

ANALISA BEBAN PENDINGIN TERHADAP UNJUK KERJA WATER CHILLER PADA MESIN PLASTIC INJECTION

Rohmat Setiawan¹ dan Sasi Kirono²

¹Departemen Pelatihan Teknis – UPT Manufaktur, Politeknik Manufaktur Astra, Jl. Gaya Motor Raya No. 8 Jakarta Utara 14330, Indonesia

²Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Jakarta, Jl. Cempaka Putih Tengah 27
Jakarta Pusat 10510, Indonesia
E-mail: rohmat.setiawan77@gmail.com

Abstrak

Mesin *plastic injection* dalam prosesnya terdapat bagian yang harus dijaga temperaturnya, yaitu pada *mold* dan *oil hydraulic screw*. Untuk menjaga temperatur tersebut digunakannya *water chiller* dengan media pendingin air yang disirkulasikan. Penelitian ini membahas mengenai analisa beban pendingin terhadap kinerja *water chiller* meliputi total siklus pendinginan, aliran refrigerasi, efek refrigerasi, kerja kompresor, COP dan efisiensi kerja. Metode yang digunakan adalah metode eksperimental dengan adanya beban pendingin dari mesin *plastic injection*. Pengambilan data langsung dilakukan pada *water chiller*. Data dianalisa secara teoritis dan aktual berdasarkan data eksperimen. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa beban pendingin mengakibatkan: (1) kenaikan siklus pendinginan dari 11 kali menjadi 22 kali, (2) kenaikan kerja kompresor dari 5,214 HP menjadi 5,31 HP dan kenaikan efek refrigerasi dari 171,601 kJ/kg menjadi 171,831 kJ, (3) penurunan COP 5,631 menjadi 5,375 dan penurunan efisiensi kerja dari 86,206% menjadi 86,056%.

Kata Kunci: *Mesin plastic injection, sistem refrigerasi, water chiller*

Pendahuluan

Seiring perkembangan teknologi khususnya di dunia industri, mulai banyak menitikberatkan pada produk berbasis plastik dengan berbagai tipe. Dalam proses pembuatan produk tersebut menggunakan mesin *plastic injection*, dimana prinsip kerjanya adalah melelehkan bijih-bijih plastik dengan temperatur tinggi di dalam *barrel* yang kemudian akan diinjeksikan ke dalam *mold* untuk menghasilkan produknya. [1]

Di dalam mesin *plastic injection* ini terdapat bagian yang perlu dijaga temperaturnya yaitu pada *oil hydraulic barrel* dan *mold*, karena apabila temperatur pada *oil hydraulic barrel* tidak terjaga maka umur pakai dari *barrel* akan semakin pendek dan apabila temperatur dari *mold* tidak terjaga maka produk yang dihasilkan

akan mengalami deformasi.[2] Media yang digunakan untuk menjaga temperatur dari *oil hydraulic barrel* dan *mold* adalah dengan air yang didinginkan oleh *water chiller* pada temperatur tertentu. Dengan begitu beban pendinginan adalah jumlah panas yang dipindahkan oleh sistem *water chiller* setiap waktu. Beban pendingin terdiri atas panas yang berasal dari *oil hydraulic barrel* dan *mold*. Beban pendingin ini secara langsung akan berdampak pada kinerja *water chiller* oleh karena terkait dengan perubahan kondisi khususnya temperatur refrigeran pada setiap titik di dalam suatu sistem *water chiller*.

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisa beban pendingin terhadap unjuk kerja sistem *water chiller* pada mesin *plastic injection*, meliputi efek refrigerasi, aliran

refrigerasi, daya kompresi, koefisien prestasi (*COP*), total siklus pendinginan dan efisiensi dalam mesin *water chiller*. Sehingga diharapkan penggunaan mesin *water chiller* dapat lebih efektif dan efisien.

