

Pengujian Konsumsi Energi Listrik
Refrigerator non-CFC Kapasitas 150 L Berdasarkan ISO 7371-1995 (E)

Budihardjo

Laboratorium Refrigerasi dan Tata Udara
Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia
Kampus Baru Universitas Indonesia Depok 16424
Email : budihardjo@eng.ui.ac.id

Abstrak

Dinamika perkembangan teknologi refrigerasi khususnya pada peralatan listrik rumah tangga seperti lemari pendingin (refrigerator) dan penyejuk udara (air conditioner) baik yang mencakup sistem, peralatan, material maupun zat pendingin pada satu dekade terakhir sangat signifikan, sehingga konsumen diberi kemudahan untuk memilih produk sesuai dengan kemampuan finansialnya.

Walaupun merek dan model lemari pendingin (refrigerator) produksi dalam negeri yang beredar di masyarakat sangat beragam, ternyata belum ada refrigerator yang mencantumkan jumlah pemakaian energi listrik dalam satu hari (kWh/24hour). Hal ini disebabkan antara lain belum adanya peraturan dan ketetapan pemerintah yang mewajibkan produsen refrigerator mencantumkan jumlah pemakaian energi listrik per tahun serta belum adanya lembaga independen yang ditunjuk pemerintah untuk menentukan konsumsi energi listrik refrigerator.

Salah satu upaya untuk mengantisipasi hal tersebut, telah dilakukan serangkaian pengujian penentuan konsumsi energi untuk refrigerator yang mengacu pada standar ISO 7371-1995 (E). Hasil pengujian terhadap beberapa merk refrigerator produksi dalam negeri menunjukkan adanya ketidak sesuaian antara data teknis yang dikeluarkan produsen dengan hasil uji laboratoris yang dilakukan. Pemakaian energi listrik penggerak kompressor, temperatur udara didalam ruang pembuat es dan penyimpan makanan masih belum memenuhi persyaratan umum yang berlaku. Analisis data pengujian akan dilaporkan pada makalah ini.

Kata Kunci : Refrigerator, Konsumsi Energi, ISO 7371, Non CFC, Air Conditioner

1. Pendahuluan

Sampai dengan saat ini, refrigerator dengan kapasitas tertentu produksi dalam negeri belum mencantumkan label penggunaan energi tahunan seperti telah dilakukan oleh banyak negara. Sehingga konsumen tidak mengetahui berapa biaya listrik yang harus dikeluarkan dalam setahun oleh sebuah refrigerator. Pihak produsen refrigerator umumnya mencantumkan spesifikasi teknis seperti misalnya; volume, sistem *defrost*, daya kompressor serta refrigeran yang digunakan. Pencantuman informasi konsumsi energi listrik pada setiap peralatan listrik rumah tangga perlu diberlakukan agar masyarakat luas dapat memilih produk yang mengkonsumsi energi listrik yang rendah. Hasil studi awal uji konsumsi energi refrigerator yang telah dilaksanakan dapat digunakan sebagai acuan dalam menunjang pelaksanaan program labelisasi energi yang telah diuraikan dalam Rencana Induk Konservasi Energi Tahun 2005 (RIKEN 2005).

Prosedur pengujian konsumsi energi yang mengacu pada standar ISO 7371-1995(E) dan atau standar lain yang setara, perlu segera disusun bersama antara pemerintah dengan produsen dan assosiasi untuk selanjutnya ditetapkan dengan peraturan pemerintah disertai petunjuk pelaksanaanya. Program "labelisasi efisiensi energi" yang akan diberlakukan pada hakekatnya adalah suatu prosedur yang harus dilaksanakan baik secara sukarela (*voluntary*) atau wajib (*mandatory*) oleh produsen dalam menghasilkan produk/barang yang konsumsi energinya sesuai dengan nilai konsumsi energi yang ditetapkan. Didalam "label efisiensi energi" harus tercantum karakteristik pemakaian energi listrik dari produk persatuan waktu serta biaya energinya.

Karakteristik yang dicantumkan dalam label harus dibuat oleh Laboratorium Uji yang telah diakui secara nasional dan terakreditasi oleh badan international. Dengan adanya label ini, sebelum dilakukan akad pembelian produk, konsumen akan memperoleh informasi yang jelas tentang tingkat pemakaian energi listrik suatu produk tertentu serta dapat membandingkan pemakaian energi listrik antara satu produk dengan produk lainnya.

