

# Analisis Optimalisasi Manajemen Daya *Chiller* Untuk Rencana AC Sentral Industri

## *Chiller Power Management Optimization Analysis for Industrial Central AC Planning*

Anggara Trisna Nugraha\*<sup>1</sup>, Mayda Zita Aliem Tiwana<sup>2</sup>, Alwy Muhammad Ravi<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Program Studi Teknik Kelistrikan Kapal, Jurusan Teknik Kelistrikan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.

\*e-mail: [anggaranugraha@ppns.ac.id](mailto:anggaranugraha@ppns.ac.id)<sup>1</sup>, [mayda.zita@student.ppns.ac.id](mailto:mayda.zita@student.ppns.ac.id)<sup>2</sup>, [muhhammad.ravi@student.ppns.ac.id](mailto:muhhammad.ravi@student.ppns.ac.id)<sup>3</sup>

Received:	Revised:	Accepted:	Available online:
14.03.2021	04.04.2021	10.04.2021	16.04.2021

**Abstrak:** Saat ini kebutuhan energi listrik untuk memenuhi kebutuhan rumah tangga, gedung dan industri semakin meningkat yang tidak bisa dipandang sebelah mata. Dengan pertumbuhan penduduk dan pertumbuhan ekonomi, permintaan ini akan terus meningkat. Tentunya karena energi listrik ini digunakan dalam jumlah besar, maka perlu dilakukan peningkatan efisiensinya. Pusat perbelanjaan adalah salah satu pengguna listrik terbesar, terutama dalam hal sistem pendingin. Oleh karena itu, perlu adanya penghematan energi di pusat perbelanjaan. Industri merupakan salah satu pusat perbelanjaan besar yang baru saja dibuka, dan karena penyewa masih sedikit, maka pusat perbelanjaan tersebut masih relatif sepi, sehingga industri perlu menghemat energi karena konsumsi energi yang rendah. Dengan mengoptimalkan power management dan menghitung nilai *coefficient of performance* (COP) *chiller*, maka dapat dibangun pusat perbelanjaan hemat energi pada sistem HVAC (khususnya *chiller*). Melalui analisis didapatkan COP meningkat menjadi 0,584, dan nilai sebelum optimasi sebesar 6,181. Dengan meningkatnya COP, kinerja *chiller* akan meningkat. Efisiensi energi listrik yang dioptimalkan dari cooler adalah 138,82 kWh / hari.

**Kata kunci:** *Coefficient Of Performance (COP), Optimasi manajemen energi, HVAC Water Chiller, efisiensi energi listrik.*

**Abstract:** Currently, the need for electrical energy to meet the needs of households, buildings and industry is increasing which cannot be underestimated. With population growth and economic growth, this demand will continue to increase. Of course, because this electrical energy is used in large quantities, it is necessary to increase its efficiency. Shopping malls are one of the biggest users of electricity, especially when it comes to cooling systems. Therefore, it is necessary to save energy in shopping centers. Industry is one of the large shopping centers that has just opened, and because there are still few tenants, the shopping center is still relatively quiet, so the industry needs to save energy due to low energy consumption. By optimizing power management and calculating the *chiller coefficient of performance* (COP) value, an energy-efficient shopping center can be built on the HVAC system (especially the *chiller*). Through the analysis, it was found that the COP increased to 0.584, and the value before optimization was 6.181. With increasing COP, the *chiller* performance will increase. The optimized electrical energy efficiency of the *chiller* is 138.82 kWh / day.

**Keywords:** *Coefficient Of Performance (COP), Optimization of energy management, HVAC Water Chiller, electrical energy efficiency.*

## 1. PENDAHULUAN

Energi merupakan hal yang sangat penting dibutuhkan dalam jumlah banyak. Hal ini berkaitan dengan pertumbuhan penduduk dan pertumbuhan ekonomi yang berubah tiap tahunnya. Menurut Badan Kependudukan dan Keluarga Berencana Nasional (BKKBN), laju pertumbuhan penduduk Indonesia adalah 1,49% atau kurang lebih empat juta per tahun [1]. Dampak dari pertumbuhan penduduk dan ekonomi salah satunya yaitu, menyebabkan peningkatan permintaan energi. Menurut data Badan Konservasi Energi AS (2012), peningkatan permintaan energi dari tahun 2009 hingga 2019 menunjukkan bahwa pertumbuhan ekonomi dengan pertumbuhan penduduk juga menyebabkan peningkatan permintaan energi nasional, dan menjadikan penggunaan energi sebagai salah satu penyumbang utama untuk biaya operasi [2]. "Industri" adalah salah satu bangunan yang menggunakan sebagian besar energi listrik untuk menjalankan sistem tata udara. Konsumsi energi listrik yang digunakan industri dapat mencapai 30% dari kebutuhan energi listrik

nasional [3] Sehingga, optimalisasi pengelolaan energi listrik pada "pendingin" yang digunakan pada sistem pendingin bangunan perlu dilakukan.

