

EVALUASI DAN OPTIMASI EFISIENSI ENERGI SISTEM *CHILLER* DENGAN PROSES *DESCALING*

M. Nuriyadi¹, Ade S. Margana¹

¹Teknik Refrigerasi dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bandung Jl.Trs. Gegerkalong Hilir, Ciwaruga-Bandung

Email: nuriyadi@polban.ac.id

ABSTRACT

Chiller system consumes most energy (around 50%) of the electrical energy in a building. To reduce the use of energy, it is necessary to evaluate the use of energy and identify opportunities for energy savings and recommendations for increasing efficiency. The evaluation aims to ensure that a chiller system works and produces chilled water products as designed. The chiller system evaluation includes the evaluation of the chiller refrigeration system, power consumption, cooling capacity, as well as the evaluation of the piping system and pumps. Evaluation is carried out on the system before and after repairing/descaling on the chiller system.

The results of the evaluation and optimization of the chiller system are: the chilled water temperature output drops to 15°C, the cooling capacity of the chiller rises to 30 KW, the pressure of the condenser coolant pump rises to 0.58 bar. While the efficiency of the circulating pump system is 15.8%; efficiency of condenser cooling pump is 19.3% and distribution pump system efficiency is 14.1%.

Keywords: performance evaluation, optimization, chiller system.

PENDAHULUAN

Sistem *Chiller* adalah peralatan yang paling banyak mengkonsumsi energi (listrik) yaitu sekitar 50% dari konsumsi energi listrik suatu gedung [Pérez-Lombard L, Ortiz J, 2008] [1]. Untuk menekan penggunaan energi agar lebih efisien, maka perlu langkah-langkah penghematan, evaluasi peluang manajemen energinya harus diprioritaskan (Gohil M., 2014), hal ini sesuai dengan peraturan menteri ESDM no.14 pasal 7 tahun 2012 tentang Manajemen Energi, yang menyatakan Audit Energi adalah proses evaluasi pemanfaatan energi dan identifikasi peluang penghematan energi serta rekomendasi peningkatan efisiensi pada pengguna sumber energi dan pengguna energi dalam rangka konservasi energi.

Mesin refrigerasi jenis *water chiller* umumnya memiliki kapasitas yang cukup besar, maka konsumsi energinya juga besar. Dengan demikian, pengoperasian mesin pada kondisi kerja optimum yang memberikan konsumsi energi minimum sangat disarankan. Mesin refrigerasi jenis *water chiller* pada umumnya menggunakan refrigeran sekunder (*secondary refrigerant*) berupa air dingin (*chilled water*) pada sistem tata udara (*air conditioning*). Pada mesin ini, refrigeran primer mendinginkan refrigeran sekunder, dan selanjutnya refrigeran sekunder mendinginkan udara yang dilewatkan pada AHU (*air handling unit*). Untuk mendapatkan kenyamanan (pada

sistem tata udara) yang sesuai, maka air didinginkan sampai 5 sampai 10°C, sehingga kerja pompa untuk mensirkulasikan air tersebut masih dalam kondisi fluida cair [ASHRAE, 2014].

Pada sistem refrigerasi yang menggunakan *secondary refrigerant*, penggunaan energi yang efisien tidak semata-mata dilihat dari konsumsi daya listrik mesin tata udaranya saja, tetapi penggunaan energi pada peralatan penunjang, contohnya pompa sirkulasi air pendingin untuk *chiller*, perlu mendapatkan perhatian.

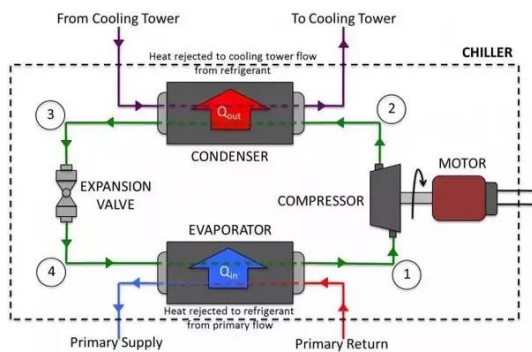
Semakin besar laju aliran air *Air Handling Unit* (AHU) pada sistem *water chiller* maka semakin besar kemampuan koil menyerap panas [3]. Penelitian tersebut belum mengkaji kapasitas pendinginan koil dari sisi udara yang melaluinya. Hal yang sama juga dilakukan Rasta [4] yang menyimpulkan jika laju aliran volume air pendingin semakin besar maka nilai NTU (*Number of Transfer Unit*) juga mengalami peningkatan.

Salpanio melakukan penelitian tentang audit energi pada gedung kampus Undip Semarang [5]. Penelitian ini dilakukan dengan menghitung nilai penggunaan energi pada masing-masing ruangan yang ada di gedung kampus dan penelitian ini membutuhkan implementasi dan pengamatan langsung di lapangan. Selanjutnya Effendi dan Miftahul [6] melakukan penelitian mengenai IKE atau intensitas konsumsi energi listrik yang merupakan istilah yang digunakan untuk mengetahui besarnya pemakaian energi pada suatu

sistem. Nilai IKE ini diketahui dengan membandingkan total penggunaan energi listrik dengan luas gedung.

Sistem Refrigerasi Water Chiller

Water chiller terdiri dari beberapa komponen utama yaitu evaporator, kondensor, kompresor serta alat ekspansi. Pada evaporator dan kondensor terjadi pertukaran kalor. Pada *water chiller* terdapat air sebagai refrigeran sekunder untuk mengambil kalor dari bahan yang didinginkan ke evaporator. Air ini mengalami perubahan suhu bila menyerap kalor dan melepaskannya di evaporator. Gambar 1 memperlihatkan skema *water chiller* dimana air dingin yang dihasilkan digunakan untuk mendinginkan ruangan dengan media aliran udara dari blower/fan yang ada di AHU. Secara umum prinsip kerjanya adalah sebagai berikut, Refrigeran didalam kompresor dikompresikan kemudian dialirkan ke kondensor. Refrigeran yang mengalir ke kondensor mempunyai tekanan dan temperatur yang tinggi. Di kondensor refrigeran didinginkan oleh media pendingin di kondensor sehingga terjadi perubahan fase dari uap menjadi cair. Kemudian refrigeran mengalir menuju katup ekspansi dan terjadi penurunan tekanan dan temperatur.

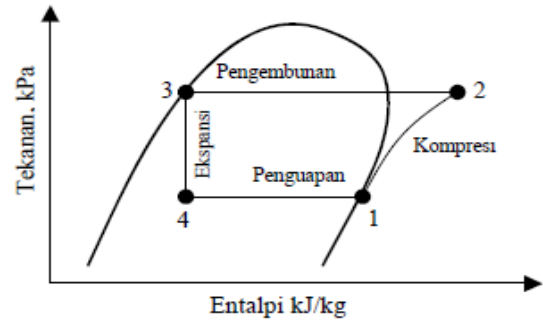


Gambar 1. Skema Sistem *Water Chiller*

Kinerja sistem refrigerasi water chiller

Daur kompresi uap standar merupakan siklus, dimana pada siklus tersebut terjadi beberapa proses sebagai berikut dan dapat dilihat pada Gambar 2 :

- 1-2: merupakan proses kompresi, dari uap tekanan rendah menuju ke tekanan kondensasi.
- 2-3: merupakan proses pelepasan kalor pada tekanan tinggi, menyebabkan penurunan panas lanjut (*desuperheating*) dan penguapan refrigeran
- 3-4: merupakan proses ekspansi, dari fase cair menuju tekanan evaporasi.
- 4-1: merupakan proses penyerapan kalor pada tekanan rendah yang menyebabkan terjadinya penguapan.



Gambar 2 sistem refrigerasi ideal

Dari diagram tersebut dapat dicari kinerja mesin refrigerasi *chiller* , yang meliputi efek refrigerasi, kerja kompresor spesifik, dan koefisien kinerja (*coefficient of performance, COP*). Efek refrigerasi, atau efek pendinginan didefinisikan sebagai selisih entalpi refrigeran keluaran dan masukan evaporator [7]:

$$q_e = h_1 - h_4 \tag{1}$$

Kerja kompresor spesifik, w_k , didefinisikan sebagai selisih entalpi refrigeran keluaran dan masukan kompresor:

$$w_k = h_2 - h_1 \tag{2}$$

Sementara itu, pembuangan panas oleh kondenser, q_c , dapat dihitung dengan

$$q_c = h_3 - h_2 \tag{3}$$

Dari besaran pertama dan kedua dapat dihitung koefisien kinerja (*coefficient of performance, COP*) sistem refrigerasi, yang merupakan perbandingan antara efek refrigerasi dengan kerja kompresor

$$COP = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \tag{4}$$

Kapasitas pendinginan evaporator dapat dicari dari hasil kali antara selisih entalpi keluaran dan masukan evaporator dengan laju aliran massa refrigeran,

$$Q_e = \dot{m}(h_1 - h_4) \tag{5}$$

di mana \dot{m} adalah laju aliran massa refrigeran. Dengan cara yang sama, kapasitas kompresor dapat dihitung dari hasil kali selisih entalpi keluaran dan masukan kompresor dengan laju aliran massa refrigeran,

$$W_k = \dot{m}(h_2 - h_1) \tag{6}$$

untuk mendapatkan kapasitas pendinginan, yang diakibatkan oleh laju aliran air pada *water chiller* digunakan persamaan:

$$Q_e = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T \tag{7}$$

Besaran penting pada pompa sentrifugal adalah tekanan (*head*) yang dihasilkan, debit yang dapat dialirkan, daya yang digunakan dan efisiensinya.

Debit, Head dan Daya pompa dapat diukur langsung, sementara efisiensi dihitung dengan rumus :

$$\text{Efisiensi } (\eta) = \frac{\text{Daya output}}{\text{Daya input}} \times 100 \% \quad (8)$$

$$\text{Atau Efisiensi } (\eta) = \frac{\text{WkW}}{\text{BkW}} \times 100 \% \quad (9)$$

Sementara WkW (water kilowatt) dapat dihitung dengan menggunakan hubungan :

$$\text{WkW} = Q \times H \times \gamma \quad (10)$$

METODOLOGI PENELITIAN

Pada penelitian ini dilakukan beberapa pengujian, yaitu:

- Pengujian kapasitas pendinginan berdasarkan debit air pada *chiller* dan AHU
- Pengujian Sistem Pompa distribusi air dingin ke AHU

Jenis peralatan yang ada disajikan pada Table1

Tabel 1. Spesifikasi peralatan

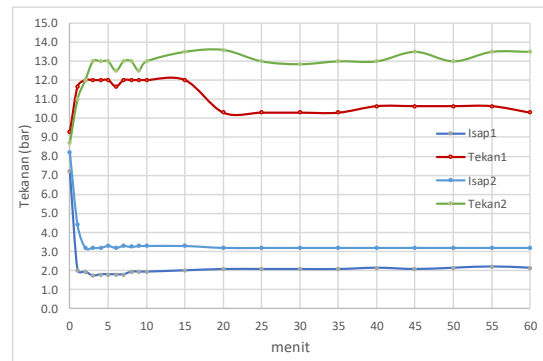
No	Nama perangkat	Spesifikasi
1	Carrier <i>Chiller</i> S/N 30HK502053	Kapasitas Daya 15 HP 4 cylinder 1 unloader
2	Air Handling Unit 1 Tipe 39ED0827124	Kapasitas 30 KW Air Flow 4000 lps
3	Air Handling Unit 2 Tipe 39EA206852	Kapasitas 30 KW Air Flow 4000 lps
4	Air Handling Unit 3 Tipe 39EA206852	Kapasitas 35 KW Air Flow 5000 lps
5	Air Handling Unit 4 Tipe 8CW1416HB1049	Kapasitas 20 KW Air Flow 3000 lps
6	Pompa Sirkulasi Air Dingin (CHCP) ETA-N 50x32-200	Kapasitas 15 m ³ /hr Head 15 m,
7	Pompa air pendingin/ CWCP (EBARA Pump)	Daya 0,75 KW Kapasitas 200 L/min Head 12 m, 1420 rpm
8	Pompa Distribusi (CHSP) ETA-N 50x32-160	Daya 3,7 KW, 5 HP Kapasitas 15 m ³ /hr Head 10 m, 2880 rpm
7	Pipa Sirkulasi	Panjang 25 m, 2-Tee, Diameter 2 1/2 in, 12 elbow
9	Pipa Distribusi AHU 1	Panjang 45 m, 5 Tee Diameter 2 in, 13 elbow
10	Pipa Distribusi AHU 2	Dimensi 4 m x 2 1/2 in, 37 m x 2 in, 14 m x 1 1/2 in, 4-Tee, 12 elbow
11	Pipa Distribusi AHU 3	Dimensi 4 m x 2 1/2 in, 27 m x 2 in, 2-Tee, 6 elbow
12	Pipa Distribusi AHU 4	Dimensi 61 m x 2 in, 8-Tee, 10 elbow

13	Pipa Air Pendingin	Dimensi 25 m x 2 1/2 in, 9 elbow 90°, 4 elbow 45°
----	--------------------	---

HASIL DAN PEMBAHASAN

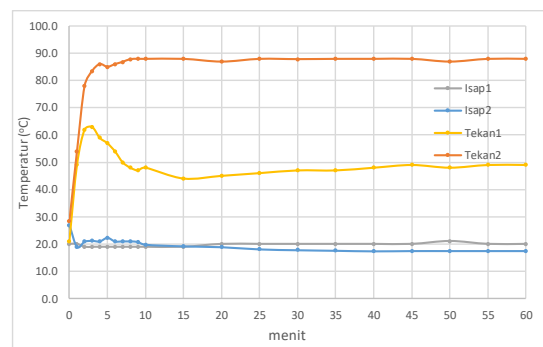
Analisis sistem refrigerasi

Tekanan kerja sistem refrigerasi *chiller* ditampilkan pada Gambar 3. Tekanan sisi tinggi sebelum perbaikan pada awalnya berada sekitar 12 bar, dan tekanan sisi rendah sebesar 2 bar. Karena tekanan isap yang rendah, yang berarti berkurangnya refrigeran di evaporator, yang disebabkan penyumbatan di *filter dryer*, maka tekanan sisi sembur juga turun, hal ini disebabkan kerja dari kompresor kurang optimal. Sedangkan tekanan setelah perbaikan rata-ratanya adalah sebesar 13 bar, dengan rata-rata tekanan sisi rendah adalah 3 bar.



Gambar 3. Tekanan kerja sistem *chiller*

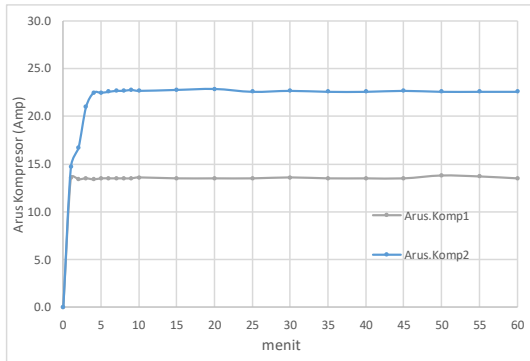
Temperatur kerja dari sistem *chiller* disajikan pada Gambar 4. Terlihat temperatur sisi tekanan tinggi (sembur/pancar) sebelum perbaikan berada pada sekitar 50°C, hal ini dipengaruhi oleh turunnya tekanan sembur yang turun. Sedangkan temperatur sisi tekanan tinggi (sembur/pancar) setelah perbaikan adalah sekitar 87°C. Temperatur sisi isap hampir sama pada kisaran 20°C.



Gambar 4. Temperatur kerja sistem *chiller*

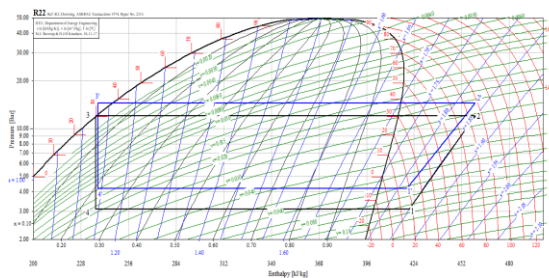
Kondisi kerja kompresor diatas, jika dikonfirmasi dengan arus kompresor (Gambar 5), dapat disimpulkan bahwa sebelum dilakukan perbaikan, kompresor hanya bekerja dengan

sebagian silinder, sedangkan sebagian silinder yang lain di-unload (tidak mengkompresi refrigeran), sehingga arus yang digunakan hanya sekitar 13 Ampere. Setelah dilakukan perbaikan, maka seluruh silinder bekerja full load (semua silinder mengkompresi refrigeran), sehingga arus yang digunakan juga lebih tinggi (sekitar 22 Ampere).



Gambar 5. Input Arus Kompresor Sistem Chiller

Kondisi kerja sistem refrigerasi diplot pada diagram Mollier (p-h) Gambar 6, untuk kemudian dilakukan perhitungan dengan menggunakan aplikasi coolpack untuk menentukan koefisien kinerja sistem refrigerasi sistem chiller.



Gambar 6. Plot kondisi kerja sistem chiller pada diagram p-h

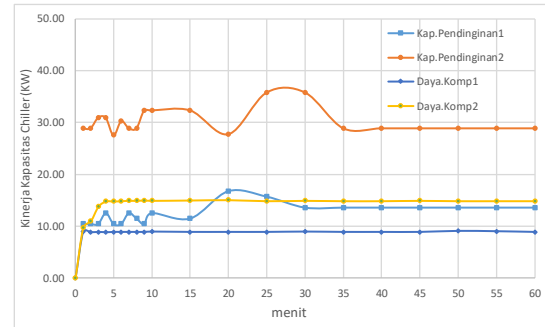
Keterangan:

Siklus 1-2-3-4 : Siklus refrigerasi chiller sebelum perbaikan

Siklus 1'-2'-3'-4': Siklus refrigerasi chiller setelah perbaikan.

Perhitungan kapasitas chiller baik dari sisi kapasitas pendinginan di evaporator maupun konsumsi daya kompresor disajikan pada Gambar 7. Rata-rata kapasitas pendinginan yang diperoleh sebelum perbaikan adalah sekitar 13 KW, sedangkan kapasitas pendinginan yang diperoleh setelah perbaikan adalah sebesar 30 KW. Konsumsi daya kompresor sebelum perbaikan berada pada kisaran 9 KW, setelah dilakukan perbaikan, kompresor bekerja lebih optimal sehingga konsumsi dayanya naik menjadi rata-rata sekitar 15 KW. Dengan membandingkan kapasitas pendinginan terhadap konsumsi daya kompresor

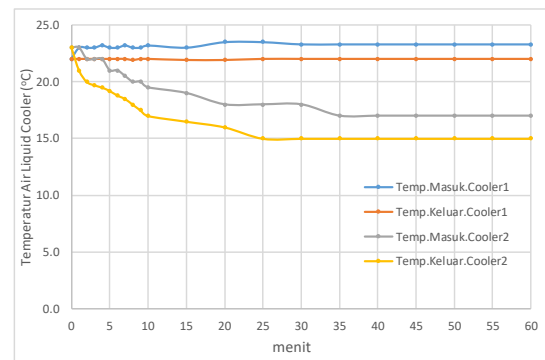
sebagai koefisien kinerja sistem chiller diperoleh COP sistem chiller naik dari 1,44 menjadi 2,0 setelah dilakukan perbaikan pada sistem chiller.



Gambar 7. Kinerja Kapasitas Chiller

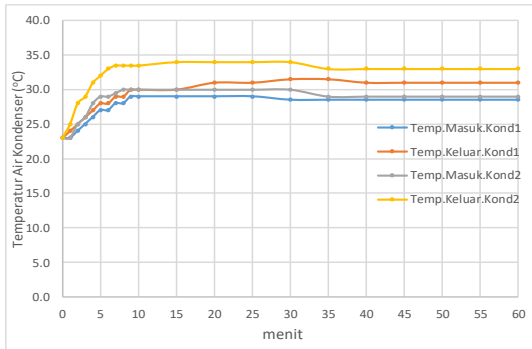
Naiknya kapasitas pendinginan, selain dipengaruhi oleh naiknya kinerja system refrigerasi chiller, juga dipengaruhi oleh kinerja sistem pompa dan pemipaan setelah dilakukan pembersihan pada saluran pipa air dan pompa. Naiknya kinerja system refrigerasi chiller ditunjukkan dengan penurunan temperature air di sisi evaporator dan kenaikan temperature air di condenser. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 8 dan 9.

Gambar 10 menunjukkan temperatur air dingin keluaran chiller berhasil diturunkan dari yang sebelumnya hanya sampai 22°C, menjadi rata-rata 15°C setelah perbaikan.

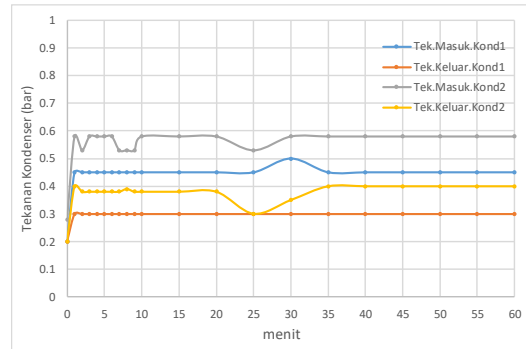


Gambar 8. Penurunan Temperatur Air di Liquid Cooler

Sedangkan Gambar 9 menunjukkan kenaikan temperature air pendingin condenser sebagai konsekwensi besarnya kalor yang diserap oleh sistem chiller.

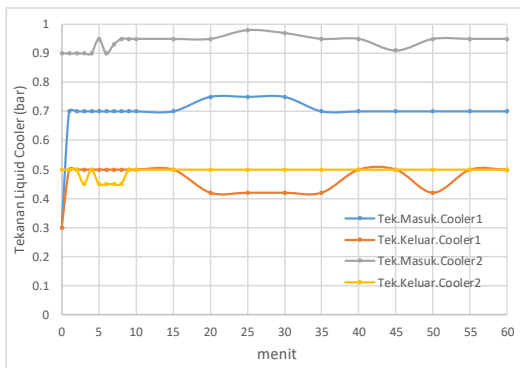


Gambar 9. Kenaikan temperatur air di condenser



Gambar 11. Tekanan air di kondenser

Kinerja sistem pemipaan dan pompa ditunjukkan pada kenaikan tekanan air baik di kondenser maupun di *liquid cooler* yang mempengaruhi naiknya debit air di kedua saluran tersebut. Kenaikan tekanan tersebut ditunjukkan dengan Gambar 10 dan 11.



Gambar 10. Tekanan air di *Liquid cooler*

Evaluasi sistem pemipaan dan pompa

Evaluasi sistem pemipaan dan pompa dilakukan dengan menggunakan Persamaan 8-11. Dengan data diameter dan panjang pipa, jenis bahan pipa, sambungan yang ada dan debit air yang dialirkan, maka dapat ditentukan head pompa yang dibutuhkan. Besarnya daya air yang dialirkan dapat dihitung dengan tekanan pompa dan debit. Efisiensi diperoleh dengan membandingkan daya output dan daya input. Hasil perhitungan tersebut ditunjukkan pada Table 2 dan Table 3.

Tabel 2. Perhitungan Kebutuhan Pompa Sistem *Chiller*

Pompa	Flow [Lps]	Flow (m ³ /hr)	Dia (in)	Dia (m)	Kec. [m/s]	Panjang [m]	K _f Tee	K _f El	Δhead L	Δhead fit	Head Loss	Head statis	Head Total	Re	e/D	f
Pompa Sirkulasi	3.30	11.9	2.5	0.0627	1.069	25	4	18.0	0.9	1.0	4.0	6.0	10.0	4.76E+03	0.0024	0.044
Pompa Pendingin	3.75	13.5	2.5	0.0627	1.215	32	10	19.5	1.5	1.5	5.9	6.0	11.9	5.41E+03	0.0024	0.040
Pompa Distribusi																
AHU1	2.39	8.6	2.0	0.0508	1.181	35	10	19.7	2.1	1.4	6.9	6.0	12.9	4.26E+03	0.0030	0.043
AHU2	2.39	8.6	2.5	0.0627	0.775	4	4	6.6	0.1	0.2	0.6	6.0	12.5	3.45E+03	0.0024	0.044
			2.0	0.0508	0.709	37	4	6.6	0.9	0.2	2.1			2.56E+03	0.0030	0.025
			1.5	0.0381	1.260	14	8	6.6	1.4	0.5	3.8			3.41E+03	0.0039	0.045
AHU3	2.79	10.0	2.5	0.0635	0.882	4	2	4.7	0.1	0.2	0.6	6.0	11.7	3.98E+03	0.0024	0.044
			2.0	0.0508	1.378	27	2	5.1	2.1	0.5	5.2			4.97E+03	0.0030	0.042
AHU4	1.59	5.7	2.0	0.0508	0.787	61	16	15.0	1.8	0.5	4.5	6.0	10.5	2.84E+03	0.0030	0.040

Tabel 3. Kinerja pompa pada sistem *chiller*

Pompa	S/N	Kinerja					
		Flow (m ³ /hr)	Head Total (m)	Arus (Amp)	Daya (BKW)	WKW	Eff
Pompa Sirkulasi	ETA-N 50x32-200	11.9	11.2	3.5	2303.6	363.0	15.8%
Pompa Pendingin	Ebara 65x50 FS3H5	13.8	6.1	1.8	1184.7	229.2	19.3%
Pompa Distribusi	ETA-N 50x32-160	10.0	20.4	6.0	3949.1	558.2	14.1%

KESIMPULAN

Hasil dari evaluasi dan revitalisasi sistem *chiller* pada laboratorium tata udara Politeknik Negeri Bandung dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Suhu air dingin keluaran *chiller* turun dari rata-rata sebelumnya 22°C, menjadi rata-rata 15°C
2. Kapasitas pendinginan sistem *chiller* naik dari sebelumnya rata-rata 13 KW menjadi 30 KW
3. Tekanan pompa air pendingin kondenser naik dari sebelumnya rata-rata 0,45 bar menjadi 0,58 bar
4. Efisiensi sistem pompa sirkulasi air dingin sebesar 15,8%
5. Efisiensi sistem pompa pendingin kondenser sebesar 19,3%
6. Efisiensi sistem pompa distribusi 14,1%

SARAN

1. Mengingat usia peralatan yang sudah cukup lama, perlu dilakukan perawatan rutin terhadap sistem *chiller*, agar performanya tetap terjaga
2. Perlunya penggunaan pompa yang lebih sesuai agar efisiensinya bisa lebih tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Pérez-Lombard L, Ortiz J, Pout C. A, 2008, "Review on Buildings Energy Consumption Information. Energy and Buildings";40(3):394-398
- [2] Gohil M., Desai H., 2014, "Energy and Performance Assessment of Magnetic Water Chiller in HVAC System in Tropical Climate", IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE), Volume 11, Issue 3 Ver. V, PP 74-78
- [3] Senoadi, A.C Arya, Zainulsjah, Erens, 2015, "Pengaruh Debit Aliran Air terhadap Proses Pendinginan pada Mini Chiller", Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XIV, Banjarmasin
- [4] Rasta, I Made, 2007, *Pengaruh Laju aliran Volume Chilled Water terhadap NTU pada FCU Sistem AC Jenis Watter Chiller*. Jurnal Teknik Mesin Vol. 9 No 2, Universitas Kristen Petra
- [5] Salpanio, Ricky. 2007, "Audit Energi Listrik Pada Gedung Kampus Undip Pleburan Semarang". Jurnal Ilmiah pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
- [6] Asnal Effendi, Miftahul. 2013. "Evaluasi Intensitas Konsumsi energi Listrik melalui audit awal energy listrik di RS Prof. HB Saanin, Padang". Jurnal Teknik Elektro. Vol. 5 (2) 2252-3472
- [7] Arora, 2010, *Refrigeration and Air conditioning*, 3rd Ed., Mc. Graw Hill,
- [8] American Society of Heating, *Refrigerating and Air conditioning Engineers (ASHRAE)*, 2015, Handbook of HVAC Application, Atlanta
- [9] American Society of Heating, *Refrigerating and Air conditioning Engineers (ASHRAE)*, 2016, Handbook of HVAC System and Equipment, Atlanta
- [10] American Society of Heating, *Refrigerating and Air conditioning Engineers (ASHRAE)*, 2017, Handbook of Fundamental, Atlanta