergerak dan kemudian dibuang ke atmosfer[2].

Menurut Ananda (2020), Cooling System adalah suatu sistem yang berfungsi untuk mendinginkan dan menjaga

temperatur dari sebuah proses yang dapat menghasilkan panas, misalnya adalah generator, turbin, kompresor, dan lain-lain. Dalam sebuah Industri, cooling system sangat penting karena sistem pendingin adalah serangkaian alat pendingin yang dapat menjaga temperatur. Sistem pendingin diperlukan untuk menjaga performa dari mesin-mesin listrik seperti generator[3].

Menurut Samola (2022), perpindahan panas yaitu tentang laju perpindahan panas di antara material/benda karena adanya perbedaan suhu (panas dan dingin). Perpindahan panas terjadi karena adanya perbedaan suhu. Suatu panas akan mengalir dari suhu tinggi ke suhu terendah[4].

Menurut Zuriman (2018), Generator sinkron (sering disebut alternator) adalah mesin listrik arus bolak-balik yang menghasilkan tegangan dan arus bolak-balik (alternating current, AC) yang bekerja dengan cara mengubah energi mekanik (kinetik) menjadi energi listrik melalui induksi medan magnet. Perubahan energi ini disebabkan oleh gerak relatif antara medan magnet dan kumparan generator[5].

B. Cooling system

Cooling System adalah sistem pendingin yang berfungsi untuk menjaga kestabilan suhu dari sebuah proses yang bisa menghasilkan panas, contohnya generator. Cooling system sangat penting dalam sebuah industri karena sistem pendingin merupakan serangkaian alat pendingin yang dapat menjaga temperatur pada sebuah produksi. Sistem pendingin dibagi menjadi 2 metode pendingin, yaitu:

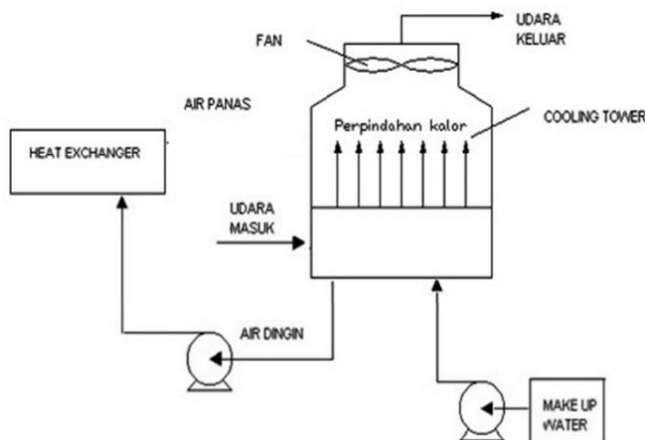
1. Sistem Pendingin Udara (Air Cooling System)

Air Cooling System (Sistem Pendingin Udara) adalah serangkaian alat yang digunakan untuk menurunkan suhu dengan menggunakan udara yang ada di sekitar yang dihembuskan oleh kipas (fan).

2. Sistem Pendingin air (Water Cooling System)

Sistem Pendingin air (Water Cooling System) merupakan suatu metode perpindahan panas pada komponen-komponen peralatan industri. beda halnya dengan sistem pendingin udara, metode ini menggunakan air sebagai penghantar panas.

C. Cooling Tower (Menara Pendingin)



Gambar 1. Skema Menara Pendingin

Menara pendingin adalah suatu alat yang mendinginkan air yang keluar dari kondensor yang sebagian air menguap ke udara, dan sebagian air melewati penghilang kabut dan jatuh ke dalam bak air.[6]. Tujuan menara pendingin adalah untuk menyerap panas dalam jumlah besar dan menyediakan air dingin dalam jumlah besar untuk digunakan dalam sistem pendingin. Dengan kata lain, peran menara pendingin adalah menurunkan suhu air dan melepaskan panas ke atmosfer. Menara pendingin dapat menurunkan temperatur air lebih rendah dibandingkan sistem pendingin lain yang menggunakan pendingin udara, seperti radiator mobil.[7]. Cooling tower memiliki 2 jenis, yaitu:

1. Natural (Tanpa Fan)

Natural (Tanpa Fan) yaitu udara bergerak secara alami dengan memanfaatkan gaya apung karena perbedaan densitas. Tipe ini biasanya menggunakan cimney / stack yang sangat tinggi, tipe ini biasanya juga dipakai pada daerah sub tropis (kelembapan rendah dan relatif dingin).

2. Mechanical Draf

Sistem mechanical Draf dilengkapi dengan beberapa kipas(fan) yang digerakkan secara mekanik sehingga dapat mengalirkan udara[8]. Jenis cooling tower ini yang digunakan pada PLTP lahendong. Proses tersebut terjadi karena adanya sebuah mesin atau speed reducer yang menggerakkan fan dengan kecepatan tertentu. Sehingga fan(kipas) dapat menarik temperatur pada air dan di buang ke atmosfer[4].

Prinsip kerja cooling tower adalah air panas yang keluar dari kondensor atau Heat Exchanger dan di pompa menuju bagian atas tower untuk kemudian disemprotkan menggunakan nozzle. Air panas yang disemprotkan akan jatuh mengalir pada fill (bahan pengisi) yang berfungsi untuk memutus alirannya. Di dalam menara, air panas bersentuhan langsung dengan udara yang bergerak secara paksa karena pengaruh kipas. Ini disebut Konveksi Paksa. Air yang mengalami penurunan suhu dikumpulkan ke dalam reservoir. Sistem ini sangat efektif karena suhu kondensasi yang terjadi pada proses pendinginan sangat rendah mendekati suhu bola basah udara. Kinerja menara pendingin biasanya dinyatakan dalam jangkauan dan pendekatan[9].

