

PENGARUH FREKUENSI BUKA TUTUP PINTU TERHADAP KINERJA KULKAS

Windy Hermawan Mitrakusuma¹⁾, Markus²⁾, Reynaldi Dermawan³⁾.

¹Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bandung
email: windyhm@polban.ac.id

²Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bandung
email: mks_ra@polban.ac.id

³Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bandung
email: reynaldidermawan@gmail.com

Abstract

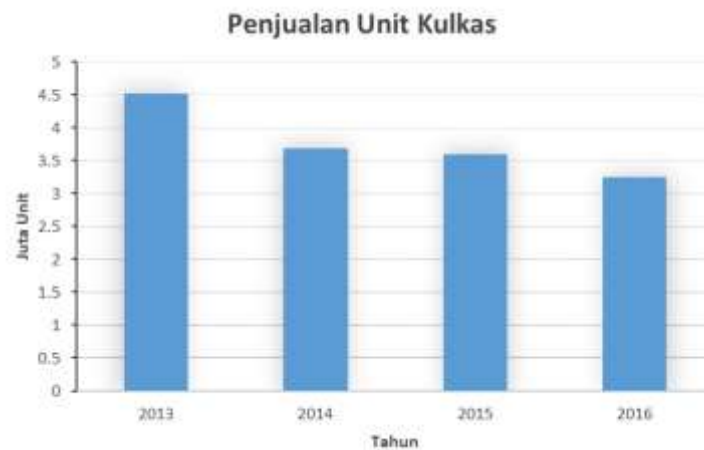
Refrigerator is commonly designed under constant load conditions and compressor power consumption in spite of the real condition of usage pattern can affect the cooling load and power consumption. The study evaluated the pattern of opening and closing the refrigerator door to cause the infiltration of hot air from outside of refrigerator cabin. The experiment was conducted to observe the refrigerator of periodically opening during 5 and 10 minutes for opening duration of 10 seconds. The result shown that for door openings with a 5 minutes period, the cabin temperature is higher than 10-minutes period, i.e. the cabin temperature average are 6.75 °C and 6.10 °C respectively. The power consumption at the door opening frequency of 5 minutes for 3 hours giving a higher amount of energy that is equal to 245.1 Watt-hour, while the frequency of door openings with an interval of 10 minutes gives a lower amount of energy that is equal to 219.5 Watt-hour. For 5 minute period opening has higher energy consumption because the system rarely cut-off more often than 10 minutes period..

Keywords: Refrigerator, infiltration load, door opening, system performance, energy consumption.

