



## PENGARUH KOMPOSISI ASAM SITRAT PADA PROSES *CHEMICAL CLEANING TUBE* KONDENSOR TERHADAP KINERJA *WATER COOLED CHILLER*

Achmad Fahrizal Azmi<sup>a\*</sup>, AM.Mufarrih<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Teknik Mesin, Teknik, Politeknik Negeri Malang

E-mail koresponden: [aachmadfahrizal@gmail.com](mailto:aachmadfahrizal@gmail.com)

### Abstract

*The performance of a water-cooled chiller typically decreases over time due to the buildup of deposits on the condenser tube surfaces. This condition ultimately affects the stability of the condenser's performance. In this study, chemical cleaning is employed, where the process involves removing scale using a citric acid solution. The objective of this research is to analyze the significant differences between several independent variable variations on the dependent variable. The method used in this study is One-Way ANOVA, with the independent variable being the composition, specifically the concentration of citric acid at 4%, 8%, and 12%. The controlled variable is the amount of water, set at 48 liters, 46 liters, and 44 liters, with data collection occurring every hour. The dependent variable is the performance of the water-cooled chiller. The cleaning process was carried out consistently over a 30-minute period. The results of this cleaning process showed that the best performance of the water-cooled chiller was achieved with the use of 6 liters of citric acid, resulting in a COP (Coefficient of Performance) of 5.5.*

**Keywords:** *Performance, Condenser, Chemical Cleaning, COP (Coefficient of Performance), Acid Solution.*

### Abstrak

Kinerja dari *water cooled chiller* biasanya akan menurun seiring dengan waktu karena adanya penumpukan endapan pada permukaan pipa kondensor. Keadaan ini pada akhirnya berdampak pada ketidakstabilan performa kondensor pada penelitian ini merupakan salah satu metode *chemical cleaning* yang dimana proses ini dilakukan pembersihan kerak menggunakan larutan asam sitrat. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perbedaan signifikan antara beberapa variasi variabel bebas terhadap variabel terikat. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah Analisis Varian satu Arah (*One-Way ANOVA*), maka penelitian ini menggunakan variabel bebas yaitu komposisi yang dimana komposisi konsentrasi ini menggunakan asam sitrat 4%, 8%, 12% lalu variabel terkontrolnya merupakan jumlah air 48 Liter, 46 Liter dan 44 Liter serta pengambilan data setiap 1 jam sekali dan variabel terikatnya merupakan kinerja dari mesin *water cooled chiller*. Proses pembersihan dilakukan secara konstan dengan rentang waktu 30 menit. Kemudian didapatkan hasil dari pembersihan ini berupa kinerja mesin *watercooled chiller* dengan hasil akhir pembersihan yang terbaik dari komposisi asam sitrat 6 liter dengan nilai COP 5.5.

**Kata Kunci:** Kinerja, Kondensor, *Chemical Cleaning*, COP (*Coefficient of Performance*), Zat Asam

## 1. PENDAHULUAN

Kinerja *chiller* berpendingin air cenderung menurun seiring waktu karena penumpukan endapan pada pipa kondensor. Endapan ini menghambat perpindahan panas, sehingga kompresor harus bekerja lebih keras, yang menyebabkan efisiensinya menurun. Kondensor adalah komponen penting yang berfungsi membuang panas dari refrigeran agar bisa diproses kembali di evaporator. Penggunaan air sebagai media pendingin dapat meningkatkan efisiensi pembuangan panas. Selain itu, evaporator juga penting karena menghasilkan air dingin sesuai kebutuhan. Jika aliran air yang masuk ke mesin pendingin terlalu kecil atau terlalu besar, hal ini dapat menyebabkan mesin tidak berfungsi optimal dan mengurangi efisiensi pendinginan [1].

Salah satu masalah umum pada kondensor adalah adanya kotoran pada pipa air pendingin, yang disebabkan oleh partikel-partikel dalam air. Hal ini dapat mengganggu aliran air pendingin, menyebabkan kebocoran, dan mengurangi efisiensi perpindahan panas. Untuk mengatasi masalah ini, perlu dilakukan pembersihan pipa secara rutin untuk mencegah penumpukan kotoran dan memastikan kondensor tetap berfungsi dengan baik, sehingga proses perpindahan panas bisa berlangsung efisien [2].