1. Range

Range merupakan perbedaan atau jarak antara temperatur air masuk dan keluar menara pendingin[10]. range yang lebih tinggi berarti menara pendingin dapat secara efektif menurunkan temperatur air dan memberikan kinerja yang baik.

$$\text{Range}(\text{°C}) = T_{in} - T_{out} \quad (1)$$

2. Approach

Approach adalah perbedaan antara suhu air dingin keluar menara pendingin dan suhu wet bulb ambien. Semakin rendah approach semakin baik kinerja menara pendingin[10]. Meskipun range dan approach harus diperhatikan, namun approach merupakan indikator kinerja menara pendingin yang lebih baik.

$$\text{Approach}(\text{°C}) = T_{out} - T_{wb} \quad (2)$$

3. Efektivitas Pendinginan

Efektivitas adalah metode yang digunakan untuk menghitung kemampuan memindahkan kalor secara actual yang dibandingkan dengan nilai kalor maksimal yang dipindahkan.

$$\text{Efektivitas} (\%) = \frac{\text{Range}}{\text{Range} + \text{Approach}} \times 100\% \quad (3)$$

D. Generator Sinkron

Generator sinkron adalah perangkat yang menggunakan tenaga mekanik untuk menghasilkan energi listrik[11]. Perubahan energi ini disebabkan oleh gerak relatif antara medan magnet dan kumparan generator. Gerak relatif adalah perubahan medan magnet di dalam kumparan jangkar akibat adanya gerak medan magnet yang bergerak menuju kumparan jangkar atau sebaliknya, yang biasanya disebut generator sinkron karena kecepatan medan magnet yang dihasilkannya sesuai dengan kecepatan rotor[12]. Generator ini menghasilkan arus bolak-balik (AC) dan biasa digunakan untuk menghasilkan arus bolak-balik satu fasa atau tiga fasa[13].

Prinsip kerja generator adalah bilamana rotor diputar maka belitan kawatnya akan memotong gaya-gaya magnet pada kutub magnet sehingga terjadi perbedaan tegangan dengan dasar inilah timbullah arus listrik, arus melalui kabel atau kawat yang kedua ujungnya di hubungkan dengan cincin geser pada cincin cincin tersebut menggeser sikat-sikat sebagai terminal penghubung keluar[14].

E. Konstruksi Generator Sinkron

Konstruksi generator sinkron, yaitu :

1) Stator

Stator adalah bagian stasioner dari generator yang berfungsi untuk menerima induksi magnet dari rotor. Arus bolak-balik yang mengalir ke beban didistribusikan melalui angker dalam bentuk rangka silindris dengan jumlah lilitan kawat konduktor yang banyak. Gulungan angker generator di wye dan titik netral dihubungkan ke ground[15]. Komponen ini juga memiliki alur atau slot memanjang dimana terdapat lilitan yang disebut lilitan jangkar atau armature winding. Stator sendiri terdiri dari rangka stator, inti stator, slot dan kumparan atau jangkar stator.

2) Rotor

Rotor merupakan bagian dari generator yang berputar dan tempat lilitan medan arus eksitasi yang membentuk magnet listrik kutub utara-selatan pada inti rotor. Pada rotor generator terdapat kumparan jangkar yang berfungsi untuk menghasilkan gaya gerak listrik yang diperbaiki melalui komutator. Sumber daya yang dihasilkan oleh komutator dibuang melalui sikat atau sikat. Rotor sendiri terdiri dari slip ring, kumparan rotor (field coils), dan poros rotor.

F. Daya Listrik

Daya listrik sendiri memiliki tiga bagian, yaitu daya aktif (P), daya reaktif (Q) dan daya semu (S). Berikut merupakan penjelasan dari ketiga daya listrik.

1) Daya Aktif

Daya aktif adalah daya yang terpakai untuk melakukan energi sebenarnya. Satuan daya aktif adalah watt. Persamaan berikut merupakan persamaan yang dipakai untuk menemukan hasil dari daya aktif [16].

- Daya aktif satu fasa:

$$P = V \times I \times \cos \phi \quad (4)$$

- Daya aktif tiga fasa:

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \phi \quad (5)$$

2) Daya Reaktif

Daya reaktif adalah jumlah energi yang dibutuhkan untuk membentuk medan magnet. Pembentukan medan magnet menghasilkan fluks magnet. Contoh sumber energi yang menghasilkan daya reaktif antara lain transformator dan motor. Satuan daya reaktif adalah VAR (Volt Ampere Reactive). Untuk mencari daya reaktif digunakan rumus sebagai berikut:

- Daya reaktif satu fasa:

$$Q = V \times I \times \sin \phi \quad (6)$$

- Daya reaktif tiga fasa:

$$Q = \sqrt{3} \times V \times I \times \sin \phi \quad (7)$$

3) Daya Semu

Daya semu adalah daya yang dihasilkan oleh suatu generator dalam suatu sistem pembangkit tenaga listrik. Simbol dari daya semu yaitu S dan satuannya VA (Volt Ampere). Daya semu terdiri dari daya aktif dan daya reaktif. rumus yang digunakan untuk menentukan daya semu tiga fasa adalah:

- Daya reaktif satu fasa:

$$S = V.I \quad (8)$$

- Daya reaktif tiga fasa:

$$S = \sqrt{3}.V.I \quad (9)$$

II. DATA TEKNIS ULPLTP LAHENDONG

A. Spesifikasi Generator Sinkron Unit 2 ULPLTP Lahendong

Generator sinkron yang digunakan pada unit 2 ULPLTP Lahendong merupakan jenis generator sinkron 3 fasa dengan tegangan keluaran 11 kV. Berikut merupakan spesifikasi dari generator unit 2 ULPLTP Lahendong.