Metode Penelitian

Water chiller adalah salah satu jenis alat pendingin air. Komponen utama *water chiller* yang dibuat sebagai alat pengujian terdiri dari kompresor, kondensor, pipa kapiler, evaporator, dan pompa air. Untuk mempermudah pengujian, instalasi ini dilengkapi alat ukur seperti *thermal imager*, *thermostat water*, *pressure gauge* yang dipasang pada titik-titik pengukuran. Adapun instalasi *water chiller* hanya disesuaikan untuk aplikasi alat pengujian yaitu dihubungkan dengan mesin *plastic injection*. [3,4]

Hasil dan Pembahasan

Mesin Plastic Injection. Dalam proses injeksi mesin *plastic injection type HC* terdapat 2 beban pendingin terhadap *water chiller*, yaitu pada *oil hydraulic barrel* dan *mold*. Kedua beban tersebut yang akan menjadi beban pendinginan dalam penelitian ini. Berikut adalah rincian mesin *plastic injection type HC*:



Gambar 1. Mesin *Plastic Injection Type HC*

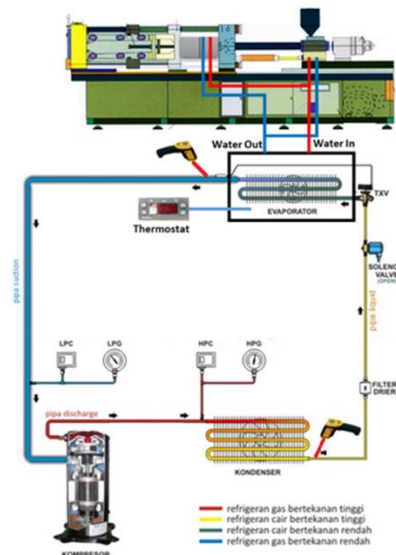
Water Chiller Type FC. *Water chiller type FC* ini digunakan untuk

menjaga temperatur dari *oil hydraulic barrel* dan *mold* agar tidak *over heat* ketika dilakukan proses produksi dengan kapasitas yang tinggi. Berikut adalah rincian *water chiller type FC*:



Gambar 2. *Water Chiller Type FC*

Instalasi Penelitian. Sebelum melakukan penelitian lebih lanjut, maka dibuat instalasi alat dan alat ukur terlebih dahulu agar didapat analisa yang lebih mendalam. Berikut instalasi alat dan alat ukur dalam penelitian: [5]



Gambar 3. Instalasi Penelitian

Perhitungan Unjuk Kerja Sistem Refrigerasi (COP) Sebelum Mendapat Beban Pendingin dari Mesin Plastic Injection. Dengan menggunakan *software* [6] maka akan didapat sifat-sifat yang dibutuhkan dalam perhitungan unjuk kerja sistem

refrigerasi (COP) pada *water chiller* sebelum mendapat beban pendingin dari mesin *plastic injection*. Berikut adalah sifat-sifat sistem refrigerasinya: Tabel 1. Sifat-Sifat Sistem Refrigerasi Sebelum Mendapat Beban Pendingin dari Mesin *Plastic Injection*

Pengujian Ke-	Rata-rata						Total Siklus Pendinginan
	Evaporator			Kondensor			
	T _e (°C)	P (Bar)	T _{out} (°C)	T _c (°C)	P (Bar)	T _{out} (°C)	
1	-2.55	4.57	3.45	38.28	14.69	30.31	11
2	-2.45	4.58	3.36	38.18	14.66	30.29	11
3	-2.55	4.57	3.45	38.28	14.69	30.31	11
4	-2.45	4.58	3.36	38.18	14.66	30.29	11
5	-2.36	4.60	3.27	38.08	14.62	30.27	11
6	-2.45	4.58	3.36	38.18	14.66	30.29	11
7	-2.45	4.58	3.36	38.18	14.66	30.29	11

Pengujian Ke-	Kapasitas Refrigerasi (Q _e) [kJ/menit]	Vol. Jenis Uap Jenuh [m ³ /kg]	h ₁ [kJ/kg]	h ₂ [kJ/kg]	h ₃ [kJ/kg]	h ₄ [kJ/kg]
1	1338	0.052739	408.700	438.778	237.035	237.035
2	1338	0.052523	408.611	438.506	237.022	237.022
3	1338	0.052739	408.700	438.778	237.035	237.035
4	1338	0.052523	408.611	438.506	237.022	237.022
5	1338	0.052325	408.519	438.238	236.996	236.996
6	1338	0.052523	408.611	438.506	237.022	237.022
7	1338	0.052523	408.611	438.506	237.022	237.022