2. Definisi

Lemari es (refrigerator) adalah kotak /kabinet terisolasi yang dipergunakan untuk rumah tangga, yang suhu didalamnya diturunkan oleh satu atau lebih sumber energi, terdiri dari satu atau lebih ruang yang berfungsi untuk pengawetan makanan, dan minimum terdapat satu buah ruang untuk penyimpanan makanan segar. Pengolongan dari ruang simpan didalam refrigerator adalah sebagai berikut :

- 1) **Ruang untuk menyimpan makanan segar** adalah ruang untuk menyimpan makanan yang tidak boleh dibekukan, dapat terdiri dari beberapa sub-ruang, yang suhunya harus dipertahankan sesuai dengan Tabel I.
 - 2) **Ruang cellar** adalah ruang untuk menyimpan makanan atau minuman yang suhunya lebih hangat dibandingkan ruangan butir 2.a., dan suhunya harus dipertahankan sesuai dengan Tabel I.
 - 3) **Ruang suhu rendah** adalah ruang yang berfungsi untuk menyimpan makanan yang dibekukan dan membuat es.
 - 4) **Ruang pembuat es** adalah ruang yang berfungsi untuk pembekuan dan penyimpanan es dalam bentuk kotak.
 - 5) **Ruang penyimpan makanan yang dibekukan** adalah ruang yang berfungsi untuk penyimpanan makanan yang dibekukan dengan klasifikasi suhu ruang mengikuti ketentuan:
 - " *bintang satu* " (*) adalah ruang yang suhu penyimpanannya tidak boleh lebih hangat dari - 6 °C.
 - " *bintang dua* " (**) adalah ruang yang suhu penyimpanannya tidak boleh lebih hangat dari - 12 °C, atau suatu bagian ruang dari klasifikasi *bintang tiga* (***) yang tidak dilengkapi dengan penutup atau pintu tersendiri.
 - " *bintang tiga* " (***) adalah ruang yang suhu penyimpanannya tidak boleh lebih hangat dari - 18 °C.

Tabel I. Suhu Ruang Refrigerator (°C)

Kelas	Suhu lingkungan	Suhu ruang makanan	penyimpanan segar	Bintang tiga (***)	Bintang dua (**)	Bintang satu (*)	Ruang cellar
		t_1, t_2, t_3	t_m, maks	t_{***}	t_{**}	t_*	t_{cm}
SN	+ 16 dan +32						
N	+ 16 dan +32	0	$t_1, t_2, t_3 \leq +10$	+ 5	$t \leq -18$	$t \leq -12$	$t \leq -6$
ST	+ 18 dan +38						
T	+ 18 dan +43						

Keterangan : Simbol SN : Kelas extended temperature ; Simbol N : Kelas temperate ; Simbol ST : Kelas sub tropical ; Simbol T : Kelas Tropical

3. Metoda Uji Konsumsi Energi

Penentuan konsumsi energi suatu refrigerator harus mengikuti salah satu ketentuan kondisi operasi pada Tabel I. dilaksanakan dengan melakukan serangkaian pengukuran suhu didalam ruang refrigerator dan pengukuran pemakaian energi listrik selama 24 jam.

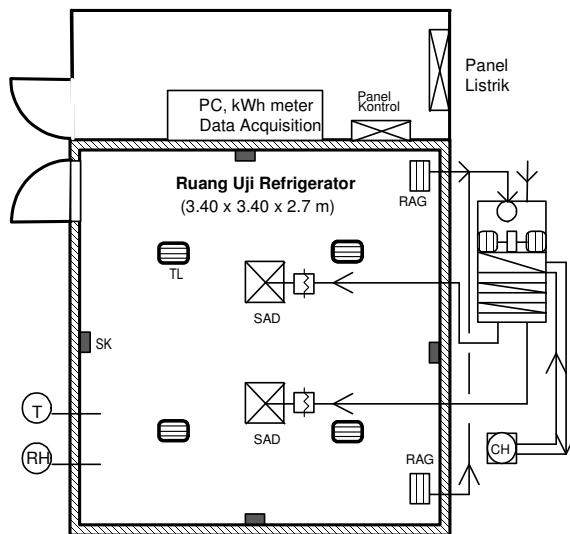
Penentuan konsumsi energi dapat dilakukan dengan cara penentuan pada satu karakteristik suhu atau dengan metoda interpolasi terhadap dua nilai yang diperoleh selama pengukuran, yaitu suhu yang lebih tinggi dan lebih rendah dari karakteristik suhu untuk masing-masing kondisi ruang seperti pada Tabel I.

