

Analisis Konsumsi Energi Listrik Pada Sistem Refrigerasi Cascade Akibat Perubahan Kecepatan Putaran Fan Kondenser

Eddy Erham

Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bandung
Korespondensi : e_erham@yahoo.com

ABSTRAK

Konsumsi energi listrik oleh mesin pendingin dan pengkondisi udara adalah terbesar diantara peralatan rumah tangga yang lain, yaitu sekitar 50% sampai 70% dari konsumsi total. Prosentase konsumsi energi listrik dapat diturunkan dengan cara meningkatkan kinerja sistem refrigerasi ataupun menurunkan *setting* kecepatan putaran fan kondenser. Pada penelitian ini akan dilakukan upaya penurunan konsumsi energi listrik dengan cara menurunkan *setting* kecepatan putaran fan dari 100% sampai 20%. Besaran yang akan diukur pada penelitian ini adalah temperatur kabin, kecepatan putaran fan kondenser, tegangan listrik dan arus listrik. Pengujian dilakukan pada sistem refrigerasi *cascade* dengan kapasitas kompresor $\frac{1}{3}$ HP dan temperatur kabin di *setting* – 36°C. Pengujian dilakukan dengan memvariasikan kecepatan putaran fan ω yaitu: 20%; 30%; 40%; 60%; 80%; 100%. Lama pengambilan data untuk setiap variasi tersebut adalah sampai masing-masing *chilling time* nya tercapai. Konsumsi energi listrik dihitung dengan mengalikan konsumsi daya listrik dengan lamanya waktu operasi. Hasil-hasil penelitian menunjukkan bahwa konsumsi energi ketika kecepatan putaran fan 30% adalah minimum, yaitu 314.26 kWh dan penghematan energi adalah 17,7 % dari kecepatan putaran fan maksimum. Selain itu, *chilling time* ketika kecepatan putaran fan 30% adalah 112 menit.
Kata kunci: sistem refrigerasi *cascade*, kecepatan putaran fan, daya listrik, *chilling time*, penghematan energi.

ABSTRACT

The electrical energy consumption of refrigeration and air conditioning is the biggest in household appliances, namely about 50% and 70% of total consumption. The prosentage of energy consumption can be reduced by increasing the coefficient of performance of refrigeration system or by decreasing setting of fan-rotation speed from 100% to 20%. The quantities that would be measured are compartment temperature, fan-rotation speed, the electrical voltage and current. The testing was performed on cascade refrigeration system of compressor capacity of 1/3 HP and setting of compartment temperature of – 36°C. The testing was conducted by varying fan-rotation speed, namely 20%; 30%; 40%; 60%; 80%; 100%. The duration of collecting data for every variation was equal to its chilling time, respectively. The energy consumption was calculated by multiply the electrical power to the duration of refrigeration system works. The experimental results showed that the energy consumption when fan-rotation speed of 30% is minimum, namely 314.26 kWh and the energy saving is 17,7 % of maximum fan-rotation speed. In addition, chilling time when the speed of 30% is 112 minutes.
Keywords: *cascade refrigeration system, fan-rotation speed, electrical power, chilling time, energy saving.*

1. PENDAHULUAN (10 PT)

Upaya untuk melakukan penghematan energi di berbagai bidang tidak pernah surut. Demikian pula di bidang refrigerasi dan tata udara upaya pencarian ke arah itu tidak kunjung berhenti. Apa lagi konsumsi energi di bidang ini adalah terbesar diantara peralatan rumah tangga yang lain, yaitu sekitar 50% sampai 70% dari konsumsi total [8]. Beberapa penelitian untuk itu telah dilakukan, diantaranya penelitian tentang pengaruh setpoint terhadap konsumsi energi listrik [5] dan kemudian dilanjutkan penelitian lain yang mengamati pengaruh diferensial pada pemakaian daya listrik [4].

