

Performance Analysis of a Water Cooled Chiller After Overhaul at the Dioctyl Phthalate Plant of PT XYZ

[Analisa Unjuk Kerja Mesin Chiller Water Cooled Pasca Overhaul Pada Plant Dioctyl Phthalate PT XYZ]

Achmad Taufik Hidayat¹⁾, A'rasy Fahrudin²⁾

¹⁾Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

²⁾ Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

*Email Penulis Korespondensi: arasy.fahrudin@umsida.ac.id

Abstract. A water-cooled chiller is an essential component in the Dioctyl Phthalate (DOP) production process at PT XYZ, providing cooling water for the system. Over time, condenser fouling can reduce chiller performance and efficiency. This study evaluated chiller performance after overhaul through mechanical and chemical cleaning using the Coefficient of Performance (COP) as the main indicator. Data were collected at cooling loads of 45%, 55%, and 60% by measuring temperature, pressure, and compressor motor current. Refrigerant enthalpy was determined using the R-134a pressure-enthalpy (P-h) diagram to calculate COP. The results showed that both cleaning methods reduced condenser pressure, condensing temperature, and compressor motor current. COP increased from 4.3–3.9 before mechanical cleaning to 6.0–5.6 after mechanical cleaning and 6.1–5.8 after chemical cleaning. These results indicate that the overhaul effectively improved chiller efficiency and performance.

Keywords – water-cooled chiller, overhaul, mechanical cleaning, chemical cleaning, coefficient of performance

Abstrak. Mesin water-cooled chiller merupakan salah satu komponen penting dalam proses produksi Dioctyl Phthalate (DOP) di PT XYZ yang berfungsi menyediakan air pendingin bagi sistem. Seiring waktu, fouling pada kondensor dapat menurunkan kinerja dan efisiensi chiller. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kinerja water-cooled chiller pasca overhaul melalui proses mechanical cleaning dan chemical cleaning dengan Coefficient of Performance (COP) sebagai indikator kinerja. Data diperoleh pada beban pendinginan 45%, 55%, dan 60% melalui pengukuran temperatur, tekanan, dan arus motor kompresor. Nilai entalpi refrigeran ditentukan menggunakan diagram tekanan-entalpi (P-h) R-134a untuk menghitung COP. Hasil menunjukkan bahwa kedua metode cleaning menurunkan tekanan kondensor, temperatur kondensasi, dan arus motor kompresor. COP meningkat dari 4,3–3,9 sebelum mechanical cleaning menjadi 6,0–5,6 setelah mechanical cleaning, dan 6,1–5,8 setelah chemical cleaning. Hasil ini menunjukkan bahwa proses overhaul efektif meningkatkan efisiensi dan kinerja chiller.

Kata Kunci - water-cooled chiller, overhaul, mechanical cleaning, chemical cleaning, coefficient of performance

I. PENDAHULUAN

Peningkatan aktivitas industri menyebabkan kebutuhan terhadap sistem pendinginan yang efisien dan andal semakin tinggi. Salah satu peralatan yang banyak digunakan untuk memenuhi kebutuhan tersebut adalah mesin *chiller*. Mesin *chiller* berfungsi untuk mendinginkan fluida, umumnya air, yang digunakan dalam berbagai aplikasi industri, termasuk proses produksi di industri kimia [3]. Selain berperan penting dalam menjaga kestabilan proses, mesin *chiller* juga merupakan peralatan dengan konsumsi energi listrik yang cukup besar sehingga kinerja dan keandalannya perlu dipertahankan [1].

Kinerja mesin *chiller* dipengaruhi oleh kondisi operasi, beban pendinginan, serta efektivitas pemeliharaan yang dilakukan [2]. Penurunan kinerja yang tidak terdeteksi dapat menyebabkan berkurangnya kapasitas pendinginan, meningkatnya konsumsi energi, dan gangguan operasional yang berpotensi menghambat proses produksi.

Dioctyl Phthalate (DOP) adalah *plasticizer* industri polimer untuk meningkatkan fleksibilitas material seperti Polyvinyl Chloride (PVC) [9]. DOP diproduksi melalui reaksi *esterifikasi* antara *Phthalic Anhydride* (PA) dan 2-Ethylhexanol (2-EH), yang dilanjutkan dengan proses pemurnian.

Pada unit produksi DOP di PT XYZ, mesin *water-cooled chiller* digunakan untuk menyuplai air *sealing* pada sistem *liquid ring vacuum pump*. Sistem vakum ini krusial dalam proses pemurnian untuk memisahkan sisa reaksi pada tekanan rendah secara efisien. Guna menjaga kinerja pompa vakum, temperatur air *sealing* harus dikontrol secara stabil oleh mesin *chiller*.

Berdasarkan kondisi operasional di lapangan, mesin *chiller water cooled* sering mengalami gangguan berupa trip akibat tingginya temperatur kondensor. Kondisi tersebut menyebabkan kemampuan pendinginan menurun sehingga

temperatur air *sealing* meningkat dan kinerja pompa vakum menjadi kurang optimal. Dampaknya adalah penurunan tingkat vakum yang dapat mengganggu proses pemurnian serta menurunkan stabilitas operasi produksi DOP.

Salah satu parameter yang umum digunakan untuk mengevaluasi kinerja mesin *chiller* adalah *Coefficient of Performance* (COP), yaitu rasio antara efek pendinginan yang dihasilkan dengan energi yang digunakan oleh sistem [2]. Nilai COP dapat menurun seiring bertambahnya jam operasi akibat *fouling*, degradasi refrigeran, maupun keausan komponen [4]. Oleh karena itu, diperlukan analisis unjuk kerja mesin *chiller water cooled* pasca *overhaul* di PT XYZ melalui evaluasi nilai COP untuk mengetahui tingkat efisiensi sistem serta menilai kemampuan *chiller* dalam mendukung kebutuhan operasional proses produksi DOP

II. METODE

A. Identifikasi dan Perumusan Masalah

Tahap identifikasi dan perumusan masalah dilakukan dengan menganalisis unjuk kerja mesin *chiller* pada PT XYZ yang bergerak di bidang produksi *Diocetyl Phthalate* (DOP). Berdasarkan observasi awal dan data operasional, ditemukan kondisi abnormal pada mesin *chiller* yang digunakan dalam proses produksi.

Kondisi tersebut ditandai dengan meningkatnya temperatur kondensor melebihi batas normal, sehingga sistem proteksi aktif dan menyebabkan mesin *chiller* mengalami trip. Akibatnya, mesin tidak dapat beroperasi secara optimal dan beban pendinginan tidak tercapai sesuai kebutuhan proses.