4. Fasilitas dan Instrumentasi Uji

4.1 Ruang Uji

Ruang uji yang digunakan berukuran 3,40 (p) x 3,40 (l) x 2,72 (t) dengan dinding dan langit-langitnya diisolasi secara termal dari bahan styrophor foam dan dilapisi alumunium yang diberi cat anti

karat. Pintu ruang uji diisolasi dengan rigid polyurethane foam setebal 100 mm dan dilapisi baja yang diberi cat anti karat. Disekeliling pintu dan pegangannya diberi sekat untuk menghindari kebocoran kalor. Ruang uji juga dilengkapi dengan sebuah pressure compensation valve dan lampu 4 x 60 watt. Untuk mengendalikan dan mempertahankan suhu di dalam ruang uji digunakan seperangkat mesin pendingin kapasitas 2 TR berikut peralatan kendalinya.



Gambar 1. Denah Ruang Uji Refrigerator

4.2 Instrumentasi pengukuran

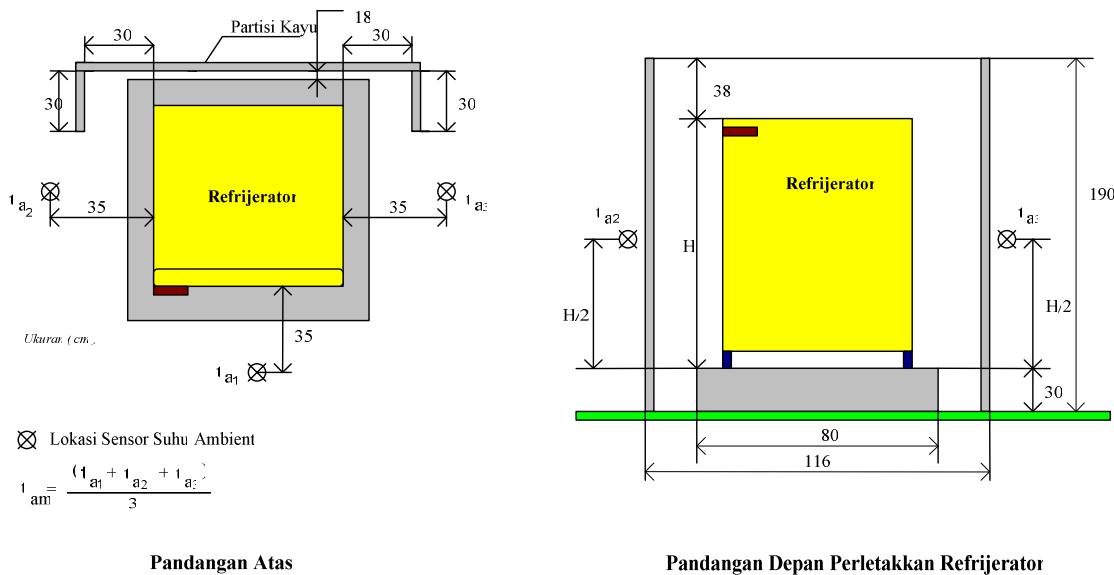
Peralatan ukur yang digunakan selama pengujian adalah :

- 1) Pengukuran konsumsi energi kWh, dengan bantuan digital power meter, Yokogawa tipe WT 1010, model 2536-C1-5-M/DA, dengan tingkat ketelitian $\pm 0.1\%$.
- 2) Pengukuran suhu, menggunakan termokopel tipe K yang dihubungkan dengan data acquisition, Yokogawa, tipe data acquisition for windows, model DA100-23-1D/C2, tingkat ketelitian $\pm 0.05\%$ dari pembacaan + 2 digit, lengkap dengan dan dilengkapi dengan software DP100-13 dan DP300-13.
- 3) Pemantauan suhu ruang, thermokopel tipe K yang dihubungkan dengan digital temperature recorder Yokogawa, tipe 3874, dan dial thermometer diameter 100 mm, range $0^{\circ}\text{C} - 50^{\circ}\text{C}$.