Penelitian ini membahas metode pembersihan kimiawi, yaitu menggunakan larutan asam untuk menghilangkan kerak pada pipa kondensor. Asam sitrat pada pH 4 efektif membersihkan kerak seperti  $\text{CaCO}_3$ , besi oksida, mangan oksida, dan senyawa tripolifosfat. Dalam hal efektivitas melarutkan kerak, HCl adalah yang paling efektif, diikuti oleh  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ , dan  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Namun, HCl juga memiliki risiko korosi yang tinggi, sehingga penggunaannya dibatasi [3].

Pembersihan kondensor dapat meningkatkan kinerjanya. Besarnya aliran media pendingin sangat mempengaruhi suhu dan efisiensi mesin pendingin. Aliran yang tinggi dapat mempercepat pendinginan ruangan, karena meningkatkan efisiensi pertukaran panas oleh fluida pendingin. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi performa sistem refrigerasi pada *water cooled chiller* setelah dilakukan pembersihan tubing kondensor, dengan membandingkan dua metode pembersihan kimiawi yang berbeda. Fluida yang digunakan adalah R134a dengan kondensor tipe *shell and tube* [4].

Dari uraian diatas maka perlu dilakukannya penelitian terkait dengan pengaruh komposisi bahan pembersih terhadap kinerja mesin *water cooled chiller*, yang dimana pembersihan ini dilakukan pada bagian kondensor chiller agar kerak yang ada di dalam pipa kondensor bisa dibersihkan dengan bantuan kimiawi.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Penelitian Terdahulu

Penyebab gangguan proses kondensasi pada *refrigerator*. Penyebabnya meliputi kondisi kondensor yang sangat kotor, material *zinc anode* yang sudah tidak berfungsi optimal karena masa kerja yang sudah terlalu lama, kurangnya keterampilan dan pengetahuan kru kapal, serta jadwal perawatan yang tidak tepat waktu. Gangguan ini menyebabkan kondensor tidak berfungsi optimal, menghambat proses kondensasi. Untuk mengatasi masalah ini, Reza melakukan perawatan kondensor dengan membersihkan kotoran pada pipa, mengganti *zinc anode* yang lama dengan yang baru, meningkatkan disiplin dan keterampilan kru dalam melakukan pengecekan, serta memberikan pelatihan dan informasi kepada seluruh kru kapal tentang penggunaan ruang pendingin.

Pembersihan kondensor dan evaporator pada *AC split wall* yang menggunakan *refrigeran R22* dapat meningkatkan kinerjanya. Debit atau laju aliran media pendingin sangat mempengaruhi suhu dan efisiensi mesin pendingin. Hal ini juga berlaku pada media yang didinginkan oleh sistem refrigerasi, di mana laju aliran yang tinggi memungkinkan pendinginan ruangan lebih cepat karena fluida pendingin dapat lebih efisien menukar panas.

Penurunan vakum pada kondensor dapat disebabkan oleh beberapa faktor, seperti kotoran pada pipa kondensor akibat pergerakan biota laut, tekanan *gland seal* yang terlalu rendah, vakum penahan yang tidak rapat, keretakan pada *membrane turbine*, katup aliran deaerator yang terbuka, serta kebocoran pada fleksibel joint antara turbin dan kondensor. Masalah-masalah ini dapat meningkatkan tekanan di dalam kondensor, mengganggu vakum, dan akhirnya menurunkan efisiensi turbin di PLTU Unit 4. Jika tidak segera diperbaiki, kondisi ini bisa menyebabkan unit harus dihentikan darurat atau trip secara otomatis.

Hubungan antara *COP (Coefficient of Performance)* dan variabel debit pendinginan konstan serta variabel beban dan pendingin dengan *blower*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin kecil beban pendinginan, semakin besar COP yang dihasilkan. Sebaliknya, semakin besar beban pendinginan, *COP* menjadi semakin kecil. Hal ini terjadi karena beban yang lebih besar membuat evaporator menyerap lebih banyak panas, yang menurunkan kemampuan kerja alat pendingin.