Untuk turut berpartisipasi dalam penghematan konsumsi energi ini, dalam penelitian ini akan diamati pengaruh kecepatan putaran fan kondenser terhadap konsumsi daya listrik. Pada umumnya, apabila *setting* kecepatan putaran fan fan kondenser diturunkan, maka akan menurunkan konsumsi daya listrik. Namun turunnya kecepatan putaran fan mempunyai batas tertentu, karena bila kecepatan putaran fan terlalu rendah, maka pelepasan kalor ke lingkungan menjadi terhambat akibatnya konsumsi daya kompresor akan meningkat. Oleh karena itu, perlu diselidiki pada kecepatan putaran fan berapa terjadi pemakaian daya listrik yang minimum.

Pada penelitian ini akan dilakukan penyelidikan penghematan konsumsi energi listrik oleh sistem refrigerasi *cascade* bila *setting* kecepatan putaran fan diturunkan dari 100% sampai 20%. Penelitian tentang penghematan konsumsi energi oleh sistem refrigerasi akibat perubahan *setting* kecepatan putaran fan

kondenser telah dilakukan oleh beberapa ahli, antara lain oleh: F.W. Yu and K.T. Chan. Hasil penelitian tersebut menyatakan bahwa pengontrolan kecepatan putaran *fan* kondenser memperbaiki COP dari 11,4% sampai 23,73% yang bergantung pada kondisi operasi. Peningkatan COP ini menghasilkan reduksi sampai 14,1 kWh/m² atau 27,3% dalam konsumsi listrik per tahun [6].

Upaya untuk mereduksi konsumsi energi dari motor *fan* telah dilakukan oleh para peneliti. F.W. Yu and K.T. Chan melaporkan pengontrolan *fan* kondenser memperbaiki COP dari 11,4% sampai 23,73% yang bergantung pada kondisi operasi. Peningkatan COP ini menghasilkan reduksi sampai 14,1 kWh/m² atau 27,3% dalam konsumsi listrik per tahun [6].

Teori dari berbagai *textbook* menunjukkan bahwa apabila kecepatan putaran (rpm) motor listrik diturunkan, maka konsumsi daya listrik akan menurun. Salah satu yang cukup representatif adalah *textbook* yang ditulis oleh Austin Hughes dan Bill Drury [3]. Namun dalam kaitannya dengan motor *fan* kondenser apakah penurunan kecepatan putaran motor ini adalah linier atau berbanding lurus penurunan daya listrik masih perlu diselidiki. Apalagi hal ini terkait dengan pelepasan panas di kondenser. Diharapkan dari penelitian yang akan dilakukan ini ditemukan kecepatan putaran (rpm) motor *fan* yang optimal sehingga konsumsi energi listrik dapat direduksi.

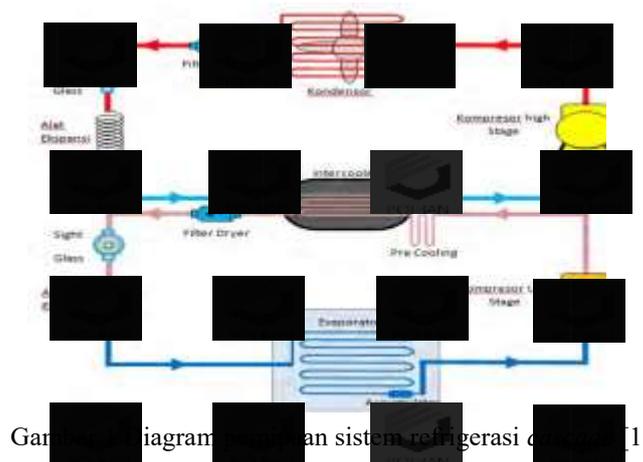
2. METODE PENELITIAN

Pembahasan pada bagian ini meliputi ide dasar penelitian, perancangan penelitian dan tahapan pengambilan data. Ide dasar tersebut dimaksudkan untuk memberikan penjelasan secara mendasar dan bersifat umum. Kemudian, penjelasan yang lebih terinci diberikan pada perancangan penelitian. Disamping itu, pada tahapan pengambilan data diberikan pula parameter yang akan diukur dan akurasi dari sensor atau alat ukur yang digunakan.