5. Prosedur Uji

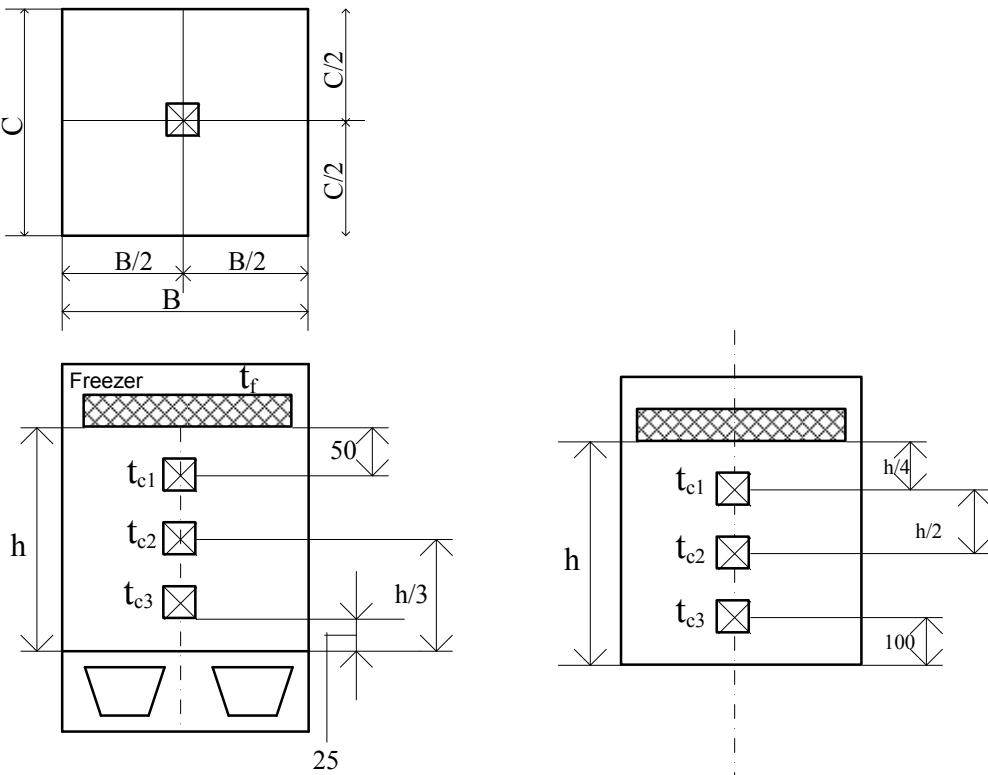
- 1) Klasifikasi refrigerator adalah : satu pintu, manual defrost, dan volume antara 140 - 150 liter
- 2) Suhu ruang uji refrigerator dipertahankan pada $30^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$
- 3) Perlakuan refrigerator
 - Refrigerator yang akan diuji harus diletakkan diatas penyangga terbuat dari rangka kayu, berwarna hitam kusam, bagian bawahnya terbuka untuk sirkulasi udara, dan bagian atas penyangga harus berjarak 0.3 m dari permukaan lantai ruang uji (Lihat Gambar 2.).
 - Bagian sisi kiri dan kanan refrigerator harus diberi papan penutup(partisi) berwarna hitam kusam yang ditempatkan tegak lurus dengan lantai, lebar 0.3 m dan berjarak minimum 0,3 m dari sisi kiri dan kanan refrigerator.
 - Bagian belakang refrigerator harus dilindungi dengan partisi berwarna hitam kusam. Tinggi partisi minimum 0.3 m lebih besar dari tinggi refrigerator berikut penyangga.
 - Refrigerator harus ditempatkan sedemikian rupa untuk mencegah radiasi langsung ke dan dari peralatan pendingin atau pemanas didalam ruang uji dan harus mempunyai jarak bebas yang cukup dari segala benda yang berada didalam ruang uji sehingga suhu udara sekeliling refrigerator dapat dijamin sesuai dengan suhu ruang uji.
 - Kecepatan aliran udara disekitar refrigerator harus tidak boleh besar dari 0.25 m/s

- Sesuai dengan ketentuan ISO 7171 -1995 (E) maka perletakan refrigerator didalam ruang uji diatur seperti dijelaskan pada Gambar 2.