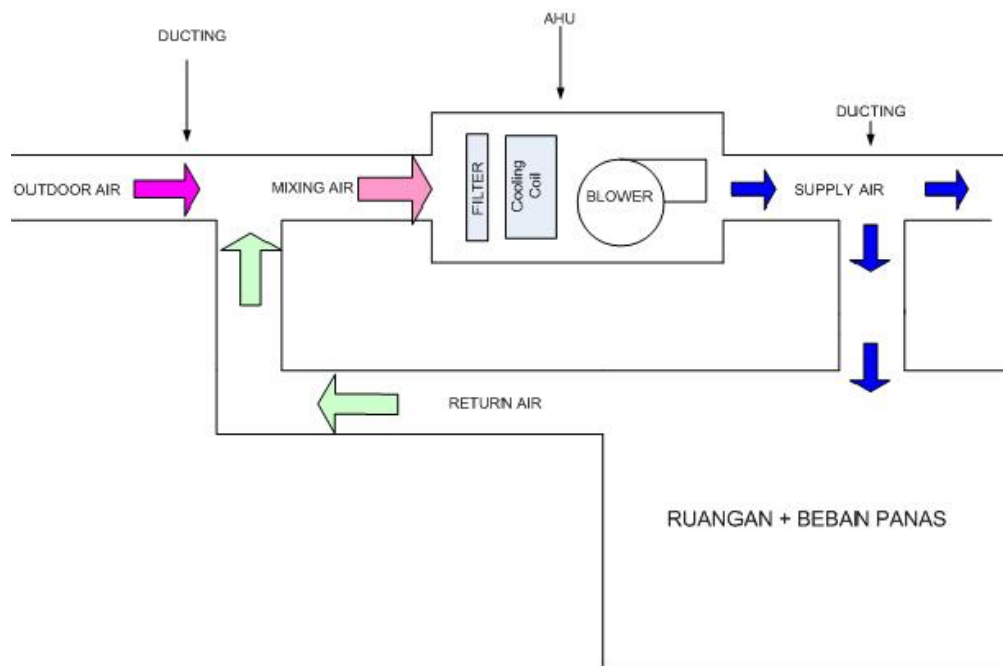
Beberapa bangunan yang membutuhkan banyak energi (terutama listrik) adalah gedung bertingkat, pabrik, rumah sakit, gedung perkantoran dan pusat perbelanjaan [4]. Gedung bertingkat merupakan industri yang termasuk kategori pusat perbelanjaan dan membutuhkan banyak listrik. Hampir 50% listrik di pusat perbelanjaan digunakan untuk memasok sistem pendingin udara (AC) [5]. Dalam hal konservasi energi, langkah strategis untuk mendukung penyediaan tenaga listrik secara maksimal adalah dengan tetap melaksanakan kebijakan energi nasional sesuai dengan peraturan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral No 13 (2012) [6]. Salah satu bentuk pekerjaan ini adalah meningkatkan konsumsi energi gedung-gedung tertentu dan gedung-gedung besar lainnya.

Dalam penelitian ini, terdapat tiga buah pendingin yang masing-masing berkapasitas pendinginan 500TR. Ketiga pendingin beroperasi pada waktu yang sama untuk memenuhi persyaratan beban pendinginan [7]. Sementara itu, dalam kondisi saat ini, kondisi industri masih relatif sepi akibat keterbatasan akses. Sehingga, efisiensi penggunaan energi listrik menjadi rendah. Oleh karena itu, perlu dilakukan penghematan daya dengan mengoptimalkan dan mengelola energi di dalam *cooler*, yang diharapkan dapat mengurangi biaya operasi puncak karena efisiensi yang rendah.

2. DASAR TEORI

2.1. Refrigerasi Dan Pengkondisi Udara

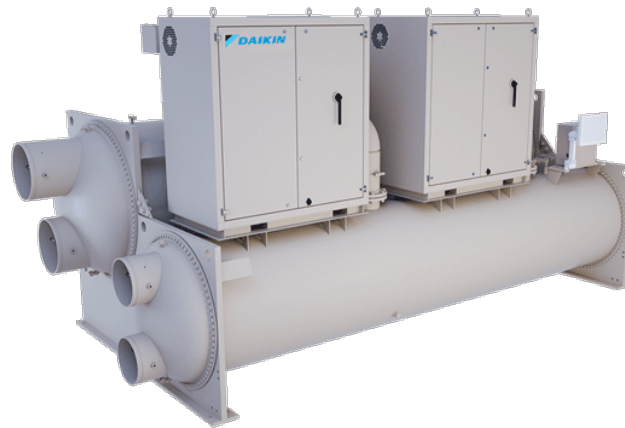
Pendinginan dan pengkondisian udara adalah proses yang saling terkait, tetapi setiap proses memiliki ruang lingkup yang berbeda. Pendinginan adalah proses menurunkan suhu dan membuat suhu dalam ruangan atau bahan dalam ruangan lebih rendah dari suhu lingkungan. Dengan kata lain, ruang lingkup teknologi refrigerasi terletak pada proses pendinginan [8]. Teknologi refrigerasi tidak hanya dapat mendinginkan udara, tetapi juga membuat pengguna atau pemakainya merasa nyaman (*comfortable communication*). Menurut definisi tersebut, AC, suhu, kelembaban, laju aliran, dan kebersihan udara dalam ruangan harus disesuaikan pada waktu yang bersamaan. Komponen yang saling berhubungan antara lain: *chiller*, AHU, FCU, *control valve*, CHWP (*cold water pump*) dan CWP (*cooling water pump*). Siklus refrigerasi atau pengkondisian udara ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Siklus Pengkondisi Udara

