

Studi Kinerja Teoritis Pengkondisian Udara Menggunakan R32, R290 Dan R410a

James Roland Sengge¹, Matheus M. Dwinanto¹, dan Adi Y. Tobe¹

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknik Universitas Nusa Cendana
Jl. Adi Sucipto, Penfui-Kupang, NTT 85001, Tlp: (0380)881597
E-mail: matheus.dwinanto@staff.undana.ac.id

ABSTRAK

Penggunaan refrigeran yang lebih ramah lingkungan di sistem pengkondisian udara telah menjadi tuntutan dan isu sentral pada masa yang akan datang. Artikel ini menyajikan hasil simulasi perbandingan penggunaan R32 (difluorometan), R290 (propana), dan R410A (difluorometana+pentafluoroetana) terhadap kinerja sistem pengkondisian udara. Analisis termodinamika sistem yang menggunakan kedua refrigeran tersebut menggunakan perangkat lunak *CoolTools* versi 1.0 pada beberapa variasi temperatur evaporasi, dengan temperatur kondensasi dipertahankan konstan. Besaran-besaran penting yang dianalisis adalah pelepasan kalor di kondensor, daya kompresor, dan koefisien kinerja. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kinerja pengkondisian udara yang menggunakan R290 lebih tinggi dibandingkan dengan penggunaan R32 dan R410A sedangkan koefisien kinerja yang paling rendah dimiliki oleh pengkondisian udara yang menggunakan R410A. Di samping itu, R290 lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan R32 dan R410A maka penggunaan R290 sangat dianjurkan.

ABSTRACT

The use of more environmentally friendly refrigerants in air conditioning systems has become a central demand and issue in the future. This article presents the simulation results of the comparison of the use of R32 (difluoromethane), R290 (propane) and R410A (difluoromethane+pentafluoroethane) on the performance of air conditioning systems. The thermodynamic analysis of the system using the two refrigerants used the CoolTools version 1.0 software at several variations of the evaporation temperature, with the condensation temperature held constant. The important quantities analyzed are heat release in the condenser, compressor power, and coefficient of performance. The results of this study indicate that the performance of air conditioning using R290 is higher than the use of R32 and R410A while the lowest coefficient of performance is owned by air conditioning using R410A. In addition, R290 is more environmentally friendly than R32 and R410A, so the use of R290 is highly recommended.

Keywords: Air conditioning, coefficient of performance, eco-friendly refrigerants

PENDAHULUAN

Pengkondisian udara dapat memberikan kenyamanan termal bagi penghuni yang berada di dalam ruangan sehingga telah menjadi kebutuhan untuk rumah tangga, minimarket, gedung perkantoran, dan hotel. Oleh karena itu, di daerah beriklim panas, pengkondisian udara merupakan kebutuhan yang tidak lagi mengandung arti kemewahan.

Sejak pengkondisian udara diluncurkan pertama kali, refrigeran yang sangat populer digunakan di Indonesia adalah R22 (HCFC-22). Namun, perkembangan kebijakan global di bidang lingkungan (Protokol Montreal dan

Kyoto) mewajibkan negara-negara berkembang untuk menghapus penggunaan Bahan Perusak Ozon (BPO) secara bertahap sampai batas waktu tertentu, maka Kementerian Perindustrian mengeluarkan Peraturan Menteri Perindustrian Republik Indonesia Nomor: 41/M-IND/PER/5/2014 tentang Larangan Penggunaan HCFC (Hydrochloroflourocarbon) di Bidang Perindustrian, yang diundangkan pada tanggal 4 Juni 2014 [1]. Oleh karena itu, refrigeran yang lebih ramah lingkungan seperti R32, R290, dan R410A saat ini telah digunakan di Indonesia sebagai pengganti R22, dan Tabel 1

menyajikan perbandingan ketiga refrigerant tersebut [2].