Gambar 2. Perletakan Refrigerator

- 4) Pengukuran dan pengambilan data
 - Pengukuran suhu dilakukan dengan thermokopel tipe K, yang ditempatkan pada (Gambar 3.):
 - Didalam ruang pembekuan (freezer), satu posisi (t_f)
 - Didalam ruang simpan makanan/minuman , tiga posisi (t_{c1}, t_{c2}, t_{c3})
 - Diluar refrigerator, tiga posisi (t_{a1}, t_{a2}, t_{a3})
 - Jika digunakan sebagai sensor suhu, maka ujung sensor tersebut harus dimasukkan kedalam tabung silinder dan kemudian di cor dengan timah. Tabung terbuat dari tembaga/kuningan yang mempunyai massa 25 g dengan dimensi luar tabung yaitu diameter = tinggi = 15.2 mm.
- 5) Kelembaban relatif
 - Pengukuran kelembaban relatif udara didalam ruang uji harus dicatat dengan instrument yang akurasinya ± 0.5 K
 - Konsumsi energi
 - Pengukuran konsumsi energi harus dilakukan dengan watt hour meter yang mempunyai skala pembacaan sampai 0,01kWh dengan tingkat akurasi $\pm 1\%$.



Gambar 3. Posisi Sensor Suhu

6) Test packages

Sebagai pengganti beban didalam ruang pembuat es, digunakan larutan padat tepung tapioka berbentuk empat persegi panjang yang disusun teratur mengikuti dimensi ruang yang tersedia.

7) Kondisi operasi dan periode uji

Persentase waktu operasi refrigerator adalah waktu yang diukur selama refrigerator bekerja sesuai dengan kondisi suhu ambient dan dihitung berdasarkan selang waktu "on/off" , selama periode uji.

Pada kondisi suhu ruang $30^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, pengambilan data suhu dan kWh refrigerator dilakukan pada tiga posisi termostat, yaitu posisi maksimum, nilai tengah dan minimum(high, medium, low), sekaligus juga dilakukan pemantauan nilai awal dan akhir dari operasi siklus (*cyclic operation*). Periode pengukuran adalah 24 jam.

Pengukuran dapat dilakukan bila telah tercapai keseimbangan suhu ruang uji (suhu lingkungan) yang ditetapkan.

6. Pengukuran dan perhitungan konsumsi energi

Pengukuran suhu dan konsumsi energi dilakukan terhadap 8 (delapan) sampel refrigerator produksi dalam negeri dari jenis satu pintu, manual defrost, dan volume antara 140 - 150 liter.

Prosedur, metoda dan penentuan konsumsi energi mengikuti ketentuan ISO 7371 - 1995 (E) paragraf 15.

Konsumsi energi dihitung berdasarkan salah satu kondisi suhu yang tertera pada Tabel II. atau dengan metoda interpolasi terhadap 2 nilai yang diperoleh selama pengukuran yaitu pada suhu yang lebih tinggi atau lebih rendah, (Figure 6. ISO 7371-1995 (E)).

Tabel II. Kondisi suhu ruang refrigerator (°C)

Suhu	Kondisi Suhu			
	a	b	c	d
t ***	- 18	£ - 18	£ - 18	£ - 16
t **	£ - 12	- 12	£ - 12	£ - 12
t _m	£ + 5	£ + 5	£ + 5	£ + 5
t _{cm}	£ + 12	£ + 12	£ + 12	+ 12

Dari hasil 2 pengukuran tersebut di interpolasikan untuk memperoleh salah satu kondisi dari Tabel II. pada point a sampai d.

Nilai konsumsi energi (kWh) diperoleh dengan interpolasi, yaitu :

$$kWh = kWh_2 + \frac{(t - t_2)}{(t_1 - t_2)} (kWh_1 - kWh_2) \quad (1)$$

Dengan :

- kWh = konsumsi energi/24jam total
 kWh_1 = konsumsi energi/24jam pada kondisi suhu $< t$
 kWh_2 = konsumsi energi/24jam pada suhu suhu $> t$
 t = suhu acuan (-18 °C atau -12 °C)
 t_1 = suhu $< t$
 t_2 = suhu $> t$

7. Data Hasil Uji

Dengan bantuan formula (1), nilai konsumsi energi dapat dihitung untuk selang waktu pengukuran 24 jam penuh dan dinyatakan dalam satuan kWh/24h sampai dengan dua angka dibelakang koma. Data hasil pengukuran dan perhitungan untuk 8 (delapan) refrigerator ditampilkan pada Tabel III.