2.2. *Chiller*

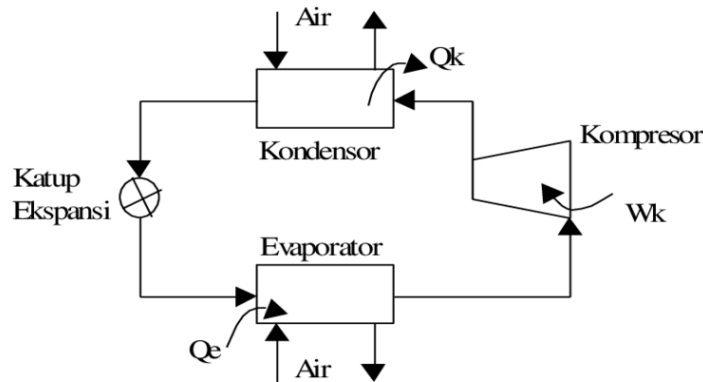
*Chiller* adalah alat untuk memproduksi fluida dingin (refrigerant sekunder), digunakan dalam sistem distribusi air dingin [9]. *chiller* berkapasitas besar. Siklus refrigerasi dari sistem *chiller* menggunakan cairan propilen glikol, etilen glikol, atau refrigeran sekunder lainnya. Pada *cooler / evaporator*, cairan didinginkan oleh refrigerant yang menguap pada temperatur rendah. Setelah cairan didinginkan di *cooler*, cairan akan masuk ke dalam kumparan untuk mendinginkan beban. Sehingga, temperatur cairan akan naik dan kembali ke pendingin dan bersirkulasi [10]. Pada sistem refrigeran, uap refrigeran dihisap ke dalam kompresor dan tekanannya dinaikkan, Sehingga, suhu kondensasi naik dan dapat dilebur di dalam kondensor. Dalam proses ini, suhu media pendingin kondensor (air atau udara) naik Kemudian, refrigeran cair mengalir ke *cooler / evaporator* melalui perangkat kontrol refrigeran (katup ekspansi). Di perangkat ekspansi, refrigeran mengalami penurunan tekanan. Sehingga, suhu dididit turun dan lebih rendah dari suhu refrigeran sekunder [11].



Gambar 2. *Chiller Water Cooled Centrifugal Daikin* [11]

2.3. *Sistem Kompresi Uap*

Siklus pendinginan uap terkompresi adalah jenis lemari es yang paling umum digunakan saat ini. *Cooler* terdiri dari empat komponen utama yaitu *kompresor*, *kondensor*, katup ekspansi dan *evaporator* [12]. Pada siklus ini, uap *refrigeran* bertekanan rendah akan dikompresi oleh *kompresor* menjadi uap *refrigeran* bertekanan tinggi, kemudian uap *refrigeran* bertekanan tinggi akan terkondensasi menjadi cairan refrigeran bertekanan tinggi di dalam kondensor [13]. Kemudian cairan refrigeran bertekanan tinggi melewati katup ekspansi untuk menurunkan tekanan, sehingga cairan refrigeran bertekanan rendah dapat menguap kembali ke evaporator dan menjadi uap refrigeran bertekanan rendah [14]. Siklus kompresi uap ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Siklus Sistem Kompresi Uap

**2.4. Dasar Perhitungan Performansi**

Dasar dasar penghitungan kinerja sistem pendingin meliputi koefisien kinerja (COP) dan daya listrik yang dikonsumsi oleh cairan pendingin.

**2.4.1. COP ( Coefficient Of Performance ) [7]**

$$COP = \frac{ER}{Wk} \tag{2.1}$$

Dimana :

*COP* : Coefficient Of Performance

*ER* : Efek Refrigerasi

*Wk* : Daya Listrik Yang Dikonsumsi Oleh Chiller

**2.4.2. Daya Listrik Yang Dikonsumsi [8]**

$$Pi = \frac{V.I.Cos\phi.\sqrt{3}}{1000} \tag{2.2}$$

Dimana :

*Pi* : Daya Input chiller ( kW )

*V* : Tegangan Input Chiller ( Volt )

*I* : Arus Listrik Chiller ( Amper )

*Cos φ* : Faktor Daya Chiller

Nilai *Cos φ* yang digunakan pada chiller adalah 0.87.