Tabel 1. Perbandingan ketiga tipe refrigeran

| Tipe | Cooling Index | Ozon Depleting Potential (ODP) | Global Warming Potential (GWP) | Flammability |
|-------|---------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------|
| R32 | 160 | 0 | 677 | Rendah |
| R290 | 83 | 0 | 3 | Tinggi |
| R410A | 92 | 0 | 1924 | Tidak |

Refrigeran R32 ditemukan oleh Daikin Jepang dan mulai digunakan pada tahun 2013. R32 lebih baik dari R410A dalam hal potensi pemanasan global, akan tetapi masih merupakan HFC [2]. Berbeda dengan R290 yang telah dikenal masyarakat sejak 1920 di awal teknologi refrigerasi bersama fluida kerja natural lainnya seperti ammonia, dan karbon dioksida. Meskipun R290 sangat mudah terbakar tetapi refrigeran ini memiliki beberapa kelebihan seperti, ramah lingkungan yang ditunjukkan dengan nilai *Ozon Depleting Potential* (ODP) nol, dan GWP yang dapat diabaikan, sifat-sifat termodinamika dan karakteristik perpindahan kalor yang baik, kerapatan fasa uap yang rendah, dan kelarutan yang baik dengan pelumas mineral [3, 4]. Hal inilah yang mendorong dilakukan penelitian ini guna menganalisis kinerja teoritis pengkondisian udara yang menggunakan R32, R290, dan R410A dengan bantuan perangkat lunak *CoolTools*.

Kinerja termodinamika refrigerasi dan pengkondisian udara sangat dipengaruhi oleh refrigeran yang digunakan sebagai fluida kerja karena terdapat beda temperatur yang terbatas antara sistem dan lingkungannya, di mana ini merupakan sumber utama ireversibilitas sistem refrigerasi. Penurunan temperatur evaporasi pada hakikatnya akan mengakibatkan penurunan kinerja, dan efisiensi sistem, begitupun sebaliknya [5, 6]. Ini mendorong beberapa peneliti melakukan studi teoritis dan eksperimen penggunaan refrigeran hidrokarbon terhadap kinerja sistem refrigerasi dan pengkondisian udara, diantaranya pengaruh pengurangan kuantitas pengisian R290 di AC split 5,25 kW sebagai pengganti R22 telah dilakukan secara eksperimental dengan memvariasikan

diameter tabung kondensor, panjang pipa kapiler, dan kecepatan udara permukaan kondensor. Pengurangan 50% diameter tabung kondensor mengakibatkan panjang pipa kapiler bertambah panjang 21% dan peningkatan kecepatan udara permukaan kondensor. Ditemukan juga bahwa pada pengisian 300 gram R290, parameter kinerja seperti kapasitas pendinginan, koefisien kinerja, dan konsumsi daya lebih baik daripada penggunaan R22 untuk semua kondisi pengujian [7].

Analisa perbandingan konsumsi listrik pada AC *split* 1 PK menggunakan R32, R410A, dan MC-22 dimana pengujian dilakukan dengan mengambil data setiap 5 menit dalam waktu 30 menit dengan mengukur tekanan, kuat arus, dan voltase serta membuat perbandingan dari ketiga refrigeran tersebut. Hasil pengujian menunjukkan bahwa konsumsi listrik AC *split* menggunakan R410A lebih tinggi penggunaan daya listriknya yaitu sebesar 746,17 watt dibandingkan R32 yang sebesar 711,85 watt, dan yang lebih rendah MC-22 sebesar yaitu 429,80 watt [8].

Analisis performansi AC *Split* dengan membandingkan refrigeran R410A dan R32 berdasarkan variasi putaran kipas evaporator. Penelitian menggunakan dua AC *split* dengan daya 1 PK (746 W) yang *indoor*-nya memiliki evaporator dan *outdoor*-nya memiliki kompresor, kondensor dan pipa kapiler. Seluruh jalur perpipaan refrigerant diisolasi untuk mencegah atau mengurangi terjadinya perpindahan kalor ke lingkungan yang pada akhirnya akan dapat menurunkan kinerja AC [9].

Perbandingan R290 dan R22 di AC *window* berkapasitas 1 ton juga telah dipelajari secara eksperimen. Sistem ini dioptimalkan dengan penambahan kondensor berpendingin evaporatif untuk meningkatkan kinerja termodinamika. Hasilnya menunjukkan R290 dapat meningkatkan COP pada berbagai temperatur pengujian, menurunkan konsumsi daya $\pm 50\%$, dan kuantitas pengisian R290 lebih rendah $\pm 70\%$ dibandingkan R22. Penerapan kondensor berpendingin udara evaporatif dengan menggunakan R290

memberikan pengaruh yang signifikan terhadap peningkatan kinerja AC *window* [10].

Studi kinerja *batch air blast freezer* menggunakan refrigeran R290 dan R600a sebagai pengganti R404A dan R507A juga telah dilakukan dan hasilnya menunjukkan bahwa pada temperatur evaporator minimum, kinerja sistem yang menggunakan R290 dan R600a lebih tinggi dibandingkan dengan R404A dan R507A. Namun, R290 memiliki karakteristik yang lebih dekat R404A sehingga lebih sesuai menggantikan R404A dibandingkan dengan R600a [11].