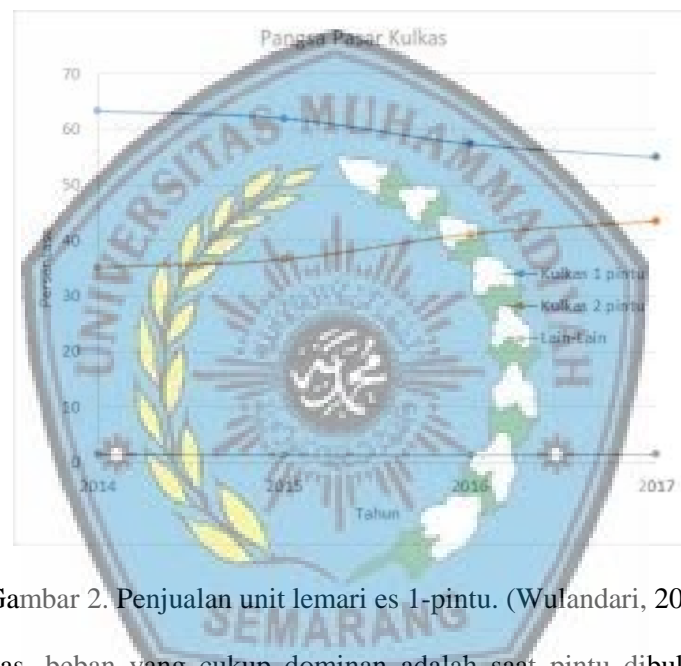
1. PENDAHULUAN

Judul Refrigerator/kulkas saat ini bukan merupakan barang mewah yang hanya dipunyai oleh kalangan mampu, tetapi juga digunakan oleh masyarakat menengah dan bawah, dengan demikian konsumsi energi menjadi cukup besar untuk penggunaan peralatan ini. Dengan perkembangan teknologi saat ini, ada kecenderungan bahwa penggunaan energi untuk menjalankan kulkas semakin kecil. Pada gambar 1 berikut ditunjukkan penggunaan lemari es dari tahun ke tahun. Pada grafik tersebut, terlihat bahwa ada kecenderungan penurunan penjualan unit lemari es satu pintu. Walaupun demikian, penjualan lemari es dua pintu meningkat. Hal ini ditunjukkan pada gambar 2. Mengingat harga kulkas 2 pintu lebih mahal dari kulkas 1 pintu, maka berdasarkan gambar 2, yang menunjukkan bahwa ada peningkatan pembelian kulkas 2 pintu, memberi arti bahwa daya beli masyarakat semakin tinggi.

Dalam pemakaiannya, beban pendinginan lemari es sangat dipengaruhi oleh kualitas isolasi/ konstruksinya, jumlah beban (isi produk) yang harus ditanggulangnya, bocoran udara/infiltrasi udar melalui pintu. Dalam menentukan beban pendinginan kondisi perancangan (temperatur penyimpanan) dan kondisi udara lingkungan sangatlah berpengaruh.



Gambar 1. Penjualan unit lemari es 1-pintu.(Wulandari, 2016)



Gambar 2. Penjualan unit lemari es 1-pintu. (Wulandari, 2016)

Pada kulkas, beban yang cukup dominan adalah saat pintu dibuka/ditutup, dimana pada saat itu infiltrasi udara sangat besar pengaruhnya, dan berdasarkan hal tersebut di atas, maka pada penelitian ini akan dilakukan pengamatan efek buka tutup pintu terhadap kinerja lemari es.

Dalam penelitian ini, masalah utama yang akan dibahas adalah bagaimana pengaruh frekuensi buka tutup pintu kulkas, terhadap kinerja berupa perubahan temperatur kabin, konsumsi daya lemari es, kinerja mesin pendingin. Dengan demikian maka akan diperoleh bagaimana pola perubahan parameter yang diamati akibat frekuensi buka tutup pintu lemari es.

Berdasarkan hal tersebut di atas, maka tujuan dari kajian penelitian ini adalah: mengamati pengaruh frekuensi buka-tutup pintu terhadap kinerja lemari es/kulkas, dan perubahan pola temperatur.

2. KAJIAN LITERATUR

Refrigerator atau kulkas atau lemari es, adalah salah satu mesin yang menggunakan prinsip kerja siklus refrigerasi kompresi uap. Dimana evaporator berfungsi untuk menarik

kalor dari produk produk yang didinginkan (kabin), kalor yang diserap oleh refrigeran di evaporator, sehingga refrigeran berubah fasa menjadi uap. Uap refrigeran kemudian dibawa oleh kompresor ke kondensor, dengan menaikkan tekanannya. Karena di kondensor tekanan kerja dan temperaturnya tinggi, maka refrigeran akan melepaskan kalor ke lingkungan, sehingga refrigeran berubah fasa menjadi cair. Refrigeran cair ini kemudian diturunkan tekanannya di alat ekspansi, biasanya berupa pipa kapiler, sehingga saat masuk ke evaporator, refrigeran bertekanan dan bertemperatur rendah.

Berbagai penelitian telah dilakukan berkaitan dengan pengaruh infiltrasi udara pada mesin pendingin, antara lain tentang kajian eksperimen pengaruh bukaan pintu kulkas di Bangladesh (Khan & Afroz, 2013), juga pengamatan terhadap aliran udara pada bukaan pintu akibat gravitasi (Wilson & Kiel, 1990), sementara itu Hasanuzzaman dkk., mengamati pengaruh variasi buka tutup pintu terhadap perpindahan kalor dan konsumsi energi pada lemari es (Hasanuzzaman et al., 2009).