**2.4.3. KonsumsiEnergi Listrik Chiller**

Total energi listrik yang dikonsumsi oleh pendingin selama operasi dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut: [9]

$$W = P \times t \tag{2.3}$$

Dimana :

*W* : Energy listrik ( kWh )

*P* : Daya Listrik chiller saat beroperasi ( kW )

*t* : Waktu Operasional ( Jam )

**2.4.4. Konsumsi Energi Listrik rata-rata per hari**

Rumus berikut dapat digunakan untuk menghitung konsumsi daya harian rata-rata dari pendingin selama operasi: [10]

$$\frac{kWh}{Hari} = \frac{\sum P}{t} \tag{2.4}$$

Dimana :

*kWh/Hari* : Konsumsi energy listrik rata-rata tiap dalam satu hari. ( kWh )

$\sum P$  : Total Daya Listrik chiller selama Operasional ( kW )

*t* : Waktu Operasional ( Jam )

3. METODE

Pengelolaan energi adalah rencana komprehensif yang dapat direncanakan dan dilaksanakan secara sistematis untuk menggunakan energi secara efektif dan efisien melalui perencanaan, pencatatan, pemantauan dan evaluasi tanpa gangguan dan tanpa mengurangi kualitas produksi / jasa [15]. Manajemen energi mencakup unit perencanaan dan operasi yang berkaitan dengan konsumsi energi dan produksi. Tujuan dari manajemen energi adalah untuk menghemat sumber daya, melindungi iklim dan menghemat biaya [16]. Bagi konsumen, manajemen energi memungkinkan mereka memperoleh energi yang mereka butuhkan.

3.1. Perencanaan Optimasi Manajemen Energi Listrik Chiller

Perencanaan optimasi manajemen daya *chiller* dilakukan dengan mengubah jadwal *start-up chiller* dari jadwal operasional yang ada ke jadwal operasional saat optimasi. Jadwal operasional awal ditunjukkan pada Tabel 1. Sedangkan, jadwal operasional saat optimasi ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 1. Jadwal Operasional *Chiller* Sebelum Optimasi

Chiller No.	Jam Operasional												
	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Chiller 1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Chiller 2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Chiller 3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Chiller 4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Chiller 5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Keterangan Tabel:

Angka 1 (hidup) dan angka 0 (mati) menunjukkan lampu indikator pendingin berjalan. Berdasarkan rencana operasi yang ditunjukkan pada Tabel 1, maka prosedur pengoperasian *chiller* pada hari kerja dapat dijelaskan sebagai berikut:

- Chiller 1 beroperasi pada pukul 10:00 sampai pukul 22:00
- Chiller 2 beroperasi pada pukul 10:00 sampai pukul 22:00
- Chiller 3 beroperasi pada pukul 10:00 sampai pukul 22:00
- Chiller 4 beroperasi pada pukul 10:00 sampai pukul 22:00
- Chiller 5 beroperasi pada pukul 10:00 sampai pukul 22:00

Tabel 2. Skema Operasional Jadwal Optimasi *Chiller* Saat Hari Kerja

Chiller No.	Jam Operasional												
	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Chiller 1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Chiller 2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Chiller 3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Chiller 4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Chiller 5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Keterangan Tabel :

Angka 1 (hidup) dan angka 0 (mati) menunjukkan lampu indikator pendingin berjalan. Berdasarkan rencana operasi yang ditunjukkan pada Tabel 2, maka prosedur pengoperasian *chiller* pada hari kerja dapat dijelaskan sebagai berikut:

- Chiller 1 beroperasi pada pukul 10:00 sampai pukul 22:00
- Chiller 2 beroperasi pada pukul 10:00 sampai pukul 22:00
- Chiller 3 beroperasi pada pukul 10:00 sampai pukul 22:00
- Chiller 4 beroperasi pada pukul 10:00 sampai pukul 22:00
- Chiller 5 beroperasi pada pukul 10:00 sampai pukul 22:00

Tidak ada Perbedaan kondisi saat sebelum di optimasi dan saat kerja sehingga perlu dilakukan pengecekan ulang (kalibrasi) agar lebih optimal.

3.2. Pengambilan Data

Data yang diperoleh dari Chiller menggunakan Avometer untuk keperluan penelitian ini meliputi arus, tegangan dan parameter yang digunakan untuk menghitung COP.

3.2.1. Data Arus

Data arus yang diperoleh adalah arus chiller R / S / T tiga fasa ditunjukkan pada Tabel 3, Tabel 4, dan Tabel 5 berikut:

Tabel 3. Data Hasil Pengamatan Arus Saat Hari Kerja

Waktu (Jam)	Arus Listrik Chiller 1 (ampere)		Arus Listrik Chiller 2 (ampere)	
	Sebelum	Sesudah	Sebelum	Sesudah
10:00	885.00	445.67	859.33	890.00
11:00	880.67	433.33	862.00	886.00
12:00	898.00	433.33	864.00	849.33
13:00	896.33	431.33	878.00	420.00
14:00	875.00	883.67	871.67	422.67
15:00	866.67	890.00	876.67	410.00
16:00	859.33	886.00	876.00	886.00
17:00	862.00	849.33	862.00	849.33
18:00	864.00	420.00	864.00	420.00
19:00	878.00	422.67	878.00	422.67
20:00	871.67	410.00	871.67	410.00
21:00	876.67	349.33	876.67	349.33
22:00	876.00	410.00	876.00	422.67

