

ANALISA KOEFISIEN PRESTASI (COP) MESIN PENDINGIN PADA *POWER HOUSE*

Analysis of Coefficient of Performance (COP) of Cooling Machine in *Power house*

Jefri Fanto Aritonang, Yovan Witanto, Zuliantoni

Program Studi Teknik Mesin, ²Dosen Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik,
Universitas Bengkulu

Jl. W.R. Supratman, Kandang Limun, Bengkulu. Telp. (0736) 344087, 22105-227

*) Email: Aritonangjefri11@gmail.co.id

ABSTRACT

Refrigeration machines that cool water are called chillers. Chillers are air conditioners with an indirect cooling system. In this indirect cooling system, the refrigeration machine does not directly cool the air in each room. The refrigeration machine cools the demin water first, then the cold demin water is used to cool the air in the room. Cold demin water as a cooling medium to reduce the temperature of a large space in the Power house. In this study, an Analysis of the Coefficient of Performance (COP) of the Cooler in the Power house was conducted. The data taken for this study were the temperature of the refrigerant when it was released from the expansion valve ($T_4 = 0^\circ\text{C}$), the temperature when it was released from the evaporator ($T_1 = 9^\circ\text{C}$) and the temperature when it was released from the compressor ($T_2 = 77^\circ\text{C}$). At T_4 the enthalpy value (h_4) was obtained as 204.81 kJ/kg, at T_1 the enthalpy value h_1 was 253.025 kJ/kg, at T_2 the enthalpy value (h_2) was 263.582 kJ/kg. Thus, the coefficient of performance (COP) obtained was 4.567.

Keywords: Cooling system, Coefficient of performance

1. PENDAHULUAN

PLTA Musi memiliki 3 buah turbin dengan daya terpasang sebesar 70 MW setiap turbinnya. *Power house* merupakan rumah pembangkit bagi mesin yang terletak di bawah tanah berisikan alat-alat utama pembangkit yaitu turbin, trafo, generator, dan lain-lain. *Power house* berada pada ± 400 meter dibawah permukaan tanah bahkan harus melewati terowongan sepanjang 1,3 kilometer untuk sampai ke dalam sehingga udara pada *power house* sedikit pengap karena asupan oksigen yang menipis dan suhu didalam *power house* sangat panas. Sehingga untuk menghilangkan suhu panas yang ada pada *power house* tersebut dibutuhkan sistem pendinginan ruangan. Sistem pendingin ruangan yang di gunakan pada *Power house*, yaitu AC type RCUG120WHYZ-E [1].

Mesin pendingin merupakan peralatan yang dijumpai di perkantoran, gedung, dan di rumah tangga. Mesin ini berfungsi sebagai refrigerator, freezer, chiller baik untuk kebutuhan Air Conditioning (AC) maupun untuk menunjang proses produksi. Sistem pengkondisi udara pada mesin chiller ini merupakan sistem pendinginan tidak langsung [2]. Pada sistem pendinginan tidak langsung ini, mesin refrigerasi tidak langsung mendinginkan udara di setiap ruangan. Mesin refrigerasi mendinginkan air demin terlebih dahulu, kemudian air demin yang sudah dingin ini digunakan untuk mendinginkan udara di ruangan menggunakan Air Handling Unit (AHU) [3]. Sistem refrigerasi yang paling sederhana memiliki komponen utama yaitu kompresor kondensor, katup ekspansi, dan evaporator untuk mendapatkan suhu udara yang sesuai dengan yang diinginkan [4]. banyak alternatif yang dapat diterapkan, diantaranya adalah dengan menaikkan koefisien perpindahan kalor kondensasi dan dengan menambahkan kecepatan udara pendingin pada kondensor sehingga akan diperoleh harga koefisien unjuk kerja yang lebih besar.

Sistem pengkondisi udara merupakan sistem pendinginan tidak langsung. Pada sistem pendinginan tidak langsung ini, mesin refrigerasi tidak langsung mendinginkan udara di setiap ruangan. Mesin refrigerasi mendinginkan air demin dengan menggunakan *freon-22* (R22) di evaporator akan tetapi *freon-22* (R22) didinginkan oleh air sungai dikondensor terlebih dahulu, kemudian air demin yang sudah dingin ini digunakan untuk mendinginkan udara di ruangan melalui Air Handling Unit (AHU). Untuk mengetahui koefisien prestasi pada sistem pendingin pada *power house* (PH) PLTA Musi, perlu dilakukan analisa koefisien prestasi (COP) pada unit sistem pendingin pada *power house* (PH) [3].