### 2.2 Water Cooled Chiller

*Water cooled chiller* adalah alat penukar panas yang menggunakan air sebagai media pendingin. Alat ini mendinginkan fluida (biasanya air) yang kemudian dipompa melalui *air handling units* (AHU) untuk mendinginkan udara. Sistem ini terdiri dari empat komponen utama: evaporator, kompresor, kondensor, dan katup ekspansi. Proses pendinginan melibatkan refrigeran yang menyerap panas di evaporator, dikompresi di kompresor, melepaskan panas di kondensor, dan mengalami penurunan tekanan serta suhu di katup ekspansi [5].

### 2.3 Perpindahan Panas

Perpindahan panas terjadi karena perbedaan suhu dan dapat berlangsung melalui konduksi, konveksi (alami dan paksa), dan radiasi. Proses ini penting untuk memahami bagaimana energi termal berpindah dalam sistem pendingin [6].

### 2.4 Chemical Cleaning

Proses pembersihan kimiawi digunakan untuk menghilangkan kotoran dari pipa kondensor. Bahan kimia seperti asam asetat, asam sulfat, asam fosfat, asam askorbat, asam sitrat, dan asam nitrat dipilih sesuai dengan jenis kotoran dan material pipa. Tujuan dari pembersihan kimiawi adalah untuk meningkatkan kinerja pendingin, yang diukur dengan *Coefficient of Performance* [7].

### 2.5 Bahan Pembersih Pada Proses Chemical Cleaning

Pemilihan bahan pembersih sangat penting untuk memastikan efektivitas proses tanpa merusak sistem kondensor. Beberapa bahan yang umum digunakan termasuk asam asetat, asam sulfat, asam fosfat, asam askorbat, asam sitrat, dan asam nitrat, yang masing-masing memiliki keunggulan dalam mengatasi jenis kotoran tertentu. Asam sitrat memiliki beberapa keunggulan utama, yaitu efektif sebagai pembersih karena kemampuannya melarutkan kerak dan endapan mineral, ramah lingkungan karena bersifat *biodegradable*, dan aman digunakan karena memiliki tingkat toksisitas yang rendah dibandingkan dengan asam lainnya.

### 2.6 Kondensor

Kondensor mengubah uap menjadi cairan dengan mengalirkan uap ke pipa yang didinginkan oleh air. Proses ini sangat bergantung pada aliran air pendingin, kebersihan pipa, dan perbedaan suhu antara uap dan air, kondensor yang diteliti adalah tipe *shell and tube* pada *unit chiller Daikin CUWD50B5Y*. Kondensor ini memiliki kapasitas sebesar 500 kW, yang penting untuk efisiensi proses pendinginan dalam aplikasi industri. Diameter pipa pada tube kondensor adalah 19,05 mm, yang berperan signifikan dalam menentukan laju aliran refrigeran serta efektivitas proses *chemical cleaning* yang dilakukan [8].

### 2.7 Fluida Kerja Refrigerant R134a

*Refrigerant R134a* adalah Refrigeran yang digunakan dalam *water cooled chiller* dan memiliki karakteristik sebagai berikut: tekanan penguapan yang lebih tinggi, panas laten penguapan yang besar, konduktivitas termal tinggi, viskositas rendah, titik beku rendah, serta stabil dan ramah lingkungan [9]

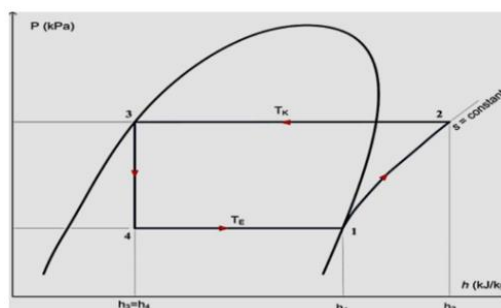
### 2.8 Diagram P-h

Diagram *P-h* (Gambar 1) digunakan untuk menganalisis sifat-sifat termodinamika refrigeran pada berbagai kondisi suhu dan tekanan. Diagram ini membantu dalam memahami perubahan keadaan fluida kerja selama proses pendinginan dengan menunjukkan hubungan antara tekanan (*P*) dan entalpi (*h*) refrigeran. Yang dimana rumus menghitung COP adalah :

$$COP = \frac{Q_c}{W_c} \quad (1)$$

$Q_c$  = Kerja Kondensor (Kj/Kg)

$W_c$  = Kerja Kompresor (Kj/Kg)



Gambar 1. Diagram *P-h*

### 2.9 Kinerja Water Cooled Chiller

Kinerja *water cooled chiller* diukur dengan *Coefficient of Performance (COP)*, yang merupakan perbandingan antara kapasitas pendinginan dan daya yang dibutuhkan untuk mengoperasikan kompresor. Semakin tinggi nilai COP, semakin baik kinerja sistem refrigerasi [10].