Tabel 4. Data Hasil Pengamatan Arus Saat Hari Kerja

Waktu (Jam)	Arus Listrik Chiller 3 (ampere)		Arus Listrik Chiller 4 (ampere)	
	Sebelum	Sesudah	Sebelum	Sesudah
10:00	875.00	883.67	876.00	849.33
11:00	866.67	890.00	862.00	420.00
12:00	859.33	886.00	864.00	422.67
13:00	862.00	849.33	878.00	410.00
14:00	864.00	420.00	871.67	422.67
15:00	878.00	422.67	876.67	410.00
16:00	871.67	883.67	876.00	886.00
17:00	862.00	849.33	862.00	849.33
18:00	864.00	420.00	864.00	420.00
19:00	878.00	422.67	878.00	422.67
20:00	871.67	410.00	871.67	410.00
21:00	876.67	349.33	876.67	349.33
22:00	876.00	410.00	876.00	422.67

Tabel 5. Data Hasil Pengamatan Arus Saat Hari Kerja

Waktu (Jam)	Arus Listrik Chiller 5 (ampere)	
	Sebelum	Sesudah
10:00	875.00	883.67
11:00	866.67	890.00
12:00	859.33	886.00
13:00	862.00	849.33
14:00	864.00	420.00
15:00	878.00	422.67
16:00	871.67	883.67
17:00	862.00	849.33
18:00	864.00	420.00
19:00	878.00	422.67
20:00	871.67	410.00
21:00	876.67	349.33
22:00	876.00	410.00

3.2.2. *Data Tegangan*

Data tegangan yang diperoleh adalah tegangan R-S / R-T / S-T tiga fasa ditunjukkan pada Tabel 6, Tabel 7, dan Tabel 8 sebagai berikut:

**Tabel 6.** Data Hasil Pengamatan Tegangan Saat Hari Kerja

Waktu (Jam)	Tegangan Listrik Chiller 1 (volt)		Tegangan Listrik Chiller 2 (volt)	
	Sebelum	Sesudah	Sebelum	Sesudah
10:00	394.00	398.00	394.00	393.00
11:00	394.50	398.00	395.00	393.00
12:00	395.00	398.00	394.33	395.00
13:00	394.83	392.00	394.00	390.00
14:00	394.00	394.00	394.00	393.00
15:00	394.00	398.00	395.00	393.00
16:00	394.50	398.00	394.33	395.00
17:00	395.00	398.00	394.00	390.00
18:00	394.00	398.00	394.00	393.00
19:00	394.50	398.00	395.00	393.00
20:00	395.00	398.00	394.33	395.00
21:00	394.83	392.00	394.00	390.00
22:00	394.00	394.00	394.00	393.00

**Tabel 7.** Data Hasil Pengamatan Tegangan Saat Hari Kerja

Waktu (Jam)	Tegangan Listrik Chiller 3 (volt)		Tegangan Listrik Chiller 4 (volt)	
	Sebelum	Sesudah	Sebelum	Sesudah
10:00	395.00	395.00	395.00	400.00
11:00	395.00	395.00	394.00	394.00
12:00	395.00	393.00	394.00	398.00
13:00	394.33	395.00	394.50	398.00
14:00	394.00	390.00	395.00	398.00
15:00	394.00	393.00	394.00	398.00
16:00	395.00	393.00	394.50	398.00
17:00	395.00	393.00	394.00	394.00
18:00	394.33	395.00	394.00	398.00
19:00	395.00	395.00	394.50	398.00
20:00	395.00	395.00	395.00	400.00
21:00	395.00	395.00	395.00	400.00
22:00	395.00	395.00	395.00	400.00

**Tabel 8.** Data Hasil Pengamatan Tegangan Saat Hari Kerja

Waktu (Jam)	Tegangan Listrik Chiller 5 (volt)	
	Sebelum	Sesudah
10:00	394.00	398.00
11:00	394.50	398.00
12:00	395.00	398.00
13:00	394.00	398.00
14:00	394.50	398.00
15:00	395.00	398.00
16:00	394.83	392.00
17:00	394.00	394.00
18:00	394.00	398.00
19:00	394.50	398.00
20:00	395.00	398.00
21:00	394.00	398.00
22:00	394.50	398.00

3.2.3. Data Parameter COP Chiller

Untuk COP, unit desain diambil dari plat nama *chiller* atau spesifikasi *chiller* pada panel *chiller*. setelah dilakukan optimasi akan dihitung berdasarkan data kapasitas pendinginan dan *input* daya atau daya yang dibutuhkan untuk menjalankan *cooler*. Data COP sebelum optimasi ditunjukkan pada Tabel 9. Sedangkan data parameter COP setelah optimasi ditunjukkan pada Tabel 10.