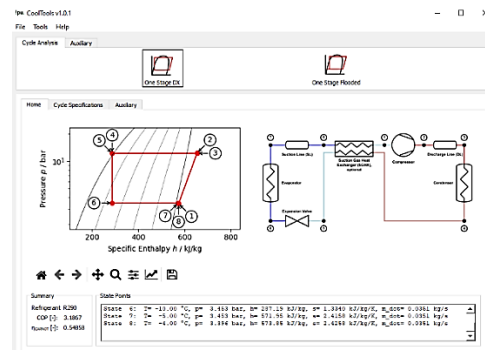
Studi perbandingan kinerja teoritis pengkondisian udara menggunakan R22 dan R32 juga telah dilakukan menggunakan perangkat lunak *Coolselector®2*. Hasilnya menunjukkan bahwa dengan memvariasikan temperatur *subcooling* (T_{sb}) pada R22 dan R32 tersebut dapat berpengaruh pada koefisien kinerja (COP) sistem dan efisiensi. Hal tersebut dapat dibuktikan dengan semakin tinggi tingkat *subcooling* (T_{sb}) maka koefisien kinerja (COP) dan Efisiensi yang diperoleh ikut meningkat. Pada tingkat *subcooling* 0K untuk R22 dan R32 didapat R22=5,93 dan R32=5,71 serta efisiensi untuk R22 dengan tingkat *subcooling* 0K =26,7% dan 25,7% untuk penggunaan R32. COP dan efisiensi selalu cenderung meningkat sampai tingkat *subcooling* 5K, dan dapat diambil kesimpulan bahwa R22 lebih hemat terhadap pemakaian listrik daripada R32 tetapi R32 lebih ramah lingkungan dibandingkan R22 [12].

METODE PENELITIAN

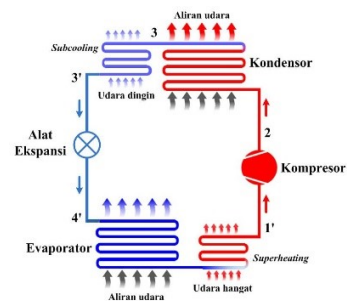
Studi teoritis ini menggunakan perangkat lunak *CoolTools* versi 1.0. *CoolTools* adalah kumpulan model simulasi untuk sistem pendingin dan masing-masing memiliki tujuan tertentu misalnya analisis siklus, ukuran komponen utama, analisis energi dan optimasi. *CoolTools* masih dalam pengembangan, tetapi bertujuan untuk menjadi pengganti perangkat lunak *CoolPack* lama yang mendukung model pendingin dan siklus baru [13]. Model pengkondisian udara

kompresi uap dalam perangkat lunak *CoolTools* disajikan pada Gambar 1.

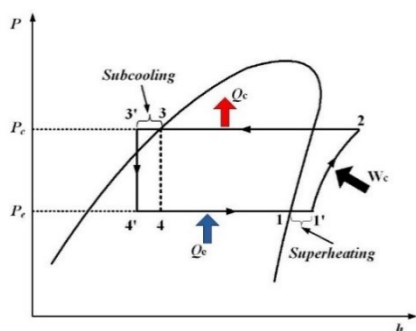
Dalam pengkondisian udara kompresi uap sederhana, uap refrigeran diasumsikan memasuki kompresor sebagai uap jenuh, dan cairan refrigeran diasumsikan sebelum memasuki alat ekspansi sebagai cairan jenuh. Jika dimensi evaporator sedikit diperbesar, uap jenuh biasanya akan terus menyerap kalor dan karenanya menjadi *superheated* sebelum mencapai kompresor. Dalam praktiknya, ini dikendalikan oleh katup ekspansi. Dengan cara yang sama, jika dimensi kondensor sedikit diperbesar, cairan jenuh akan terus melepaskan kalor dan menjadi *subcooled* sebelum memasuki katup ekspansi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Dalam kebanyakan kasus, prosedur *superheating* dan *subcooling* diterapkan untuk meningkatkan efisiensi sistem