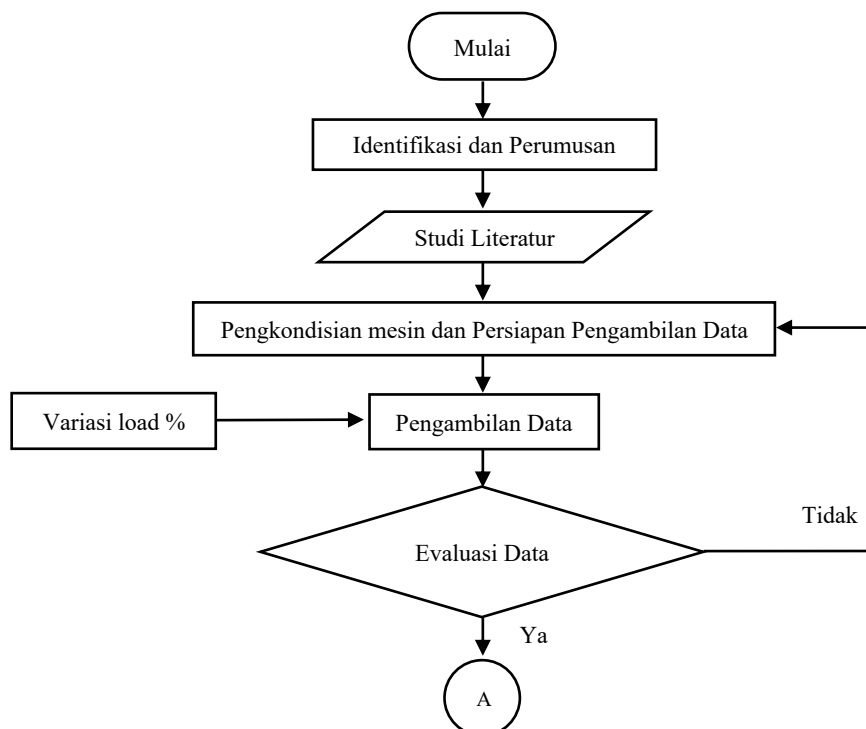
Gangguan ini berdampak pada kestabilan suhu proses produksi DOP serta berpotensi meningkatkan konsumsi energi dan risiko kerusakan peralatan. Oleh karena itu, diperlukan analisis unjuk kerja mesin *chiller* untuk mengidentifikasi penyebab penurunan performa dan mengevaluasi efektivitas tindakan *maintenance overhaul*.

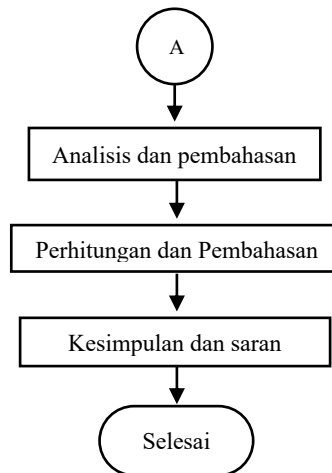
B. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mempelajari teori, konsep, dan hasil penelitian terdahulu yang berkaitan dengan sistem pendingin dan unjuk kerja mesin *chiller*. Kegiatan ini dilakukan melalui diskusi dengan dosen pembimbing dan pihak PT XYZ, serta dengan menelaah berbagai referensi berupa buku teks, jurnal ilmiah, manual *book* peralatan, dan artikel teknis yang relevan.

Studi literatur mencakup pembahasan mengenai prinsip kerja sistem refrigerasi, faktor-faktor yang memengaruhi kinerja mesin *chiller*, parameter evaluasi performa seperti *Coefficient of Performance* (COP), serta metode pemeliharaan dan *cleaning* pada *heat exchanger*. Hasil studi literatur digunakan sebagai dasar teori, pembandingan hasil penelitian, serta acuan dalam pengambilan data, pengolahan data, dan analisis kinerja mesin *chiller*.

C. Diagram Alir Proses Penelitian

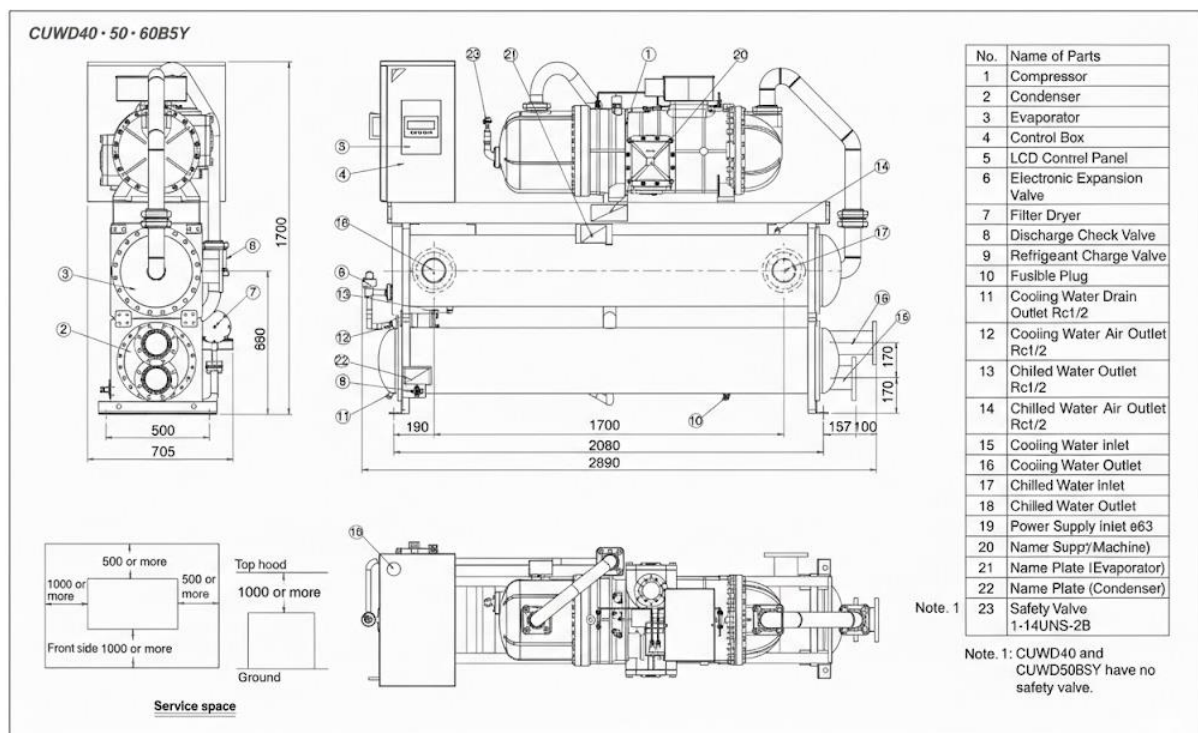




Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

D. Pengkondisian Mesin dan Persiapan Pengambilan Data

Pada tahap ini, seluruh peralatan mekanikal, elektrikal, dan instrumentasi pada *water cooled chiller* Daikin tipe CUWD50B5Y dengan refrigeran R-134a dipastikan dapat berfungsi dengan baik. Spesifikasi teknis dan dimensi dari unit *chiller* yang menjadi objek penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Bagian Mesin *Chiller* CUWD50B5Y

Adapun komponen atau peralatan utama yang diperiksa meliputi:

1. Kompresor

Kompresor merupakan komponen penggerak utama dalam siklus refrigerasi yang berfungsi untuk meningkatkan tekanan dan temperatur uap refrigeran yang keluar dari evaporator. Kenaikan tekanan ini bertujuan agar refrigerant dapat mengalir menuju kondensor untuk melepaskan panasnya. Proses kompresi meningkatkan tekanan dan temperatur refrigeran akibat adanya kerja yang diberikan kompresor.

2. Kondensor dan Evaporator

Perbedaan mendasar antara kondensor dan evaporator terletak pada arah perpindahan panas dan transformasi fase refrigeran yang terjadi di dalamnya. Kondensor berfungsi sebagai pelepas panas (*heat rejector*) yang mengubah uap refrigeran bertekanan tinggi menjadi cairan jenuh melalui proses kondensasi isobarik. Sebaliknya, evaporator berperan sebagai penyerap panas (*heat absorber*) yang mengubah fase refrigeran dari cair menjadi uap pada tekanan konstan guna mendinginkan media air menjadi air bersuhu rendah (*chilled water*).

3. Panel Kontrol

Panel kontrol berfungsi sebagai pusat kendali dan antarmuka (*Human Machine Interface*) yang mengintegrasikan pemantauan parameter operasional secara real time, pengaturan variabel kerja (*set point*), serta sistem proteksi otomatis melalui deteksi kode *alarm* guna menjamin keamanan dan efisiensi kinerja sistem secara keseluruhan.