Tabel 9. Data Spesifikasi Chiller

No	Spesifikasi	Data
1	Tipe chiller	Water Cooled Chiller
2	Cooling capacity	1758 kW
3	Power input	284.4. kW
4	COP	6.181
5	Tipe compressor	Centrifugal
7	Jenis refrigeran	R-134a
8	Tegangan Supplay	3 Phase 380Volt / 50 Hz

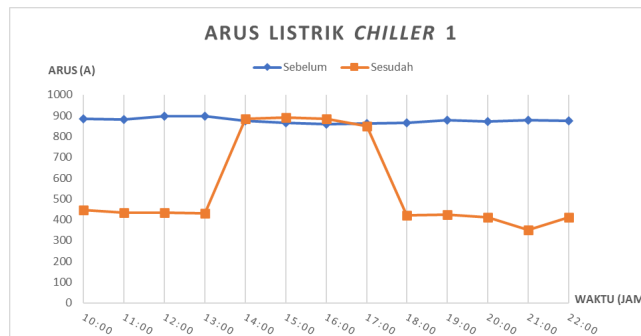
Tabel 10. Data Parameter COP Setelah Optimasi

Data Yang Diambil	Hasil	
	Chiller 1	Chiller 2
Cooling Capacity	1758 kW	1758 kW
Power Consumption	271.40 kW	252.62 kW

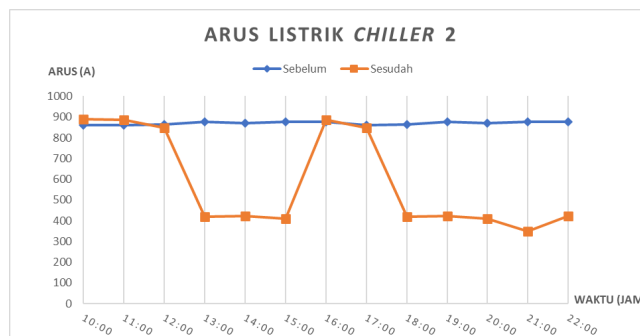
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Perhitungan Konsumsi Energi Listrik chiller Sebelum dan Sesudah Optimasi

Pengoptimalan konsumsi daya pendingin adalah dengan rencana start-up pada pukul 10.00 WIB dan rencana pemadaman listrik pada pukul 22.00 WIB. Jadwal yang dioptimalkan adalah penundaan waktu mulai dari chiller, yaitu 2 jam pada hari kerja dan 2 jam pada hari libur. Hasil dari pengoptimalan konsumsi daya tersebut dapat dilihat pada konsumsi arus dari Chiller 1 hingga 5 pada *weekdays*, yang ditunjukkan pada Gambar 4, Gambar 5, Gambar 6, Gambar 7, dan Gambar 8.

