

Analisis Pengaruh Refrigeran Campuran R32-R290 Pengganti R410A terhadap Kinerja AC Split Kapasitas 5000 Btuh

Analysis of the Effect of R32-R290 Refrigerant Blend Replacing R410A on the Performance of 5000 Btuh Split Air Conditioners

Widodo^{1*}, Lukman Nulhakim¹, Amri Abdulah², Khairul³

^{1,2} Teknologi Rekayasa Manufaktur, Politeknik Enjinering Indorama, Purwakarta 41152, Indonesia

³ Teknik Mesin, STT Wastukencana, Purwakarta 41111, Indonesia

⁴ Teknik Mesin, STT Bina Tunggal, Bekasi 17133, Indonesia

Abstrak. Pada saat ini umumnya refrigeran yang digunakan pada AC-Split adalah jenis refrigeran sintetik R32, R410A. Penelitian ini menggunakan refrigeran campuran dari bahan sintetik dan alamiah (hidrokarbon) R32-R290 dengan tujuan untuk mengurangi terjadinya pemanasan global pada atmosfer bumi. Campuran refrigeran ini memiliki GWP (Global Warming potential) dan densitas yang lebih rendah dibandingkan dengan R410A. Penelitian ini dilakukan untuk memastikan dampak refrigeran campuran terhadap kinerja pada AC-Split. Komposisi campuran 20%/80% digunakan sebagai alternatif pengganti R410A untuk AC-Split. Kondisi alat pengujian pada suhu ruang evaporator dan kondensor dijaga pada suhu 27°C dan 35°C. Uji kinerja awal menggunakan jumlah massa refrigeran 340 gram (100%) digunakan sebagai pembandingan, sedangkan uji kedua menggunakan jumlah massa R32-R290 40% (136 g), 50% (170 g), dan 60% (204 g). Hasil eksperimen campuran refrigeran menunjukkan peningkatan suhu outlet evaporator sebesar 0,5%, penurunan suhu outlet kondensor sebesar 1%, peningkatan rata-rata COP sebesar 6,75%, dan penurunan konsumsi daya listrik rata-rata sebesar 545.12 W menjadi 448,34 W (penurunan 17,7%)

Kata kunci :GWP; Sintetik; Alamiah; COP; AC-Split

Abstract. Currently, the refrigerants commonly used in split air conditioners are synthetic refrigerant types R32 and R410A. This study uses a mixed refrigerant of synthetic and natural (hydrocarbon) materials, R32-R290, with the aim of reducing global warming in the Earth's atmosphere. This refrigerant mixture has a lower GWP (Global Warming Potential) and density compared to R410A. This study was conducted to determine the impact of the refrigerant mixture on the performance of split air conditioners. A 20%/80% mixture composition was used as an alternative to R410A for split air conditioners. The testing equipment was maintained at an evaporator and condenser temperature of 27°C and 35°C, respectively. The initial performance test used a refrigerant mass of 340 grams (100%) as a comparison, while the second test used R32-R290 masses of 40% (136 g), 50% (170 g), and 60% (204 g). The results of the refrigerant mixture experiment showed an increase in evaporator outlet temperature of 0.5%, a decrease in condenser outlet temperature of 1%, an increase in average COP of 6,75%, and a decrease in average power consumption from 545.12 W to 448.34 W (a decrease of 17.7%).