Sebagian peneliti lain melakukan simulasi dan analitis terhadap fenomena pergerakan udara disekitar pintu, antara lain: simulasi dan pengujian kebocoran udara buka tutup pintu pada ruang kontrol (Chang et al., 2016), demikian pula pengembangan model empiris untuk memprediksi infiltrasi pada ruang pendingin (Chen et al., 2002). Peneliti lainnya melakukan pengamatan dan memprediksi pergerakan udara pada pintu ruang pendingin (Foster et al., 2002) dan Evan dkk., mengembangkan metoda asesmen pengurangan konsumsi energi pada ruang penyimpanan makanan dan memprediksi (Evans et al., 2014).

Sementara itu, berdasarkan ASHRAE (ASHRAE, 2018), proses yang terjadi pada pintu suatu *cold storage*, sebagai ilustrasi perpindahan udara pada kulkas, digambarkan sebagai pada Gambar 3:



Gambar 3. Proses pertukaran udara pada pintu cold storage (ASHRAE, 2018).

Besar infiltrasi ditentukan oleh persamaan berikut ini (ASHRAE, 2018):

$$q_t = qD_i D_f (1 - E) \quad (1)$$

Dimana:

q_t = rata rata beban kalor dalam 24 jam (atau perida pengamatan), kW

q = beban sensibel dan laten dalam konsisi aliran penuh (*fully established*), kW

D_i = faktor waktu bukaan pintu

D_f = faktor aliran bukaan pintu

E = efektifitas penghalang/daun pintu

Besarnya kalor laten dan sensibel pada persamaan (1), ditentukan oleh persamaan (2) berikut ini (ASHRAE, 2018):

$$q = 0.211A(h_i - h_r)\rho_r \left(1 - \frac{\rho_i}{\rho_r}\right)^{0.5} (gH)^{0.5} F_m \quad (2)$$

Dimana:

A = Luas pintu, m²

h_i = entalpi udara infiltrasi, kJ/kg

h_r = entalpi udara dalam ruang pendingin, kJ/kg

ρ_i = rapat masa udara infiltrasi, kg/m³

ρ_r = rapat masa udara dalam ruang pendingin, kg/m³

g = gravitasi bumi = 9.81 m/s²

H = Tinggi pintu, m

F_m = faktor rapat masa

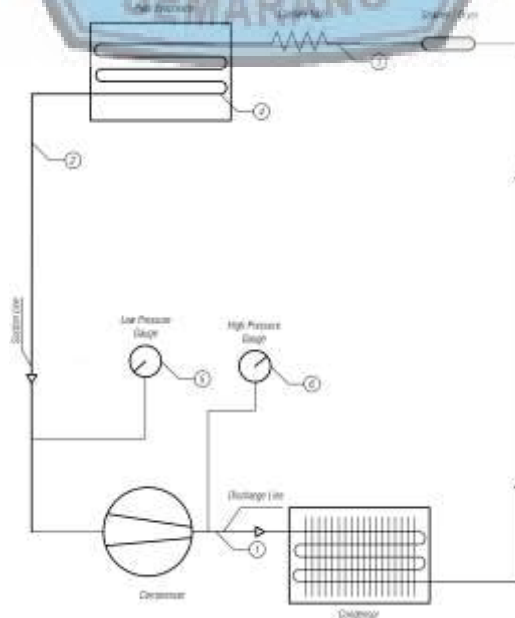
Sementara itu faktor koreksi rapat masa ditunjukkan dalam persamaan (3) berikut ini:

$$F_m = \left(\frac{2}{1 + (\rho_r / \rho_i)^{1/3}} \right)^{1.5} \quad (3)$$

Berdasarkan hal di atas, bukaan pintu menjadi faktor yang cukup besar pengaruhnya terhadap laju infiltrasi. Demikian pula perbedaan kondisi udara di dalam dan di luar ruangan/kabin pendingin berpengaruh besar terhadap laju infiltrasi.

