

EVALUASI KINERJA *AIR-COOLED WATER CHILLER* DENGAN KAPASITAS 594 kW

Kurnia Adam Laksana, Nur Fatowil Aulia, Dwiana Hendrawati*

Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Semarang
Jl. Prof. H. Sudarto, S.H., Tembalang, Semarang, 50275
E-mail: Dwiana.h@polines.ac.id

Abstrak

Kinerja mesin *Air-Cooled Water Chiller* (ACWC) harus memenuhi standar SNI 03-6390-2020, yaitu minimal COP 3 dan konsumsi energi minimal 1,172 kW/TR. Untuk pemenuhan standar tersebut, dilakukan evaluasi kinerja terhadap ACWC kapasitas 594 kW. Tahap awal evaluasi adalah pengukuran temperatur (input dan output) air di evaporator dan daya listrik pada kompresor pada mesin chiller. Pengambilan data dilakukan untuk sekali siklus dan temperatur output air antara 11°C - 15°C. Dengan perhitungan diperoleh beban pendinginan (*Net Refrigeration Capacity*) sebesar 97,003 TR atau 341,158 kW, daya kompresor sebesar 212,483 kW, konsumsi energi 2,203 (kW/TR) dan COP sebesar 1,605. Tahapan selanjutnya adalah membandingkan COP aktual dan konsumsi energi sesuai standar. Hasil analisis menunjukkan bahwa rata-rata COP dari 7 siklus sebesar 2,203, sedangkan konsumsi energi adalah 2,203 kW/TR. Nilai COP tidak memenuhi standar diakibatkan mesin chiller bekerja dengan beban 57,43% dari kapasitas pabrikan.

Kata Kunci: *COP, air-cooled chiller, sistem refrigerasi*

PENDAHULUAN

Energi merupakan hal yang sangatlah penting di industri, terutama dalam hal aktivitas produksi. Saat ini, aktivitas produksi di industri mengalami peningkatan pesat. Hal tsb menyebabkan meningkatnya kebutuhan energi. Kebutuhan suatu energi yang terus meningkat menyebabkan kelangkaan energi akibat tidak dapat mengimbangi kebutuhan energi yang ada. Apabila kebutuhan energi tidak terkontrol akan berdampak pada lingkungan serta masalah ekonomi di industri tersebut. Salah satu hal yang membantu aktivitas produksi di industri adalah sistem HVAC. HVAC atau *Heating, Ventilation and Air Condition* adalah sistem pendinginan yang digunakan pada tata ruangan tertutup sebagai pengendalian temperatur agar tercapai sesuai diinginkan. Pada instalasi pengkondisian udara ruangan yang digunakan dibagi menjadi 3 bagian utama yaitu unit pendingin atau *chiller*, unit penanganan udara atau *Air Handling Unit* (AHU), dan unit menara pendingin atau