4. Katup Ekspansi

Katup ekspansi bertugas menurunkan tekanan refrigeran dari kondisi cair bertekanan tinggi (keluar dari kondensor) menjadi cairan bertekanan rendah (masuk ke evaporator). Proses ini menyebabkan sebagian refrigeran menguap dan suhunya turun drastis, sehingga menciptakan campuran cair-uap dingin yang siap menyerap panas dari air.

5. Manometer (*Pressure Gauge*)

Pressure gauge (manometer) berfungsi sebagai instrumen pengukur tekanan refrigeran pada sisi tekanan rendah (*suction*) dan tekanan tinggi (*discharge*) secara *real time*. Komponen ini berperan penting dalam memantau parameter kerja sistem, mempermudah *diagnosis* gangguan, serta memastikan tekanan operasional tetap berada dalam batas aman untuk mencegah kerusakan mekanis pada unit *chiller*.

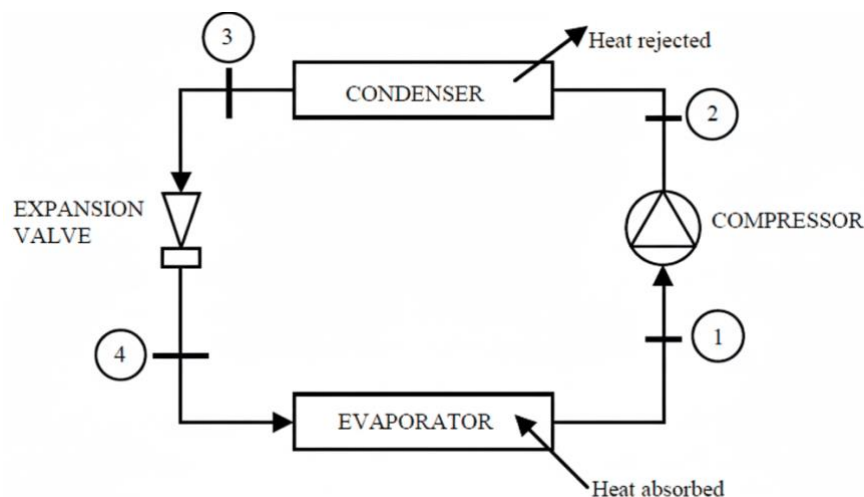
E. Prinsip Kerja Mesin Chiller dengan Siklus Kompresi Uap

Mesin pendingin dengan siklus kompresi uap merupakan salah satu sistem refrigerasi yang paling banyak digunakan dalam berbagai aplikasi, mulai dari lemari es rumah tangga, pendingin udara (AC), hingga *chiller* industri. Prinsip dasar dari sistem ini adalah memindahkan kalor dari suatu ruang atau fluida bersuhu rendah ke lingkungan dengan suhu yang lebih tinggi melalui proses kompresi, kondensasi, ekspansi, dan evaporasi [11].

Sistem ini bekerja dengan memanfaatkan perubahan fase refrigeran (zat pendingin) yang bersirkulasi di dalam sistem tertutup. Pada siklus tersebut, refrigeran menyerap kalor dari ruang dingin ketika menguap di evaporator dan melepaskan kalor ke lingkungan ketika mengembun di kondensor [10].

1. Prinsip Kerja Siklus Kompresi Uap

Siklus kompresi uap terdiri dari empat komponen utama, yaitu kompresor, kondensor, katup ekspansi, dan evaporator. Prosesnya dapat dijelaskan sebagai berikut:

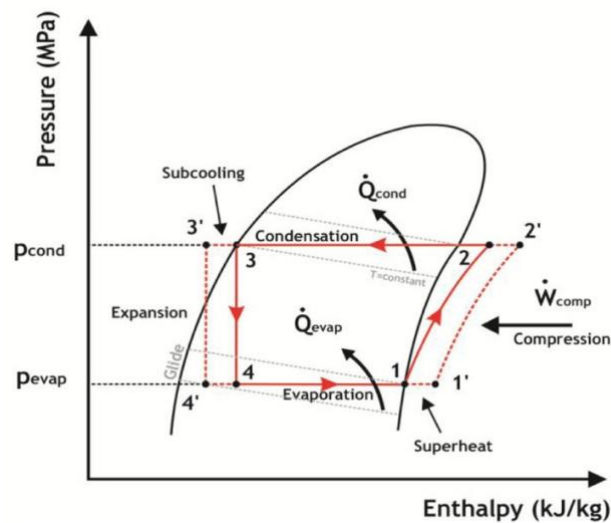


Gambar 3. Komponen Mesin Pendingin Siklus Kompresi Uap

2. Diagram P-h

Diagram P-h (*Pressure-Enthalpy*) merupakan representasi grafis dari hubungan antara tekanan (P) dan entalpi (h) suatu zat kerja (refrigeran) selama mengalami perubahan fase dan proses termodinamika dalam sistem refrigerasi. Diagram ini banyak digunakan dalam analisis siklus kompresi uap, karena mampu menggambarkan secara jelas perubahan energi spesifik yang terjadi pada setiap tahap proses [10].

Kurva berbentuk kubah (*saturation dome*) memisahkan fase cair dan fase uap. Bagian kiri kubah disebut garis saturasi cair (*saturated liquid line*), sedangkan bagian kanan disebut garis saturasi uap (*saturated vapor line*). Titik puncak kubah disebut titik kritis (*critical point*), di mana sifat cair dan uap tidak dapat dibedakan lagi.



Gambar 4. Diagram P-h Siklus Refrigerasi Kompresi Uap

Perubahan Termodinamika dalam Siklus Pendinginan

a. Kompresor (Proses 1 – 2)

- Fungsi: Mengubah uap refrigeran bertekanan rendah menjadi uap bertekanan tinggi.
- Perubahan Properti: Tekanan, suhu, dan entalpi meningkat.
- Perubahan Fase: Uap jenuh diubah menjadi uap panas lanjut (*superheated vapor*).
- Energi kerja yang dibutuhkan kompresor dapat dinyatakan sebagai:

$$W_{\text{kompresor}} = \dot{m} (h_2 - h_1) \quad (1)$$

Dimana:

- W = Kerja spesifik kompresor (kJ/Kg)
- h = Entalpi spesifik tiap titik (kJ/Kg)
- $\dot{m}$ = Laju aliran massa (Kg/s)

b. Kondensor (Proses 2 – 3)

- Fungsi: Membuang panas ke lingkungan.
- Perubahan Properti: Tekanan tetap (isobarik), sementara suhu dan entalpi menurun.
- Perubahan Fase: Uap panas lanjut berkondensasi menjadi cairan.

$$Q_{\text{kondensor}} = \dot{m} (h_2 - h_3) \quad (2)$$

Dimana:

- Q_{cond} = Besar kalor yang dilepaskan setiap massa refrigeran

c. Katup Ekspansi (Proses 3 – 4)

- Fungsi: Menurunkan tekanan refrigeran.
- Perubahan Properti: Entalpi tetap (isentalpik), tetapi tekanan dan suhu turun drastis.
- Perubahan Fase: Cairan mengalami flashing sebagian, menghasilkan campuran cair dan uap jenuh.

$$h_3 = h_4 \quad (3)$$

d. Evaporator (Proses 4 – 1)

- Fungsi: Menyerap panas dari area yang didinginkan (menghasilkan efek pendinginan).
- Perubahan Properti: Tekanan tetap (isobarik), suhu dan entalpi meningkat karena penyerapan kalor.
- Perubahan Fase: Campuran cair-uap diuapkan seluruhnya menjadi uap jenuh kering.
- Efek refrigerasi (jumlah panas yang diserap) dapat dihitung sebagai:

$$Q_{\text{evaporator}} = \dot{m} (h_1 - h_4) \quad (4)$$

Dimana:

Q_{evap} = Besarnya kalor yang diserap evaporator setiap massa refrigeran (kJ/Kg)

3. Unjuk Kerja Mesin Pendingin / *Coefficient of Performance* (COP)

Perhitungan COP juga dapat dilakukan menggunakan diagram tekanan–entalpi (P–h), di mana entalpi di setiap titik proses dapat diperoleh dari data refrigeran (misalnya R134a)

$$COP = \frac{\dot{m} (h_1 - h_4)}{\dot{m} (h_2 - h_1)} \quad (5)$$

Dengan:

h_1 = Entalpi uap refrigeran keluar dari evaporator (kJ/kg)

h_2 = Entalpi uap keluar dari kompresor (kJ/kg)

h_3 = Entalpi cairan keluar dari kondensor (kJ/kg)

h_4 = Entalpi refrigeran keluar dari katup ekspansi (kJ/kg)

F. Pengambilan Data

Pengambilan data pada penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kinerja mesin *chiller* pada berbagai kondisi beban operasi. Variasi beban (*load*) yang digunakan adalah 45%, 55%, dan 60% dari kapasitas operasi mesin *chiller*. Pengambilan data dilakukan pada tiga kondisi pemeliharaan yang berbeda, yaitu sebelum dilakukan *mechanical cleaning*, sesudah dilakukan *mechanical cleaning*, dan sesudah dilakukan *chemical cleaning*.

Berikut ini hal-hal yang perlu disiapkan sebelum melakukan pengujian:

1. Memastikan unit *chiller* dalam kondisi operasi normal.
2. Memastikan tidak terdapat alarm aktif pada sistem.
3. Menunggu hingga tekanan *suction* dan *discharge* stabil.
4. Mengaktifkan *control panel chiller*.
5. Masuk ke menu utama (*Main Menu*).
6. Memilih menu *Monitoring / Operation Data*.
7. Menggunakan tombol navigasi untuk mengakses parameter yang diperlukan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Unjuk Kerja Mesin Chiller

Data hasil penelitian diperoleh dari pengukuran kinerja mesin *water cooled chiller* yang beroperasi di PT XYZ pada beberapa variasi beban dan kondisi pemeliharaan. Pengambilan data dilakukan pada beban produksi 45%, 55%, dan 60% dengan tiga kondisi pengujian, yaitu sebelum *mechanical cleaning*, sesudah *mechanical cleaning*, dan sesudah *chemical cleaning*. Parameter yang dicatat meliputi temperatur air masuk dan keluar evaporator, temperatur air masuk dan keluar kondensor, tekanan pada sisi evaporator dan kondensor, serta arus listrik motor kompresor. Seluruh pengukuran dilakukan pada kondisi operasi stabil (*steady state*).

Tabel 1. Data Hasil Pengujian Sebelum *Mechanical Cleaning*

Sebelum Mechanical Cleaning										
Load (%)	Temperatur Chilled Water (°C)		Temperatur Water Cond (°C)		Current Motor (A)	Pressure Cond (MPa)	Pressure Evap (MPa)	Temp. suction gas (°C)	Temp. delivery gas (°C)	Temp. cond saturated (°C)
	In	Out	In	Out						
45%	18	14,5	27,7	30	25,4	1	0,34	16,3	60,5	43,6
55%	18	14,4	27,3	29,7	27,4	1,02	0,34	16,3	60,2	43,9
60%	17,9	14,8	28,4	30,6	28	0,98	0,34	17,6	64,5	42,5

Berdasarkan data sebelum *mechanical cleaning*, peningkatan *load* produksi dari 45% hingga 60% menyebabkan arus motor kompresor cenderung meningkat, sedangkan tekanan evaporator relatif konstan pada 0,34 MPa. Tekanan kondensor berada pada kisaran 0,98–1,02 MPa yang menunjukkan kondisi operasi relatif stabil. Meskipun sistem masih mampu memenuhi kebutuhan pendinginan, nilai tekanan dan temperatur kondensasi yang relatif tinggi mengindikasikan adanya penurunan performa perpindahan panas pada kondensor. Oleh karena itu, dilakukan *mechanical cleaning* untuk meningkatkan kinerja sistem *chiller*.

Tabel 2. Data Hasil Pengujian Sesudah *Mechanical Cleaning*

Sesudah Mechanical Cleaning										
Load (%)	Temperatur Chilled Water (°C)		Temperatur Water Cond (°C)		Current Motor (A)	Pressure Cond (MPa)	Pressure Evap (MPa)	Temp. suction gas (°C)	Temp. delivery gas (°C)	Temp. cond saturated (°C)
	In	Out	In	Out						
45%	20,4	16,01	29,7	32,8	22,1	0,82	0,36	17,6	50,2	36,6
55%	19,7	16,1	28,7	31,2	23,9	0,78	0,35	18	51,5	35
60%	20	16	29,1	32,9	24,4	0,83	0,36	16,8	51,8	37

Data sesudah *mechanical cleaning* menunjukkan penurunan arus motor kompresor, tekanan kondensor, dan temperatur kondensasi dibandingkan kondisi sebelum *mechanical cleaning*. Hal ini mengindikasikan bahwa proses *mechanical cleaning* mampu meningkatkan efektivitas perpindahan panas pada kondensor sehingga beban kerja kompresor menjadi lebih rendah.

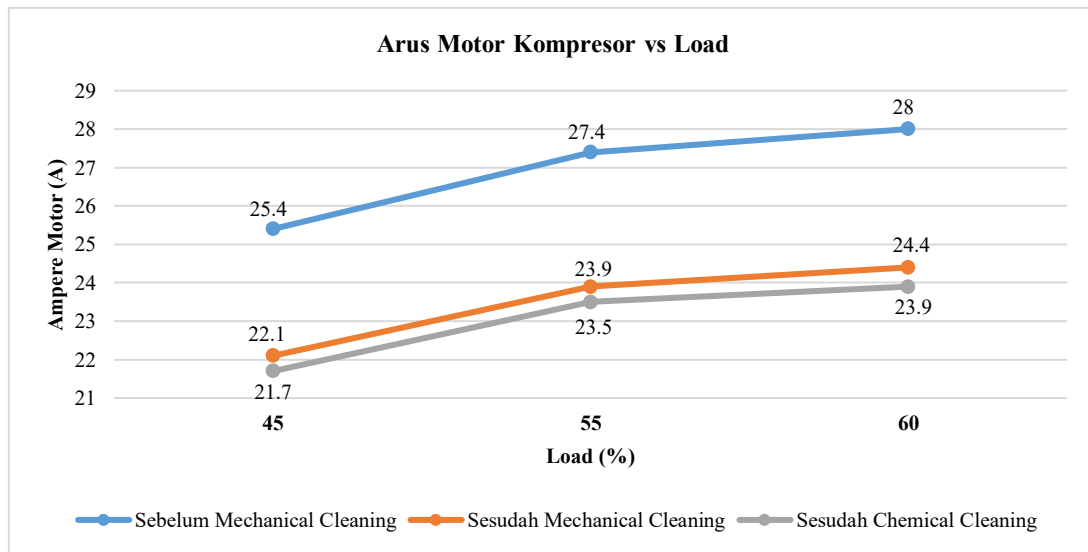
Selain itu, penurunan tekanan kondensor menunjukkan bahwa proses pelepasan kalor berlangsung lebih efektif setelah dilakukan *mechanical cleaning*. Kondisi ini mengurangi rasio kompresi yang harus dicapai kompresor sehingga konsumsi daya cenderung menurun. Meskipun demikian, kinerja sistem belum mencapai kondisi optimal karena masih terdapat kemungkinan adanya kerak atau deposit halus yang belum sepenuhnya terangkat melalui proses pembersihan mekanis. Untuk mengevaluasi peningkatan kinerja sistem setelah proses pembersihan lanjutan, dilakukan analisis terhadap data hasil pengujian sesudah *chemical cleaning*.