3. METODE PENELITIAN

Aparatus pengujian ditunjukkan pada Gambar 4. Pada gambar tersebut, dipasang alat ukur tekanan baik pada saluran hisap maupun saluran tekan kompresor, sehingga dapat diketahui kondisi kerja sistem pendingin. Spesifikasi singkat mesin pendingin yang digunakan ditunjukkan pada tabel 1.



Gambar 4. Skematik sistem pendingin pada kulkas

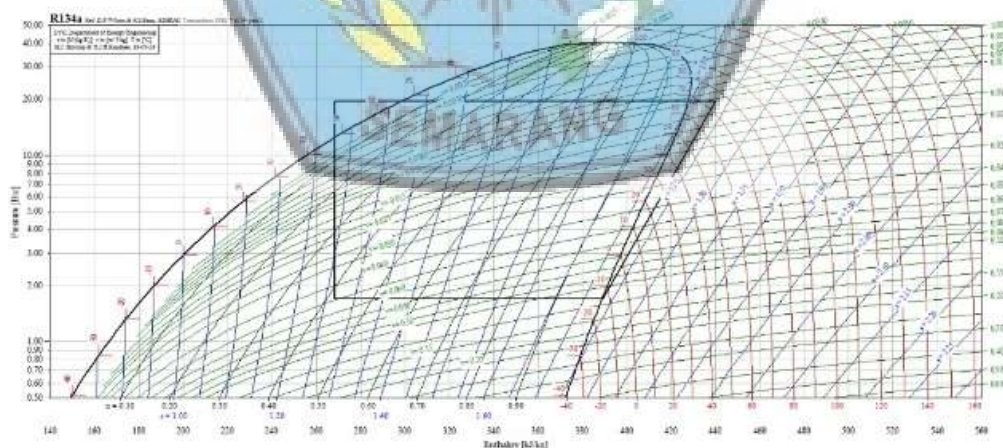
Tabel 1. Spesifikasi lemari es.

No	Bagian/Bahan	Spesifikasi
1.	Refrigeran	R-134a
2.	Kompresor	Hermetic, daya 1/8 PK
3.	Ukuran	473 x 483 x 480 mm
4.	Massa Zat Pendingin	35 gram
5.	Sumber Listrik	220 V/50 Hz
6.	Alat ekspansi	Pipa kapiler
7.	Evaporator	Plate evaporator

Pengambilan data temperatur dilakukan menggunakan termometer digital, sedangkan *pressure gauge* terpasang menggunakan *pressure gauge* dengan ketelitian + 20 psig. Pengambilan data dilakukan dengan perioda 1 menit sekali. Perioda bukaan pintu yang akan dilakukan adalah 5 menit sekali (frekuensi 12 kali perjam) dan 10 menit sekali (frekuensi 6 kali perjam). Durasi bukaan pintu adalah 10 detik untuk masing masing percobaan

4. HASIL PENELITIAN

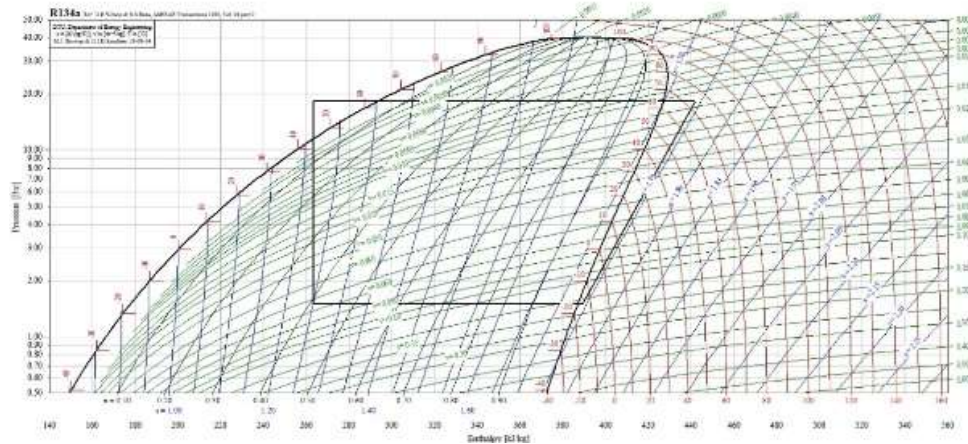
Berdasarkan data yang diperoleh, maka dilakukan penggambaran kinerja sistem pada diagram P-h untuk mendapatkan nilai COP. Gambar 5 dan gambar 6 menunjukkan hasil penggambaran siklus refrigerasi kompresi uap untuk perioda 5 dan 10 menit pada pengamatan menit ke-80. Nampak pada grafik tersebut tekanan kerja kondensor, untuk frekuensi bukaan lebih besar (perioda bukaan 5 menit), lebih tinggi dibandingkan pada frekuensi bukaan lebih kecil (perioda bukaan 10 menit). demikian pula dengan tekanan kerja evaporatornya. Hal ini menunjukkan bahwa kerja sistem pendingin kompresi uap lebih berat pada frekuensi bukaan tinggi.