Keywords: GWP; Synthetics; Natural; COP; AC-Split

* Penulis korespondensi: widodo@pei.ac.id

1. Pendahuluan

Protokol Kyoto untuk mengurangi emisi setara CO₂ di 40 negara (negara-negara Lampiran-1) pada periode 2008-2012. Pengurangan emisi enam gas rumah kaca utama (CO₂, CH₄, N₂O, HFCs, PFCs, dan SF₆) dan kandungan fluorin pada refrigeran. Mengacu pada regulasi tahun 1990 [1]. Para pihak sepakat untuk mengurangi risiko perubahan iklim dan mengambil tindakan bisnis lain untuk mengurangi emisi CO₂. Regulasi yang dibangun melalui Protokol Montreal selama lebih dari 20 tahun dapat memastikan mitigasi iklim yang signifikan dalam membantu mengurangi perubahan iklim. Proyeksi emisi HFC meningkat setelah 2013 dan diperkirakan akan meningkat setelah 2025. Pada tahun 2050, emisi HFC global diperkirakan mencapai 5,5–8,8 Gt CO₂-ekivalen per tahun, setara dengan 9–19% dari emisi CO₂ global[2]. Penelitian telah dilakukan menggunakan refrigeran hidrokarbon sebagai campuran sebagai alternatif pengganti refrigeran R410A yang digunakan dalam pendingin udara split. R410A adalah campuran refrigeran R32 (50%) dan R125 (50%) dengan titik didih -51,40°C, nilai potensi kerusakan ozon (ODP): 0, dan GWP: 2088. Refrigeran R32 memiliki ODP: 0 dan GWP: 675, titik didih -51,65°C. R290 memiliki nilai ODP nol dan GWP=20, titik didih: -42,1°C. Studi sebelumnya menunjukkan bahwa campuran refrigeran R32-R290 (68%/32%) memiliki ambang batas kebakaran: 14,0–23,7%, dan kapasitas pendinginan berkurang sebesar 30,0–35,0%. Refrigeran ini memiliki potensi untuk menggantikan HCFC-22 secara sementara karena GWP-nya masih tinggi[3]. Uji coba yang telah dilakukan pada siklus pompa kalor kaskade otomatis yang didukung tenaga surya (SAHPC) dan siklus pompa panas berbasis udara konvensional (CAHPC) pada mesin pemanas air skala kecil menggunakan campuran refrigeran R32-R290 dengan komposisi campuran massa 20%/80%. Dari hasil uji coba, suhu keluaran kondensor berkisar 40–60°C, sedangkan suhu evaporator berkisar -15 hingga -10°C. Dengan menggunakan SAHPC, COP meningkat sebesar 0,1–0,3%, kapasitas volume pemanasan meningkat 7,4%, dan rasio tekanan kompresor berkurang 7,6%. Penelitian ini memberikan gambaran tentang peluang penggunaan refrigeran campuran sebagai pengganti refrigeran tunggal[4]. Dalam eksperimen ini, kompresor diganti dengan kapasitas volume perpindahan lebih dari 20%. Pengisian refrigeran dengan R290 dan R1270 lebih rendah sebesar 590 g dan 570 g (38,3% dan 36,7%), menggunakan oli yang sama dengan R22, kapasitas pendinginan meningkat sebesar 2,4%, dan rasio efisiensi energi lebih tinggi sebesar 0,8%. R1270 dan R290 memiliki potensi sebagai pengganti alternatif untuk R22 dan refrigeran generasi baru dengan GWP rendah, yang cocok untuk aplikasi pendingin udara rumah tangga [5]. Penelitian untuk mencari pengganti refrigeran R410A telah dilakukan dengan mencampur R32 dengan R600a dan R32 dengan R1234ze untuk sistem pendingin udara tipe split. Hasil uji coba menunjukkan pengurangan GWP sebesar 70% dan 73% dibandingkan dengan R410A. Nilai COP pada campuran refrigeran menurun sebesar 0,6% dan 1,2%. Dampak pemanasan setara total (TEWI) berkurang sebesar 20% dan 23%. Hasil penelitian ini sangat bermanfaat dan sebaiknya digunakan sebagai acuan untuk pengembangan penelitian lebih lanjut[6]. Penelitian serupa telah dilakukan dengan membandingkan kinerja R410A dengan R290 dengan mengubah massa pengisian R290 sebesar 45%–55% terhadap massa R410A pada sistem pendingin udara split. Hasil uji coba menunjukkan bahwa COP R410A meningkat 6,5% lebih tinggi daripada R290, sedangkan kapasitas pendinginan dan konsumsi daya kompresor R290 masing-masing berkurang sebesar 31,3% dan 35,7% lebih rendah daripada R410A. Kerusakan exergi total R410A 56% lebih tinggi, dan efisiensi exergi 16,7% lebih tinggi dibandingkan R290. R290 memiliki potensi untuk menjadi refrigeran pengganti R410A di masa depan[7]. Penelitian serupa telah dilakukan dengan memodifikasi pompa panas menggunakan campuran refrigeran R32 dan R290 untuk pemanasan di daerah dengan suhu sangat rendah (-20°C atau 253K). Hasil simulasi untuk suhu keluar evaporator adalah -25°C atau 5°C, sedangkan suhu kondensor 60°C meningkatkan COP sebesar 19–9%, dan secara umum, campuran fraksi massa R32 dan R290 menunjukkan potensi untuk digunakan[8].