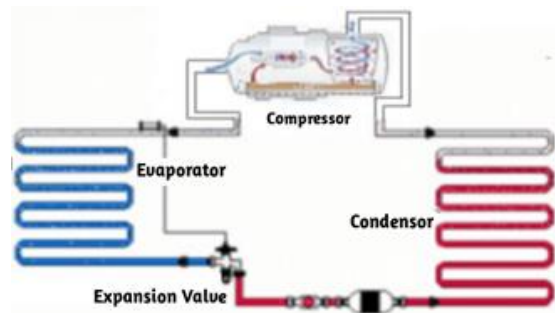
2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Pendingin

Sistem pendingin adalah suatu komponen atau alat yang berfungsi untuk mendinginkan lingkungan kerja mesin yang berada di sekitarnya. Sistem pendingin menyerap panas mesin lalu didinginkan dengan bantuan media air atau udara yang berada didalamnya.

Mesin pendingin adalah suatu peralatan yang digunakan untuk mendinginkan air, atau peralatan yang berfungsi untuk memindahkan panas dari suatu tempat yang temperaturnya lebih tinggi. Di dalam sistem pendinginan dalam menjaga temperatur rendah memerlukan pembuangan kalor dari produk pada temperatur rendah ke tempat pembuangan kalor yang lebih tinggi. Siklus refrigerasi kompresi mengambil keuntungan dari kenyataan bahwa fluida yang bertekanan tinggi pada suhu tertentu cenderung menjadi lebih dingin jika dibiarkan mengembang.

Refrigerasi merupakan suatu proses penarikan kalor dari suatu benda/ruangan ke lingkungan sehingga temperatur benda/ruangan tersebut lebih rendah dari temperatur lingkungannya. Sesuai dengan konsep kekekalan energi, panas tidak dapat dimusnahkan tetapi dapat dipindahkan. Sehingga refrigerasi selalu berhubungan dengan proses-proses aliran panas dan perpindahan panas [3].



Gambar 1 Siklus Pendinginan (*Refrigerasi*)

2.2 Komponen Sistem Pendingin

Sistem pendingin pada kendaraan atau mesin berfungsi untuk menjaga suhu mesin agar tetap stabil dan mencegah mesin dari panas berlebih yang dapat merusak komponen internal. Berikut adalah komponen utama dalam sistem pendingin

a. Kompresor

Kompresor merupakan bagian terpenting dari sistem refrigerasi. Pada tubuh manusia kompresor dapat diumpamakan sebagai jantung yang memompa darah keseluruh tubuh kita. Sedangkan kompresor menekan refrigeran ke semua bagian dari sistem. Pada sistem refrigerasi kompresor bekerja membuat perbedaan tekanan, sehingga refrigeran dapat mengalir dari satu bagian ke lain bagian dari sistem. Karena adanya perbedaan tekanan antara sisi tekanan tinggi dan sisi tekanan rendah, maka refrigeran cair dapat mengalir melalui alat ekspansi ke evaporator.

b. Evaporator

Evaporator merupakan suatu alat yang memiliki fungsi untuk mengubah keseluruhan atau sebagian suatu pelarut dari sebuah larutan berbentuk cair menjadi uap sehingga hanya menyisakan larutan yang lebih padat atau kental, proses yang terjadi di dalam evaporator disebut dengan evaporasi. Fungsi dari evaporator adalah untuk menyerap panas dari udara atau benda di dalam ruangan yang didinginkan. Kemudian membuang kalor tersebut melalui kondensor di ruang yang tidak didinginkan. Kompresor yang sedang bekerja menghisap refrigeran gas dari evaporator, sehingga tekanan di dalam evaporator menjadi rendah^[5]. Evaporator fungsinya kebalikan dari kondensor.

c. Kondensor

Kondensor gunanya untuk membuang kalor dan mengubah wujud refrigeran dari gas menjadi cair. Refrigeran di dalam Kondensor dapat mengeluarkan kalor yang diserap dari evaporator dan panas yang ditambahkan oleh kompresor. Kondensor ditempatkan antara kompresor dan alat ekspansi, jadi pada sisi tekanan tinggi dari sistem. Kondensor ditempatkan di luar ruangan yang sedang didinginkan, agar dapat membuang panasnya ke luar kepada media pendinginnya.