Gambar 5. Diagram P-h pada frekuensi bukaan pintu dengan interval waktu 5 menit pada menit ke-80

Memperhatikan kondisi tersebut, maka berdasarkan persamaan persamaan (1), (2), dan (3), kemudian ditentukan besarnya beban infiltrasi sebagaimana ditunjukkan pada tabel 2. Pada tabel 2 tersebut, ditunjukkan bukaan pintu pada perioda bukaan 5 menit dan 10 menit, dengan masing masing bukaan selama 2 menit, dan waktu untuk membuka selama 3 detik. Diperoleh dari perhitungan bahwa beban infiltrasi dengan perioda 5 menit adalah 72,66 Watt

dan pada perioda 10 menit sebesar 29,52 Watt untuk setiap kali bukaan pintu. Jelas hal ini menunjukkan bahwa beban infiltrasi semakin besar dengan naiknya frekuensi bukaan.



Gambar 6. Diagram P-h pada frekuensi bukaan pintu dengan interval waktu 10 menit pada menit ke-80

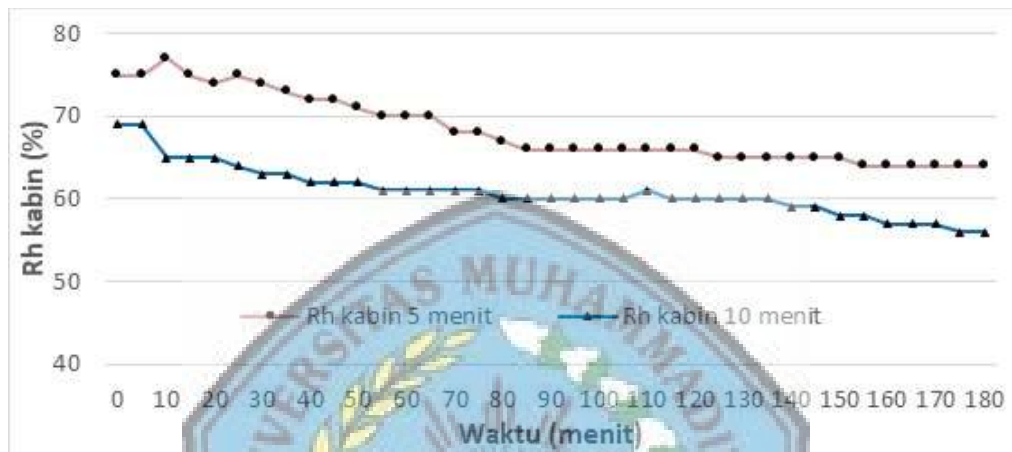
Tabel 2. Beban kalor infiltrasi.