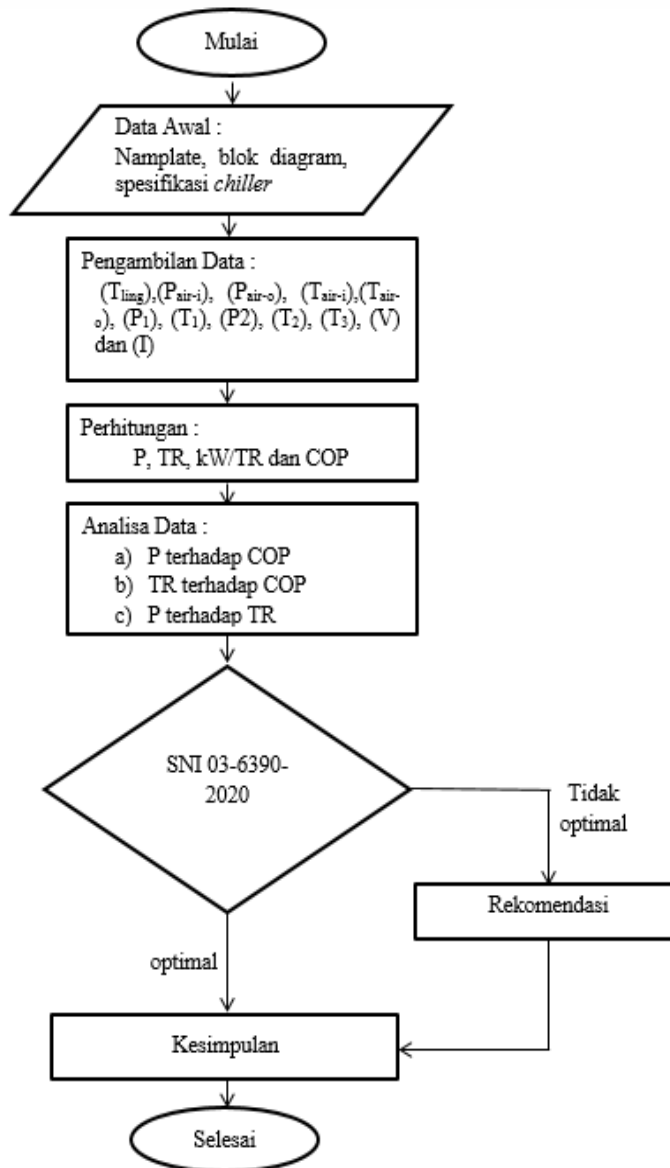
Cooling Tower. Pada unit pendinginlah yang memiliki peran sebagai sistem refrigerasi untuk mengatur temperatur ruangan.

Refrigerasi adalah proses penarikan kalor dari suatu benda atau ruangan ke lingkungan sehingga temperatur ruangan lebih rendah dari temperature lingkungan. Kinerja dari siklus refrigerasi atau COP merupakan rasio (perbandingan) antara efek refrigerasi dengan kerja kompresor. Dengan menilai COP pada suatu sistem refrigerasi kita dapat mengetahui kerja dari sistem tersebut.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh kinerja *chiller* secara actual dan menganalisis kinerja mesin *chiller* dengan membandingkan standar SNI 03-6390-2020.

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini yaitu memberikan rekomendasi perawatan atau perbaikan pada komponen mesin *chiller* guna menjaga efisiensi mesin sesuai dengan standar kualitas.

METODE PENELITIAN



Variabel Penelitian

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah temperatur lingkungan (T_{ling}). Variabel terikat dalam penelitian ini berupa temperatur masuk (T_{air-i}) air ke evaporator, temperatur keluar (T_{air-o}) air dari evaporator, tegangan (V) dan arus (I) pada kompresor atau *chiller*.

Prosedur Penelitian

Prosedur diawali dengan mencatat spesifikasi komponen pada mesin chiller sebagai data awal. Setelah didapat data awal langkah selanjutnya melakukan pengukuran secara langsung dengan bantuan alat ukur. Pengukuran dan pengambilan data dilakukan selama mesin chiller beroperasi dengan temperatur air keluar evaporator sebesar $15^{\circ}\text{C} - 11^{\circ}\text{C}$. Data pengukuran

yang didapat temperatur masuk (T_{air-i}) air ke evaporator, temperatur keluar (T_{air-o}) air dari evaporator dan temperatur refrigeran melewati kondensor (T_3), tekanan masuk (P_{air-i}) air melewati evaporator, tekanan keluar (P_{air-o}) air melewati evaporator, tekanan (P_1) dan temperatur (T_1) refrigeran melewati evaporator, tekanan (P_2) dan temperatur (T_2) refrigeran melewati kompresor, tegangan (V) dan arus (I) pada kompresor atau *chiller*.

Instrumen Penelitian

Instrumen yang digunakan selama melakukan penelitian yaitu *Thermometer Gun* untuk mengukur temperatur masuk (T_{air-i}) air melewati evaporator, temperatur keluar (T_{air-o}) air melewati evaporator dan temperatur refrigeran melewati kondensor (T_3), Clamp meter digunakan untuk mengukur tegangan (V) dan arus (I) pada kompresor atau *chiller*, *Pressure Gage* digunakan untuk mengukur tekanan masuk (P_{air-i}) air melewati evaporator, tekanan keluar (P_{air-o}) air melewati evaporator, *Mainfold Gage* digunakan untuk mengukur tekanan (P_1) dan temperatur (T_1) refrigeran melewati evaporator, tekanan (P_2) dan temperatur (T_2) refrigeran melewati kompresor.