d. Katup Ekspansi

Katup ekspansi adalah komponen yang berfungsi untuk menghambat aliran fluida sehingga tekanan sebelum katup ekspansi menjadi tinggi dan setelah katup ekspansi menjadi rendah. Katup ekspansi biasanya digunakan dalam sistem refrigerasi kompresi uap (SRKU). Refrigeran pada SRKU dapat mengalir di pipa karena adanya kompresor. Kemudian, pipa ini disambungkan ke katup ekspansi sehingga aliran refrigeran ini menjadi terhambat. Tekanan tinggi pada refrigeran terjadi sebelum melewati katup ekspansi.

Sebaliknya tekanan rendah terjadi setelah melewati katup ekspansi. Katup ekspansi bekerjanya atas dasar:

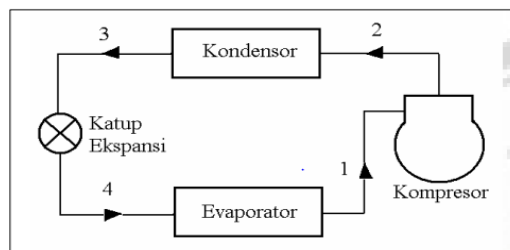
- 1) Perubahan tekanan,
- 2) Perubahan suhu,
- 3) Perubahan jumlah atau volume refrigeran,
- 4) Gabungan dari perubahan tekanan, suhu dan volume dan refrigeran.

e. AHU

Air Handling Unit atau yang juga dikenal dengan AHU merupakan unit penanganan udara yang digunakan untuk mengatur dan memproses udara sebelum disalurkan ke gedung atau ruangan-ruangan yang akan dikondisikan. AHU sendiri terdiri dari beberapa komponen atau mesin yang masing-masing memiliki fungsi berbeda sehingga membentuk suatu sistem tata udara yang dapat mengontrol temperatur. Prinsip kerja secara umum pada pendingin udara yang menggunakan sistem AHU ini adalah menyedot udara dari ruangan (*return air*) yang kemudian dicampur dengan udara segar dari lingkungan (*fresh air*) dengan komposisi yang bisa diubah-ubah sesuai keinginan. Campuran udara tersebut masuk menuju AHU melewati filter, *fan* sentrifugal dan koil pendingin. Udara menjadi dingin setelah melewati koil. Setelah itu udara yang telah mengalami penurunan temperatur (udara terkondisi) didistribusikan secara merata ke setiap ruangan melewati saluran[1].

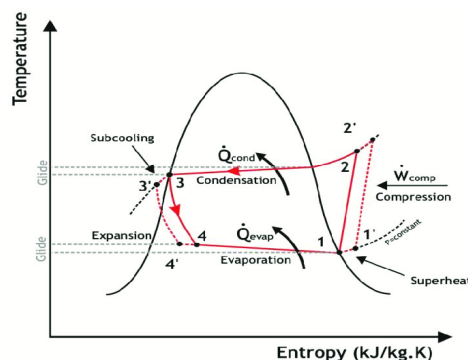
2.3 Sistem Refrigerasi Kompresi Uap Standar

Sistem kompresi gas atau uap merupakan mesin refrigerasi yang berisi fluida penukar kalor (refrigerant) yang bersirkulasi terus menerus. Selama bersirkulasi di dalam unitnya maka refrigerant tersebut akan selalu mengalami perubahan wujud dari gas ke liquid dan kembali ke gas. Proses tersebut berlangsung pada suhu dan tekanan yang berbeda, yaitu tekanan tinggi dan pada tekanan rendah. Tekanan tinggi diperoleh karena adanya efek kompresi, yang dikerjakan oleh kompresor. Oleh karena itu sistem refrigerasi ini lazim disebut sebagai sistem kompresi gas atau uap [6].



Gambar 2 Siklus sistem refrigerasi kompresi uap

Dengan bantuan diagram entalpi tekanan, besaran yang penting dalam daur kompresi uap dapat diketahui. Besaran-besaran ini adalah kerja kompresi, laju pengeluaran kalor, dampak refrigerasi, koefisien unjuk kerja (COP), laju alir massa untuk setiap kilowatt refrigerasi, dan daya per kilowatt refrigerasi [7].