Parameter	Waktu bukaan	
	5 menit	10 menit
q	2.22	1.80
P	1	1
θ_p	3	3
θ_o	2	2
θ_d	0.08	0.17
D_c	1.03	0.52
D_f	0.8	0.8
E	0.9	0.9
Beban Kalor Infiltrasi (q_i)	72,66 Watt	29,52 Watt



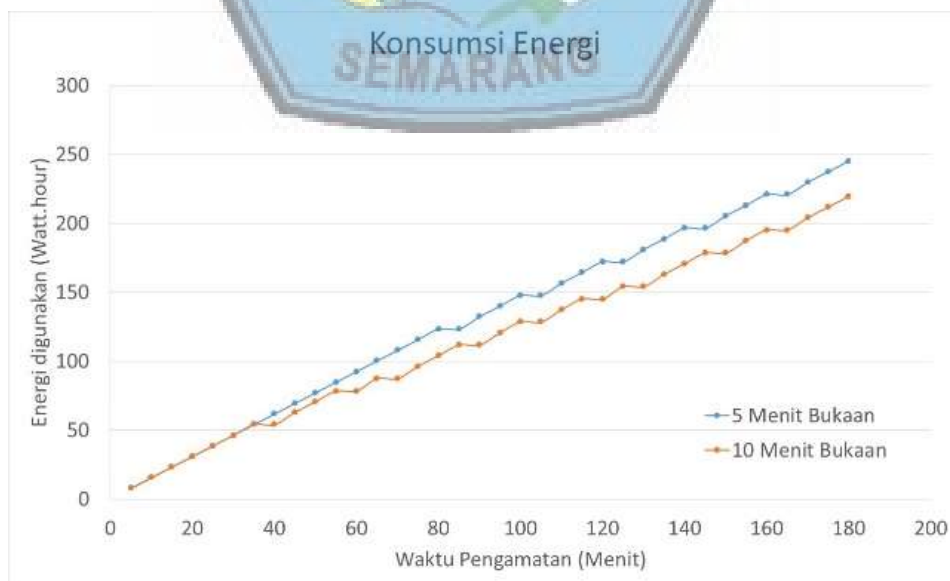
Gambar 7. Grafik temperatur kabin terhadap waktu

Gambar 7 menunjukkan perubahan temperatur kabin dari waktu ke waktu. Terlihat bahwa pada bukaan dengan perioda 5 menit, berdampak kenaikan pada temperatur kabin, atau temperatur kabin lebih tinggi dibandingkan dengan perioda bukaan 10 menit. Grafik ini menunjang penjelasan sebelumnya, bahwa temperatur kerja sistem pendingin lebih tinggi pada perioda bukaan 5 menit. Temperatur kabin adalah 3,8 °C sampai dengan 9,7 °C, untuk bukaan dengan perioda 5 menit, sedangkan pada periodawaktu bukaan 10 menit temperatur kabin lebih rendah yaitu berkisar 2,8 °C sampai dengan 9,4 °C. Rata rata temperatur kabin adalah 6,75 °C dan 6,10 °C , untuk masing masing perioda bukaan pintu 5 menit dan 10 menit. Hal ini juga menegaskan bahwa pengaruh infiltrasi yang ditunjukkan pada tabel 2, memberikan temperatur kabin lebih tinggi pada kulkan yang lebih sering dibuka tutup.



Gambar 8. RH kabin terhadap waktu

Akibat masuknya udara luar dalam kabin, dimana udara masuk membawa pula uap air yang dikandungnya, akan menaikkan pula kadar uap air dalam kabin/ruangan. Hal ini terlihat pada gambar 8, dimana RH ruangan lebih tinggi pada periode bukaan 5 menit dibandingkan dengan yang periode bukaan 10 menit.



Gambar 9. Konsumsi energi

Dengan mengamati kinerja kulkas tersebut, nampak sekali bahwa ada kecenderungan kondisi kerja kulkas lebih berat pada perioda bukaan pintu 5 menit dibandingkan dengan perioda bukaan pintu 10 menit. Hal ini akan berakibat pada kenaikan penggunaan daya sistem. Jelas bahwa pada perioda bukaan pintu 5 menit, kompresor akan hidup lebih lama. Dengan mengamati daya yang digunakan dan dikalikan dengan waktu pengamatan, maka diperoleh jumlah energi yang dikonsumsi oleh kompresor. Gambar 9 menunjukkan bahwa konsumsi energi semakin meningkat dengan berjalannya waktu pengamatan. Selama pengamatan dilakukan, diperoleh bahwa jumlah energi yang dikonsumsi mesing pendingin adalah 245,1 Watt- hour, sedangkan pada frekuensi bukaan pintu dengan interval waktu 10 menit memberikan jumlah energi yang lebih rendah yaitu sebesar 219,5 Watt-hour.