Tabel 3. Data Hasil Pengujian Sesudah *Chemical Cleaning*

Sesudah Chemical Cleaning										
Load (%)	Temperatur Chilled Water (°C)		Temperatur Water Cond (°C)		Current Motor (A)	Pressure Cond (MPa)	Pressure Evap (MPa)	Temp. suction gas (°C)	Temp. delivery gas (°C)	Temp. cond saturated (°C)
	In	Out	In	Out						
45%	20,7	16,4	29	31,7	21,7	0,78	0,37	17,7	49,6	35
55%	19,4	15,8	27,5	29,9	23,5	0,74	0,36	16,9	49,8	33,3
60%	20,1	16	27,5	30,5	23,9	0,76	0,36	17,7	49,6	34,2

Data sesudah *chemical cleaning* menunjukkan bahwa arus motor kompresor, tekanan kondensor, dan temperatur kondensasi cenderung lebih rendah dibandingkan kondisi sebelum proses pembersihan. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa proses *chemical cleaning* semakin meningkatkan efektivitas perpindahan panas pada kondensor sehingga beban kerja kompresor berkurang dan kinerja sistem *chiller* menjadi lebih baik.

Penurunan parameter operasi setelah *chemical cleaning* juga menunjukkan bahwa proses pembersihan kimia mampu menghilangkan deposit yang tidak dapat dibersihkan secara mekanis. Hal tersebut ditunjukkan oleh tekanan kondensor dan temperatur kondensasi yang lebih rendah dibandingkan setelah *mechanical cleaning*, sehingga proses kondensasi berlangsung lebih efektif dan efisiensi kerja sistem pendingin semakin meningkat.



Gambar 5. Grafik Perbandingan *Load* dengan 3 Kondisi terhadap Arus Motor

Gambar 5 menunjukkan hubungan antara arus motor kompresor dan beban produksi pada kondisi sebelum *mechanical cleaning*, sesudah *mechanical cleaning*, dan sesudah *chemical cleaning*. Pada ketiga kondisi, arus motor cenderung meningkat seiring bertambahnya beban produksi dari 45% hingga 60%. Hal ini menunjukkan bahwa kompresor memerlukan daya yang lebih besar untuk memenuhi kebutuhan pendinginan yang meningkat akibat bertambahnya beban produksi.

Sebelum *mechanical cleaning*, arus motor berada pada rentang 25,4 – 28 A. Setelah *mechanical cleaning*, nilainya menurun menjadi 22,1 – 24,4 A, dan kembali menurun menjadi 21,7 – 23,9 A setelah *chemical cleaning*. Penurunan arus motor tersebut menunjukkan bahwa proses pembersihan berhasil meningkatkan kinerja perpindahan panas pada kondensor sehingga kerja kompresor menjadi lebih ringan dan konsumsi daya sistem lebih rendah.

B. Analisis *Coefficient of Performance* (COP)

Coefficient of Performance (COP) merupakan salah satu parameter yang digunakan untuk mengevaluasi tingkat efisiensi kerja mesin *chiller*. Nilai COP diperoleh melalui perhitungan manual berdasarkan data tekanan dan temperatur hasil pengukuran dengan menggunakan data termodinamika refrigeran HFC-134a yang mengacu pada *Thermodynamic Properties of HFC-134a* [21] yang diterbitkan oleh *National Institute of Standards and Technology* (NIST). Nilai entalpi pada setiap titik siklus refrigerasi kemudian digunakan untuk menghitung kerja kompresor, kalor yang diserap evaporator, kalor yang dilepas kondensor, dan nilai COP.

Tabel 4. Hasil Perhitungan COP

Kondisi	Load (%)	Enthalpy kJ/kg							COP
		h1	h2	h3	h4	Wcomp	Qcond	Qevap	
Sebelum Mechanical Cleaning	45	408,100	442,330	262,060	262,060	34,230	180,270	146,040	4,3
	55	407,980	442,371	262,540	262,540	34,391	179,831	145,440	4,2
	60	408,700	446,732	260,350	260,350	38,032	186,382	148,350	3,9
Sesudah Mechanical Cleaning	45	408,700	434,906	251,500	251,500	26,206	183,406	157,200	6,0
	55	408,900	436,978	249,200	249,200	28,078	187,778	159,700	5,7
	60	408,280	436,358	252,100	252,100	28,078	184,258	156,180	5,6
Sesudah Chemical Cleaning	45	408,750	435,055	249,200	249,200	26,305	185,855	159,550	6,1
	55	408,340	436,000	246,650	246,650	27,660	189,350	161,690	5,8
	60	408,050	435,418	248,000	248,000	27,368	187,418	160,050	5,8

Berdasarkan Tabel 4, nilai *Coefficient of Performance* (COP) pada kondisi sebelum dilakukan *mechanical cleaning*, nilai COP pada beban 45% sebesar 4,3, yang menunjukkan bahwa *chiller* mampu menghasilkan efek pendinginan 4,3 kali dari kerja kompresor. Pada beban 55%, nilai COP sebesar 4,2, mengalami sedikit penurunan karena meningkatnya beban kerja mesin. Sementara itu, pada beban 60%, COP sebesar 3,9 dan menjadi nilai terendah, yang menunjukkan bahwa kinerja *chiller* semakin menurun pada beban yang lebih tinggi.

Setelah dilakukan *mechanical cleaning*, nilai COP pada beban 45% meningkat menjadi 6,0, menunjukkan adanya peningkatan efisiensi kerja *chiller* dibandingkan kondisi sebelumnya. Pada beban 55%, COP sebesar 5,7, yang mengalami sedikit penurunan dibandingkan beban 45%, namun masih menunjukkan kinerja yang lebih baik. Sedangkan pada beban 60%, COP sebesar 5,6, menunjukkan bahwa kinerja *chiller* setelah pembersihan tetap lebih baik meskipun beroperasi pada beban yang lebih tinggi.

Setelah dilakukan *chemical cleaning*, nilai COP pada beban 45% meningkat menjadi 6,1, yang merupakan nilai tertinggi dan menunjukkan peningkatan efisiensi setelah proses pembersihan lanjutan. Pada beban 55%, COP sebesar 5,8, meningkat dibandingkan hasil setelah *mechanical cleaning*. Sementara pada beban 60%, COP juga sebesar 5,8, menunjukkan bahwa proses *chemical cleaning* mampu mempertahankan dan meningkatkan kinerja *chiller* pada beban yang lebih tinggi.

Secara keseluruhan, hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai COP mengalami peningkatan setelah dilakukan *mechanical cleaning* dan kembali mengalami peningkatan setelah *chemical cleaning* pada seluruh variasi beban. Pada kondisi sebelum pembersihan, nilai COP berada pada rentang 3,9–4,3, sedangkan setelah *mechanical cleaning* meningkat menjadi 5,6–6,0. Setelah dilanjutkan dengan *chemical cleaning*, nilai COP kembali meningkat menjadi 5,8–6,1.

Peningkatan nilai COP menunjukkan bahwa proses pembersihan memberikan pengaruh positif terhadap kinerja dan efisiensi mesin *chiller*. *Mechanical cleaning* memberikan peningkatan yang lebih signifikan dibandingkan *chemical cleaning*, sedangkan *chemical cleaning* memberikan peningkatan tambahan setelah proses pembersihan mekanis dilakukan.