2.1 Ide Dasar Penelitian

Pada penelitian ini akan dilakukan pengukuran pada sistem refrigerasi cascade yang diagram pemipiannya ditunjukkan pada gambar 1, [1], [10]. Besaran yang diukur adalah daya listrik, temperatur kabin dan kecepatan putaran *fan*. Dalam hal ini digunakan sistem pengukuran berbasis Arduino AT Mega 2560 sebagai alat ukurnya [4],[9].

Lokasi pengukuran ini adalah pada bagian high stage. Pengukuran dilakukan dengan cara memvariasikan kecepatan putaran *fan* kondenser dan kemudian diamati masing-masing pengaruhnya terhadap daya listrik. Pengukuran daya dilakukan pada input daya kompresor, tetapi tidak dilakukan secara langsung. Untuk itu sebagai penggantinya diukur arus listrik dengan sensor arus ACS712 dan tegangan listrik dengan sensor tegangan yang diletakkan di rangkaian input daya kompresor [2]. Pada saat yang sama dilakukan pula pengukuran temperatur kabin dan kecepatan putaran *fan*. Titik pengukuran temperatur kabin ditempatkan di dalam kabin dan sensor temperatur yang digunakan adalah DS18B20. Sedangkan titik pengukuran kecepatan putaran *fan* diletakkan di depan bilah *fan* kondenser dan sensor kecepatan putaran yang digunakan adalah *infrared obstacle*.



Gambar 1. Diagram pemipaan sistem refrigerasi cascade [1]

2.2 Perancangan Penelitian

Kapasitas sistem refrigerasi *cascade* yang digunakan pada pengujian ini adalah 1/3 HP (0.25 kW) dengan menggunakan R22 dan R410A sebagai refrigeran. Pada pengujian pertama setting kecepatan putaran *fan* $\omega = 100\%$, setting temperatur kabin adalah -36°C , dengan lama pengambilan data sampai chilling time tercapai. Selanjutnya, pengujian dilakukan untuk kecepatan putaran *fan* ω yaitu: 80%; 60%; 40%; 30%; 20% dengan setting suhu kabin adalah tetap sama -36°C dan lama pengambilan data sampai masing-masing chilling timenya tercapai.

Besaran yang diukur pada penelitian ini adalah daya input (W) kompresor. Pengukuran daya input kompresor (W) dilakukan secara tidak langsung, yaitu melalui pengukuran tegangan listrik (V), arus listrik (I) pada kompresor. Kemudian, untuk perhitungan daya input kompresor (W) digunakan persamaan (1). Perhitungan konsumsi energi oleh kompresor dilakukan dengan persamaan (2). Sedangkan prosentase penghematan dihitung dengan persamaan (3), [3], [7].

$$W = V.I \quad (1)$$

$$E = W.t \quad (2)$$

$$\eta = \frac{E_{\omega_m} - E_{\omega}}{E_{\omega_m}} \quad (3)$$

dimana,

E = konsumsi energi listrik (kWh)

t = waktu kompresor beroperasi (h)

E_{ω_m} = konsumsi energi listrik pada setting kecepatan putaran *fan* 100%

E_{ω} = konsumsi energi listrik pada setting kecepatan putaran *fan* tertentu.

Selain itu, untuk masing-masing setting kecepatan putaran *fan*, yaitu dari 20% sampai 100% .dilakukan pengukuran untuk mengetahui besaran numeriknya.

3.3 Tahapan Pengambilan Data

Untuk dapat membandingkan kinerja sistem refrigerasi *cascade* dilakukan perubahan setting kecepatan putaran *fan* kondenser. Pada penelitian ini terdapat 4 parameter yang akan dilakukan pengukuran, yaitu: temperatur kabin, kecepatan putaran *fan*, tegangan listrik dan arus listrik pada input kompresor. Akurasi dari alat-alat ukur yang digunakan pada penelitian ini terlihat pada tabel 1.