B. Data Operasi Generator

Pada tabel 2,3 merupakan data operasi generator dan cooling tower yang diambil pada tanggal 9 dan 10 januari 2023. Data-data yang diambil pada generator berupa data daya aktif generator, data tegangan generator, data arus generator dan data faktor daya generator. Sedangkan data yang diambil pada cooling tower berupa data temperatur yang masuk ke cooling tower, data temperatur yang dihasilkan oleh cooling tower, data suhu bola basah(wet-bulb) cooling tower dan data laju sirkulasi cooling tower.

TABEL 1. SPESIFIKASI GENERATOR UNIT 2

Uraian	Data Teknis
Type	Totally Enclosed Inner Air Cooled Type
Output	25.000 kVA
Voltage	11.000 V
Current	1,312 A
Phase	3
Power Factor	0.8 (Lagging)
Rating	Cont.
Frequency	50 Hz
Poles	2
Ex. Voltage	50 V
Ex. Current	14.8 A
Insulation Class	F
Standard	IEC60034-1 (2004)
Serial no.	K1B58695L11
Manufacture	Fuji Electric Systems Co. Ltd

(Sumber: PT. PLN (Persero) ULPLTP Lahendong Unit 2)

TABEL 2. DATA OPERASI HARIAN ULPLTP LAHENDONG UNIT 2 TANGGAL 9 JANUARI 2023

Pukul	Daya Aktif	Tegangan	Arus	Power Faktor	T _{Input}	T _{Output}	T _{wet - bulb}	Laju Sirkulasi	Pukul	Daya Aktif	Power Faktor	Arus	Tegangan	T _{Input}	T _{Output}	T _{wet - bulb}	Laju Sirkulasi
00.30	17	11,4	881	0,96	48	33	22	4363	13.30	17	0,97	899	11,4	49	33	23	4234
01.00	17	11,4	881	0,96	48	32	22	4433	14.00	17	0,97	899	11,4	49	33	23	4614
01.30	17	11,4	886	0,96	48	32	22	4546	14.30	17	0,99	899	11,4	49	33	23	4361
02.00	17	11,4	878	0,96	48	32	22	4587	15.00	17	0,99	896	11,4	49	33	23	4360
02.30	17	11,4	879	0,96	48	32	22	4481	15.30	17	0,99	874	11,4	48	33	22	4388
03.00	17	11,4	877	0,96	48	32	22	4506	16.00	17	0,99	874	11,4	48	33	22	4588
03.30	17	11,4	882	0,96	48	32	22	4546	16.30	17	0,99	855	11,3	48	33	22	4434
04.00	17	11,4	885	0,96	48	32	22	4519	17.00	17	0,99	855	11,3	48	33	22	4402
04.30	17	11,4	887	0,96	48	32	22	4497	17.30	17	0,99	852	11,3	48	33	22	4432
05.00	17	11,4	887	0,96	48	32	22	4460	18.00	17	0,99	852	11,3	48	33	22	4319
05.30	17	11,4	862	0,96	48	32	22	4359	18.15	17	0,99	858	11,4	48	33	22	4504
06.00	17	11,4	881	0,97	48	32	22	4378	18.30	17	0,99	866	11,4	48	33	22	4306
06.30	17	11,4	870	0,98	48	32	22	4459	18.45	17	0,99	853	11,3	48	33	22	4406
07.00	17	11,4	871	0,98	48	32	22	4567	19.00	17	0,99	852	11,3	48	33	22	4412
07.30	17	11,4	860	0,99	48	32	22	4433	19.15	17	0,99	848	11,3	48	33	22	4322
08.00	17	11,4	854	0,99	48	32	22	4411	19.30	17	0,99	848	11,3	48	33	22	4402
08.30	17	11,4	853	0,99	48	32	22	4426	19.45	17	0,99	846	11,3	48	33	22	4475
09.00	17	11,4	853	0,99	48	32	22	4443	20.00	17	0,99	846	11,3	48	33	22	4520
09.30	17	11,4	864	0,99	48	33	22	4531	20.30	17	0,99	857	11,3	48	33	22	4420
10.00	17	11,4	864	0,99	48	33	22	4531	21.00	17	0,99	857	11,3	48	33	22	4514
10.30	17	11,4	894	0,96	48	33	22	4452	21.30	17	0,99	860	11,3	48	33	22	4345
11.00	17	11,4	894	0,96	48	33	22	4452	22.00	17	0,99	860	11,3	48	33	22	4410
11.30	17	11,4	887	0,97	48	33	22	4544	22.30	17	0,99	853	11,4	49	33	23	4372
12.00	17	11,4	887	0,97	48	33	22	4543	23.00	17	0,99	855	11,4	49	33	23	4321
12.30	17	11,4	906	0,97	49	33	23	4438	23.30	17	0,99	854	11,4	49	33	23	4315
13.00	17	11,4	900	0,97	49	33	23	4438	24.00	17	0,99	858	11,4	49	33	23	4380