Gambar 1. Deskripsi model pengkondisian udara dalam *CoolTools*

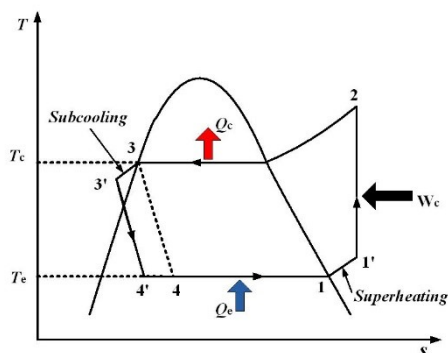


Gambar 2. Skematik pengkondisian udara kompresi uap dengan *subcooling* dan *superheating*



Gambar 3. Diagram P-h dengan *subcooling* dan *Superheating*

Gambar 3 dan 4 menyajikan perbandingan diagram P-h dan T-s untuk siklus kompresi uap dengan *subcooling* dan *superheating* (1'-2-3'-4'-1') dan siklus kompresi uap jenuh (1-2-3-4-1). Karena kapasitas pendinginan per unit massa lebih besar untuk siklus *subcooled* dan *superheated* daripada untuk siklus jenuh, laju aliran massa refrigeran per unit kapasitas lebih kecil untuk siklus tersebut daripada untuk siklus jenuh. Disamping itu, peningkatan kapasitas pendinginan secara proporsional lebih besar daripada peningkatan kalor kompresi, sehingga COP untuk siklus *subcooled* dan *superheated* lebih tinggi daripada siklus jenuh.



Gambar 4. Diagram T-s dengan *subcooling* dan *superheating*

Dari Gambar 2, 3, dan 4 dapat ditentukan laju aliran massa refrigeran dengan menggunakan persamaan [14]:

$$\dot{m} = \frac{Q_e}{h_{1'} - h_{4'}} \quad (1)$$

dengan Q_e adalah kapasitas pendinginan.

Kalor yang dilepaskan selama proses kondensasi ditentukan dengan persamaan:

$$Q_c = \dot{m}(h_2 - h_{3'}) \quad (2)$$

maka kerja kompresi dapat ditentukan dari:

$$W_c = Q_c - Q_e \quad (3)$$

Kapasitas *subcooling* dan *superheating* dapat ditentukan dari persamaan:

$$Q_{SC} = \dot{m}(h_3 - h_{3'}) \quad (4)$$

$$Q_{SH} = \dot{m}(h_{1'} - h_1) \quad (5)$$

Koefisien kinerja sistem merupakan rasio kapasitas pendinginan terhadap kerja kompresor, yang dihitung menggunakan persamaan:

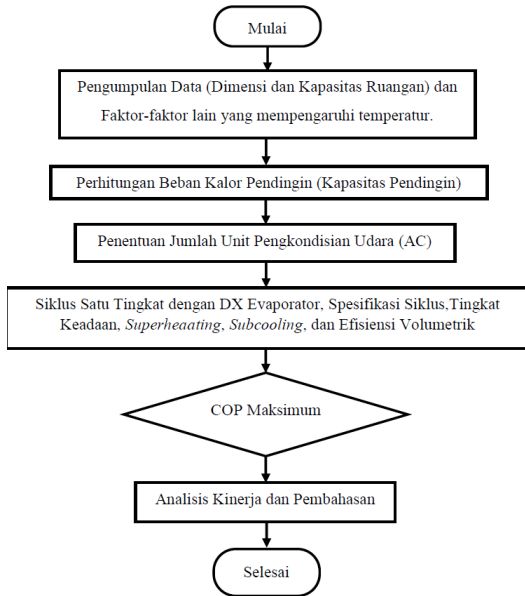
$$COP = \frac{h_{1'} - h_{4'}}{h_2 - h_{1'}} \quad (6)$$

Tabel 2. Parameter penelitian dan asumsi

| Parameter | Satuan | Nilai |
|--------------------------------|--------|--------|
| Kapasitas pendinginan | kW | 5,3 |
| Temperatur evaporasi | °C | 5 – 20 |
| Temperatur kondensasi | °C | 45 |
| Temperatur <i>subcooling</i> | °C | 2 |
| Temperatur <i>superheating</i> | °C | 8 |
| Efisiensi isentropik kompresor | - | 0,8 |
| Rugi kalor kompresor | % | 10 |

Tahapan dalam penelitian ini disajikan dalam bentuk diagram alir penelitian seperti pada Gambar 5. Dalam gambar ini, pengambilan keputusan didasarkan pada koefisien kinerja maksimum.

Beberapa parameter dan asumsi dalam studi ini disajikan pada Tabel 2. Parameter-parameter dan asumsi yang dipilih berdasarkan rentang kerja dari pengkondisian udara kompresi uap ±1,5 TR.



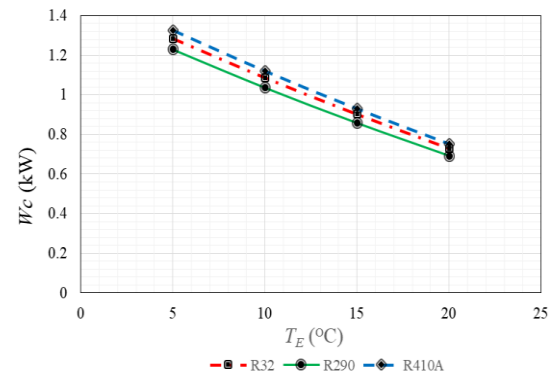
Gambar 5. Diagram alir penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

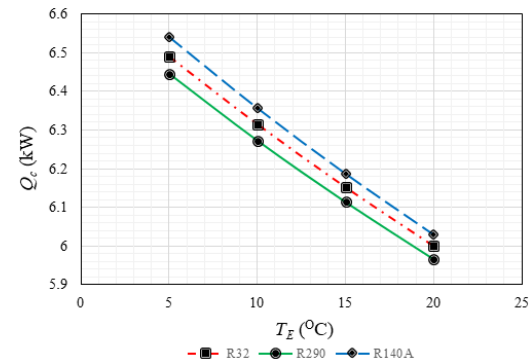
Gambar 6 menyajikan hubungan antara temperatur evaporasi dengan daya kompresor. Dalam gambar ini terlihat bahwa dengan meningkatnya temperatur evaporasi maka daya kompresor akan menurun, dan ini berlaku untuk sistem yang menggunakan R32, R410A maupun R290. Daya kompresor untuk sistem yang menggunakan R410A nilainya rata-rata masing-masingnya lebih besar $\pm 3,2\%$, dan $\pm 7,73\%$ bila dibandingkan dengan menggunakan R32 dan R290. Hal ini juga disebabkan oleh nilai entalpi R410A lebih besar dibandingkan dengan R32 dan R290 sehingga daya kompresor sistem yang menggunakan R410A akan menjadi lebih besar. Penggunaan R32 akan menghasilkan daya kompresor lebih besar $\pm 4,4\%$ dibandingkan dengan penggunaan R290.

Gambar 7 menampilkan hubungan antara temperatur evaporasi terhadap laju pelepasan kalor di kondensor, di mana terlihat bahwa dengan meningkatnya temperatur evaporasi dalam evaporator maka laju pelepasan kalor di kondensor akan menurun, dan ini berlaku untuk sistem yang

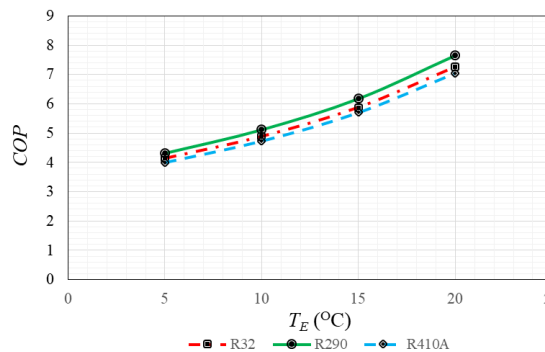
menggunakan R32, R410A, dan R290. Laju pelepasan kalor di kondensor untuk sistem yang menggunakan R410A memiliki nilai yang paling besar diantara ketiga refrigeran yang ditinjau. Penggunaan R410A akan menghasilkan laju pelepasan kalor di kondensor masing-masingnya lebih besar $\pm 0,77\%$ dibandingkan dengan penggunaan R32, dan $\pm 1,46\%$ bila menggunakan R290. Hal ini disebabkan nilai entalpi R410A lebih besar dibandingkan dengan R32 dan R290, sehingga kalor yang dilepaskan ke udara lingkungan oleh sistem pengkondisian udara yang menggunakan R410A memiliki nilai tertinggi. Penggunaan R32 akan menghasilkan pelepasan kalor lebih besar $\pm 0,68\%$ dibandingkan dengan penggunaan R290.