Penelitian serupa telah dilakukan pada kompresor rotari dengan R290 yang beroperasi pada suhu lingkungan tinggi 35–55°C. Hasil pengujian pada pendingin udara split menunjukkan peningkatan efisiensi dan tekanan discharge yang lebih rendah, dan R290 ditemukan sebagai alternatif yang aman dan ramah lingkungan. Suhu kondensor adalah 70°C. Minyak sintetis (SO) dan minyak mineral (MO) untuk kompresor memiliki tingkat kelarutan 15%–16% SO dan 22%–25% MO, masing-masing. Oleh karena itu, minyak kompresor jenis mineral ditemukan lebih disukai. R290 memiliki potensi untuk digunakan dalam kompresor pendingin udara dengan menggantikan minyak mineral [9]. Refrigeran hidrokarbon telah banyak digunakan sebagai alternatif refrigeran sintetis dalam sistem pendingin kompresi uap. Refrigeran hidrokarbon memiliki ambang batas kebakaran yang lebih rendah dalam hal massa per volume ruang (kg/m^3). Untuk setiap refrigeran, nilainya adalah R32: 0,306 kg/m^3 , R290: 0,038 kg/m^3 , R1270: 0,043 kg/m^3 , R600a: 0,043 kg/m^3 , dan R170: 0,037 kg/m^3 , namun refrigeran hidrokarbon memiliki potensi untuk mengurangi GWP[10].

2. Metode

2.1 Karakteristik refrigeran

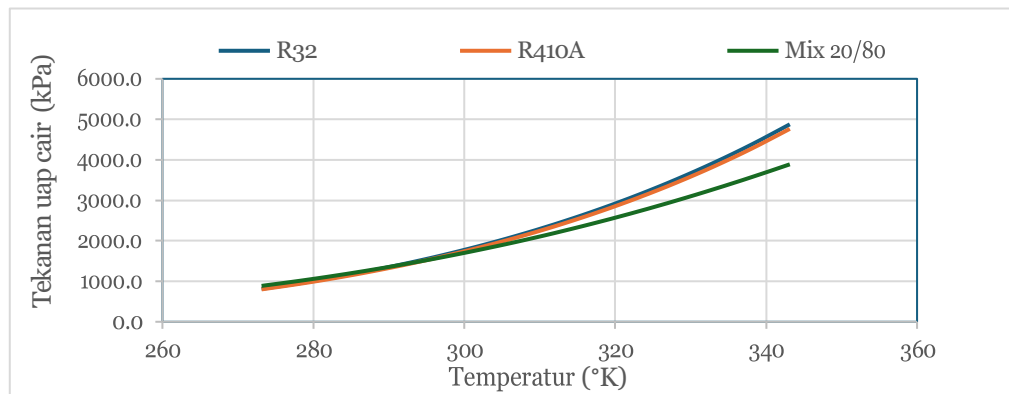
Dalam membandingkan refrigeran campuran R32-R290, harus memperhatikan karakteristik dan sifat-sifat refrigeran R410A, terutama pada titik didih, tekanan hisap dan buang, tekanan kritis, suhu kritis, dan densitas. Campuran R32-R290 merupakan campuran zat-zat yang memiliki berat molekul lebih rendah dibandingkan R410A, yang dapat mengurangi jumlah refrigeran yang dimasukkan ke dalam sistem pendingin AC-Split. Campuran refrigeran ini tidak boleh bocor, karena dapat menyebabkan perbedaan suhu di evaporator dan kondensor, yang dapat mempengaruhi kinerja sistem AC-Split. Dengan menggunakan REFPROP V.9 2010, dapat dihitung suhu titik embun dan titik kondensasi R32-290 dengan variasi perbandingan campuran, sehingga menentukan perbandingan campuran 20%/80 berdasarkan berat refrigeran yang diisi dalam satuan 40%, 50%, 60%, yang sesuai dengan suhu relatif rendah yang mirip dengan R410A. Sifat dasar sesuai dengan berbagai refrigeran campuran, R32, R290, dan R410A. Tabel 1. menyediakan referensi dasar untuk melihat sifat-sifat refrigeran.