TABEL 3. DATA OPERASI HARIAN ULPLTP LAHENDONG UNIT 2 TANGGAL 10 JANUARI 2023

Pukul	Daya Aktif	Tegangan	Arus	Power Faktor	T _{Input}	T _{Output}	T _{wet - bulb}	Laju Sirkulasi	Pukul	Daya Aktif	Power Faktor	Arus	Tegangan	T _{Input}	T _{Output}	T _{wet - bulb}	Laju Sirkulasi
00.30	17	11,4	861	0,98	49	33	23	4397	13.30	17	0,99	880	11,3	49	33	23	4480
01.00	17	11,4	862	0,98	49	33	23	4315	14.00	17	0,99	881	11,3	49	33	23	4474
01.30	17	11,4	861	0,99	49	33	23	4566	14.30	17	0,99	869	11,3	49	33	23	4404
02.00	17	11,4	859	0,99	48	33	22	4326	15.00	17	0,99	872	11,3	49	33	23	4454
02.30	17	11,4	854	0,99	48	33	22	4400	15.30	17	0,99	877	11,3	49	33	23	4409
03.00	17	11,4	856	0,99	48	33	22	4436	16.00	17	0,99	869	11,3	49	33	23	4560
03.30	17	11,4	854	0,99	48	33	22	4405	16.30	17	0,99	876	11,3	49	33	23	4484
04.00	17	11,4	856	0,99	48	33	22	4244	17.00	17	0,99	873	11,3	49	33	23	4403
04.30	17	11,4	854	0,99	48	33	22	4525	17.30	17	0,99	893	11,3	49	33	23	4421
05.00	17	11,4	854	0,99	48	33	22	4582	18.00	17	0,99	863	11,3	48	33	22	4375
05.30	17	11,4	859	0,99	48	33	22	4388	18.15	17	0,99	861	11,3	48	33	22	4495
06.00	17	11,4	961	0,99	48	33	22	4600	18.30	17	0,97	860	11,3	48	33	22	4387
06.30	17	11,4	857	0,99	48	33	22	4587	18.45	17	0,97	868	11,3	48	33	22	4542
07.00	17	11,4	845	0,99	48	33	22	4478	19.00	17	0,97	881	11,3	48	33	22	4348
07.30	17	11,4	850	0,99	48	33	22	4392	19.15	17	0,96	880	11,3	48	33	22	4594
08.00	17	11,4	853	0,99	48	33	22	4305	19.30	17	0,96	884	11,3	48	33	22	4429
08.30	17	11,4	852	0,99	48	33	22	4401	19.45	17	0,96	895	11,3	48	32	22	4390
09.00	17	11,4	852	0,99	48	33	22	4342	20.00	17	0,95	893	11,3	48	32	22	4382
09.30	17	11,4	861	0,99	48	33	22	4380	20.30	17	0,95	901	11,3	47	32	21	4452
10.00	17	11,4	860	0,99	48	33	22	4320	21.00	17	0,94	897	11,3	47	32	21	4429
10.30	17	11,4	861	0,99	48	33	22	4403	21.30	17	0,94	990	11,3	47	32	21	4498
11.00	17	11,3	867	0,99	48	33	22	4411	22.00	17	0,91	912	11,3	47	32	21	4486
11.30	17	11,3	876	0,99	48	33	22	4501	22.30	17	0,95	931	11,4	47	32	21	4578
12.00	17	11,3	857	0,99	48	33	22	4502	23.00	17	0,93	893	11,4	47	32	21	4544
12.30	17	11,3	878	0,99	48	33	22	4492	23.30	17	0,93	912	11,4	47	32	21	4435
13.00	17	11,3	877	0,99	49	33	23	4417	24.00	17	0,93	906	11,4	47	32	21	4486

III. ANALISA KINERJA COOLING TOWER DAN GENERATOR

A. Analisa Kinerja Cooling Tower terhadap Temperatur Air

Dalam menjaga performa dari *cooling tower* diperlukan untuk menganalisa kinerja *cooling tower* unit 2 PLTP Lahendong dapat dilakukan dengan beberapa parameter perhitungan yaitu dengan *range*, *approach* dan efektivitas pendingin. Berdasarkan data-data yang telah didapatkan, perhitungan *range*, *approach* dan efektivitas pendingin yang dilakukan pada tanggal 9 dan 10 januari 2023 dapat dilihat pada tabel 4 dan 5.

1. Range

Range adalah perbandingan dari temperatur air yang masuk dengan temperatur air yang keluar pada menara pendingin. Ketika *range* menghasilkan nilai yang tinggi berarti bahwa menara pendingin telah berhasil menurunkan suhu air dengan efektif, dengan demikian kinerja dari *cooling tower* dinyatakan baik ($>5^{\circ}\text{C}$).

$$\text{Range}(\text{}^{\circ}\text{C}) = T_{in} - T_{out}$$

$$\text{Range}(\text{}^{\circ}\text{C}) = 49 - 33$$

$$\text{Range}(\text{}^{\circ}\text{C}) = 16^{\circ}\text{C}$$

2. Approach

Approach adalah selisih antara suhu air dingin yang keluar dari menara pendingin dengan suhu wet bulb. Performa dari *cooling tower* akan semakin baik Saat kondisi approach rendah. Sebaliknya, jika approach yang lebih tinggi maka performa dari *cooling tower* akan semakin buruk.