Berdasarkan penjelasan dan gambar di atas, maka terlihat bahwa bukaan pintu akan sangat berpengaruh terhadap kinerja mesin pendingin. Oleh karena itu, maka pola penggunaan kulkas, mestinya bisa difahami oleh masyarakat sehingga tidak melakukan buka tutup pintu tanpa ada keperluan.

5. SIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka kesimpulan pada penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Pada frekuensi bukaan pintu dengan interval waktu 5 menit menghasilkan temperatur kabin yang lebih tinggi yaitu berkisar 3,8 °C sampai dengan 9,7 °C, sedangkan pada interval waktu 10 menit temperatur kabin lebih rendah yaitu berkisar 2,8 °C sampai dengan 9,4 °C.
2. Konsumsi daya pada frekuensi bukaan pintu dengan interval waktu 5 menit lebih tinggi karena sistem jarang mengalami cut off.
3. Pada frekuensi bukaan pintu dengan interval waktu 5 menit selama 3 jam memberikan jumlah energi yang lebih tinggi yaitu sebesar 245,1 Watt- hour, sedangkan pada frekuensi bukaan pintu dengan interval waktu 10 menit memberikan jumlah energi yang lebih rendah yaitu sebesar 219,5 Watt-hour.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini terlaksana karena didanai dari dana DIPA Politeknik Negeri Bandung, dengan nomor kontrak: 438.86/PL1.R7/LT/2019.

7. REFERENSI

- ASHRAE. (2018). Refrigerated-Facility Loads. In *2018 ASHRAE Handbook—Refrigeration (SI)* (pp. 24.1-24.10).
- Chang, L. ... Gao, J. (2016). *Control room contaminant inleakage produced by door opening and closing: Dynamic simulation and experiments. Building and Environment* (Vol. 98). Elsevier Ltd. doi:10.1016/j.buildenv.2015.12.013
- Chen, P. ... Bassett, M. R. (2002). An empirical model for predicting air infiltration into refrigerated stores through doors. *International Journal of Refrigeration*, 25(6), 799–812. doi:10.1016/S0140-7007(01)00089-5
- Evans, J. A. ... Zilio, C. (2014). Assessment of methods to reduce the energy consumption of food cold stores. *Applied Thermal Engineering*, 62(2), 697–705. doi:10.1016/j.applthermaleng.2013.10.023
- Foster, A. M. ... Swain, M. J. (2002). Measurement and prediction of air movement through doorways in refrigerated rooms. *International Journal of Refrigeration*, 25(8), 1102–1109. doi:10.1016/S0140-7007(01)00108-6
- Hasanuzzaman, M. ... Masjuki, H. H. (2009). Effects of operating variables on heat transfer

- and energy consumption of a household refrigerator-freezer during closed door operation. *Energy*, 34(2), 196–198. doi:10.1016/j.energy.2008.11.003
- Khan, M. I. H., & Afroz, H. M. M. (2013). An experimental investigation of door opening effect on household refrigerator; the perspective in Bangladesh. *Asian Journal of Applied Science*, 1–9.
- Wilson, D. J., & Kiel, D. E. (1990). Gravity driven counterflow through an open door in a sealed room. *Building and Environment*, 25(4), 379–388. doi:10.1016/0360-1323(90)90012-G
- Wulandari, D. (2016). Tahun 2016, Sharp Pimpin Pasar Lemari Es. Retrieved June 9, 2019, from <https://mix.co.id/marcomm/brand-insight/marketing-strategy/tahun-2016-sharp-pimpin-pasar-lemari-es/>