Tabel 1. Karakteristik refrigeran R410A, R32 dan R290

Properties Refrigerant	R410A	R32	R290	20%/80%
Berat Molekul (g mol^{-1})	72,6	52,0	44,1	45,5
Titik Didih ($^{\circ}\text{C}$)	-51,1	-51,5	-41,9	-44,2
Titik Kritis ($^{\circ}\text{C}$)	61,5	78,3	96,9	86,5
Tekanan Kritis (kPa)	4901,9	5782,0	4251,2	4859,7
Massa jenis kg/m^3	459,5	424,0	220,5	244,9
GWP	2088,0	675	3	137,0

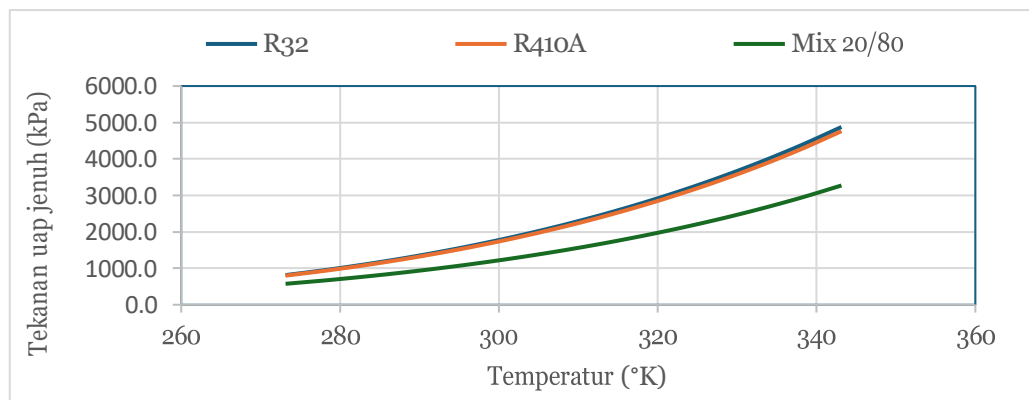
2.2 Tekanan Cair dan Uap Jenuh

Tekanan cairan jenuh refrigeran R32, R410A, R290 dan campuran R32-R290 dengan perbandingan 20%/80%. Sifat-sifatnya mirip dengan R410A secara keseluruhan, dan massa campuran dipengaruhi oleh tekanan gas jenuh. Karakteristik tekanan cairan jenuh terhadap suhu untuk masing-masing refrigeran yang berbeda ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Grafik tekanan cair jenuh refrigeran

Tekanan uap jenuh refrigeran R32, R410A, R290 dan campuran R32-R290 dengan perbandingan 20%/80%. Sifat-sifatnya mirip dengan R410A secara keseluruhan, dan massa campuran dipengaruhi oleh tekanan gas jenuh. Karakteristik tekanan cairan jenuh terhadap suhu untuk masing-masing refrigeran yang berbeda ditunjukkan pada Gambar 2.