Gambar 3 Diagram T-S Sistem Pendingin

Keterangan :

a. Proses 1-2

Refrigeran meninggalkan evaporator dalam fase uap jenuh dengan temperatur dan tekanan rendah, kemudian

oleh masuk ke kompresor melalui suction line, dikompresikan di dalam silinder kompresor sehingga temperatur dan tekanan uap refrigeran mengalami kenaikan. (Isentropik).

b. Proses 2-3

Setelah mengalami proses kompresi, refrigeran berada pada fase uap panas dengan tekanan dan temperatur tinggi. Untuk mengubah wujud menjadi cair (kondensasi), kalor harus dilepaskan ke lingkungan (Isobaris).

c. Proses 3-4

Setelah mengalami proses kondensasi refrigeran berubah fase menjadi cair namun masih tetap dengan keadaan temperatur dan tekanan tinggi kemudian masuk ke alat ekspansi untuk diturunkan tekanannya sehingga fase refrigeran menjadi fase campuran gas dan cair dan proses ini terjadi pada enthalpy konstan.

d. Proses 4-1

Refrigeran fase campuran antara cair dan uap dengan tekanan dan temperatur rendah masuk evaporator menyerap kalor dari ruangan atau media yang akan didinginkan. Dengan adanya penyerapan kalor ini maka diharapkan refrigeran sepenuhnya berubah fase menjadi uap panas lanjut.

Diagram tekanan entalpi siklus kompresi uap dapat di gunakan untuk menganalisa unjuk kerja mesin mesin pendingin kompresi uap yaitu meliputi:

a. Kerja Kompresor(W_{in})

Kerja kompresor persatuan massa refrigerant merupakan perubahan entalpi yang terjadi dalam sistem kompresi uap dan di gambarkan pada diagram P-h, perubahan ini terjadi di titik 1-2. Kerja kompresor persatuan massa dapat di hitung pada persamaan(2.1):

$$W_{in} = h_2 - h_1 \dots\dots\dots(2.1)$$

b. Energi Kalor yang di lepas oleh Kondensor (Q_{out})

Energi kalor per satuan massa *refrigerant* yang di lepas oleh kondensor merupakan perubahan enthalpi yang terjadi pada titik 2 – 3. Perubahan energi ini dapat dihitung menggunakan persamaan (2.2):

$$Q_{out} = h_2 - h_3 \dots\dots\dots(2.2)$$

c. Energi Kalor yang di lepas oleh Evaporator (Q_{in})

Energi kalor yang di serap evaporator merupakan perubahan enthalpi yang terjadi pada titik 4–1. Perubahan energi ini dapat dihitung menggunakan persamaan (2.3):

$$Q_{in} = h_1 - h_4 \dots\dots\dots 2.3)$$

d. Koefisien Unjuk Kerja (COP)

Koefisien unjuk kerja siklus kompresi uap standar yaitu perbandngan antara kalor yang di serap evaporator (Q_{in}) dengan kerja yang di berikan oleh kompresor W_{in} . Dapat di hitung menggunakan persamaan (2.4)

$$(COP) = \frac{Q_{in}}{W_{in}} \dots\dots\dots(2.4)$$

3. METODOLOGI

Proses pengambilan data yang berhubungan kinerja mesin pendingin pada *power house* meliputi :

a) Observasi

Observasi merupakan proses pertama yang dilakukan pada penelitian ini karena penelitian ini termasuk ragam penelitian empiris dimana terdapat studi kasus dan studi di lapangan. Observasi penelitian ini dilakukan di PLTA Musi milik PT. PLN (Persero) Sektor Pembangkitan Bengkulu. Dengan objek observasi mesin pendingin pada *power house*.

b) Studi Literatur

Teori serta konsep penelitian yang dikembangkan dan berkaitan dengan masalah yang dihadapi di lapangan sebagai dasar menuju tahapan selanjutnya. Dalam hal ini, studi literatur dilakukan dengan mempelajari teori–teori yang akan digunakan untuk mencapai tujuan penelitian yang hendak dicapai. Studi literatur ini diperoleh dari berbagai sumber antara lain bahan teori dasar PLTA Musi, serta beberapa jurnal dan buku yang sesuai.

c) Pengamatan

Pengamatan merupakan prosedur yang sistematis dan standar untuk memperoleh data yang diperlukan. Hasil dari pengamatan adalah data sistem kerja mesin pendingin pada *power house*.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Lapangan

Data lapangan yang diperoleh pada mesin pendingin tanggal 09 September 2021 dapat dilihat pada Tabel 1.