Analisa Data

1. Perhitungan data

- Beban Pendinginan (*Net Refrigeration Capacity*)

Beban pendinginan dilambangkan dengan kW/TR, hal ini merupakan indikator dari performa sistem refrigerasi. Dimana pengukuran untuk performa refrigerasi menggunakan satuan TON dan kW input [1]. Maka dapat ditulis dengan Persamaan 1.

$$TR = \frac{Q \times C_p \times (T_{air-o} - T_{air-i})}{3024} \quad (1)$$

$$1 \text{ TON ref} = 3024 \text{ kCal/jam} = 3,517 \text{ kW} = 4,7162 \text{ HP}$$

- Daya Kompresor

Kompresor biasanya digerakan dengan motor listrik [2], membutuhkan energi masukan untuk melakukan kerja (watt) terhadap bahan kerja pada setiap siklus refrigerasi [3]. Motor listrik yang digunakan tergantung dari jenis penggunaannya. Maka dapat ditulis dengan Persamaan 2.

$$P = V \times I \cos \varphi \times \sqrt{3} \quad (2)$$

- Konsumsi Energi

Konsumsi energi pada kinerja *chiller* menggunakan satuan kW/TR refrigerasi menunjukkan bahwa penggunaan daya listrik kompresor untuk pendinginan 1 TR refrigerasi [4]. Maka dapat ditulis dengan Persamaan 3.

$$\text{kW/TR Rating} = \frac{\text{Work Input (kW)}}{\text{Net Refrigerant Capacity (TON)}} \tag{3}$$

- COP (*Coefficient of Performance*)

COP (*Coefficient of Performance*) dipergunakan untuk menyatakan efisiensi dari siklus refrigerasi. Mesin refrigerasi bekerja sebagai pompa untuk memindahkan kalor, oleh karena itu, kerja yang dilakukan dalam untuk menggerakkan kompresor dibandingkan dengan kapasitas refrigerasi [5]. Maka dapat ditulis dengan Persamaan 4.

$$\text{COP} = \frac{\text{Net Refrigerant Capacity (kW)}}{\text{Input Power (kW)}} \tag{4}$$

2. Karakteristik Chiller

- Daya kompresor terhadap COP aktual
- Beban Pendinginan terhadap COP aktual
- Daya Kompresor terhadap Beban Pendinginan

3. Membandingkan COP aktual dengan SNI 03-6390-2020

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil perhitungan dapat diketahui kinerja mesin *chiller*.