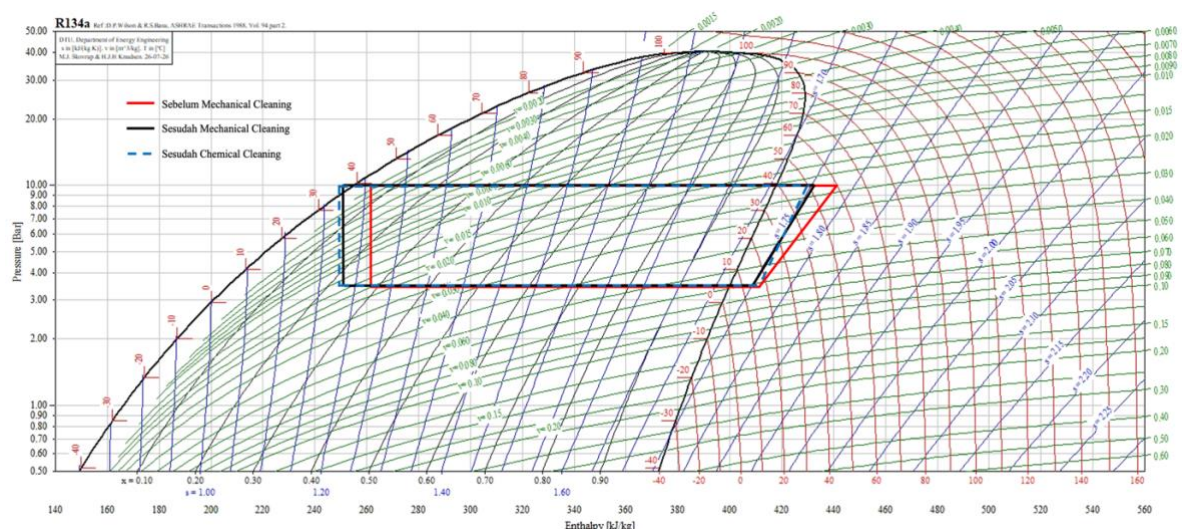
Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa proses *mechanical cleaning* dan *chemical cleaning* mampu meningkatkan unjuk kerja mesin *water-cooled chiller*. Hasil ini juga menunjukkan bahwa pemeliharaan dan pembersihan secara berkala diperlukan untuk menjaga efisiensi serta kestabilan kinerja *chiller* selama beroperasi.

C. Komparasi Diagram P-h Refrigeran R134a

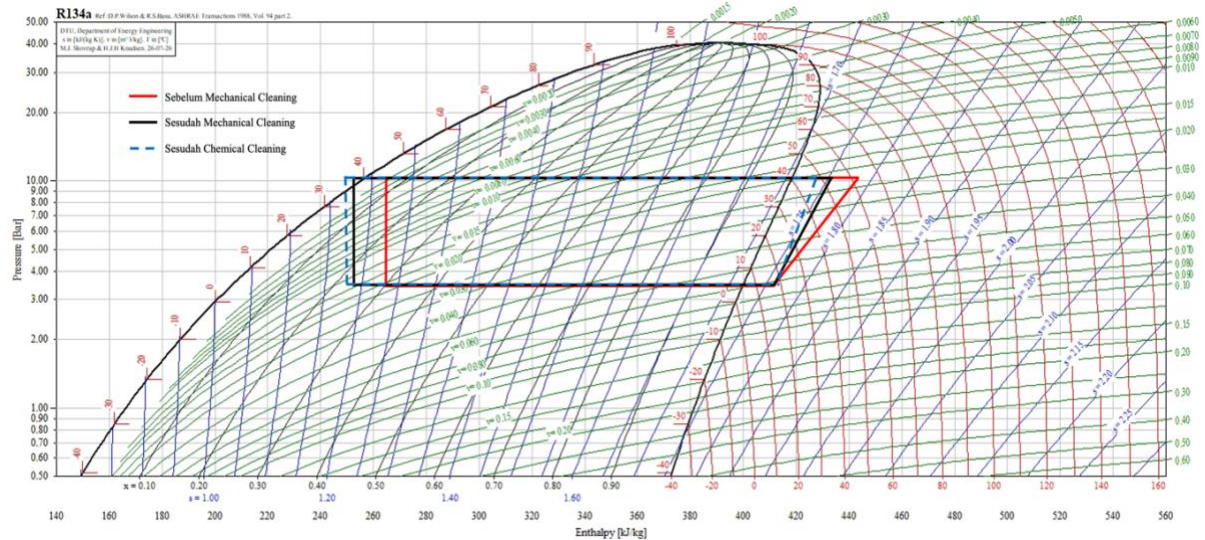
Diagram P-h (*Pressure-Enthalpy*) merupakan diagram termodinamika yang digunakan untuk menggambarkan siklus refrigerasi berdasarkan hubungan antara tekanan dan entalpi refrigeran R134a. Melalui diagram ini, perubahan kondisi refrigeran pada setiap tahapan siklus, yaitu kompresi, kondensasi, ekspansi, dan evaporasi, dapat diamati sehingga karakteristik kerja sistem pendingin dapat divisualisasikan secara lebih jelas.

Pada penelitian ini, diagram P-h disusun menggunakan perangkat lunak *CoolPack* berdasarkan nilai entalpi hasil perhitungan manual menggunakan data *Thermodynamic Properties of HFC-134a* dari NIST serta data tekanan operasi pada setiap titik siklus refrigerasi. Perangkat lunak *CoolPack* digunakan sebagai alat bantu untuk memvisualisasikan siklus refrigerasi, sedangkan seluruh perhitungan parameter termodinamika dilakukan secara manual.

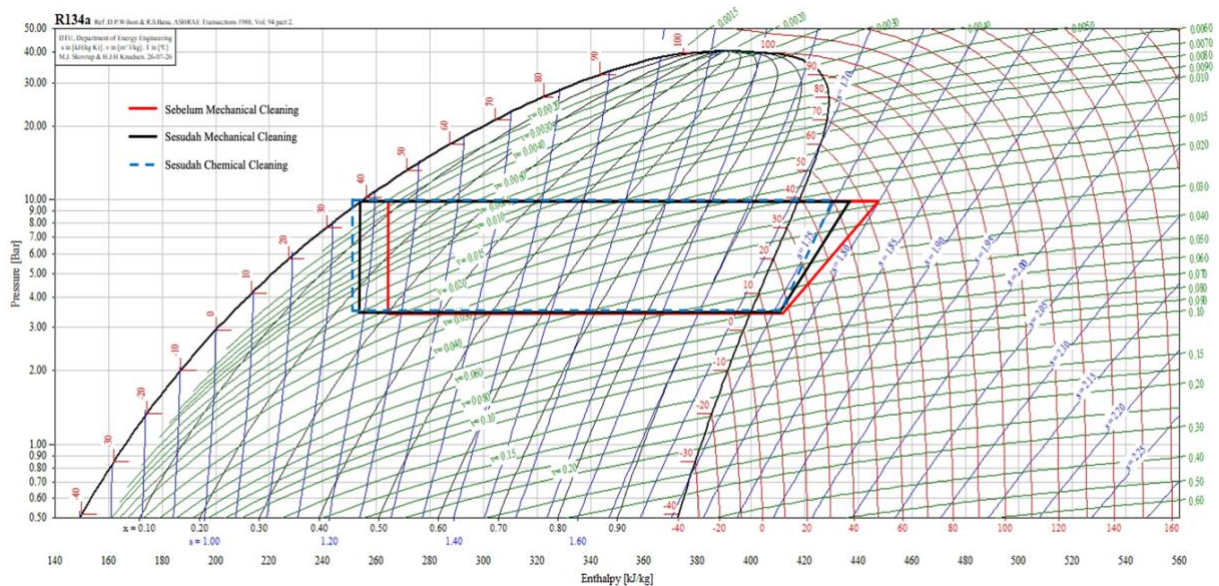
Pembahasan ini difokuskan pada interpretasi visual terhadap bentuk siklus refrigerasi serta perubahan posisi titik-titik kondisi refrigeran pada diagram P-h sebagai dampak dari proses pemeliharaan yang dilakukan.