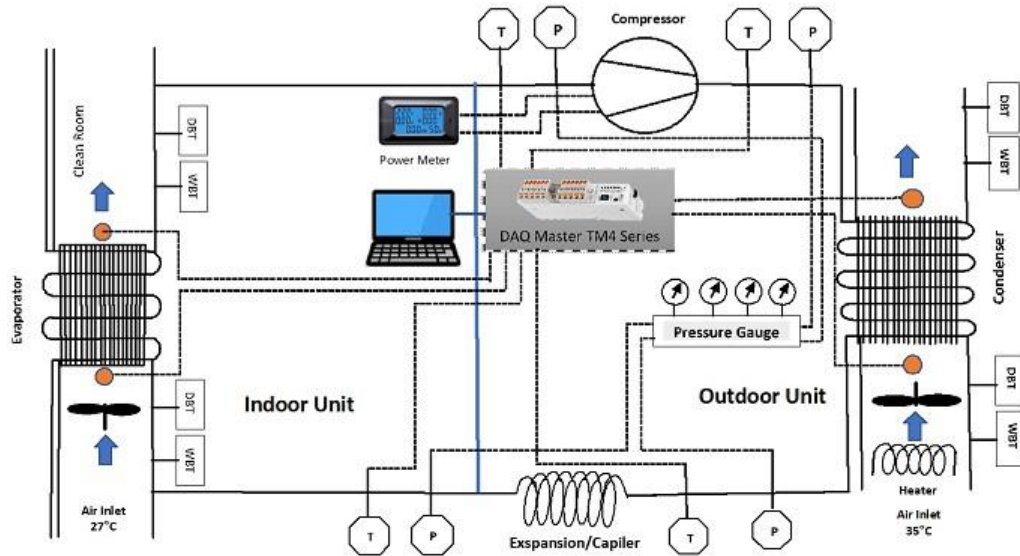


Gambar 2. Grafik tekanan uap jenuh refrigeran

2.3 Penyetingan Peralatan Uji

Eksperimen yang dilakukan di dalam ruangan laboratorium, menggunakan unit AC Split kapasitas pendinginan 5000 BTUH (1.465 kW). Kondensor dan evaporator ditempatkan dalam saluran udara yang terbuat dari bahan polyurethane dengan dimensi 520 mm x 750 mm. Suhu udara di kondensor dan evaporator diatur dengan memasang alat pemanas dan pendingin untuk menjaga kestabilan suhu yang dikendalikan oleh termostat elektronik. Tekanan dan suhu refrigeran dalam sistem diukur menggunakan manometer Bourdon kelas

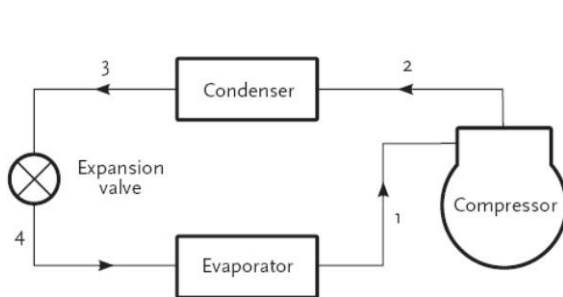
1.6 (akurasi: $\pm 1,6\%$) dan termokopel Autonics TM4-N2RB (akurasi: $\pm 0,05^\circ\text{C}$). Pengukuran daya listrik kompresor menggunakan wattmeter Arduino dengan sensor PZEM-004T, dengan daya operasi maksimum 22-26 kW. Pengujian AC dilakukan dalam dua tahap, tahap pertama menggunakan R410A dan tahap kedua menggunakan R32-R290. Tahap awal pengujian AC split dengan jumlah refrigeran R410A 340 gram merujuk pada spesifikasi AC khusus. Selama pengujian, suhu evaporator dijaga pada 27°C dan kondensor pada 35°C . Pada tahap kedua, pengujian unit AC dilakukan dengan variasi massa pengisian 40%, 50%, dan 60% untuk campuran 20%/80% dan kondensor diseting sama dengan kondisi pengujian R410A seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.



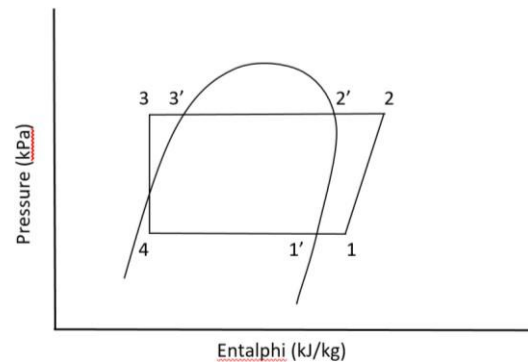
Gambar 3. Skematik diagram alat uji

2.4 Perhitungan Kinerja Sistem Pendingin.

Kinerja sistem pendingin pada AC-Split dihitung dengan menggunakan diagram kompresi uap terdiri dari kerja kompresi, proses kondensasi, proses ekspansi dan evaporasi. Pada **Gambar 4.** dan **Gambar 5.** Menunjukkan siklus diagram kompresi uap dengan p-h diagram.