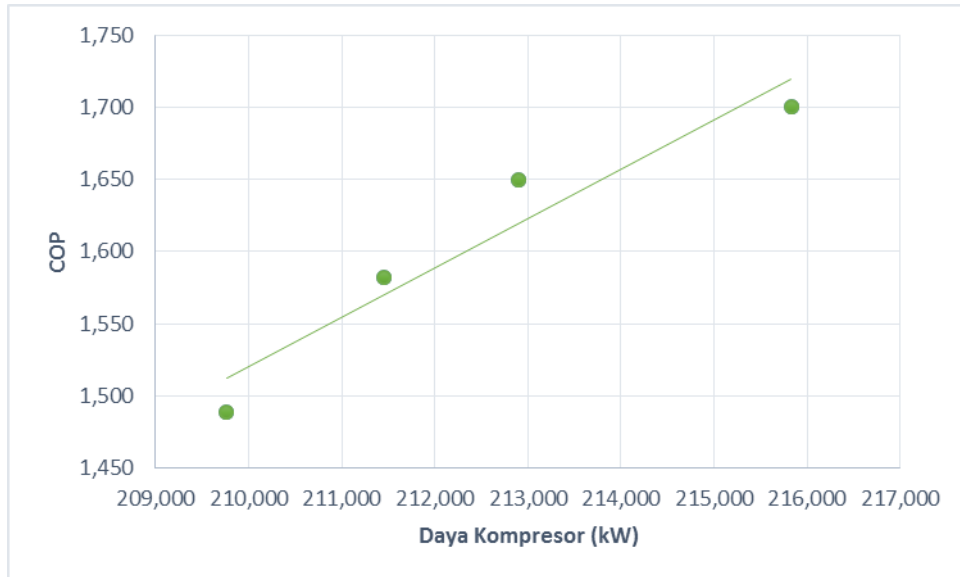
Tabel 1 Tabel rata-rata perhitungan

evaporator (air)		Beban pendinginan		Daya Kompresor	Konsumsi Energi	COP
temperatur (Celcius)		TR	kW	kW	kW/TR	
T air-o	T air-i					
11		88,804	312,323	209,760	2,380	1,489
12		95,068	334,354	211,448	2,227	1,582
13		99,858	351,202	212,893	2,133	1,650
14		104,280	366,753	215,831	2,071	1,700
Rata-rata		97,003	341,158	212,483	2,203	1,605

Berikut grafik kinerja mesin *chiller* :

1. Daya kompresor terhadap COP actual

Pada Gambar 1 merupakan grafik linier antara daya kompresor terhadap COP yang dihasilkan.



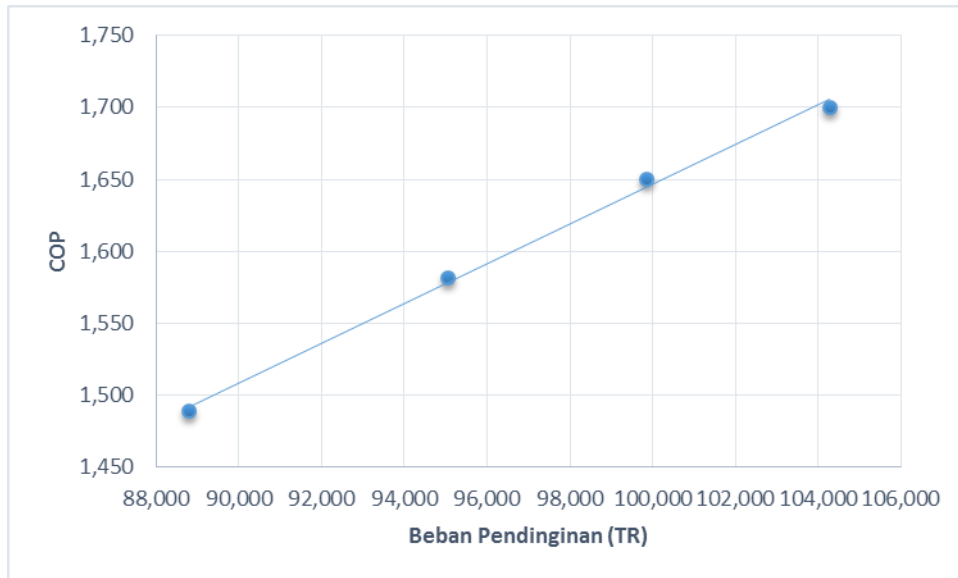
Gambar 1 Grafik Daya Kompresor terhadap COP Aktual

Dibuktikan dari Gambar 1 dan Tabel 1 menunjukkan bahwa daya kompresor sebesar 207,257 kW didapat COP sebesar 1,507, daya kompresor sebesar 210,287 kW didapat COP sebesar 1,590, daya kompresor sebesar 214,055 kW didapat COP sebesar 1,641 dan daya kompresor sebesar 218,333 kW didapat COP sebesar 1,680

Dari Persamaan 4 menyatakan bahwa nilai COP yang didapat sebanding dengan beban pendinginan dan berbanding terbalik dengan daya kompresor. Namun pada Gambar 1 menunjukkan bahwa daya kompresor sebanding lurus dengan COP. karena nilai COP sebanding dengan beban pendinginan maka selisih nilai temperatur air masuk dan keluar pada Persamaan 1 menyebabkan nilai COP semakin besar. Oleh karena itu, untuk memenuhi beban pendinginan maka kinerja kompresor semakin besar pula.

2. Beban Pendinginan (*Net Refrigerant Capacity*) terhadap COP actual

Pada Gambar 2 merupakan grafik linier atau sebanding lurus antara beban pendinginan terhadap COP yang dihasilkan.