Tabel III. Data Hasil Pengukuran dan Perhitungan

Merk	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8
Suhu Ambient (°C)	30.1	30.2	30.1	29.9	30	29.8	29.7	29.8
Volume (ltr)	145	155	145	155	145	155	150	150
Kelistrikan								
Arus (start), Ampere	1.25	1.45	1.44	0.965	1.12	0.98	1.11	1.12
Arus (run), Ampere	0.72 ± 0.01	0.68 ± 0.012	0.68 ± 0.012	0.64 ± 0.01	0.65 ± 0.01	0.56 ± 0.01	0.57 ± 0.01	0.58 ± 0.01
Tegangan (run), Volt	220 ± 10	220 ± 10	220 ± 5	220 ± 5	220 ± 5	220 ± 10	220 ± 5	220 ± 5
Cos φ	0.49	0.51	0.50	0.49	0.50	0.51	0.50	0.49
Suhu ruang Refrigerator(°C)								
1. Penyimpan makanan	4.30	3.90	3.80	3.00	3.20	2.80	4.00	3.50
2. Pembuat es	-12.50	-9.60	-11.70	-12.10	-10.20	-12.10	-13.50	-11.80
Daya kompressor (W)	72.37	77.17	74.33	69.83	72.30	64.00	63.50	64.00
Konsumsi energi (kWh/24h)	1.74	1.85	1.78	1.68	1.74	1.53	1.52	1.54

8. Analisis Data

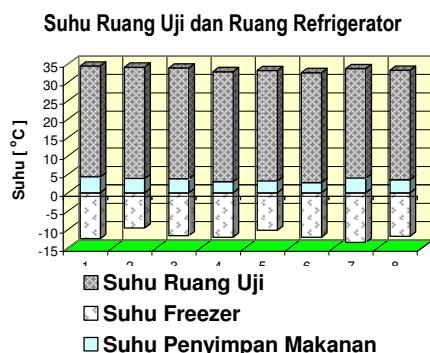
Dari hasil pengolahan data yang dilakukan secara interpolasi terhadap 8 (delapan) refrigerator yang diuji menunjukkan bahwa refrigerator R1 membutuhkan komsumsi energi terbesar yaitu 1,852 kWh/24h sedangkan kebutuhan konsumsi energi terendah adalah refrigerator R7 yaitu sebesar 1,523 kWh/24h.

Dari hasil data yang diperoleh terlihat bahwa pada saat start pengujian konsumsi refrigerator, arus listrik yang dibutuhkan oleh refrigerator cukup besar, yaitu 2 kali lebih besar dari arus normalnya, dimana, arus normal, rata-rata operasi refrigerator yang diuji berkisar antara 0,56 – 0,72 Ampere.

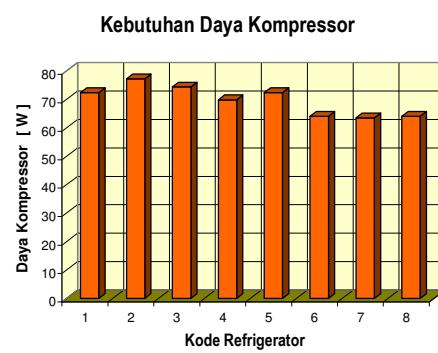
Refrigerator R1, R4 dan R6 termasuk dalam kategori kelas bintang 2 (**), sedangkan yang lainnya diklasifikasikan ke dalam kelas bintang satu (*), karena suhu freezer refrigerator R1, R4 dan R6 memiliki suhu yang paling rendah diantara refrigerator lainnya yang diuji, dimana suhu di ruang pembeku (freezer) lebih rendah dari -12°C dan tidak pernah mencapai suhu yang lebih besar dari -18°C . Dari refrigerator R1, R4 dan R6, kerja kompresor refrigerator R6 lebih efisien bila dibandingkan dengan yang lainnya, seperti dapat dibuktikan dengan kerja kompresor sebesar 64 Watt.

1) Suhu Ruang Uji dan Ruang Refrigerator

Suhu ambient ruang uji bervariasi antara $29,8^{\circ}\text{C}$ sampai dengan $30,2^{\circ}\text{C}$ dengan suhu ruang pembuat es (freezer) yang dapat dicapai tiap refrigerator sangat beragam mulai dari $-9,6^{\circ}\text{C}$ sampai dengan $-13,5^{\circ}\text{C}$. Sedangkan suhu ruang penyimpan makanan/minuman yang dapat diperoleh berkisar antara $2,8^{\circ}\text{C}$ sampai dengan $4,3^{\circ}\text{C}$.