### 2.10 Kinerja Kompresor

Kinerja kompresor diukur berdasarkan laju aliran massa dan perbedaan entalpi antara dua tingkat keadaan. Kinerja ini mencerminkan seberapa efisien kompresor dalam mengompresi refrigeran [11].

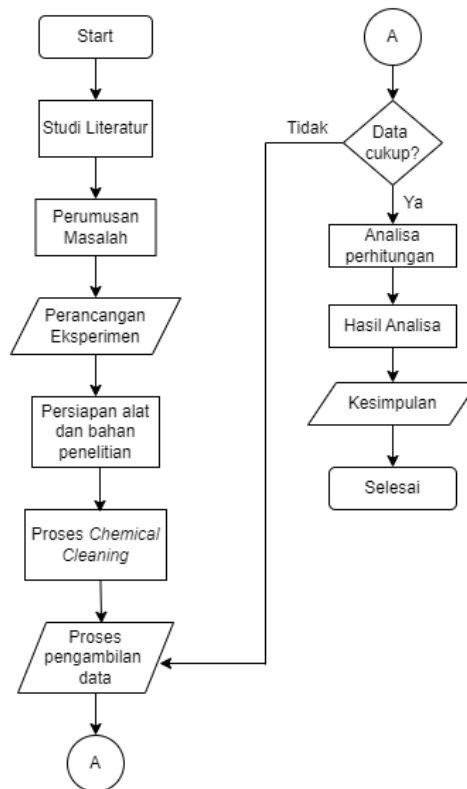
### 2.11 Hipotesis Penelitian

Ada pengaruh komposisi asam sitrat terhadap kinerja *water cooled chiller*.

## 3. METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental yang dilakukan dengan memberikan perlakuan terhadap satu atau lebih variabel proses tertentu. Adapun diagram alir penelitian sebagaimana pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Alir

### 3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Waktu Penelitian: Maret 2024 hingga Mei 2024.

Tempat Penelitian:

- PT Petrochemical, kawasan industri, Jl. Prof. Dr. Moh. Yamin, Sekarsore, Roomo, Kec. Gresik, Kabupaten Gresik, Jawa Timur 61151.
- *Plant dioctyl phthalate* PT Petrochemical.

### 3.3 Alat dan Bahan Penelitian

- Mesin *water cooled chiller* tipe *single screw*
- Air, asam sitrat dan asam nitrat
- Selang air
- Kunci pas, Kunci ring, Kunci tommy
- Pompa diafragma
- Bak air

### 3.4 Variabel Penelitian

- Variabel Bebas:

Komposisi: 4%, 8%, 12%.

- Variabel Terikat:  
Kinerja mesin water cooled chiller.
- Variabel Terkontrol:  
Komposisi air 50 liter.  
Waktu pengambilan data tiap 1 jam.

### 3.5 Setting Peralatan Penelitian

Mesin *Water Cooled Chiller* merupakan alat yang digunakan dalam *proses chemical cleaning*.

Langkah penggunaan:

1. Persiapkan peralatan dan bahan pendukung.
2. Buat komposisi zat asam dan air dalam drum 50L.
3. Setting pompa diagfragma dengan selang air.
4. Hubungkan selang air dengan pompa dan *input-output* kondensor.
5. Nyalakan pompa diagfragma, biarkan sirkulasi berlangsung.
6. Kontrol waktu yang ditetapkan.
7. Lakukan proses *chemical cleaning*.
8. Catat hasil data dari display mesin.

### 3.6 Metode Pengambilan Data

1. Persiapkan bahan kimia dan peralatan.
2. Campurkan larutan kimia dengan air dalam drum sesuai takaran (2L, 4L, 6L air konstan 50L).
3. Lepas *line piping* ke *inlet* dan *outlet* kondensor *chiller*, pasang selang air di *inlet-outlet*.
4. Nyalakan pompa diagfragma, biarkan sirkulasi selama 30 menit.
5. Lepas selang pada *inlet* dan *outlet*, pasang kembali *line inlet outlet* kondensor.
6. *Start* mesin *water cooled chiller*, tunggu 20 menit untuk pendinginan optimal.
7. Lakukan pengambilan data dari display mesin *water cooled chiller*.