Berdasarkan data tabel 1, maka selanjutnya adalah melakukan pengolahan data perhitungan. Dalam perhitungan kali ini diambil salah satu contoh saja, yaitu pada pengujian ke- 1. Berikut adalah pengolahan data perhitungan sesuai dengan studi literatur yang ada: [7,8]

1. Menghitung koefisien kinerja carnot (COP_{max})

$$COP_{max} = \frac{T_e + 273}{T_c - T_e}$$

$$COP_{max} = \frac{-2.55 + 273}{38.28 - (-2.55)} = 6.624$$

2. Menghitung efek refrigerasi (q_e)

$$q_e = h_1 - h_4$$

$$q_e = [408.700 - 237.035] \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$

$$= 171.665 \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$

3. Menghitung aliran refrigerasi (m)

$$m = \frac{Q_e}{q_e}$$

$$m = \frac{1338 \left[\frac{kJ}{menit} \right]}{171.665 \left[\frac{kJ}{kg} \right]}$$

$$= 7.794 \left[\frac{kg}{menit} \right]$$

4. Menghitung kerja kompresor (P)

$$P = m (h_2 - h_1)$$

$$P = 7.794 \left[\frac{kg}{menit} \right] (438.778 - 408.700) \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$

$$P = 234.435 \left[\frac{kJ}{menit} \right]$$

Dalam HP, kerja kompresor = 234.435 $\left[\frac{kJ}{60s} \right]$: 0.746 W = 5.24 HP

5. Menghitung koefisien kinerja *water chiller* (COP)

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

$$COP = \frac{(408.700 - 237.035) \left[\frac{kJ}{kg} \right]}{(438.778 - 408.700) \left[\frac{kJ}{kg} \right]}$$

$$= 5.71$$

6. Menghitung efisiensi kerja *water chiller* (η)

$$\eta = \frac{COP}{COP_{max}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{5.71}{6.624} \times 100\% = 86.162\%$$

Dengan cara pengolahan data perhitungan yang sama, maka didapatkan hasil perhitungan untuk pengujian yang lainnya pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil Perhitungan Unjuk Kerja Sistem Refrigerasi (COP) Sebelum Mendapat Beban Pendingin dari Mesin *Plastic Injection*

Pengujian Ke-	COP Carnot $COP_{max} = \frac{T_c + 273}{T_c - T_e}$	Efek Refrigerasi $q_e = (h_1 - h_4)$ [kJ/kg]	Aliran Refrigerasi $m = (Q_e/q_e)$ [kg/menit]	Kerja Kompresor $P = m(h_2 - h_1)$ [HP]	COP $(h_1 - h_4)/(h_2 - h_1)$	Effisiensi Kerja $\eta = COP/COP_{max}$
1	6.624	171.665	7.794	5.240	5.71	86.162
2	6.657	171.589	7.798	5.210	5.74	86.215
3	6.624	171.665	7.794	5.240	5.71	86.162
4	6.657	171.589	7.798	5.210	5.74	86.215
5	6.691	171.523	7.801	5.181	5.77	86.254
6	6.657	171.589	7.798	5.210	5.74	86.215
7	6.657	171.589	7.798	5.210	5.74	86.215

Perhitungan Unjuk Kerja Sistem Refrigerasi (COP) Sesudah Mendapat Beban Pendingin dari Mesin *Plastic Injection*. Dengan menggunakan *software* maka akan didapat sifat-sifat yang dibutuhkan dalam perhitungan unjuk kerja sistem refrigerasi (COP) pada *water chiller* sesudah mendapat beban pendingin dari mesin *plastic injection*. Berikut adalah sifat-sifat sistem refrigerasinya:

Berdasarkan data tabel 3, maka selanjutnya adalah melakukan pengolahan data perhitungan. Dalam perhitungan kali ini diambil salah satu contoh saja, yaitu pada pengujian ke- 1. Berikut adalah pengolahan data perhitungan sesuai dengan studi literatur yang ada:

Tabel 3. Sifat-Sifat Sistem Refrigerasi Sesudah Mendapat Beban Pendingin dari Mesin *Plastic Injection*

Pengujian Ke-	Rata-rata						Total Siklus Pendinginan
	Evaporator			Kondensor			
	T _e (°C)	P (Bar)	T _{out} (°C)	T _c (°C)	P (Bar)	T _{out} (°C)	
1	-2.73	4.54	3.64	38.49	14.56	30.35	22
2	-2.82	4.53	3.73	38.59	14.56	30.36	22
3	-2.73	4.54	3.64	38.49	14.56	30.35	22
4	-2.73	4.54	3.77	38.49	14.56	30.35	22
5	-2.77	4.53	3.68	38.54	14.56	30.35	22
6	-2.82	4.53	3.73	38.59	14.56	30.36	22
7	-2.77	4.53	3.68	38.54	14.56	30.35	22

Kapasitas Pendinginan (Q_e) [kJ/menit]	Vol. Jenis Uap Jenuh [m ³ /kg]	h_1 [kJ/kg]	h_2 [kJ/kg]	h_3 [kJ/kg]	h_4 [kJ/kg]
1338	0.05314	408.884	439.320	237.099	237.099
1338	0.053344	408.984	439.597	237.124	237.124
1338	0.05314	408.884	439.320	237.099	237.099
1338	0.053177	408.984	439.441	237.099	237.099
1338	0.053232	408.933	439.452	237.111	237.111
1338	0.053344	408.984	439.597	237.124	237.124
1338	0.053232	408.933	439.452	237.111	237.111

1. Menghitung koefisien kinerja carnot (COP_{max})

$$COP_{max} = \frac{T_e + 273}{T_c - T_e}$$

$$COP_{max} = \frac{-2.73 + 273}{38.49 - (-2.73)} = 6.558$$

2. Menghitung efek refrigerasi (q_e)

$$q_e = h_1 - h_4$$

$$q_e = [408.884 - 237.099] \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$

$$= 171.785 \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$

3. Menghitung aliran refrigerasi (m)

$$m = \frac{Q_e}{q_e}$$

$$m = \frac{1338 \left[\frac{kJ}{menit} \right]}{171.785 \left[\frac{kJ}{kg} \right]} = 7.789 \left[\frac{kg}{menit} \right]$$

4. Menghitung kerja kompresor (P)

$$P = m (h_2 - h_1)$$

$$P = 7.789 \left[\frac{kg}{menit} \right] (439.320 - 408.884) \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$

$$P = 237.0601 \left[\frac{kJ}{menit} \right]$$

Dalam HP, kerja kompresor = $237.0601 \left[\frac{kJ}{60s} \right] : 0.746 W = 5.298 \text{ HP}$

5. Menghitung koefisien kinerja *water chiller* (COP)

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

$$COP = \frac{(408.884 - 237.099) \left[\frac{kJ}{kg} \right]}{(439.320 - 408.884) \left[\frac{kJ}{kg} \right]}$$

$$= 5.64$$

6. Menghitung efisiensi kerja *water chiller* (η)

$$\eta = \frac{COP}{COP_{max}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{5.64}{6.558} \times 100\% = 86.067\%$$

Dengan cara pengolahan data perhitungan yang sama, maka didapatkan hasil perhitungan untuk pengujian yang lainnya pada tabel 4.

Tabel 4. Hasil Perhitungan Unjuk Kerja Sistem Refrigerasi (COP) Sesudah Mendapat Beban Pendingin dari Mesin *Plastic Injection*

Pengujian Ke-	COP Carnot $COP_{max} = \frac{T_c + 273}{T_c - T_e}$	Efek Refrigerasi $q_c = (h_1 - h_4)$ [kJ/kg]	Aliran Refrigerasi $m = (Q_c / q_c)$ [kg/menit]	Kerja Kompresor $P = m(h_2 - h_1)$ [HP]	COP $(h_1 - h_4) / (h_2 - h_1)$	Effisiensi Kerja $\eta = COP / COP_{max}$
1	6.558	171.785	7.789	5.298	5.64	86.067
2	6.525	171.860	7.785	5.327	5.61	86.034
3	6.558	171.785	7.789	5.298	5.64	86.067
4	6.558	171.885	7.784	5.299	5.64	86.058
5	6.542	171.822	7.787	5.312	5.63	86.066
6	6.525	171.860	7.785	5.327	5.61	86.034
7	6.542	171.822	7.787	5.312	5.63	86.066