Gambar 4. Diagram Kompresi Uap



Gambar 5. Diagram P-H

Untuk menghitung energi pada diagram kompresi uap pada masing-masing proses dengan menggunakan formula rumus dibawah [7]

- Proses Kompresi (1-2)

$$W_c = (h_2 - h_1) \quad (1)$$

- Proses Kondensasi (2-3)

$$Q_c = (h_2 - h_3) \quad (2)$$

- Proses Ekspansi (3-4)

$$h_3 = h_4 \quad (3)$$

- Proses Evaporasi (1-4)

$$Q_e = (h_1 - h_4) \quad (4)$$

- Coefficient of performance

$$COP = \frac{\text{kalor yang diserap Evaporator}}{\text{Kerja Kompresor}} \quad (5)$$

- Daya Kompresor

$$P = V \times I \times PF \quad (6)$$

3. Hasil dan Pembahasan

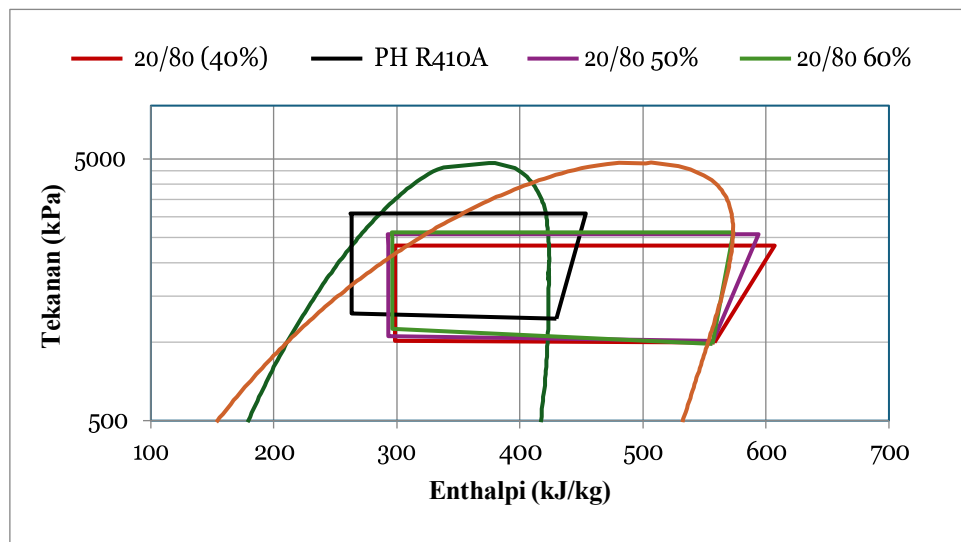
3.1 Data hasil pengukuran

Hasil uji telah digambarkan pada diagram P-H dengan jumlah massa refrigeran R410A sebesar 340 g (100%) sebagai acuan untuk perbandingan dengan refrigeran campuran. Suhu udara masuk ke evaporator dan kondensor masing-masing adalah 27°C dan 35°C, sedangkan suhu udara keluar dari evaporator dan kondensor masing-masing adalah 18°C dan 41,9°C. Tekanan hisap dan tekanan buang masing-masing adalah 1227 kPa dan 3095 kPa dengan lengkap ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan hasil pengujian R410A dan R32-R290 (20%-80%)

Uraian	R410A	R32-R290 (20%-80%)		
		40%	50%	60%
Temp. udara masuk evaporator (°K)	300,1	300,1	301,7	299,2
Temp. udara keluar evaporator (°K)	291,2	292,2	292,2	293,3
Temp. udara masuk kondensor (°K)	308,5	308,2	308,2	307,3
Temp. udara keluar kondensor (°K)	314,9	311,2	311,2	311,8
Tekanan Suction (kPa)	1227,0	1008,9	1022,7	1146,8
Tekanan Discharge (kPa)	3095,0	2348,6	2593,3	2626,1