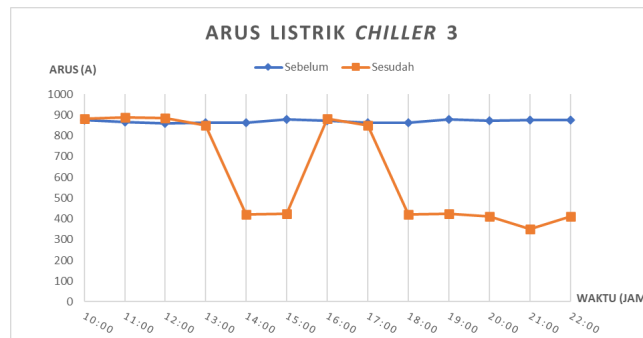


Gambar 4. Konsumsi Arus Chiller 1

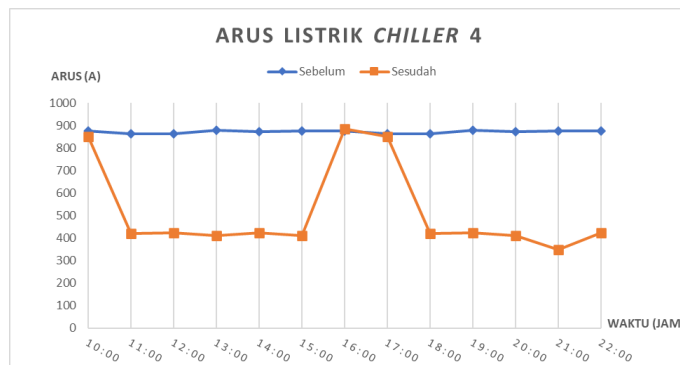




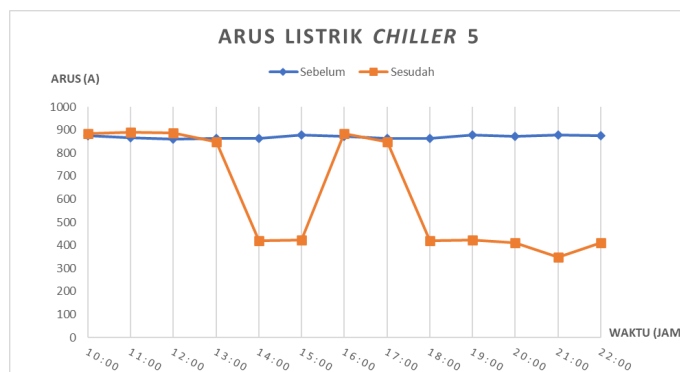
Gambar 5. Konsumsi Arus Chiller 2



Gambar 6. Konsumsi Arus Chiller 3



Gambar 7. Konsumsi Arus Chiller 4



Gambar 8. Konsumsi Arus Chiller 5

Melalui Gambar 4 hingga Gambar 8, rata-rata konsumsi arus *chiller* 1 hingga *chiller* 5 mengalami fluktuasi. fluktuasi konsumsi arus yang terjadi menyebabkan fluktuasi pada konsumsi daya karena arus dan daya berbanding lurus [10]. Dibandingkan dengan kondisi sebelum pengoptimalan, rata-rata konsumsi arus setelah pengoptimalan berkurang 34%. Rata-rata nilai arus dan tegangan sebelum optimasi adalah 885A dan 394 V, dengan  $\cos \varphi = 0,87$ . Untuk mengetahui konsumsi daya, rumus 2.2 digunakan dan diperoleh hasil sebagai berikut:

$$P_i = \frac{V \cdot I \cdot \cos \varphi \cdot \sqrt{3}}{1000} = \frac{394 \times 885 \times 0,87 \times 1,73}{1000} = 524,81 \text{ kW}$$

#### 4.2. Hasil perhitungan COP

Dengan menggunakan rumus 2.1, nilai COP optimal dari *chiller* 1 sampai 5 adalah sebagai berikut:

**4.2.1. COP Chiller 1**

Berdasarkan data *chiller* 1 pada Tabel 9, hasil penghitungan COP *chiller* 1 adalah sebagai berikut:

$$COP = \frac{ER}{Wk} = \frac{1758}{271.40} = 6.4775 = 6.478$$

**4.2.2. COP Chiller 2**

Berdasarkan data yang ditunjukkan pada Tabel 9, untuk *chiller* No.2, hasil perhitungan untuk *chiller* COP No.2 adalah sebagai berikut:

$$COP = \frac{ER}{Wk} = \frac{1758}{252.62} = 6.959$$

**4.2.3. COP Chiller 3**

Berdasarkan data *chiller* 3 pada Tabel 9, hasil penghitungan COP *Chiller* 3 adalah sebagai berikut:

$$COP = \frac{ER}{Wk} = \frac{1758}{271.40} = 6.4775 = 6.478$$

**4.2.4. COP Chiller 4**

Berdasarkan data yang ditunjukkan pada Tabel 9, untuk *chiller* No.4, hasil perhitungan untuk *chiller* COP No.4 adalah sebagai berikut:

$$COP = \frac{ER}{Wk} = \frac{1758}{252.62} = 6.959$$

**4.2.5. COP Chiller 5**

Berdasarkan data *chiller* 5 pada Tabel 9, hasil penghitungan COP *chiller* 5 adalah sebagai berikut:

$$COP = \frac{ER}{Wk} = \frac{1758}{271.40} = 6.4775 = 6.478$$

**4.2.6. COP rata –rata Chiller 1 , Chiller 2, Chiller 3, Chiller 4, Chiller 5**

Berdasarkan hasil perhitungan COP *chiller* 1 hingga *chiller* 5, didapatkan nilai COP rata-rata sebagai berikut:

$$COP \text{ rata - rata} = \frac{COP \text{ chiller } 1 + COP \text{ chiller } 2 + COP \text{ chiller } 3 + COP \text{ chiller } 4 + COP \text{ chiller } 5}{5}$$

$$COP \text{ rata - rata} = \frac{6.478 + 6.959 + 6.478 + 6.959 + 6.478}{5} = 6.718$$

Hasil perhitungan COP di atas dapat disimpulkan bahwa nilai COP yang dioptimasi lebih tinggi.

**4.3. Penghematan Finansial yang dihasilkan**

Harga listrik untuk daya lebih dari 30.000 KVA adalah Rp 971,01 per kilowatt hour. Penghematan yang bisa dihasilkan adalah:

Penyelamatan Finansial dalam satu hari adalah :  
 $138.82 \text{ kWh} \times \text{Rp. } 971.01 \times 12 = \text{Rp. } 1.627.547,29$   
 Penyelamatan Finansial dalam satu bulan adalah :  
 $\text{Rp. } 1.627.547,29 \times 31 = \text{Rp. } 50.143.966,25$   
 Penyelamatan Finansial dalam satu tahun adalah :