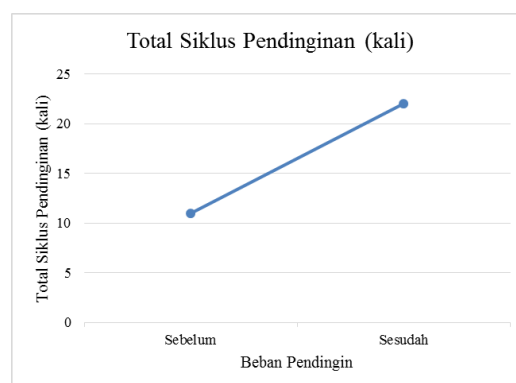
Hasil dan Analisa. Berdasarkan hasil perhitungan pada tabel 2 dan 4, maka selanjutnya data tersebut dibandingkan agar bisa dianalisa beban pendingin terhadap unjuk kerja *water chiller* pada mesin *plastic injection*. Analisa tersebut meliputi: total siklus pendinginan, efek refrigerasi, aliran refrigerasi, kerja kompresor, COP dan efisiensi kerja yang ditampilkan dalam bentuk grafik antara sebelum dan sesudah mendapat beban pendingin dari mesin *plastic injection*. Berikut adalah hasil dan analisisnya:

Berdasarkan tabel 5, maka langkah selanjutnya adalah menganalisa data dengan menggunakan grafik. Hal yang pertama dibahas adalah grafik hubungan antara beban pendingin dari mesin *plastic injection* terhadap total

siklus pendinginan yang terjadi pada *water chiller*.

Tabel 5. Rata-rata Hasil Perhitungan Unjuk Kerja Sistem Refrigerasi (COP)

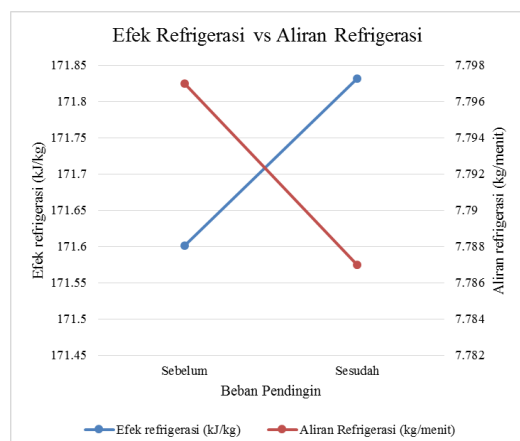
Parameter Pengujian	Rata-rata hasil perhitungan	
	Sebelum	Sesudah
Total Siklus Pendinginan (kali)	11	22
Efek refrigerasi (kJ/kg)	171.601	171.831
Aliran Refrigerasi (kg/menit)	7.797	7.787
Kerja Kompresor (HP)	5.214	5.31
COP	5.735	5.631
Effisiensi Kerja (%)	86.206	86.056



Gambar 4. Grafik Hubungan Total Siklus Pendinginan terhadap Beban Pendingin Mesin *Plastic Injection*

Dari gambar 4 di atas terlihat total siklus pendinginan sesudah mendapatkan beban pendingin dari mesin *plastic injection* berupa kapasitas produksi 400 pcs naik menjadi 22 kali siklus pendinginan, yang sebelumnya hanya 11 kali. Hal ini terjadi karena air yang disirkulasikan ke *mold* dan *oil hydraulic screw* menjadi cepat naik temperaturnya pada saat mesin *plastic injection* beroperasi, selain itu juga pengaruh dari temperatur udara sekitar *water chiller*. Sehingga air yang masuk ke dalam *water chiller* menambah temperatur air di dalam bak penampungan air di evaporator yang mengharuskan siklus refrigerasi bekerja semakin tinggi, ketika temperatur air mencapai 28°C maka *water chiller* bekerja dengan siklus refrigerasi secara tertutup dalam waktu tertentu sampai temperatur air mencapai 24°C