### 3.7 Metode Pengolahan dan Analisis Data

1. Persiapkan bahan untuk pembersihan dengan asam sitrat dan asam nitrat, masing-masing dicampur dengan 50 liter air.
2. Lakukan proses *chemical cleaning* dengan mensirkulasikan di bagian *tube* kondensor menggunakan pompa diafragma.
3. Ambil data kinerja mesin *water cooled chiller* dari *display panel*.
4. Uji hasil kerja *water cooled chiller* dengan *input* data ke *software CoolPack*.

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil Data Penelitian

Penelitian ini menganalisis kinerja *water cooled chiller* setelah proses pembersihan kondensor menggunakan variasi komposisi asam sitrat dan asam nitrat. Pembersihan dilakukan selama 7 jam pada setiap variasi, dan hasilnya diinput ke dalam (tabel 1).

Data tersebut menunjukkan hasil kinerja mesin *water cooled chiller* setelah pembersihan dengan berbagai komposisi asam. Berikut penjelasan data yang diambil dalam proses *chemical cleaning*:

- **Superheat:** Selisih antara suhu refrigeran uap keluar dari evaporator dan suhu jenuhnya. Menunjukkan pemanasan lebih lanjut setelah penguapan lengkap, penting untuk mencegah kerusakan kompresor.
- **Subcooling:** Selisih antara suhu refrigeran cair keluar dari kondensor dan suhu jenuhnya. Indikator efisiensi kondensor dalam mendinginkan refrigeran di bawah titik didih.
- **Suhu Evaporator:** Suhu penguapan refrigeran di evaporator. Mencerminkan kemampuan sistem dalam menyerap panas dari medium yang didinginkan.
- **Suhu Kondensor:** Suhu kondensasi refrigeran di kondensor. Menggambarkan kemampuan sistem dalam melepaskan panas, mempengaruhi tekanan kerja dan efisiensi termal.
- **Kerja Kondensor:** Proses di mana refrigeran uap didinginkan dan dikondensasikan menjadi cairan, melepaskan panas ke lingkungan. Efisiensi kondensor mempengaruhi kemampuan sistem dalam membuang panas dan mempertahankan tekanan optimal.

- **Kerja Evaporator:** Proses di mana refrigeran cair menyerap panas dari medium yang didinginkan dan menguap menjadi uap. Efisiensi evaporator menentukan seberapa efektif sistem dalam menyerap panas untuk pendinginan.
- **Coefficient of Performance (COP):** Rasio antara kapasitas pendinginan yang dihasilkan oleh chiller.