Gambar 6. Komparasi Diagram P-h Refrigeran R134a Load 45%



Gambar 7. Komparasi Diagram P-h Refrigeran R134a Load 55%

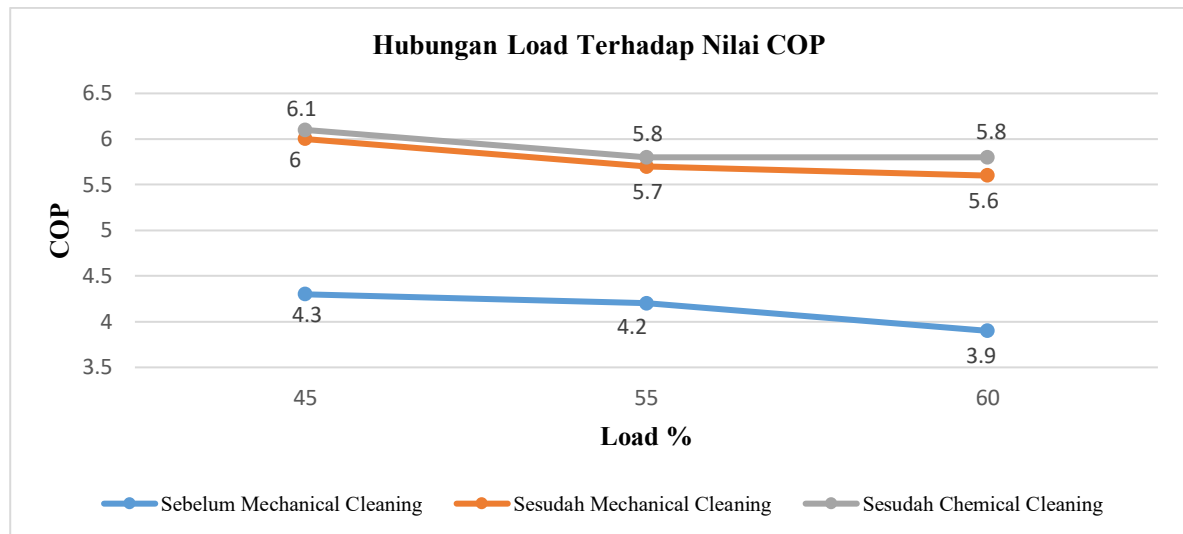


Gambar 8. Komparasi Diagram P-h Refrigeran R134a Load 60%

Gambar 6, Gambar 7, dan Gambar 8 menunjukkan komparasi diagram P-h refrigeran R134a pada load 45%, 55%, dan 60% sebelum *mechanical cleaning*, setelah *mechanical cleaning*, dan setelah *chemical cleaning*. Secara visual terlihat adanya pergeseran posisi titik-titik kondisi refrigeran setelah dilakukan proses pembersihan, terutama pada proses kompresi dan kondensasi. Pergeseran tersebut menunjukkan bahwa proses *mechanical cleaning* dan *chemical cleaning* memengaruhi kondisi termodinamika refrigeran selama siklus refrigerasi berlangsung. Meskipun perubahan posisi lintasan pada diagram tidak terlalu mencolok secara visual, pergeseran titik-titik kondisi refrigeran mengindikasikan adanya perubahan karakteristik siklus refrigerasi setelah proses pembersihan.

D. Perbandingan Nilai COP pada Berbagai Load Produksi

Untuk mempermudah analisis perubahan nilai COP pada setiap variasi *load* produksi, hasil perhitungan pada Tabel 4 disajikan dalam bentuk grafik sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 9. Perbandingan nilai COP dilakukan pada tiga kondisi operasi, yaitu sebelum *mechanical cleaning*, setelah *mechanical cleaning*, dan setelah *chemical cleaning*, dengan variasi *load* produksi sebesar 45%, 55%, dan 60%. Grafik digunakan untuk melihat kecenderungan perubahan nilai COP terhadap peningkatan *load* serta mengetahui pengaruh proses pembersihan terhadap performa mesin *chiller*.



Gambar 9. Grafik Perbandingan Nilai COP Chiller pada Berbagai Load Produksi Sebelum *Mechanical Cleaning*, Sesudah *Mechanical Cleaning*, dan Sesudah *Chemical Cleaning*.

Gambar 9 memperlihatkan hubungan antara *load* produksi dan nilai COP pada kondisi sebelum *mechanical cleaning*, sesudah *mechanical cleaning*, dan sesudah *chemical cleaning*. Secara umum, nilai COP pada ketiga kondisi cenderung menurun seiring meningkatnya *load* produksi dari 45% hingga 60%. Kondisi ini menunjukkan bahwa semakin besar kebutuhan pendinginan akibat meningkatnya *load* produksi, semakin besar pula kerja kompresor sehingga efisiensi sistem cenderung menurun.

Pada kondisi sebelum *mechanical cleaning*, nilai COP menurun dari 4,3 pada *load* 45% menjadi 3,9 pada *load* 60%. Setelah dilakukan *mechanical cleaning*, nilai COP meningkat menjadi 6,0, 5,7, dan 5,6 pada *load* 45%, 55%, dan 60%. Selanjutnya, Setelah dilakukan *chemical cleaning*, nilai COP meningkat menjadi 6,1 pada *load* 45%, sedangkan pada *load* 55% dan 60% diperoleh nilai COP sebesar 5,8. Hasil tersebut menunjukkan bahwa proses pembersihan mampu meningkatkan efisiensi kerja *chiller* melalui perbaikan perpindahan panas pada kondensor, sehingga energi yang dibutuhkan kompresor untuk menghasilkan efek refrigerasi menjadi lebih rendah.

Berdasarkan hasil pengujian, proses *mechanical cleaning* dan *chemical cleaning* memberikan pengaruh positif terhadap unjuk kerja *chiller*. *Mechanical cleaning* menghasilkan peningkatan efisiensi yang signifikan dibandingkan kondisi sebelum pembersihan, sedangkan *chemical cleaning* mampu mempertahankan sekaligus sedikit meningkatkan nilai COP pada seluruh variasi *load*. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kedua proses pembersihan efektif dalam memperbaiki performa *chiller* melalui peningkatan perpindahan panas pada kondensor.

IV. SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa proses *mechanical cleaning* dan *chemical cleaning* memberikan pengaruh positif terhadap unjuk kerja mesin *water-cooled chiller* pada *Plant Dioctyl Phthalate* PT XYZ. Hal ini sesuai dengan tujuan penelitian pertama, yaitu mengetahui potensi penyebab kegagalan mesin *chiller*, yang ditunjukkan oleh kondisi tekanan dan temperatur kondensasi yang tinggi sebelum dilakukan pembersihan. Setelah dilakukan *mechanical cleaning*, tekanan kondensasi, temperatur kondensasi, dan arus motor kompresor mengalami penurunan yang menunjukkan meningkatnya efektivitas perpindahan panas pada kondensor. Perbaikan tersebut semakin terlihat setelah dilakukan *chemical cleaning*, yang ditunjukkan oleh peningkatan nilai *Coefficient of Performance* (COP) dari 4,3; 4,2; dan 3,9 sebelum *mechanical cleaning* menjadi 6,0; 5,7; dan 5,6 setelah *mechanical cleaning*, kemudian menjadi 6,1; 5,8; dan 5,8 setelah *chemical cleaning* pada variasi *load* 45%, 55%, dan 60%. Hasil tersebut juga menjawab tujuan penelitian kedua, yaitu mengetahui perhitungan parameter performa mesin, melalui analisis COP dan parameter operasi *chiller*. Selain itu, semakin tinggi *load* operasi, nilai COP cenderung menurun akibat meningkatnya kerja kompresor.