Gambar 4. Suhu ruang uji dan ruang refrigerator

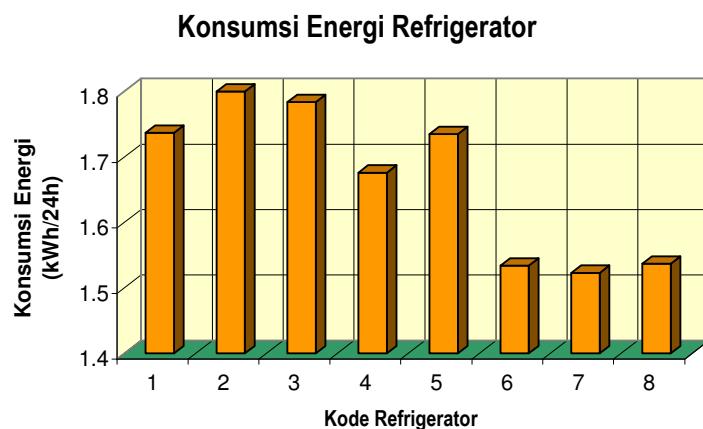


Gambar 5. Kebutuhan daya kompressor

2) Daya kompressor dan konsumsi energi

Jika ditinjau dari kapasitas refrigerator yang beragam yaitu 145 liter, 150 liter dan 155 liter, kebutuhan daya kompressor masing-masing refrigerator juga bervariasi mulai dari 63,50 W sampai dengan 77,17 W. Semakin besar volume refrigerator tidak selalu berdampak pada peningkatan daya kompressor. Sebagai contoh, refrigerator R6 dengan kapasitas 155 liter membutuhkan daya kompressor 64,00 W, sedangkan refrigerator R1 berkapasitas 145 liter menkonsumsi daya listrik 72,37 W untuk menggerakkan kompressor.

Hal ini secara langsung akan berpengaruh pada konsumsi energi per 24 jam, yaitu dengan semakin besar daya kompressor maka konsumsi energi akan bertambah.



Gambar 6. Konsumsi energi refrigerator

9. Kesimpulan

- 1) Arus listrik pada saat start cukup besar, yaitu 2 kali lebih besar dari arus normalnya, dimana arus normalnya, rata-rata operasi lemari pendingin (refrigerator) yang diuji, berkisar antara 0,6 – 0,7.
- 2) Nilai $\cos \varphi$ dari lemari pendingin (refrigerator) yang diuji cukup rendah yaitu antara 0,4 – 0,6. hal ini tidak diinformasikan oleh produsen pada spesifikasi teknis yang diberikan.
- 3) Suhu ruang pembekuan/pembuat es (freezer) pada umumnya tidak dapat mencapai -18°C . Hal ini menunjukkan bahwa karakteristik termal dari mesin pendingin refrigerator kapasitas antara 140-150 liter tidak mampu menghasilkan "bintang tiga" (***)
- 4) Pengujian kebutuhan konsumsi energi lemari pendingin (domestic refrigerator) sangat perlu dilakukan untuk mengetahui besarnya pemakaian energi listrik pada setiap lemari pendingin (*domestic refrigerator*). Dimana hal ini perlu diketahui oleh konsumen guna untuk mengetahui pemakaian energi listrik bulanan maupun tahunan.
- 5) Hasil pengujian kebutuhan konsumsi energi lemari pendingin (domestic refrigerator) tidak dapat dibandingkan dengan nilai tetapan pabrik (produsen), hal ini disebabkan karena tidak adanya informasi mengenai data-data teknik yang diberikan oleh pihak produsen (manufaktur).

10. Daftar Acuan

- BS EN 153 : 1990 : Measuring the energy consumption of electric mains operated household refrigerators, frozen food storage cabinets, food freezers and their combinations, together with associated characteristics.
- CFR - 10 Energy , DOE - 1994 : Part 430 Energy Conservation Program for Consumer Product Sub Part B Test Procedure, Appendix A : Uniform Test Method for Measuring the Energy Consumption of Electric Refrigerators and Electric Refrigerator -Freezers.
- ISO 7371 – 1995(E) : Performance of Household Refrigerating Appliances Refrigerators with or without Low Temperatur Compartment.
- JIS C 9607 - 1986 : Household Electric Refrigerators, Refrigerator-Freezers and Freezers.