**Tabel 1.** Data hasil *cleaning* kondensor *water cooled chiller* menggunakan asam sitrat

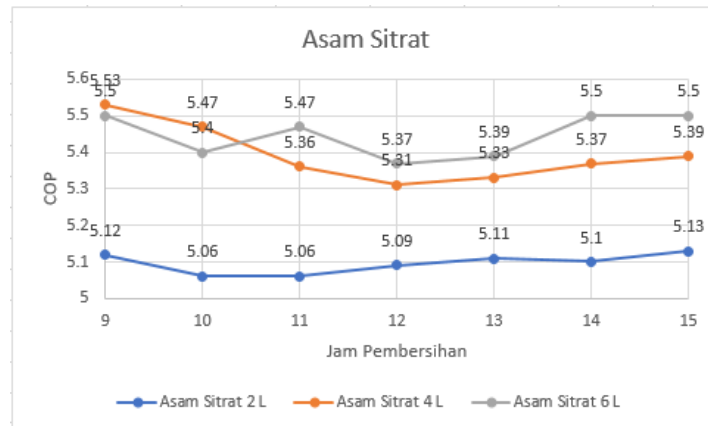
No	Waktu (Jam)	Volume (Liter)	Qc (Kj/Kg)	Qe (Kj/Kg)	W (Kj/Kg)	T Evap (°C)	T Cond (°C)	SubC (K)	SupH (K)	COP
Asam Sitrat										
1	09.00	2	139.751	167.175	27.924	8.10	53.30	5	7	5.00
2	10.00	2	140.305	167.961	27.657	8.25	53.00	5	7	5.07
3	11.00	2	140.275	167.968	27.693	8.20	53.00	5	7	5.07
4	12.00	2	140.584	168.172	27.588	8.20	52.80	5	7	5.10
5	13.00	2	139.646	167.286	27.641	8.70	53.60	5	7	5.05
6	14.00	2	140.026	167.750	27.725	8.30	53.20	5	7	5.05
7	15.00	2	140.429	168.070	27.641	8.20	52.90	5	7	5.08
8	09.00	4	144.819	170.993	26.174	8.10	50.00	5	7	5.53
9	10.00	4	144.192	170.534	26.342	8.20	50.45	5	7	5.47
10	11.00	4	143.214	169.950	26.735	8.10	51.05	5	7	5.36
11	12.00	4	142.754	169.149	26.895	8.10	51.35	5	7	5.31
12	13.00	4	143.031	169.856	26.825	8.05	51.05	5	7	5.33
13	14.00	4	143.337	170.029	26.693	8.10	50.97	5	7	5.37
14	15.00	4	143.474	170.093	26.619	8.15	50.90	5	7	5.39
15	09.00	6	144.421	170.782	26.621	8.20	50.30	5	7	5.50
16	10.00	6	143.597	170.199	26.602	8.10	50.80	5	7	5.40
17	11.00	6	143.976	170.314	26.338	8.35	50.65	5	7	5.47
18	12.00	6	143.104	169.772	26.668	8.30	51.20	5	7	5.37
19	13.00	6	143.590	170.149	26.629	8.10	50.85	5	7	5.39
20	14.00	6	144.328	170.570	26.241	8.30	50.40	5	7	5.50
21	15.00	6	144.607	170.908	26.301	8.00	50.10	5	7	5.50

#### 4.1.1 Proses Pengolahan Data dengan CoolPack

Data yang didapatkan kemudian diolah menggunakan *software CoolPack* untuk menghasilkan data kinerja dari mesin *water cooled chiller* setelah proses pembersihan *tube* kondensor. Proses pengolahan meliputi:

1. Buka *software CoolPack*.
2. Masuk pada *fitur refrigeration utilities* dan pilih log p-h diagram.
3. Tentukan *refrigerant* yang digunakan (R-134a).
4. *Input* data yang dihasilkan dari *display* mesin.
5. Tekan OK untuk mendapatkan *cycle diagram p-h* dan hasil kinerja mesin.

Gambar 3 menunjukkan bahwa pembersihan menggunakan asam sitrat dengan komposisi 6 liter menghasilkan nilai kinerja mesin yang lebih optimal dengan nilai COP 5.5.

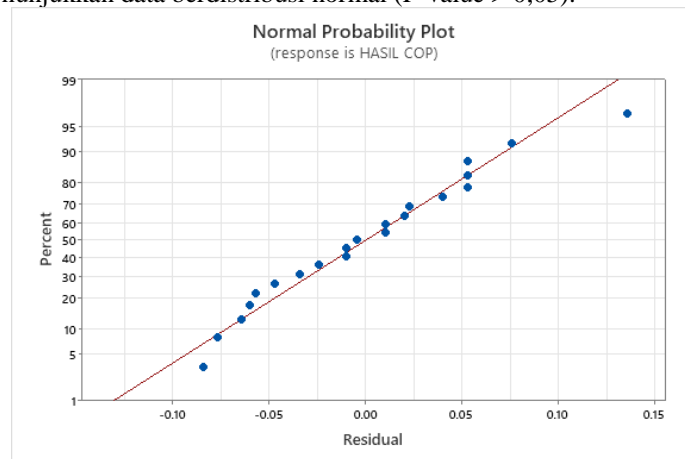


**Gambar 3.** Grafik hasil pembersihan tube kondensor water cooled chiller

#### 4.1.2 Pengolahan data eksperimen

##### 1. Uji Normalitas

Pada Gambar 4 merupakan hasil uji normalitas residual menggunakan uji Anderson-Darling menunjukkan data berdistribusi normal (P-value > 0,05).



**Gambar 4.** Normal Probably Plot Asam Sitrat

##### 2. Uji Multikolienaritas

Pada Gambar 5 menunjukkan VIF untuk tiap variabel bebas adalah 1.00 (< 10), sehingga tiap variabel bebas memiliki kolinearitas.

#### Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	4.9133	0.0523	93.94	0.000	
JUMLAH (LITER)	0.0968	0.0121	8.00	0.000	1.00

**Gambar 5.** Coefficient Asam Sitrat

##### 3. Uji Hipotesis dengan ANOVA

Pada Gambar 6 Analisis of variance menunjukkan pengaruh signifikan dari jumlah asam terhadap kinerja mesin (P-value < 0,05).

### Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	1	0.52458	0.524579	63.93	0.000
JUMLAH (LITER)	1	0.52458	0.524579	63.93	0.000
Error	19	0.15592	0.008206		
Lack-of-Fit	1	0.09240	0.092402	26.19	0.000
Pure Error	18	0.06351	0.003529		
Total	20	0.68050			

Gambar 6. Analisis of variance

#### 4. Model Summary

Pada Gambar 7 merupakan hasil pemodelan *summary* terdapat nilai dari R-sq sebesar 90.67%. Maka dapat dikatakan ada pengaruh signifikan dari variabel bebas terhadap variabel terikat dan 9,33% merupakan pengaruh lain yang tidak terkontrol.

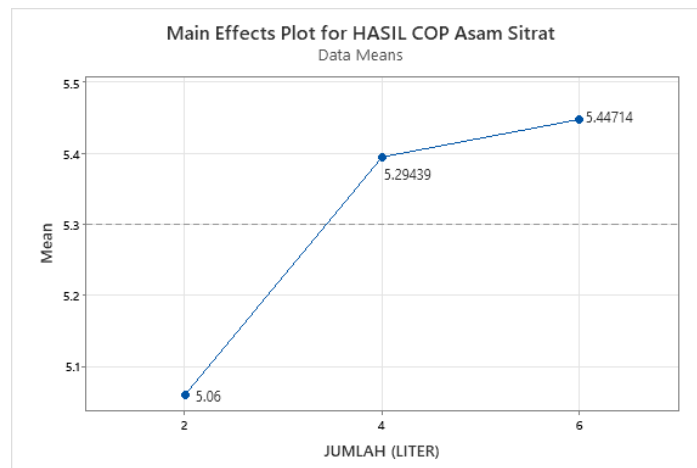
### Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0594018	90.67%	89.63%	87.30%

Gambar 7. Model Summary Asam Sitrat

#### 4.2 Main Effect Plot

Pada Gambar 8 menunjukkan *main effect plot* hasil *Chemical cleaning* dengan COP terbesar didapatkan pada komposisi 6 liter asam sitrat.



Gambar 8. Main Effectl plot asam sitrat

#### 4.3 Pembahasan

Pada penelitian ini menggunakan 1 variabel bebas yaitu komposisi, serta variabel terikatnya adalah kinerja mesin *water cooled chiller*. Data yang diambil adalah hasil dari *chemical cleaning* pada kondensor mesin *water cooled chiller* berupa meningkatnya nilai COP yang dihasilkan setelah proses *chemical cleaning*. Setelah data didapatkan kemudian dilakukan pengolahan data yang menggunakan *software coolpack*.

Dari hasil data COP yang dihasilkan ditampilkan kembali dalam bentuk grafik, dimana untuk mengetahui pengaruh pembersihan dari masing masing variasi data hasil pengolahan dengan menggunakan *software coolpack* terdapat hasil yang signifikan dari variasi asam sitrat dimulai dari



variasi 4%, 8% dan 12%. hasil kinerja mesin *water cooled chiller* yang dihasilkan berdasarkan proses *chemical cleaning* pada *tube* kondensor dengan merubah variasi zat asam dan komposisinya.

Pertama proses *chemical cleaning* menggunakan variasi 4% asam sitrat mendapatkan nilai COP 5, 5.7, 5.7, 5.10, 5.05, 5.05, 5.8. Kemudian menggunakan variasi 8% asam sitrat menghasilkan nilai COP 5.53, 5.47, 5.36, 5.31, 5.33, 5.37, 5.39. Selanjutnya menggunakan variasi 12% asam sitrat menghasilkan nilai COP 5.50, 5.40, 5.47, 5.37, 5.39, 5.50, 5.50. Dari hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa proses *chemical cleaning* menggunakan asam sitrat komposisi 12% liter mendapatkan nilai COP yang lebih optimal dibandingkan dengan asam sitrat 4% dan 8%.