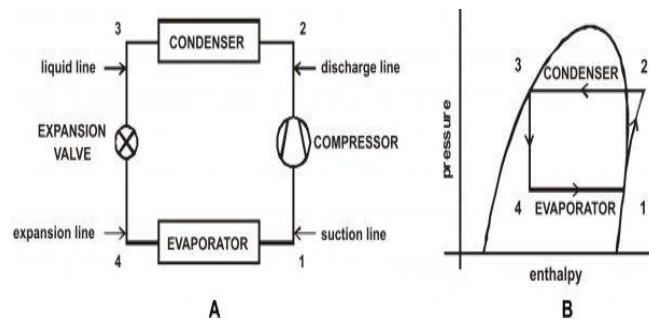
Tabel 1 Data Pengujian

	Temperatur
T_1	9.0°C
T_2	77°C
T_4	0°C

4.2 Hasil Perhitungan

Perhitungan koefisien prestasi sistem pendingin yang digunakan pada *Power house* (PH) yaitu :

$$\text{COP} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}$$



Gambar 4 Skema Perhitungan

Diketahui:

$$T_1 = 9,0^{\circ}\text{C}$$

$$T_2 = 77^{\circ}\text{C}$$

$$T_4 = 0^{\circ}\text{C}$$

a) Point 1

Pada *point 1* mencari nilai h_1 yang didapatkan dari tabel A-7 buku Moran pada halaman 901 yaitu:

$$T_1 = 9,0^{\circ}\text{C}$$

Besar entalpi yang didapatkan dengan interpolasi pada temperatur 8°C - 10°C, dari tabel A-7 didapatkan

Tabel 2 Data Point 1

Ket T	T (°C)	Ket (h)	h ($\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$)
T_a	8	h_a	252.70
T_1	9	h_1	h_1
T_b	10	h_b	253.35

Rumus Interpolasi :

$$\frac{T_1 - T_a}{T_b - T_a} = \frac{h_1 - h_a}{h_b - h_a}$$

$$\frac{(9 - 8)^{\circ}\text{C}}{(10 - 8)^{\circ}\text{C}} = \frac{(h_1 - 252.70 \text{ kJ/kg})}{(253.35 - 252.70) \text{ kJ/kg}}$$

$$\frac{1}{2} = \frac{(h_1 - 252.70 \text{ kJ/kg})}{0.65 \text{ kJ/kg}}$$

$$0.325 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = (h_1 - 252.70 \text{ kJ/kg})$$

$$0.325 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = (h_1 - 252.70 \text{ kJ/kg})$$

$$h_1 = 0.325 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} + 252.70 \text{ kJ/kg}$$

$$h_1 = 253.025 \text{ kJ/kg}$$

Besar entalpi pada $T_1 = 9.0^\circ\text{C}$ di dapatkan sebesar 253.025 kJ/kg

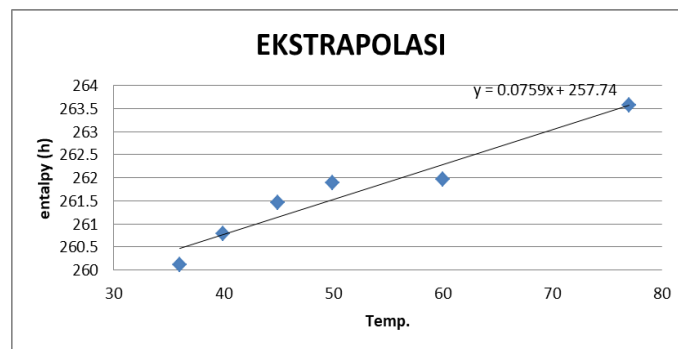
b) *Point 2*

Pada *point 2* mencari nilai h_2 dengan menggunakan *Ekstrapolasi*

$T_2 = 77^\circ\text{C}$

Tabel 3 Data *Ekstrapolasi point 2*

T2	h2
36	260.11
40	260.79
45	261.46
50	261.9
60	261.96
77	263.582



Gambar 5 Grafik hubungan antara temperatur terhadap enthalpy

Sehingga Didapatkan nilai Ekstrapolasi pada temperature 77°C adalah 263.582 kJ/kg

c) *Point 3*

Pada *point 3* temperatur *freon R-22* setelah melewati katup ekspansi menuju evaporator dari Data operasi didapatkan: $T_4 = 0.0^\circ\text{C}$