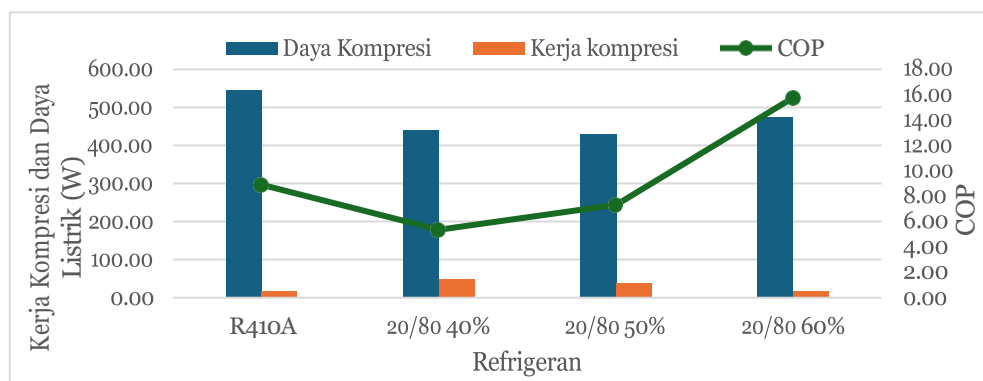
Gambar 6. menunjukkan penelitian untuk campuran 20%/80% pada jumlah variasi massa sebesar 40%, 50%, dan 60% dari nilai dasar 340 g. Suhu udara keluar evaporator campuran 20%/80% lebih rendah 1,4 °K dibanding R410A dari 291,2 K hingga 292,6 K, dan tekanan hisap dan buang campuran 20%/80% lebih rendah, masing-masing sebesar 64,4% dan 19,4%.



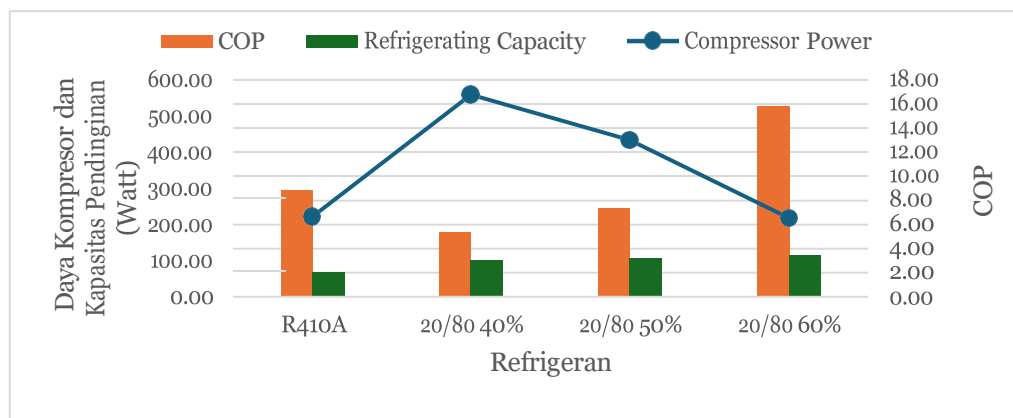
Gambar 6. Grafik P-H diagram R410A dan refrigeran R32-R290

3.2 Analisis Energi

Gambar 7. Dan Gambar 8. menunjukkan hasil perbandingan kapasitas pendinginan dengan COP untuk setiap variasi refrigeran R410A, yang rata-rata 8,89 lebih tinggi dibandingkan dengan campuran refrigeran 20%/80% (9,48). Kapasitas pendinginan menunjukkan peningkatan linear dengan setiap nilai COP. Daya listrik pada refrigeran campuran mengalami penurunan 17,75% sedangkan kerja kompresi mengalami kenaikan dibanding R410A.