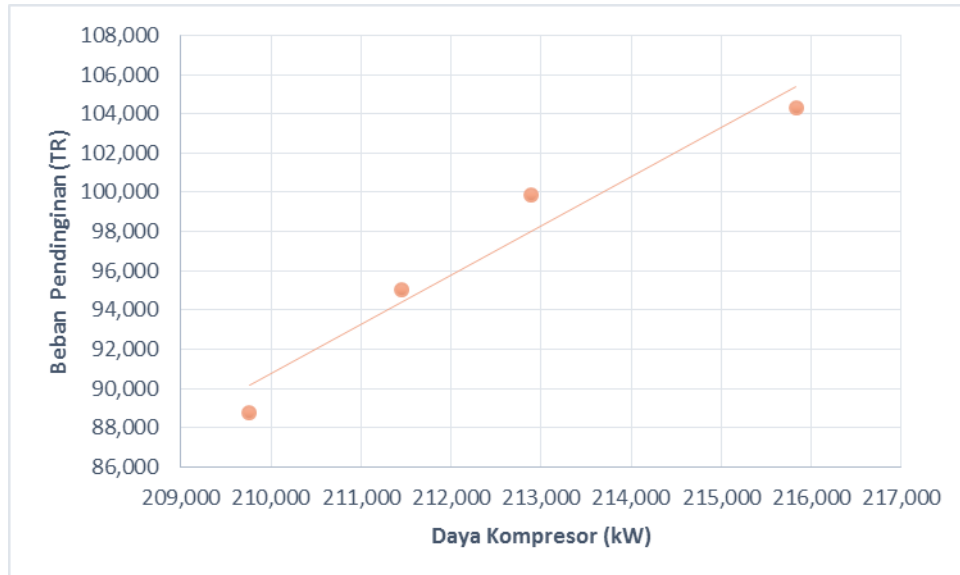


Gambar 2 Beban Pendinginan terhadap COP Aktual

Dibuktikan dari Gambar 2 dan Tabel 1 menunjukkan bahwa beban pendinginan sebesar 88,804 TR didapat nilai COP sebesar 1,507, untuk beban pendinginan 95,437 TR didapat nilai COP sebesar 1,590, beban pendinginan 99,858 TR didapat nilai COP sebesar 1,641 dan beban pendinginan 104,280 TR didapat nilai COP sebesar 1,680. Sesuai Persamaan 4 bahwa nilai COP sebanding dengan beban pendinginan dibuktikan pada Gambar 2.

3. Daya Kompresor terhadap Beban Pendinginan

Pada Gambar 3 merupakan grafik linier atau sebanding lurus antara daya kompresor terhadap beban pendinginan.



Gambar 3 Grafik Daya Kompresor terhadap Beban Pendinginan

Dibuktikan dari Gambar 3 dan Tabel 1 menunjukkan bahwa kompresor sebesar 207,257 kW didapat beban pendinginan sebesar 88,804 TR, daya kompresor sebesar 210,287 kW didapat beban pendinginan 95,437 TR, daya kompresor sebesar 214,055 kW didapat beban pendinginan 99,858 TR dan daya kompresor sebesar 218,333 kW beban pendinginan 104,280 TR.

Dari Persamaan 4 menyatakan bahwa nilai COP yang didapat sebanding dengan beban pendinginan dan berbanding terbalik dengan daya kompresor. Namun pada Gambar 3 menunjukkan bahwa daya kompresor sebanding lurus dengan beban pendinginan. penyebab beban pendinginan sebanding dengan daya kompresor di karenakan selisih nilai temperatur air masuk dan keluar pada Persamaan 1 menyebabkan beban pendinginan semakin besar. Oleh karena itu, untuk memenuhi beban pendinginan maka daya kompresor yang dihasilkan semakin besar pula.