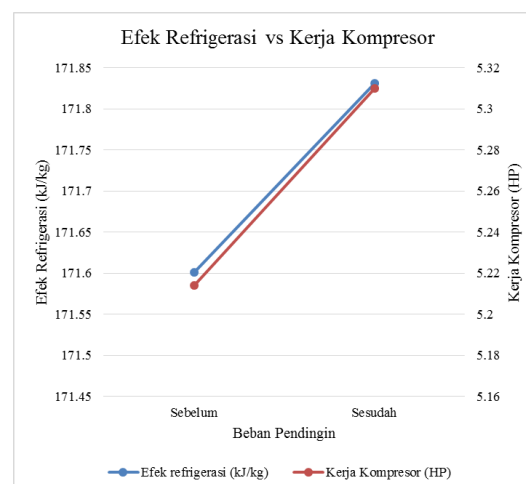
kemudian sistem refrigerasi berhenti. Dalam proses pendinginan air di dalam bak penampungan air, terdapat evaporator yang berfungsi untuk menyerap kalor dari temperatur air 28°C mencapai 24°C. Pada gambar 5 menjelaskan efek refrigerasi dan aliran refrigerasi yang terjadi pada evaporator.



Gambar 5. Grafik Hubungan Beban Pendingin Mesin *Plastic Injection* terhadap Efek Refrigerasi dan Aliran Refrigerasi

Berdasarkan gambar 5 di atas menjelaskan hubungan beban pendingin mesin *plastic injection* terhadap efek refrigerasi dan aliran refrigerasi. Hubungan efek refrigerasi dan aliran refrigerasi ini membentuk kapasitas refrigerasi *water chiller* yaitu sebesar 1338 kJ/menit. Dengan begitu apabila efek refrigerasi yang terjadi besar maka aliran refrigerasinya menjadi kecil, dan sebaliknya. Pada gambar 4 terlihat bahwa efek refrigerasi *water chiller* sesudah mendapat beban pendingin dari mesin *plastic injection* naik sebesar 171,831 kJ/kg yang sebelumnya 171,601 kJ/kg, dan sebaliknya aliran refrigerasi menjadi turun menjadi 7,787 kg/menit yang sebelumnya 7,797 kg/menit. Hal ini terjadi karena waktu penyerapan kalor air di bak penampungan air yang dilakukan oleh evaporator hingga mencapai temperatur air 24°C semakin

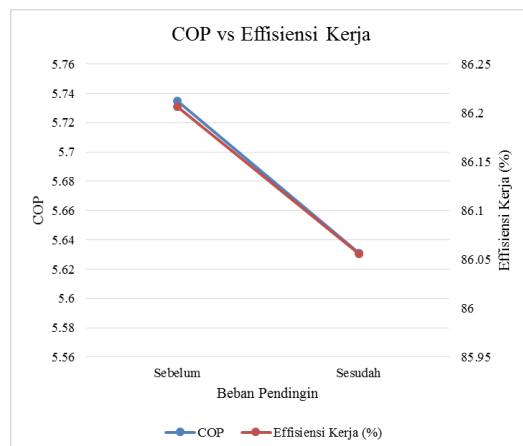
lama, sehingga dibutuhkan efek refrigerasi yang tinggi dan aliran refrigerasi yang lambat, agar kerja evaporator semakin merata dalam menyerap kalor air di bak penampungan air *water chiller*. Dengan timbulnya efek refrigerasi yang semakin tinggi, maka akan berpengaruh terhadap kerja kompresor dari *water chiller*, analisa lebih dalam dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6. Grafik Hubungan Beban Pendingin Mesin *Plastic Injection* terhadap Efek Refrigerasi dan Kerja Kompresor