Tabel 1. Akurasi dari alat-alat ukur yang digunakan pada pengujian

No	Alat ukur/ Sensor	Akurasi
1	Temperatur	$\pm 0.1^{\circ}\text{C}$
2	Kecepatan putaran fan	$\pm 0.1 \text{ rad/s}$
3	Tegangan listrik	$\pm 0.1 \text{ V}$
4	Arus listrik	$\pm 0.1 \text{ A}$

3. HASIL DAN ANALISIS

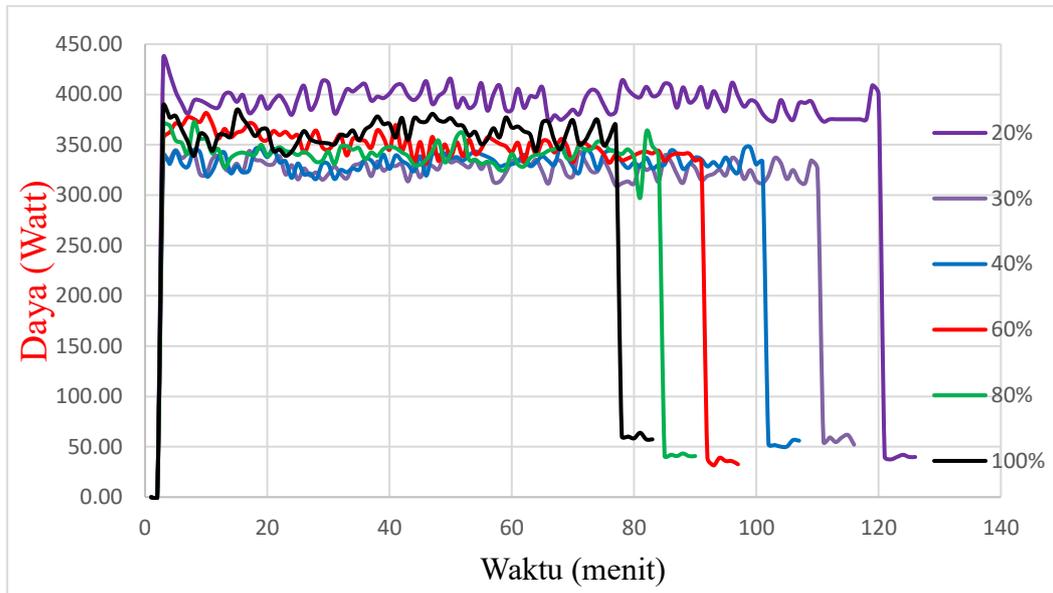
Pembahasan pada bagian ini terdiri dari dua pokok bahasan. Pertama. akan dibahas pengaruh kecepatan putaran *fan* kondenser terhadap konsumsi daya listrik. Kedua, dibahas pula pengaruh kecepatan putaran *fan* tersebut terhadap *chilling time*. Kemudian, dari kedua pembahasan ini akan direkomendasikan kecepatan putaran *fan* kondenser yang optimal yang dapat memberikan penghematan energi listrik yang maksimum.

3.1 Analisis Efek Perubahan Kecepatan Putaran *Fan* Kondenser terhadap Daya Listrik

Untuk mengetahui pengaruh kecepatan putaran fan kondenser terhadap konsumsi daya listrik dilakukan pengukuran daya listrik untuk beberapa variasi kecepatan putaran *fan*. Dalam hal ini, kecepatan putaran *fan* diperlakukan sebagai parameternya. Kemudian, daya listrik untuk setiap variasi kecepatan putaran *fan* diplot terhadap waktu beroperasinya sistem refrigerasi *cascade*. Akan tetapi, grafik-grafik daya P terhadap waktu t ini dibatasi waktunya hanya sampai pada *settling timenya* masing-masing.