$$\text{Approach}(\text{}^{\circ}\text{C}) = T_{out} - T_{wb}$$

$$\text{Approach}(\text{}^{\circ}\text{C}) = 33 - 23$$

$$\text{Approach}(\text{}^{\circ}\text{C}) = 10^{\circ}\text{C}$$

3. Efektivitas Pendingin

Efektivitas pendinginan adalah perbedaan antara range dengan range ideal. ketika rasio ini semakin tinggi, maka semakin tinggi pula kapasitas pendinginan yang terjadi dalam menara pendingin.

$$\text{Efektivitas} (\%) = \frac{\text{Range}}{\text{Range} + \text{Approach}} \times 100\%$$

$$\text{Efektivitas} (\%) = \frac{16}{16 + 10} \times 100\%$$

$$\text{Efektivitas} (\%) = 61,5 \%$$

Berdasarkan hasil perhitungan range, approach dan efektivitas pendingin pada pukul 00.30 pada tanggal 09 januari 2023, maka perhitungan data jam selanjutnya ditampilkan pada tabel 5,6:

TABEL 4. HASIL PERHITUGAN RANGE, APPROACH DAN EFEKTIVITAS PENDINGIN TANGGAL 9 JANUARI

Pukul	Range	Approach	Efektivitas Pendingin	Pukul	Range	Approach	Efektivitas Pendingin
00.30	15	11	57,7	13.30	16	10	61,5
01.00	16	10	61,5	14.00	16	10	61,5
01.30	16	10	61,5	14.30	16	10	61,5
02.00	16	10	61,5	15.00	16	10	61,5
02.30	16	10	61,5	15.30	15	11	57,7
03.00	16	10	61,5	16.00	15	11	57,7
03.30	16	10	61,5	16.30	15	11	57,7
04.00	16	10	61,5	17.00	15	11	57,7
04.30	16	10	61,5	17.30	15	11	57,7
05.00	16	10	61,5	18.00	15	11	57,7
05.30	16	10	61,5	18.15	15	11	57,7
06.00	16	10	61,5	18.30	15	11	57,7
06.30	16	10	61,5	18.45	15	11	57,7
07.00	16	10	61,5	19.00	15	11	57,7
07.30	16	10	61,5	19.15	15	11	57,7
08.00	16	10	61,5	19.30	15	11	57,7
08.30	16	10	61,5	19.45	15	11	57,7
09.00	16	10	61,5	20.00	15	11	57,7
09.30	15	11	57,7	20.30	15	11	57,7
10.00	15	11	57,7	21.00	15	11	57,7
10.30	15	11	57,7	21.30	15	11	57,7
11.00	15	11	57,7	22.00	15	11	57,7
11.30	15	11	57,7	22.30	16	10	61,5
12.00	15	11	57,7	23.00	16	10	61,5
12.30	16	10	61,5	23.30	16	10	61,5
13.00	16	10	61,5	24.00	16	10	61,5

TABEL 5. HASIL PERHITUGAN RANGE, APPROACH DAN EFEKTIVITAS PENDINGIN TANGGAL 10 JANUARI

Pukul	Range	Approach	Efektivitas Pendingin	Pukul	Range	Approach	Efektivitas Pendingin
00.30	16	10	61,5	13.30	16	10	61,5
01.00	16	10	61,5	14.00	16	10	61,5
01.30	16	10	61,5	14.30	16	10	61,5
02.00	15	11	57,7	15.00	16	10	61,5
02.30	15	11	57,7	15.30	16	10	61,5
03.00	15	11	57,7	16.00	16	10	61,5
03.30	15	11	57,7	16.30	16	10	61,5
04.00	15	11	57,7	17.00	16	10	61,5
04.30	15	11	57,7	17.30	16	10	61,5
05.00	15	11	57,7	18.00	15	11	57,7
05.30	15	11	57,7	18.15	15	11	57,7
06.00	15	11	57,7	18.30	15	11	57,7
06.30	15	11	57,7	18.45	15	11	57,7
07.00	15	11	57,7	19.00	15	11	57,7
07.30	15	11	57,7	19.15	15	11	57,7
08.00	15	11	57,7	19.30	15	11	57,7
08.30	15	11	57,7	19.45	16	10	61,5
09.00	15	11	57,7	20.00	16	10	61,5
09.30	15	11	57,7	20.30	15	11	57,7
10.00	15	11	57,7	21.00	15	11	57,7
10.30	15	11	57,7	21.30	15	11	57,7
11.00	15	11	57,7	22.00	15	11	57,7
11.30	15	11	57,7	22.30	15	11	57,7
12.00	15	11	57,7	23.00	15	11	57,7
12.30	15	11	57,7	23.30	15	11	57,7
13.00	16	10	61,5	24.00	15	11	57,7

B. Karakteristik hasil Perhitungan Range, Approach dan Efektivitas Pendingin

Dari hasil perhitungan data range, approach dan efektivitas pendingin yang telah didapat, maka bisa disimpulkan ke dalam grafik karakteristiknya sebagai berikut.

Berdasarkan hasil grafik pada gambar 2, dapat kita simpulkan hasil perhitungan range terendah berada pada suhu 15°C dan range tertinggi berada pada suhu 16°C, hal tersebut menyatakan bahwa performa menara pendingin masih bagus karena nilai range yang dihasilkan >5°C yang menyatakan cooling tower tersebut masih efektif untuk digunakan. Dan melalui perhitungan menggunakan metode approach menghasilkan temperatur terendah berada pada suhu 10°C dan temperatur tertinggi berada pada suhu 11°C, hal tersebut menyatakan bahwa nilai dari perhitungan temperatur approach telah memenuhi batas standar OEE (Overall Equipment effectiveness) yaitu sebesar 7.8°C. Serta dari hasil perhitungan menggunakan metode efektivitas pendingin didapatkan nilai terendah yaitu 57,7% dan nilai tertinggi berada pada nilai 61,5%, semakin tinggi persentase efisiensi pendinginan cooling tower, maka performa dari cooling tower juga semakin baik.