Gambar 7. Daya kompresi, kerja Kompresi dan COP



Gambar 8. Daya kompresor, kapasitas refrigerasi dan COP

4. Kesimpulan

Dari hasil pengujian dan analisis hasil perhitungan dapat disimpulkan sebagai berikut:

- a. COP yang dihasilkan pada refrigeran campuran dengan jumlah massa 40% (136 gr), 50% (170gr) dan 60% (204 gr) cenderung naik seiring dengan bertambahnya massa dikarenakan oleh naiknya laju aliran massa refrigeran.
- b. Daya Kompresi rata-rata dari refrigeran campuran lebih rendah jika dibandingkan dengan refrigeran R410A.
- c. Kerja Kompresi terjadi sebaliknya dengan COP, semakin tinggi jumlah massa semakin rendah kerja kompresinya.
- d. Tekanan suction dan discharge untuk refrigeran campuran R32-R290 lebih rendah 19,4% dan 64% dibandingkan dengan R410A.
- e. Temperatur pendinginan pada daerah evaporator R410A lebih rendah 0,5-1°C dibanding dengan refrigeran campuran.

Daftar Pustaka

- [1] G. J. M. Velders, S. O. Andersen, J. S. Daniel, D. W. Fahey, and M. McFarland, "The importance of the Montreal Protocol in protecting climate," *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, vol. 104, no. 12, pp. 4814–4819, 2007, doi: 10.1073/pnas.0610328104.
- [2] M. Molina, D. Zaelke, K. M. Sarma, S. O. Andersen, V. Ramanathan, and D. Kaniaru, "Reducing abrupt climate change risk using the Montreal Protocol and other regulatory actions to complement cuts in CO₂ emissions," *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, vol. 106, no. 49, pp. 20616–20621, 2009, doi: 10.1073/pnas.0902568106.
- [3] Q. Tian *et al.*, "An experimental investigation of refrigerant mixture R32/R290 as drop-in replacement for HFC410A in household air conditioners," *Int. J. Refrig.*, vol. 57, pp. 216–228, 2015, doi: 10.1016/j.ijrefrig.2015.05.005.
- [4] M. Quraishi and U. Wankhede, "Use of Hydrocarbons and Other Blends as Refrigerant," *Int. J. Mod. Eng. Res.*, vol. 3, no. 1, pp. 250–252, 2013, [Online]. Available: <http://files.figshare.com/1498474/BP31250253.pdf>.
- [5] J. H. Wu, L. D. Yang, and J. Hou, "Experimental performance study of a small wall room air conditioner retrofitted with R290 and R1270," *Int. J. Refrig.*, vol. 35, no. 7, pp. 1860–1868, 2012, doi: 10.1016/j.ijrefrig.2012.06.004.
- [6] W. Ng, H. Mohamed Kamar, N. Kamsah, and F. J. Wang, "Performance analysis of low GWP refrigerants mixture as a substitute for R410A in residential air conditioner in tropical region," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 268, no. 1, pp. 1–8, 2019, doi: 10.1088/1755-1315/268/1/012104.
- [7] T. K. Berkah Fajar, P. Restu Bagas, S. Ukhi, M. I. Alhamid, and A. Lubis, "Energy and exergy analysis of an R410A small vapor compression system retrofitted with R290," *Case Stud. Therm. Eng.*, vol. 21, no. March, p. 100671, 2020, doi: 10.1016/j.csite.2020.100671.
- [8] C. Fan, G. Yan, and J. Yu, "Theoretical study on a modified heat pump cycle with zeotropic mixture R32/R290 for district heating in cold region," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 156, no. November 2018, pp. 702–707, 2019, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2019.04.112.
- [9] C. Wang, J. Wu, Y. Du, J. Li, and W. Du, "Experimental study on startup characteristics of a R290 room air conditioner under various ambient temperatures," *Int. J. Refrig.*, vol. 109, pp. 37–44, 2020, doi: 10.1016/j.ijrefrig.2019.09.022.
- [10] B. Saleh, A. A. Aly, M. Alsehli, A. Elfakhany, and M. M. Bassuoni, "Performance analysis and working fluid selection for single and two stages vapor compression refrigeration cycles," *Processes*, vol. 8, no. 9, 2020, doi: 10.3390/PR8091017.