Gambar 2. menunjukkan bahwa daya listrik rata-rata cenderung menurun apabila kecepatan putaran *fan* diturunkan. Untuk kecepatan putaran *fan* 100%, 80%, 60%, 40% dan 30% , daya listrik rata-ratanya berturut-turut adalah 382,21 Watt, 366,23 Watt, 356, 74 Watt, 343,13 Watt dan 314,26 Watt. Namun, penurunan kecepatan putaran *fan* ini ada batasnya. Pada kecepatan putaran *fan* yang rendah dan di bawah kecepatan putaran *fan* 30%, maka daya listrik rata-rata pada kecepatan putaran *fan* 20% akan naik menjadi 404,63 Watt. Hal ini disebabkan kecepatan putaran *fan* terlalu rendah sehingga temperatur di sekitar kondenser menjadi tinggi. Akibatnya, untuk melepaskan kalor di kondenser, arus kompresor menjadi meningkat. Dan daya listriknya juga menjadi naik. Berdasarkan data ini, konsumsi daya yang terendah adalah 314,26 Watt yang

diperoleh ketika kecepatan putaran *fan* 30%. Namun, untuk menentukan kecepatan putaran *fan* yang optimal masih diperlukan peninjauan parameter yang lain, yaitu *chilling time*.



Gambar 2. Grafik daya listrik terhadap waktu

3.2 Efek Perubahan Kecepatan Putaran *Fan* Kondenser Terhadap *Setting Time*

Untuk mengetahui pengaruh kecepatan putaran *fan* kondenser terhadap *chilling time* dilakukan hal yang sama seperti untuk menyelidiki pengaruhnya terhadap daya listrik. Oleh karena itu, grafik-grafik yang diperoleh adalah grafik - grafik yang sama, yaitu grafik- grafik daya P terhadap waktu t yang dibatasi waktunya hanya sampai pada *chilling timenya* masing-masing.

Gambar 2. menunjukkan bahwa *chilling time* cenderung menurun apabila kecepatan putaran *fan* dinaikkan. Untuk kecepatan putaran *fan* 20%, 30% , 40%, 60% 80%, dan 100% *chilling time* berturut-turut adalah 121 menit, 112 menit, 101 menit , 92 menit, 85 menit, 78 menit. Berdasarkan data ini, *chilling time* yang terendah adalah 78 menit yang diperoleh ketika kecepatan putaran *fan* 100%.

Kemudian, untuk tujuan analisis lebih jauh, keenam grafik yang ada pada gambar 2. dikonversi ke dalam Tabel 2. Dalam tabel ini dapat diamati secara bersamaan pengaruh kecepatan putaran *fan* terhadap daya listrik dan *chilling time*. Hasil-hasil menunjukkan bahwa pada saat kecepatan putaran *fan* 30% atau 429 rpm didapat konsumsi daya yang terendah dan *chilling time* berturut-turut, yaitu 314,26 Watt dan 112 menit. Jika dibandingkan pada kecepatan putaran *fan* maksimum, maka konsumsi daya sistem refrigerasi *cascade* bisa direduksi sebesar 17,77 %. Akan tetapi, hal itu tidak demikian dengan *chilling time* yang lebih lama 30,35% atau 34 menit bila dibandingkan pada kecepatan putaran *fan* maksimum. Karena, *chilling time* hanya terjadi sekali yaitu pada saat awal penggunaan sistem refrigerasi *cascade*, dan proses pendinginan selanjutnya tidak bergantung pada *chilling time*, maka parameter yang diprioritaskan adalah konsumsi daya. Dengan pertimbangan konsumsi daya yang terendah dan *chilling time* yang relatif cukup singkat dapat dipilih kecepatan putaran *fan* yang optimal yaitu pada saat kecepatan 30% atau 429 rpm.