Berdasarkan hasil grafik pada gambar 3, dapat kita simpulkan hasil perhitungan range terendah berada pada suhu 15°C dan range tertinggi berada pada suhu 16°C, hal tersebut menyatakan bahwa performa menara pendingin masih bagus karena nilai range yang dihasilkan >5°C yang menyatakan cooling tower tersebut masih efektif untuk digunakan. Dan melalui perhitungan menggunakan metode approach menghasilkan temperatur terendah berada pada suhu 11°C hal tersebut menyatakan bahwa nilai yang dihasilkan dari perhitungan temperatur approach telah memenuhi batas standar OEE (Overall Equipment effectiveness) yaitu sebesar 7.8°C. Serta dari hasil perhitungan menggunakan metode efektivitas pendingin didapatkan nilai terendah yaitu 57,7% dan nilai tertinggi berada pada nilai 61,5%. semakin tinggi persentase efisiensi pendinginan cooling tower, maka performa dari cooling tower juga semakin baik.

C. Analisis Performa dari Generator

Analisis daya keluaran generator diperlukan untuk menganalisis seberapa besar daya yang dihasilkan generator berdasarkan kebutuhan PLTP Lahendong.

1. Daya Reaktif

$$Q = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \sin \phi$$

$$Q = \sqrt{3} \cdot 11400 \cdot 912 \cdot 0,31$$

$$Q = 6 \text{ MVAR}$$

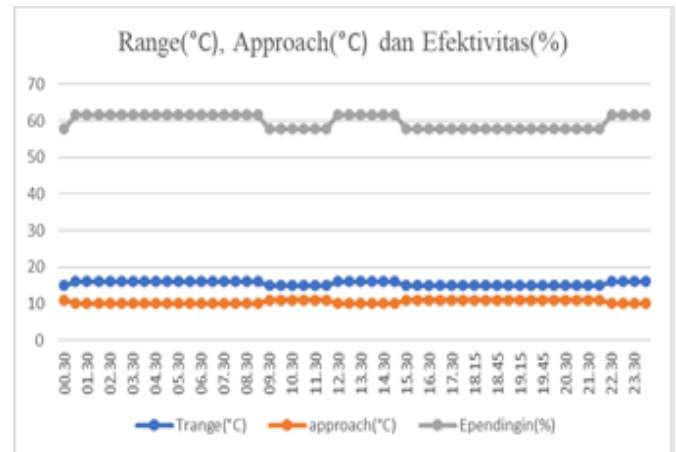
2. Daya Semu

$$S = \sqrt{3} \times V \times I$$

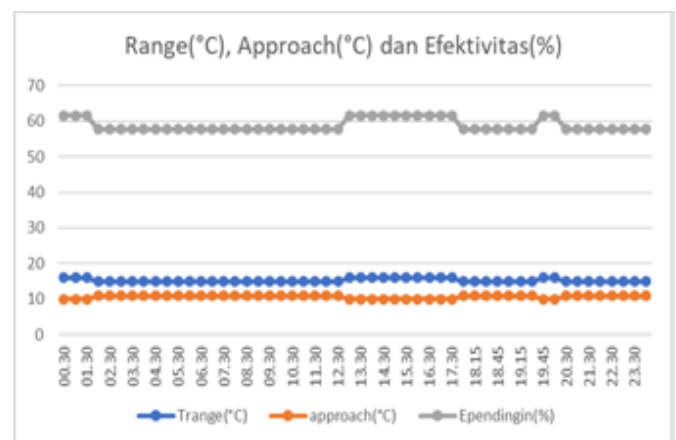
$$S = \sqrt{3} \times 11400 \times 912$$

$$S = 18 \text{ MVA}$$

Berdasarkan hasil perhitungan daya reaktif dan daya semu tersebut, maka dapat disimpulkan hasil perhitungannya pada tanggal 9 dan 10 januari beserta dengan daya aktif dan temperatur yang dihasilkan oleh cooling tower yang telah didapatkan datanya dari PLTP Lahendong unit 2 dalam tabel berikut.



Gambar 2. Karakteristik Range, Approach dan Efektivitas Tanggal 09



Gambar 3. Karakteristik Range, Approach dan Efektivitas Tanggal 10

Table 1. Daya Keluaran Generator Beserta Cooling Tower Tanggal 09

Pukul	Daya Aktif	Daya Reaktif	Daya Semu	Temperatur air	Pukul	Daya Aktif	Daya reaktif	Daya Semu	Temperatur air
00.30	17	17	5	33	13.30	17	18	4	33
01.00	17	17	5	32	14.00	17	18	4	33
01.30	17	17	5	32	14.30	17	18	3	33
02.00	17	17	5	32	15.00	17	18	2	33
02.30	17	17	5	32	15.30	17	17	2	33
03.00	17	17	5	32	16.00	17	17	2	33
03.30	17	17	5	32	16.30	17	17	2	33
04.00	17	17	5	32	17.00	17	17	2	33
04.30	17	18	5	32	17.30	17	17	2	33
05.00	17	18	5	32	18.00	17	17	2	33
05.30	17	17	5	32	18.15	17	17	2	33
06.00	17	17	4	32	18.30	17	17	2	33
06.30	17	17	3	32	18.45	17	17	2	33
07.00	17	17	3	32	19.00	17	17	2	33
07.30	17	17	2	32	19.15	17	17	2	33
08.00	17	17	2	32	19.30	17	17	2	33
08.30	17	17	2	32	19.45	17	17	2	33
09.00	17	17	2	32	20.00	17	17	2	33
09.30	17	17	2	33	20.30	17	17	2	33
10.00	17	17	2	33	21.00	17	17	2	33
10.30	17	18	5	33	21.30	17	17	2	33
11.00	17	18	5	33	22.00	17	17	2	33
11.30	17	18	4	33	22.30	17	17	2	33
12.00	17	18	4	33	23.00	17	17	2	33
12.30	17	18	4	33	23.30	17	17	2	33
13.00	17	18	4	33	24.00	17	17	2	33