$$Rp. 50.143.996,25 \times 12 = Rp. 601.727.955,-$$

## 5. KESIMPULAN

Dari hasil analisis optimasi manajemen daya *chiller* pada perencanaan AC sentral industri, dapat diambil kesimpulan bahwa COP meningkat 0,584, dan nilai pra-optimasi adalah 6,181. Ketika nilai COP meningkat, maka performa mesin akan meningkat. Dengan menambahkan pendingin COP bisa berupa peltier, konsumsi daya dapat dihemat. Efisiensi energi listrik lemari es yang diperoleh setelah optimasi sebesar 138,82 kWh / hari, sedangkan nilai awal sebelum optimalisasi adalah 522,55 kWh / hari. Dan penghematan finansial yang bisa dihasilkan dengan optimasi konsumsi daya *chiller* dalam satu hari adalah Rp. 1.627.547,29, jika dalam satu bulan adalah Rp 50.143.966,25, dan jika satu tahun adalah Rp 601.727.955,-. Berdasarkan hasil perhitungan di atas, metode optimasi yang diadopsi adalah dengan mengubah jadwal penyalaan pendingin industri, sehingga mengurangi konsumsi daya dan biaya pengoperasian pendingin.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] M.E. Ahmad and S. Mekhilef, "Design and Implementation of a Multi Level Three-Phase Inverter with Less Switches and Low Output Voltage Distortion," *Journal of Power Electronics*, vol. 9, pp. 594-604, 2009.
- [2] Nugraha, Anggara Trisna, Alwy Muhammad Ravi, and Dadang Priyambodo. "Optimization of Targeting Rocket Launchers with Wheeled Robots." *Journal of Electronics, Electromedical Engineering, and Medical Informatics 3.1* (2021): 44-49.
- [3] E. I and O. Rivera, "Maximum Power Point Tracking using the Optimal Duty Ratio for DC-DC Converters and Load Matching in Photovoltaic Applications," *IEEE*, pp. 987-991, 2008
- [4] Priyambodo, Dadang, and Anggara Trisna Nugraha. "Design and Build A Photovoltaic and Vertical Savonius Turbine Power Plant as an Alternative Power Supply to Help Save Energy in Skyscrapers." *Journal of Electronics, Electromedical Engineering, and Medical Informatics 3.1* (2021): 57-63.
- [5] Hairul Nissah Zainudin Saad and Mekhilef, "Comparison Study of Maximum Power Point Tracker Techniques for PV Systems", *Proceedings of the 14th International Middle East Power Systems Conference (MEPCON'10)*, December 19-21, 2010, Paper ID 278
- [6] Nugraha, A. T., and T. Agustinah. "Quadcopter Path Following Control Design Using Output Feedback with Command Generator Tracker LOS Based At Square Path." *Journal of Physics: Conference Series*. Vol. 947. No. 1. IOP Publishing, 2018.
- [7] Jiyong Li and Honghua. Wang, "A Novel Stand-alone PV Generation System Based on Variable Step Size INC MPPT and SVPWM Control", *IPEMC 978-1-4244-3557-9-2009*
- [8] Priyambodo, Dadang, and Anggara Trisna Nugraha. "Design and Build A Photovoltaic and Vertical Savonius Turbine Power Plant as an Alternative Power Supply to Help Save Energy in Skyscrapers." *Journal of Electronics, Electromedical Engineering, and Medical Informatics 3.1* (2021): 57-63.
- [9] Mei Shan Ngan and Chee Wei Tan, "A Study of Maximum Power Point Tracking Algorithms for Stand-alone Photovoltaic Systems", *IEEE Applied power electronics colloquium (IAPEC)*, 2011
- [10] Nugraha, Anggara Trisna, and Rahman Arifuddin. "O<sub>2</sub> Gas Generating Prototype in Public Transportation." *JEEMCS (Journal of Electrical Engineering, Mechatronic and Computer Science) 3.2* (2020): 187-192.
- [11] Huiying Zheng, Shuhui Li, Senior Member, IEEE, Ke Bao, and Dong Zhang, "Comparative Study of Maximum Power Point Tracking Control Strategies for Solar PV Systems", *IEEE 978-1-4673-1935-5/12* ©2012
- [12] Nugraha, Anggara Trisna. "TRACKING QUADCOPTER MENGGUNAKAN COMMAND GENERATOR TRACKER BERBASIS LOS SAAT ADANYA DISTURBANCE PADA LINTASAN PERSEGI." *Prosiding SENIATI* (2018): 7-13.
- [13] B. M Hasaneen, and Adel A. Elbaset Mohammed, "Design and simulation of DC/DC boost converter," *Power System Conf. Middle-East*, pp. 335-340, 2008.
- [14] Ned Mohan, Tore M. Undeland, and Williams P. Robbins, *Power Electronics: Converters, Applications, and Design*, 3rd ed., John Wiley & Sons: USA, 2003, pp. 161
- [15] Nugraha, Anggara Trisna. "Penggunaan Algoritma Interferensi Dan Observasi Pada Sistem Pelacak Titik Daya Maksimum Pada Sel Surya Menggunakan Konverter DC-DC Photovoltaics." *Jurnal Janitra Informatika dan Sistem Informasi 1.1* (2021): 10-19.
- [16] W. Hart, Danil. (1997). *Introduction to Power Electronics*. Valparaiso University, Indiana: Prentice-Hall International, Inc.