Secara keseluruhan, proses *mechanical cleaning* dan *chemical cleaning* terbukti mampu meningkatkan efektivitas perpindahan panas pada kondensor, mengurangi beban kerja kompresor, serta meningkatkan efisiensi sistem pendingin sehingga performa mesin *chiller* menjadi lebih optimal. Hasil peningkatan COP tersebut menunjukkan bahwa tujuan penelitian ketiga, yaitu mengetahui peningkatan performa setelah dilakukan *overhaul*, telah tercapai.

Untuk penelitian selanjutnya, disarankan dilakukan pengecekan dan kalibrasi sensor-sensor pengukuran, seperti sensor tekanan dan temperatur, untuk memastikan keakuratan data yang digunakan dalam perhitungan performa.

Selain itu, dapat dilakukan analisis lebih lanjut terhadap kondisi dan performa *cooling tower* karena kinerja *cooling tower* berpengaruh terhadap proses pelepasan panas pada kondensor. Penelitian selanjutnya juga dapat dilengkapi dengan analisis performa kompresor, seperti efisiensi kompresor, konsumsi daya aktual, dan kondisi operasional kompresor, sehingga evaluasi unjuk kerja *chiller* dapat dilakukan secara lebih menyeluruh. Perlu dilakukan periodical *cleaning* sesuai rekomendasi pada *operation and maintenance manual book* mesin *chiller* serta pengendalian kualitas air pada *cooling tower* yang digunakan sebagai media pendingin kondensor secara berkala guna mencegah terbentuknya *fouling*, menjaga efektivitas perpindahan panas, dan mempertahankan kinerja mesin *chiller*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan puji syukur ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga skripsi ini dapat diselesaikan. Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada kedua orang tua atas doa dan dukungannya, Ketua Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, teman-teman yang telah membantu selama penyusunan skripsi, serta pihak PT XYZ yang telah memberikan izin dan kesempatan untuk melaksanakan penelitian dan pengambilan data.

REFERENSI

- [1] ESDM. (2022). “Rencana Umum Energi Nasional (RUEN),” Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- [2] Nugraha, A. (2019). “Analisis Efisiensi Energi pada Sistem Pendingin Sentral (Chiller) di Gedung Perkantoran,” *Jurnal Teknik Mesin*.
- [3] Sihombing, R. (2017). “Kajian Kinerja Sistem Pendingin Chiller Menggunakan Air Sebagai Fluida Pendingin,” *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Industri*.
- [4] Cappenberg, A. D. (2020). “Analisis Chiller Dengan Menggunakan R123 Dan R134a Pada Kinerja Pendinginan,” *Jurnal Kajian Teknik Mesin*.
- [5] Muharni, R., Suryadimal, S., Afrianda, A., Kaidir, K., Martiana, W., & Kesuma, D. (2023). “Analisis Performa Sistem Pendingin Mesin Mini Water Chiller,” *Jurnal Teknik Mesin*.
- [6] Nugroho, A. (2015). “Analisa Kinerja Refrigerasi Water Chiller Pada PT GMF Aeroasia,” *Jurnal Teknik Mesin Mercu Buana*.
- [7] Syahputra, S. A. et al. (2024). “Pelatihan Perbaikan Overhaul Kompresor Chiller Bagi Para Teknisi Perusahaan di Tanjung Morawa. Karya Unggul,” *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*.
- [8] Abe, R., & Othman, R. (2023). “Analisis Performansi Chiller Pada Rumah Sakit Di Kota Pekanbaru Dengan Menggunakan Refrigerant R-22,” *Jurnal Ilmu Dan Teknologi*.
- [9] Ismail, M. T., & Ibrahim, M. H. (2021). “The effects of operating parameters on the performance of a batch reactor for the synthesis of dioctyl phthalate,” *Journal of Chemical Engineering and Process Technology*.
- [10] Çengel, Y. A., & Boles, M. A. (2015). “Thermodynamics: An Engineering Approach (8th ed.),” *McGraw-Hill Education*.
- [11] Moran, M. J., & Shapiro, H. N. (2018). “Prinsip-Prinsip Termodinamika untuk Rekayasa,” Erlangga.
- [12] Hidayat, M. (2021). “Analisis Kinerja Sistem Refrigerasi Kompresi Uap Menggunakan R134a,” *Jurnal Teknik Mesin Nusantara*.
- [13] Sukarno, B. (2022). “Analisis Termodinamika pada Sistem Pendingin Ruangan Berbasis Kompresi Uap,” *Jurnal Energi dan Konversi Termal*.
- [14] Ahmad Fatoni, Hendra Setiawan. (2024). “Analisa Efisiensi Energi Pada Penggunaan Chiller Satu Kompresor dan Dua Kompresor,” *Jurnal Rekayasa Elektro, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta*.
- [15] Dede Wirta, Irwanto. (2024). “Efisiensi Kinerja Mesin Chiller CUWD60B5Y Pada Industri Kimia,” *Jurnal Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Kota Serang, Vol 9, No 2, DOI: <https://doi.org/10.52561/teknika.v9i2.412>*.
- [16] Al Wahyudi Andriansyah, Apip Badarudin, Arda Rahardja Lukitobudi. (2023). “Analisis Performansi *Centrifugal Water Cooled Chiller* Di Grand Indonesia Mall (*West Mall*),” *Prosiding The 14th Industrial Research Workshop and National Seminar*, Bandung 25-26 Juli 2023.
- [17] Daikin, (2013) “Water Cooled Single-Screw Chillers R134a,” Water-Cooled CUWD-B5Y standard series.
- [18] Dinas Pengawasan Dan Penertiban Bangunan, (2014) “Sistem Pengkondisian Udara & Ventilasi” Vol 02, Pemerintah Provinsi DKI Jakarta.
- [19] Skovrup, M. J., & Jacobsen, A. (2001). “CoolPack: A Collection of Simulation Tools for Refrigeration,” Department of Mechanical Engineering, Technical University of Denmark (DTU).

- [20] Cappenberg, A. D., & Ramadan, H. (2018). "Uji Prestasi Mesin Pendingin Kompresi Uap yang Menggunakan Refrigeran R22 dengan Metode Pengujian Aktual dan Simulasi," Jurnal Kajian Teknik Mesin.
- [21] National Institute of Standards and Technology (NIST). (2025). NIST Chemistry WebBook: Norflurane (HFC-134a, R-134a), Standard Reference Database 69.
- [22] Faris Ferdiansyah, Rachmat Firdaus. (2024). "Solusi Penyumbatan Tabung untuk Penukar Panas Industri." Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, DOI: <https://doi.org/10.21070/pels.v7i0.1528>.
- [23] Rendy Rakhmad F, A'rasy Fahrudin, Mulyadi, Edi Widodo. (2025). "Analisa Tekanan Kondensor Tipe Pokka 5001 Jenis Finned Tube Terhadap Laju Perpindahan Panas." Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Vol. 26 No.4, DOI: <https://doi.org/10.21070/ijins.v26i4.2100>.

Conflict of Interest Statement:

The author declares that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.