Table 2. Daya Keluaran Generator Beserta Cooling Tower Tanggal 10

Pukul	Daya Aktif	Daya Reaktif	Daya Semu	Temperatur air	Pukul	Daya Aktif	Daya Reaktif	Daya Semu	Temperatur air
00.30	17	17	3	33	13.30	17	17	2	33
01.00	17	17	3	33	14.00	17	17	2	33
01.30	17	17	2	33	14.30	17	17	2	33
02.00	17	17	2	33	15.00	17	17	2	33
02.30	17	17	2	33	15.30	17	17	2	33
03.00	17	17	2	33	16.00	17	17	2	33
03.30	17	17	2	33	16.30	17	17	2	33
04.00	17	17	2	33	17.00	17	17	2	33
04.30	17	17	2	33	17.30	17	17	2	33
05.00	17	17	2	33	18.00	17	17	2	33
05.30	17	17	2	33	18.15	17	17	2	33
06.00	17	19	3	33	18.30	17	17	4	33
06.30	17	17	2	33	18.45	17	17	4	33
07.00	17	17	2	33	19.00	17	17	4	33
07.30	17	17	2	33	19.15	17	17	5	33
08.00	17	17	2	33	19.30	17	17	5	33
08.30	17	17	2	33	19.45	17	18	5	32
09.00	17	17	2	33	20.00	17	17	5	32
09.30	17	17	2	33	20.30	17	18	6	32
10.00	17	17	2	33	21.00	17	18	6	32
10.30	17	17	2	33	21.30	17	19	7	32
11.00	17	17	2	33	22.00	17	18	7	32
11.30	17	17	2	33	22.30	17	18	6	32
12.00	17	17	2	33	23.00	17	18	6	32
12.30	17	17	2	33	23.30	17	18	7	32
13.00	17	17	2	33	24.00	17	18	7	32

Dari tabel 6,7 menunjukkan hasil daya keluaran generator beserta cooling tower. Dari hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa daya aktif yang dihasilkan oleh generator sangat berkaitan dengan temperatur air yang dihasilkan melalui proses pendingin yang terjadi di cooling tower. Dari hal tersebut membuktikan bahwa kinerja generator sebanding dengan berapa nilai suhu air yang dihasilkan oleh cooling tower yang kemudian dimasukan ke dalam generator. Jadi, semakin bagus kinerja dari cooling tower untuk menurunkan temperatur air yang masuk ke dalamnya maka performa yang dihasilkan oleh generator pun akan semakin baik.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan pada tanggal 9-10 januari 2023, maka dapat kita ambil beberapa kesimpulannya, yaitu:

- 1) Dari hasil analisa yang telah dilakukan, kinerja generator menghasilkan daya keluaran berupa daya aktif, daya reaktif dan daya semu. Dimana daya aktif yang dihasilkan sebesar 17 MW dan daya reaktif yang dihasilkan sebesar 2 sampai 7 MVAR, serta daya semu yang dihasilkan sebesar 17 sampai 21 MVA. Dari hasil analisa tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa performa dari generator masih dalam keadaan baik.
- 2) Dari hasil analisa yang telah dilakukan, performa cooling tower dapat ditunjukkan dari beberapa parameter perhitungan yaitu dengan range, approach dan efektivitas pendinginan. Dimana perhitungan dari range menghasilkan nilai temperatur sebesar 15°C sampai 19°C, hal ini menunjukkan performanya masih bagus. Dan approach menghasilkan nilai temperatur sebesar 8°C sampai 12°C, hal ini menyatakan performanya masih bagus dan menyatakan nilai standar OEE (Overall Equipment effectiveness) yaitu sebesar 7.8°C telah tercapai. Serta efektivitas pendinginan

menghasilkan nilai efektivitas sebesar 57,7% sampai 70,4%, angka tersebut menunjukkan efektivitas menara pendingin masih baik dan layak untuk digunakan, namun belum memenuhi standar OEE (Overall Equipment effectiveness) dalam kinerjanya yaitu sebesar >95%, namun memenuhi dari batas normal desain PLTP Lahendong yaitu dengan hasil pendinginan <36°C. Maka dari hasil yang diperoleh, cooling tower unit 2 PLTP Lahendong masih layak untuk digunakan sebagai media pendinginan bagi generator.

- 3) Dari analisa yang telah dilakukan, kinerja cooling tower akan dinyatakan bagus untuk mendinginkan generator apabila hasil pendinginan yang terjadi pada cooling tower memiliki rentan suhu di bawah 36°C.

B. Saran

Pembahasan dan hasil untuk nilai yang telah didapatkan baik range, approach dan efektivitas pendinginan pada cooling tower dan hasil kinerja generator pada PLTP Lahendong, diharapkan dapat menjadi referensi dan bahan penelitian serta bisa digunakan ke dalam pembangkit atau industri lainnya.

V. KUTIPAN

- [1] N. P. Pratiwi, G. Nugroho, N. L. Hamidah, and J. A. R. Hakim, "ANALISA KINERJA COOLING TOWER INDUCED DRAFT TIPE LBC W-300 TERHADAP PENGARUH TEMPERATUR LINGKUNGAN," vol. 7, no. 7, 2014.
- [2] A. Effendi and R. Wirza, "PERENCANAAN SISTEM SCADA COOLING TOWER MENGGUNAKAN SIEMENS SIMATIC STEP 7 DAN WINCC," 2013.
- [3] D. Oleh, "MUHAMMAD FAJAR KEKE RIZKI ANANDA 1507220094".
- [4] G. J. Samola, L. S. Patras, and G. M. C. Mangindaan, "Analisa Sistem Pendingin Berdasarkan Besar Daya Lisrik Yang Di Bangkikan Pada PLTP Lahendong".
- [5] Z. Anthony, "GENERATOR SINKRON".
- [6] I. Saputra and A. Mursadin, "ANALISIS TEMPERATUR LINGKUNGAN TERHADAP KINERJA COOLING TOWER DI PT. INDOCEMENT TUNGGAL PRAKARSA TBK. P-12 TARJUN KALIMANTAN - SELATAN," 2021.
- [7] Y. Handoyo, "Analisis Performa Cooling Tower LCT 400 Pada P.T. XYZ, Tambun Bekasi".
- [8] I. K. G. Sastrawan and R. Subagyo, "ANALISA PERPINDAHAN PANAS COOLING TOWER (INDUCED DRAFT) PLTU I PULANG PISAU (2 x 60 MW)," *JTAM ROTARY*, vol. 2, no. 2, p. 171, Sep. 2020, doi: 10.20527/jtam_rotary.v2i2.2413.
- [9] F. Zohrariyani and P. D. Permatasari, "STUDI KASUS DRIFT LOSS PADA COOLING TOWER UNIT 3 DI PT. INDONESIA POWER UPJP KAMOJANG UNIT PLTP KAMOJANG".
- [10] A. Muhsin and Z. Pratama, "ANALISIS EFEKTIVITAS MESIN COOLING TOWER MENGGUNAKAN RANGE AND APPROACH," *OPSI*, vol. 11, no. 2, p. 119, Dec. 2018, doi: 10.31315/opsi.v11i2.2552.
- [11] I. N. E. Nugraha, "Penerapan dan Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro dengan Turbin Propeller Open Flume TC 60 dan Generator Sinkron Satu Fasa 100 VA di UPI Bandung".
- [12] A. Tanjung, Z. Maulana, H. Yuwendius, K. Kunci, G. Sinkron, and R. Total, "Analisis Generator Sinkron Unit 2 Akibat Overheating Di Pembangkit Listrik Tenaga Gas MPP Balai Pungut," vol. 7, no. 2, 2023.
- [13] D. Aribowo and D. A. Fauzan, "SISTEM PERAWATAN MESIN GENSET DI PT (PERSERO) PELABUHAN INDONESIA II," vol. 3, 2020.
- [14] R. Ellony Pratama, Atmam, and Usaha Situmeang, "Studi Pengaruh Penguatan Medan Terhadap Tegangan Keluaran Generator Sinkron Satu Fasa," *SainETH*, vol. 3, no. 2, pp. 69–76, Jun. 2019, doi: 10.31849/sainetin.v3i2.3289.
- [15] M. Farhan, "PENGARUH PEMBEBANAN TERHADAP ARUS EKSITASI GENERATOR UNIT 2 PLTMH CURUG," *J. SIMETRIK*,

vol. 11, no. 1, pp. 398–403, Aug. 2021, doi: 10.31959/js.v11i1.653.

- [16] A. Tanjung, “REKONFIGURASI SISTEM DISTRIBUSI 20 KV GARDU INDUK TELUK LEMBU DAN PLTMG LANGGAM POWER UNTUK MENGURANGI RUGI DAYA DAN DROP TEGANGAN,” vol. 11, no. 2, 2014.



Bryan Jeremy Assa, penulis adalah anak pertama dari dua bersaudara, lahir di Ritey, kecamatan amurang timur, provinsi sulawesi utara pada tanggal 15 januari 2002. Penulis menempuh pendidikan pertama di sekolah Taman Kanak-kanak Desa Ritey pada tahun 2006 sampai tahun 2007, kemudian melanjutkan pendidikan di sekolah dasar Sekolah Dasar GMIM Ritey pada tahun 2007 sampai tahun 2013. Setelah itu penulis masuk ke Sekolah Menengah Pertama Negeri 1 Amurang pada tahun 2013 sampai tahun 2016, kemudian melanjutkan pendidikan di Sekolah Menengah Atas Negeri 1 Amurang pada tahun 2016 hingga lulus di tahun 2019. Kemudian pada tahun 2019, penulis memulai jenjang pendidikan di Universitas Sam Ratulangi, Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Elektro dengan mengambil Konsentrasi Minat Teknik Tenaga Listrik pada tahun 2021. Dalam menempuh pendidikan, penulis pernah melaksanakan Kerja Praktek di PT. Pertamina Geothermal Energy Lahendong pada bulan april hingga bulan juni 2022, dan tergabung dalam kepengurusan organisasi Himpunan Mahasiswa Elektro.