Besar entalpi yang didapatkan dari buku moran halaman 901 pada tabel A-7 yaitu:

Tabel 4 Data Point 3

Ket T	T ($^\circ\text{C}$)	Ket h	h (kJ/kg)
T_4	0	h_4	204.81

Besar entalpi pada $T_4 = 0.0^\circ\text{C}$ di dapatkan sebesar 204.81 kJ/kg

$$COP = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}$$

$$COP = \frac{253.025 \text{ kJ/kg} - 204.81 \text{ kJ/kg}}{263.582 \text{ kJ/kg} - 253.025 \text{ kJ/kg}}$$

$$COP = 4.567$$

Nilai COP aktual dari perhitungan sebesar 4.567 dimana hasil ini lebih tinggi dari COP spesifikasi mesin yaitu 4,47. COP yang lebih tinggi berarti efisiensi energi yang lebih besar^[8]. Nilai COP yang lebih besar menunjukkan sistem pendingin lebih hemat energi. Nilai COP dipengaruhi oleh kinerja evaporator yang melayani AHU. Ini berarti tingginya nilai COP tergantung dari pengoperasian AHU pada saat data diambil.

5. KESIMPULAN

Sistem pendingin yang digunakan pada PLTA MUSI untuk mendinginkan *Power house* menggunakan model RCUG120WHYZ-E dengan siklus tertutup dan menggunakan media pendingin yaitu air demin dan *freon* R22. Komponen yang ada pada sistem pendingin ini ada kompresor dengan tipe *screw*, ada kondensator dengan tipe *shell and tube*, ada evaporator dengan tipe *shell and tube*, lalu air handling unit (AHU). Kondensator untuk mendingin *freon* R22 dengan menggunakan air sungai. Dimana air sungai masuk ke dalam *tube* kondensator kemudian *freon* R22 masuk kesisi *shell* kondensator. Evaporator untuk mendinginkan air demin menggunakan *Freon* R22. Air demin yang masuk kedalam *shell* evaporator sedangkan *freon* R22 masuk ke sisi *tube* evaporator. Nilai COP aktual dari perhitungan sebesar 4.567 dimana hasil ini lebih tinggi dari COP spesifikasi mesin yaitu 4,47. COP yang lebih tinggi berarti efisiensi energi yang lebih besar. Nilai COP dipengaruhi oleh kinerja evaporator yang melayani AHU. Ini berarti tingginya nilai COP tergantung dari pengoperasian AHU pada saat data diambil.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Daikin. (2020, Agustus 18). *High COP & EER Value*. Retrieved April 27,2022, from Daikin.co.id: <https://www.daikin.co.id/high-cop-eer-value>
- [2] Indojoya, P. (2020, September 1). *Alasan Mengapa Freon R22 Perlu Digantidengan Tipe Baru*. Retrieved April 26,2022, from Binaindojaya.com: <https://www.binaindojaya.com/alasan-mengapa-freon-r22-perlu-diganti-dengan-tipe-baru#:~:text=Menipiskan%20Lapisan%20Ozon&text=Nah%20melalui%20penggunaan%20freon%20R22,produksi%2C%20lingkungan%20akan%20sema kin%20tercemar.>
- [3] Karyanto, E. P. (2005). *Teknik Mesin Pendingin*. Jakarta: CV. Restu Agung.
- [4]. Kencana, K. S. (2017). *Demineralisasi Air. Proses Produksi Air Demin dari Air Laut untuk Pembangkit Listrik Tenaga Uap dengan Teknologi Membran Terintegrasi*, 9.
- [5] Moran, J. (2011). *Fundamentals Of Engineering Thermodynamics*. Jhon Wiley & Sons, Inc.
- [6] PLN.Persero. (2014). *Pengoperasian, Perawatan dan Troubleshooting*. Jakarta: PT. Metropolitan Bayutama.
- [7] Stoecker, W., & Hara, J. J. (1982). *Pendingin Dan Pengkondisian Udara* (2 ed.). Cimahi, Jawa Barat, Indonesia: Erlangga