Dari gambar 6 di atas menjelaskan hubungan antara beban pendingin mesin *plastic injection* terhadap efek refrigerasi dan kerja kompresor. Terlihat bahwa terjadi kenaikan efek refrigerasi sebesar 171,831 kJ/kg yang sebelumnya 171,601 kJ/kg dan kerja kompresor sebesar 5,31 HP yang sebelumnya 5,214 HP. Dari mulai sebelum mendapat beban pendingin mesin *plastic injection* sampai sesudah mendapat beban pendingin mesin *plastic injection*. Hal ini terjadi karena pada saat *water chiller* mendapat beban pendingin dari mesin *plastic injection*, evaporator bekerja semakin tinggi dalam menyerap kalor air di bak penampungan sampai mencapai temperature 24°C, dengan demikian

maka diperlukan kerja kompresor yang semakin tinggi pula untuk memberikan asupan refrigeran ke dalam evaporator agar efek refrigerasi naik. Dengan adanya kenaikan kerja kompresor maka selanjutnya akan berpengaruh pada unjuk kerja (COP) *water chiller*. Gambar 7 akan menjelaskan analisa lebih lanjut mengenai COP dan efisiensi kerja.



Gambar 7. Grafik Hubungan Beban Pendingin *Plastic Injection* terhadap Unjuk Kerja (COP) dan Efisiensi Kerja *Water Chiller*

Dari gambar 7 di atas menjelaskan hubungan beban pendingin mesin *plastic injection* terhadap unjuk kerja (COP) dan efisiensi kerja *water chiller*. Terlihat bahwa COP mengalami penurunan menjadi 5,631 yang sebelumnya 5,731, seiring dengan penurunan COP maka efisiensi kerja *water chiller* pun turun menjadi 86,056% yang sebelumnya 86,206%. Penurunan COP dan efisiensi kerja *water chiller* ini disebabkan karena adanya kenaikan kerja kompresor saat mendapat beban pendingin mesin *plastic injection*.

Kesimpulan

Berdasarkan pengolahan data dan analisa, maka penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Karakteristik kerja dari *water chiller* adalah pada saat temperatur air di bak penampungan air mencapai 28°C, maka siklus refrigerasi *water chiller* bekerja untuk menurunkan temperatur air sampai 24°C sesuai pengaturan *thermostat*. Semakin tinggi beban pendingin maka semakin tinggi kerja siklus refrigerasi *water chiller* yaitu sebanyak 22 kali siklus refrigerasi yang sebelumnya 11 kali siklus refrigerasi.
2. Terjadi kenaikan kerja kompresor sebesar 5,31 HP yang sebelumnya 5,214 HP dan terjadinya kenaikan efek refrigerasi sebesar 171,831 kJ/kg yang sebelumnya 171,601 kJ/kg. Hal ini disebabkan oleh adanya beban pendingin dari mesin *plastic injection*.
3. Terjadi penurunan COP dari 5,631 menjadi 5,375 dan terjadi penurunan efisiensi kerja dari 86,206% menjadi 86,056%. Hal ini disebabkan oleh adanya kenaikan kerja kompresor saat mendapat beban pendingin dari mesin *plastic injection*.

Referensi

- [1] Strong, A. Brent, 2006, *Plastics Materials and Processing*, Pearson Education Ltd., Amerika.
- [2] Anonim, 2010, *Operation Manual: Thermoplastic Injection Molding Machine Toggle Series with 360A & 360C Microcomputer*, Hwa Chin Machinery Factory Co., Ltd., Taiwan.
- [3] Langley, Billy C., 2002, *Fine Tuning Air Conditioning and Refrigeration Systems*, The Fairmont Press, Inc., Georgia.
- [4] <http://www.tridynamika.com/fluke-thermal-imagers> (diakses pada tanggal 16 Mei 2015)
- [5] Whitman, William C., William M. Johnson, John A. Tomczyk & Eugene Silberstein, 2009, *Refrigeration and Air Conditioning Technology*, Delmar, United State of America.

- [6] Jakobsen, Arne, Bjarne Dindler Rasmussen, Morten Juel Skovrup & Simon Engedal Andersen, 2001, *Coolpack*, Department of Energy Engineering Technical University of Denmark, Denmark.
- [7] Moran, Michael J. & Howard N. Shapiro, 2014, *Termodinamika Teknik*, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- [8] Pudjanarsa, Astu & Djati Nursuhud, 2008, *Mesin Konversi Energi*, Penerbit Andi, Yogyakarta.