4 Performa *Chiller* dengan Standar SNI 03-6390-2020

SNI 03-6390-2020 merupakan standar untuk konservasi energi sistem tata udara pada bangunan gedung secara optimal di Indonesia. Standar tersebut salah satunya meliputi tentang mesin refrigerasi, pengkondisian udara dan COP (*Coefficient of Performance*). Mesin *chiller* menggunakan mesin refrigerasi jenis *air cooled chiller* dengan kapasitas pendinginan sebesar 594 kW atau 168,901 TR, COP sebesar 3,17 dan *rate consumption* sebesar 187 kW dengan menggunakan kompresor jenis *screw*. Menurut SNI 03-6390-2020 mesin *chiller* termasuk kategori *air-cooled chiller* > 150 TR (*Screw*) dengan efisiensi minimum COP sebesar 3 dan konsumsi energi sebesar 1,172 kW/TR. Setelah dilakukan pengukuran dan penelitian secara aktual menunjukkan bahwa rata-rata dari keseluruhan 7 siklus yang ditunjukkan pada Tabel 1 bahwa COP aktual yang didapat sebesar 1,605 sedangkan COP SNI 03-6390-2020 pada *air-cooled chiller* > 150 TR (*Screw*) sebesar 3, hal ini dapat dikatakan bahwa performa *chiller* belum sesuai standar SNI 03-6390-2020 dan konsumsi energi *chiller* yang terukur yang memiliki nilai kW/TR rata-rata sebesar 2,202 sedangkan standar SNI sebesar 1,172, dapat dikatakan sesuai dengan standar SNI 03-6390-2020.

Beberapa faktor penyebab nilai COP belum memenuhi standar diantaranya :

1. Bila mengacu pada Persamaan 4 dapat diartikan bahwa beban pendinginan semakin besar maka nilai COP yang didapat semakin besar pula. Nilai COP semakin besar dikarenakan sebanding dengan beban pendinginan. Pada Persamaan 1 penyebab beban pendinginan semakin besar dikarenakan selisih temperatur masuk dan keluar semakin besar, semakin besar selisih temperatur masuk dan keluar maka nilai COP semakin besar.
2. Penyebab lain nilai COP belum memenuhi standar dikarenakan beban pendinginan yang diterima mesin *chiller* dari 7 siklus rata-rata sebesar 97,003 TR atau 341,158 kW, dari nilai tersebut menunjukkan bahwa mesin *chiller* bekerja dengan beban pendinginan sebesar 57,43% dari kapasitas maksimal sebesar 594 kW.
3. Mesin *chiller* bekerja tidak sesuai dengan spesifikasinya melainkan bekerja pada *setting* temperatur air keluar evaporator sebesar 14 ° C sampai 11 ° C. Oleh karena itu, pengaturan temperatur yang telah ditetapkan pabrikan bertujuan untuk mengoptimalkan

kinerja *chiller*, sehingga kenaikan/penurunan temperatur tersebut menyebabkan penurunan kinerja *chiller* [6].

SIMPULAN

Dari hasil perhitungan dan analisis dapat disimpulkan bahwa :

1. Mengacu persamaan 1 penyebab beban pendinginan semakin besar dikarenakan selisih temperatur masuk dan keluar semakin besar, semakin besar selisih temperatur masuk dan keluar maka nilai COP semakin besar.
2. Mesin *chiller* bekerja dengan beban pendinginan sebesar 57,43% dari kapasitas maksimal.
3. Untuk mengembalikan beban 100% maka perlu dilakukan pengaturan temperatur air masuk dan keluar evaporator sesuai pabrikan atau spesifikasi mesin *chiller*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Gupta, O. P. (2018). *Energy Technology*. New Delhi: Khanna Book Publishing.
- [2] Alshakhshir, F. S., & Howell, M. T. (2021). *Data Driven Energy Centered Maintenance*. Gistrup: CRC Press.
- [3] Capehart, B. L., Kennedy, W. J., & Turner, W. C. (2020). *Guide to Energy Management, Eight Edition - International Version*. United State: River Publisher.
- [4] Desai, S. (2015). *Energy Audit*. New Delhi: McGraw-Hil Education (India) Private Limited.
- [5] Knight, J., & Jones, P. (2011). *Building Service*. New York: Spon Press.
- [6] BPPT, T. (2015). *PROSEDUR STANDAR DAN TEKNIK AUDIT DI INDUSTRI*. Tangerang Selatan: Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi.