

KAJI EXPERIMENTAL PERBANDINGAN KINERJA PENGKONDISI UDARA ANTARA MENGGUNAKAN INVERTER DAN NON-INVERTER

Ismail Wellid¹⁾, Yudi Prana Hikmat²⁾, Kasni Sumeru³⁾

¹⁾Jurusan Teknik Refrigerasi & Tata Udara, Politeknik Negeri Bandung
email: iwd_ra@polban.ac.id

²⁾Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung
email: yudipranahikmat@yahoo.com

³⁾Jurusan Teknik Refrigerasi & Tata Udara, Politeknik Negeri Bandung
email: sumeru@polban.ac.id

Abstract

Inverter is used to regulate the compressor rotation of air conditioning (A/C) based on the cooling load in the room. Mostly, the cooling load comes from external, which is from the sun. Because the heat from the solar is not constant, consequently the cooling load in the room is not constant as well. However, the compressor of A/C without inverter operates at fixed rotation, which is at a high rotation. It results in a waste of energy consumption by the A/C. The inverter is able to be used to regulate the compressor rotation follows the cooling load variations. A decrease in compressor rotation results in a decrease in power consumption by the A/C. The present study carried out an experimental investigation to compare the energy consumption of inverter and non-inverter A/Cs with a capacity of 1 HP. The experiments were performed in the controlled room with indoor temperature set point of 24°C and constant outdoor temperature, which is 32°C. Based on the experiments for 3 hours, the A/C with inverter and non-inverter consume energy of 1.45 kWh and 1.91 kWh, respectively. It means using an inverter is able to result in the energy consumption reduction by 24,1%.

Keywords: *Inverter, energy saving, compressor, energy consumption*

1. PENDAHULUAN

Inverter adalah alat untuk merubah putaran motor pada kompresor dengan cara merubah frekuensi listrik sebelum masuk ke kompresor (Marwan, 2004; Sumeru dan Sutandi, 2007). Kompresor sendiri adalah jantung dari pengkondisi udara (AC), berfungsi sebagai sumber penggerak fluida kerja yang terdapat di dalam sistem AC. Secara umum, berdasarkan sistem pengoperasiaanya, AC dibagikan menjadi dua, yaitu *unitary* dan *sentral*. AC jenis *unitary* umumnya berkapasitas kecil hingga sedang, beroperasi secara mandiri untuk suatu zona pendinginan. Sedangkan AC *sentral*, sistem pendinginan terpusat pada suatu lokasi, dan distribusinya biasanya dilakukan dengan *ducting* maupun *chilled water*. Pada AC *unitary*, sebanyak 90% energi dikonsumsi oleh kompresor (Tojo et al., 1984), sedangkan pada AC *sentral*, kompresor mengkonsumsi sekitar 72% dari konsumsi total energi oleh A/C (Masjuki et al., 2001). Oleh karena itu, menurunkan konsumsi energi pada kompresor adalah cara yang efektif untuk menurunkan konsumsi energi listrik oleh AC. Salah satu metode penurunan konsumsi energi pada kompresor adalah menggunakan inverter. Cara kerja inverter adalah mengatur putaran kompresor sesuai dengan beban pendinginan yang sedang ditangani oleh AC (Nasution et al., 2014).

Konsumsi energi listrik oleh AC pada suatu gedung adalah yang terbesar, yaitu berkisar antara 50-70% (Pérez-Lombard et al., 2008). Oleh sebab itu, upaya peningkatan kinerja AC untuk menurunkan konsumsi energi listrik perlu dilakukan. Terdapat beberapa

metode untuk meningkatkan kinerja A/C, antara lain menggunakan ejektor sebagai alat ekspansi (Bilir et al., 2015; Haida et al., 2016 dan et al., 2017) dan menyisipkan nanopartikel ke dalam refrigeran maupun di dalam pelumas kompresor (Jia et al., 2014; Xing et al., 2014; Pawale et al., 2017).

Hasil kajian Marwan (2004) melaporkan bahwa dengan memvariasikan putaran kompresor torak dengan cara merubah frekuensi dari 20 hingga 50 Hz telah dihasilkan penghematan konsumsi energi listrik sebesar 8,5% hingga 24,9%. Hasil kajian Sumeru dan Sutandi (2007) juga melaporkan peningkatan kinerja (COP) *cold storage* dengan memvariasikan putaran kompresor dengan merubah frekuensi listrik dari 25 Hz hingga 45 Hz. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penurunan putaran kompresor akan menurunkan pula putaran kompresor dan sekaligus daya input ke sistem. Hasil penelitiannya juga melaporkan bahwa semakin rendah putaran kompresor, semakin meningkat COP sistem. Peningkatan COP maksimal pada pengujian Sumeru dan Tandani (2007) adalah sebesar 17,5% pada frekuensi listrik 25 Hz.

Kajian pada AC berkapasitas lebih besar menggunakan air sebagai pendingin kondensernya (*water-cooled condenser*) dilakukan oleh Cecchinato et al. (2010). Hasil eksperimentalnya melaporkan telah terjadi peningkatan COP maksimal hingga 27,2% bila putaran kompresornya diatur dengan inverter.

Penelitian ini akan melakukan pengujian pada AC *split* yang umum digunakan pada perumahan di Indonesia. Jenis AC yang akan dibandingkan adalah jenis AC menggunakan inverter dan tanpa menggunakan inverter (non-inverter). Parameter yang akan dibandingkan adalah kapasitas pendinginan, daya input dan COP sistem.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan pada dua unit AC berkapasitas 1 HP (0,75 kW) yang menggunakan R410A sebagai refrigeran, dimana yang satu menggunakan inverter sedangkan lainnya tanpa inverter. Pada penelitian ini dilakukan dua kali pengukuran, yaitu yang pertama melakukan pengambilan data pada AC menggunakan inverter dan yang kedua pengujian pada AC tanpa inverter (non-inverter). Pengujian dilakukan selama 180 menit, dan pengambilan data dilakukan pada kondisi stabil, yaitu temperatur di dalam ruangan tidak berfluktuasi $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$. Selama pengujian, *setting* suhu di dalam ruangan adalah 24°C dan temperatur di luar ruangan dijaga konstan, yaitu 32°C .

Besaran-besaran yang diukur selama pengujian adalah:

1. Temperatur tabung kering dan tabung basah di luar ruangan;
2. Temperatur tabung kering dan tabung basah di dalam ruangan;
3. Temperatur tabung kering dan tabung basah masuk dan keluar evaporator;
4. Kecepatan aliran udara keluar evaporator;
5. Arus dan tegangan listrik pada AC.

Berdasarkan pengukuran besaran-besaran tersebut di atas, pada penelitian ini terdapat tiga parameter yang yang dibandingkan, yaitu daya input, kapasitas pendinginan dan kinerja (COP) dari A/C dengan inverter dan non-inverter.

Daya input adalah daya yang diperlukan oleh A/C selama beroperasi. Tujuan utama dari penggunaan inverter adalah untuk menurunkan konsumsi energi listrik oleh AC. Konsumsi energi listrik adalah perkalian antara daya input dengan durasi (waktu) AC tersebut beroperasi. Sehingga untuk waktu operasi yang sama, bila daya input lebih kecil, maka konsumsi energi listriknya juga akan menurun. Bila daya input suatu AC lebih kecil namun waktu operasi AC tersebut lebih lama akibat penurunan kapasitas pendinginan yang dihasilkannya, maka konsumsi energi listrik menjadi besar juga. Penggunaan inverter diharapkan menurunkan daya input AC dan tidak terlalu banyak meningkatkan durasi AC dalam kondisi "ON".

Untuk mengukur daya input pada sistem digunakan persamaan (1), yaitu,

$$P = I \cdot V \quad (1)$$

dimana:

P = daya input pada AC, Watt

I = arus listrik, amper

V = tegangan listrik, volt

Konsumsi energi listrik oleh AC adalah perkalian daya input dengan waktu lamanya AC tersebut beroperasi, yaitu dihitung dengan persamaan,

$$E = P \cdot t \quad (2)$$

dimana:

E = konsumsi energi AC, kWh

t = waktu operasi AC, h

Secara termodinamika, penurunan putaran kompresor selain akan menurunkan daya input juga akan menurunkan kapasitas pendinginan yang dihasilkan oleh evaporator. Oleh karena itu, pada penelitian ini juga dilakukan pengukuran kapasitas pendinginan pada AC inverter maupun non-inverter. Perhitungan kapasitas pendinginan dilakukan dengan persamaan (2), yaitu,

$$Q_E = \rho \cdot v \cdot A (h_{IE} - h_{OE}) \quad (3)$$

dimana:

Q_E = kapasitas pendinginan pada evaporator, Watt

ρ = massa jenis udara, kg/m³

v = kecepatan aliran udara keluar evaporator, m/s

A = luas penampang keluaran evaporator, m²

h_{IE} = entalpi spesifik udara masuk evaporator, J/kg

h_{OE} = entalpi spesifik udara keluar evaporator, J/kg

Perhitungan kapasitas pendinginan pada penelitian ini menggunakan carta psikrometrik, seperti yang terlihat pada Gambar 1. Penentuan titik IE dan OE (kondisi udara masuk dan keluar evaporator) ditentukan dengan mengukur temperatur tabung kering dan tabung basah pada kedua titik tersebut. Kemudian dengan menggunakan persamaan (3), kapasitas pendinginan dapat dihitung.

Parameter selanjutnya yang akan dibandingkan adalah COP. Nilai COP dihitung dengan persamaan (4), yaitu,

$$COP = \frac{Q_E}{P} \quad (4)$$

Untuk menghitung persentase peningkatan COP digunakan persamaan (5), yaitu,

$$COP_{imp} = \frac{COP_{inv} - COP_{non-inv}}{COP_{inv}} \quad (5)$$

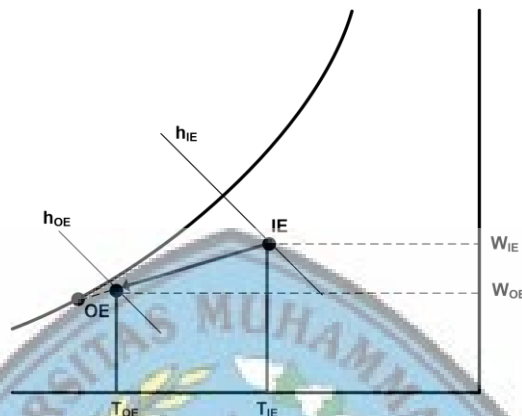
dimana:

COP_{imp} = persentase peningkatan COP, %

COP_{inv} = COP AC dengan inverter

$COP_{non-inv}$ = COP AC dengan non-inverter

Berdasarkan persamaan (5), bila COP_{imp} bernilai positif, maka penggunaan inverter dapat meningkatkan COP sistem. Sebaliknya, bila bernilai negatif, berarti penggunaan inverter justru akan menurunkan COP. Bila COP turun, artinya penurunan kapasitas pendinginan akibat penurunan putaran kompresor lebih besar dari penurunan daya input pada sistem. Sebaliknya, bila COP naik setelah menggunakan inverter, artinya bahwa penurunan kapasitas pendinginan lebih kecil dibandingkan dengan penurunan daya input akibat penurunan putaran kompresor.



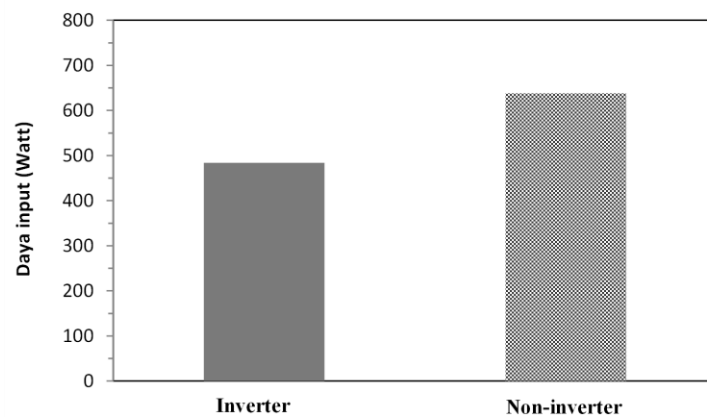
Gambar 1. Penentuan kapasitas penentuan pendinginan dengan karta psikrometrik.

3. HASIL PENELITIAN

Seperti yang telah disebutkan di atas, salah satu tujuan utama penggunaan inverter adalah untuk menurunkan konsumsi energi listrik oleh AC. Turunnya konsumsi energi listrik ditandai oleh turunnya daya listrik pada AC. Bila dilakukan pengukuran dengan ammeter, penurunan daya input pada AC ditunjukkan turunnya arus listrik yang masuk pada AC. Berdasarkan tujuan utama penggunaan inverter tersebut, parameter yang pertama yang akan dibandingkan antara AC menggunakan inverter dengan non-inverter adalah daya input pada AC.

Pada Gambar 2 menunjukkan perbandingan daya input pada AC menggunakan inverter dengan non-inverter. Pada gambar terlihat bahwa dengan menggunakan inverter, daya input menjadi menurun. Daya input non-inverter ditunjukkan oleh balok berwarna corak kotak-kotak merah dan putih, yaitu sebesar 638 Watt. Sedangkan daya input AC setelah menggunakan inverter dilukiskan oleh balok berwarna biru, yaitu 484 Watt. Selama 180 menit (3 jam) beroperasi, konsumsi energi listrik AC dihitung dengan menggunakan persamaan (2) dan menghasilkan 1,45 kWh untuk AC inverter dan 1,91 kWh untuk non-inverter. Ini artinya telah terjadi penurunan konsumsi energi listrik sebesar 24,1% akibat penggunaan inverter. Bila dibandingkan dengan kajian yang dilakukan oleh Marwan (2004), penghematan pada penelitian ini hampir sama. Kajian Marwan (2004) melaporkan terjadi penghematan konsumsi maksimal 24,9%, sedangkan penelitian ini, penghematan daya input sebesar 24,1%.

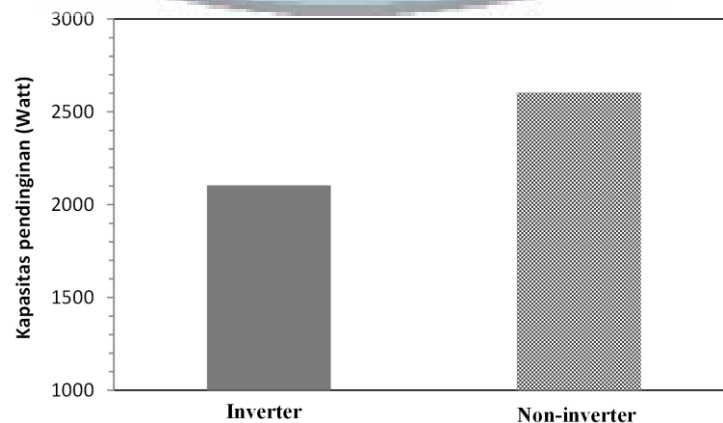
Hasil penelitian ini bila dibandingkan dengan hasil kajian oleh Sumeru dan Sutandi (2007) menghasilkan penghematan konsumsi energi listrik yang lebih tinggi. Pada kajian Sumeru dan Sutandi (2007) melaporkan bahwa penggunaan inverter pada mesin pendingin menghasilkan penghematan konsumsi energi listrik sebesar 17,5%. Perbedaan ini kemungkinan disebabkan pada suhu evaporasi yang digunakan pada sistem refrigerasinya. Pada penelitian ini menggunakan AC yang memiliki suhu evaporasi sekitar 5°C, sedangkan pada mesin pendingin Sumeru dan Tand (2007) menggunakan mesin pendingin dengan suhu evaporasi sekitar -10°C.



Gambar 2. Daya input AC *split* menggunakan inverter dan non-inverter.

Gambar 3 menunjukkan perbandingan kapasitas pendinginan AC menggunakan inverter dan non-inverter, yaitu 2105 Watt dan 2605 Watt. Pada gambar terlihat bahwa penggunaan inverter selain menurunkan daya input juga akan menurunkan kapasitas pendinginan. Secara termodinamika, penurunan kapasitas pendinginan akan menyebabkan kecepatan pendingin pada suatu ruangan semakin melambat, sehingga AC beroperasi lebih lama. Hal ini logis, karena dengan menurunnya daya input, akan menurun pula kapasitas pendinginan yang dihasilkan oleh evaporator. Pertanyaan selanjutnya adalah: apakah menggunakan inverter akan menurunkan atau menaikkan COP? Sebab bila penggunaan inverter akan menurunkan COP, maka penggunaan inverter justru akan merugikan dan sebaliknya, bila penggunaan inverter akan meningkatkan COP, maka penerapan inverter akan menguntungkan.

Berdasarkan data pada Gambar 3, terlihat bahwa penurunan kapasitas pendinginan sebesar 19,2%. Terlihat bahwa persentase penurunan kapasitas pendinginan (19,2%) lebih rendah bila dibandingkan dengan persentase penurunan daya input (24,1%). Sesuai dengan persamaan (3), nilai COP adalah perbandingan kapasitas pendinginan dibagi daya input, sehingga bila persentase penurunan kapasitas pendinginan lebih rendah dari penurunan daya input maka nilai COP akan meningkat.



Gambar 3. Kapasitas pendinginan AC *split* menggunakan inverter dan non-inverter.

Gambar 4 menggambarkan perbandingan COP untuk AC menggunakan inverter dan non-inverter, yaitu 4,35 dan 4,08. Ini artinya, nilai COP AC menggunakan inverter akan lebih tinggi dibandingkan dengan non-inverter. Dengan kata lain, penggunaan inverter akan menguntungkan bagi pengguna. Dengan menggunakan persamaan (5), peningkatan COP (COP_{imp}) akibat penggunaan inverter pada penelitian ini adalah 6,52%. Bila dibandingkan dengan kaji eksperimental yang dilakukan oleh Cecchinato et al. (2010), hasil pada penelitian ini jauh lebih kecil. Berdasarkan pengujian pada AC dengan *water-cooled condenser*, Cecchinato et al. (2010) melaporkan telah terjadi peningkatan COP sebesar 27,2%, sedangkan pada penelitian ini hanya 6,52%. Penyebab perbedaan ini kemungkinan disebabkan jenis fluida pendingin kondensernya. Pada penelitian yang dilakukan oleh Cecchinato et al. (2010), mereka menggunakan air sebagai pendingin kondenser, sedangkan pada penelitian ini menggunakan udara sebagai pendingin udara (*air cooled-condenser*). Kemungkinan penyebab lainnya adalah, pada penelitian ini perubahan putaran kompresor hanya satu variasi, yaitu pada *setting* suhu ruangan 24°C, sedangkan pada penelitian Cecchinato et al. (2010) menggunakan beberapa variasi putaran kompresor, dan peningkatan COP sebesar 27,2% adalah peningkatan maksimal yang didapat.



Gambar 4. Peningkatan COP AC *split* setelah menggunakan inverter.

4. SIMPULAN

Kaji eksperimental untuk mengetahui keuntungan penggunaan inverter pada AC *split* berkapasitas 1 HP menggunakan R410A telah dilakukan. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan didapat hasil-hasil sebagai berikut:

- Penggunaan inverter menurunkan konsumsi energi listrik dan kapasitas pendinginan sistem AC sebesar 24,1% dan 19,2%.
- Oleh karena penurunan daya input lebih besar dari pada penurunan kapasitas pendinginan, maka akan terjadi peningkatan COP pada saat menggunakan inverter. Peningkatan COP pada penelitian ini adalah 6,25%.

Berdasarkan pengujian pada penelitian ini terbukti bahwa penggunaan inverter dapat mengurangi konsumsi energi listrik oleh AC. Penelitian selanjutnya perlu dilakukan untuk mengetahui pada frekuensi listrik berapa agar dihasilkan nilai COP yang maksimal. Oleh karena, nilai COP yang maksimal akan menghasilkan penghematan konsumsi energi listrik yang maksimal pula.

5. REFERENSI

- Bilir N., Ersoy, H.K., Hepbasli A., Halkaci, H.S., Energetic and exergetic comparison of basic and ejector expander refrigeration systems operating under the same external conditions and cooling capacities, *Energy Conversion and Management* 90 (2015), 184-95.
- Cecchinato L., Part load efficiency of packaged air-cooled water chillers with inverter driven scroll compressors, *Energy Conversion and Management* 51 (2010) 1500-1509.
- Haida, M., Banasiak, K., Krzysztof, Smolka, J., Hafner, A., Eikevik. T.M., Experimental analysis of the R744 vapour compression rack equipped with the multi-ejector expansion work recovery module, *International Journal of Refrigeration* 64, (2016), 107-117.
- Jia, T., Wang, R., Xu, R., Performance of MoFe₂O₄-NiFe₂O₄/Fullerene-added nano-oil applied in domestic refrigerator compressors, *International Journal of Refrigeration* 45 (2014), 120-127.
- Masjuki, H.H., Mahlia, T.M.L., Choudary I.A., Potential electricity saving by implementing minimum energy efficiency standards for room air conditioners in Malaysia, *Journal of Energy Conversion and Management* 42 (2001), 439-450,
- Marwan, Energy Saving in an Air-Conditioning System Using an Inverter and a Temperature-Speed Controller, Universiti Teknologi Malaysia, *PhD Thesis*, 2004.
- Nasution, H., Sumeru, K., Azhar, A.A., Senawi, M.Y., Experimental study of air conditioning control system for building energy saving, *Energy Procedia* 61 (2014), 63-66.
- Pérez-Lombard, L., Ortiz, J., Pout, C., A review on buildings energy consumption information. *Energy and Buildings*, Vol. 40(3) (2008), 394-398.
- Palacz, M., Smolka, J., Nowak, A.J., Banasiak K., Hafner A., Shape optimisation of a two-phase ejector for CO₂ refrigeration systems, *International Journal of Refrigeration* 74 (2017), 212-223.
- Pawale K.T., Dhumal A.H., Kerkal G.M., Performance analysis of VCRC with nano-refrigerant, *International Research Journal of Engineering and Technology* 4(4) (2017), 1031-1037.
- Sumeru, K. dan Sutandi T., Penghematan energi pada mesin pendingin dengan variasi putaran kompresor. *Jurnal Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh November* 7(2) (2007), 80-85.
- Tojo, K., Ikejawa M., Shiibayasi, M., Arai, N., Uchikawa, N., A scroll compressor for air conditioner, *In Proceeding International Compressor Engineering Conference*, Purdue, (1984), 496-503.
- Xing, M., Wang, R., Yu, J., Application of fullerene C60 nano-oil for performance enhancement of domestic refrigerator compressor, *International Journal of Refrigeration* 40 (2014), 398-403.