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian dari Pengaruh komposisi bahan pembersih pada proses *chemical cleaning tube* kondensor terhadap kinerja mesin *water cooled chiller* yang telah dilakukan, maka Komposisi asam sitrat berpengaruh terhadap kinerja mesin *water cooled chiller* Dimana semakin besar variasi asam sitrat maka akan menghasilkan nilai *COP* yang lebih optimal. Nilai *COP* terkecil dari pembersihan dari asam sitrat terdapat pada komposisi 4% dan nilai *COP* terbesar terdapat pada komposisi asam sitrat 12%.

Beberapa saran yang dapat penulis sampaikan kepada peneliti selanjutnya antara lain:

1. Selalu lakukan proses flushing pada pipa kondensor agar tidak ada sisa zat kimia yang tertinggal di dalam pipa.
2. Pastikan alat dan bahan sudah sesuai dengan standar SOP.
3. Perhatikan baik baik dalam proses menentukan bahan kimia yang digunakan dalam proses pembersihan pipa kondensor.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada kedua orang tua tercinta atas dukungan dan doa yang tiada henti. Juga kepada dosen pembimbing Am. Mufarrih, S.Pd., M.T., atas bimbingan dan arahan yang berharga. Terima kasih kepada semua pihak yang telah berkontribusi dalam penyelesaian penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Y. P. Vandy, "Strategi Optimalisasi Kinerja Pendingin Air Tawar Pada Mesin Induk Di Mt. Success Victory Xxxiv," Doctoral Dissertation, Politeknik Ilmu Pelayaran Semarang, 2024.
- [2] K. R. Sagar, A. B. Desai, H. B. Naik, and H. B. Mehta, "Experimental investigations on two-turn cryogenic pulsating heat pipe with cylindrical shell- type condenser," *Appl Therm Eng*, vol. 196, pp. 117–240, 2021.
- [3] Y. Devy, "Optimasi Waktu Konversi Metil Ester Dari Minyak Biji Karet (*Hevea Brasiliensis*) Menjadi Senyawa Nitrogen Dan Uji Aktivitas Sebagai Inhibitor Korosi Baja Lunak.," 2023.
- [4] A. Pranoto, H. Al Kindi, and G. E. Pramono, "Analisis Pengaruh Cleaning Tubing Kondensor Terhadap Performa Sistem Refrigerasi Mesin Water Cooled Chiller Kapasitas 650Tr," *Jurnal Rekayasa Mesin*, vol. 14(1), pp. 351–362, 2023.
- [5] L. C. Hawa and L. Maghfiroh, "Teknik Pendinginan: Teknik Dasar dan Aplikasinya.," Universitas Brawijaya Press, 2023.
- [6] D. F. Syaharani, A. Salo, and I. P. Viratama, "SUHU DAN KALOR," *Sindoro: Cendikia Pendidikan*, vol. 4(12), pp. 21–30, 2024.
- [7] D. R. Anggraeni, P. H. Suharti, and I. W. A. Nazar, "Analisis Kinerja Pendingin Setelah Proses Pembersihan Secara Kimia Di Pt Ajinomoto Mojokerto," *Distilat: Jurnal Teknologi Separasi*, vol. 9(3), pp. 208–214, 2023.
- [8] W. Rompas, "Optimalisasi Perawatan System Pendingin Untuk Mempertahankan Kinerja Mesin Induk Di Kapal Mt. Cosmic 10," 2024.
- [9] A. D. Cappenberg, "Analisis Chiller Dengan Menggunakan R123 Dan R134a Pada Kinerja Pendinginan," *Jurnal kajian teknik mesin*, vol. 5(1), pp. 48–57, 2020.
- [10] I. N. Suamir, S. Sudirman, I. N. Ardita, and G. Santanu, "Pengembangan Cold Storage Tenaga Surya untuk Meningkatkan Kapasitas dan Kualitas Produksi Perikanan Nasional.," 2020.
- [11] P. Sundari, "Perancangan Mesin Pendingin Untuk Penyimpanan Udang Kapasitas 5 Kg Dengan Prinsip Kompresi Uap," *Jurnal Penelitian Multidisiplin*, vol. 2(6), pp. 19–32, 2023.