Tabel 2. Daya listrik dan *chilling time* terhadap perubahan kecepatan putaran *fan*

No	Kecepatan putaran <i>fan</i> (%)	ω (RPM)	Daya listrik (Watt)	Daya listrik (%)	<i>Chilling Time</i> (Menit)	<i>Chilling Time</i> (%)	Energi (kWh)	Biaya (Rupiah)
1	20%	286	404.63	+5.54	121	35.53	0.404	566.48
2	30%	429	314.26	-17.77	112	30.35	0.314	439.96
3	40%	572	343.13	-10.22	101	22.77	0.343	480.38
4	60%	850	356.74	-6.66	92	15.21	0.356	499.43
5	80%	1150	366.23	-4.18	85	8.23	0.366	512.72
6	100%	1430	382.21	0.00	78	0.00	0.382	535.09

Selain itu, dari tabel 2 ini untuk setiap variasi kecepatan putaran *fan* diinformasi pula ekivalensi energi dan biaya dari daya listrik yang dikonsumsi. Untuk kecepatan putaran *fan* yang direkomendasikan, yaitu 30% dapat dihitung berturut-turut ekivalen energi listrik dan biaya listrik, 0,314 kWh dan Rp. 439,96,-

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menyelidiki pengaruh kecepatan putaran *fan* kondenser pada konsumsi daya listrik dan *chilling time* pada sistem refrigerasi *cascade*. Itu bisa dipertimbangkan sebagai suatu solusi yang cukup menjanjikan untuk persoalan-persoalan konsumsi energi. Hasil-hasil menunjukkan bahwa pada saat kecepatan 30% atau 429 rpm didapat konsumsi daya yang terendah dan *chilling time* berturut-turut, yaitu 314,26 Watt dan 112 menit. Dalam hal ini, sistem refrigerasi *cascade* bisa mereduksi konsumsi daya sebesar 17,77% bila dibandingkan pada kecepatan putaran *fan* maksimum. Akan tetapi, hal itu tidak demikian dengan *chilling time* yang lebih lama 30,35% atau 34 menit bila dibandingkan pada kecepatan putaran *fan* maksimum. Dengan pertimbangan konsumsi daya yang terendah dan *chilling time* yang relatif cukup singkat dapat dipilih kecepatan putaran *fan* yang optimal yaitu pada saat kecepatan 30% atau 429 rpm.

UCAPAN TERIMAKASIH

Dengan selesainya penelitian ini, diucapkan terimakasih banyak pada Politeknik Negeri Bandung sebagai afiliasi yang telah memberikan dukungan baik berupa pengarahan dan pendanaan. Dan juga diucapkan terimakasih kepada rekan sejawat Ir. Sumeru PhD atas saran-saran yang telah diberikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Andrew DA, Carl T. Modern Refrigeration and Air Conditioning. Atlanta: Goodheart-Willcox Company. 1982.
- [2] Andrew WG, Williams HB. Applied Instrumentation in the Process Industries. Second Edition. Houston: Gulf Publishing Company. 1979.
- [3] Austin H, Bill D. Electric Motors and Drives: Fundamentals, Types and Applications. Fourth Edition. New South Wales, Australia: Newres. 2013.
- [4] Eddy E, Markus, Wina PS. Design of a New On-Off Controller Based on Arduino Uno R3 with Application to Window A/C. IPTEK Journal of Pro. Series. 2018; 2: 180-188
- [5] Eddy E, Sumeru. Analisis Konsumsi Energi Listrik pada Pengkondisi Udara Akibat Perubahan Setting Udara Ruangan. Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan. Surabaya. 2017; 5: B – 255
- [6] FW Yu, KT Chan. Optimizing Condenser Fan Control for Air-Cooled Centrifugal Chillers. Int. J. of Thermal Sciences. 2008; 47(7): 942-953.
- [7] Howard EJ. Energy Efficient Electric Motors and Their Application. New York: Van Nostrand Reinhold Company Inc. 1983.
- [8] Luis PL, Jose O, Christine P. A Review On Buildings Energy Consumption Information. Energy and Building. 2008; 40: 394 – 398.
- [9] Peter E. Microcontroller Technology: The 68HC11. Fourth Edition. Ontario: Pearson. 2002.
- [10] Roy JD. Principles of Refrigeration. Second Edition. New York: John Willey and Sons. 1981.