Gambar 6. Temperatur evaporasi vs daya kompresor



Gambar 7. Temperatur evaporasi vs pelepasan kalor di kondensor



Gambar 8. Temperatur evaporasi vs koefisien Kinerja

Gambar 8 menampilkan hubungan antara temperatur evaporasi dengan koefisien kinerja (COP). Pada gambar ini terlihat bahwa dengan meningkatnya temperatur evaporasi maka koefisien kinerja juga meningkat. Meningkatnya koefisien kinerja ini disebabkan oleh pada saat kapasitas pendinginan konstan, daya kompresor mengalami penurunan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar IV.15 dan juga terlihat bahwa koefisien kinerja (COP) untuk sistem yang menggunakan R290 memiliki koefisien kinerja tertinggi dibandingkan dengan R32, dan R410A. Koefisien kinerja sistem yang menggunakan R290 nilainya rata-rata lebih tinggi masing-masing $\pm 4,4\%$, dan $\pm 7,79\%$ bila dibandingkan dengan menggunakan R32 dan R410A. Penggunaan R32 akan menghasilkan koefisien kinerja lebih tinggi $\pm 3,24\%$ dibandingkan dengan penggunaan R410A.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis kinerja teoritis maka diperoleh kesimpulan bahwa kinerja sistem pengkondisian udara yang menggunakan R290 lebih tinggi dibandingkan dengan penggunaan R32 dan R410A sedangkan koefisien kinerja yang paling rendah dimiliki oleh pengkondisian udara yang menggunakan R410A. Di samping itu, R290 lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan R32 dan R410A maka penggunaan R290 sangat dianjurkan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Peraturan Menteri Perindustrian Republik Indonesia Nomor 41/M-IND/PER/5/2014 Tentang Larangan Penggunaan Hydrochlorofluorocarbon (HCFC) di Bidang Perindustrian.
- [2]. <https://raja.waluta.ma.co.id/perbedaan-freon-r22-r32-dan-r410a/>
- [3]. De Graaf, D., 2019, R290 Split Air Conditioners Resource Guide Version 1.0, GIZ GmbH, Germany.
- [4]. Secop, 2018, Practical Application of Refrigerants R600a and R290 in Small Hermetic Systems, Secop GmbH, Germany.
- [5]. Dwinanto M. M., Koehuan V. A., and Monteiro J. M., 2015, Analysis of Dual Evaporator Refrigeration System via Exergetic Performance Coefficient Criterion, *Prosiding SEMNASTEK*, hal. 1 – 17.
- [6]. Dwinanto M. M., Suhanan, and Prajitno, 2017, Exergy Analysis of a Dual-Evaporator Refrigeration Systems, *AIP Conference Proceedings*, 1788: 030011:1–8.
- [7]. Ayyamperumal LS, Dhasan ML, Chandrasekaran S., 2019, Experimental Investigation on the Performance of Condenser for Charge Reduction of HC-290 in a Split Air-Conditioning System. *Heat Transfer Engineering*, pp. 1–13.
- [8]. Ilham, M., Amran, D. A., Irwan, A., 2020, Analisa Perbandingan Konsumsi Listrik Pada AC Split 1PK Menggunakan Freon R32,R410A dan MC-22, *Jurnal Simetri Rekayasa*, hal. 103 – 115.
- [9]. Kusnandar, Kurniawan, Y., Khoerun, B., dan Rohmat, Y. N., 2019, Perbandingan COP AC Split Kapasitas 1PK Menggunakan R410A dan R32 dengan Variasi Kecepatan Fan Evaporator, *Jurnal Teknik Mesin*, Volume 2, Nomor 2, hal. 50 – 55.
- [10]. Vishakha S. J., and Ashok J. K., 2018, Experimental performance study of R290 as an alternative to R22 refrigerant in a window air conditioner. *IOP Conf.*

- Series: Materials Science and Engineering*, Vol. 377, pp. (012046) 1-8.
- [11]. Dwinanto, M. M., Limbong, I. S., and Adoe, D. G. H., 2021, Analysis of the Performance of Air Blast Freezer by using Hydrofluorocarbon and Hydrocarbon Refrigerants, *IOP Conf. Series: Journal of Physics*, Vol. 2017, pp. (012016) 1-7.
- [12]. Radjah, Y. I., Dwinanto, M. M., dan Nurhayati, 2019, Analisis Teoritis Perbandingan Kinerja Pengkondisian Udara Menggunakan Refrigeran R22 dan R32, *Prosiding Seminar Nasional SAINSTEK IV*, Vol. 4, No. 1, hal. 265-272.
- [13]. <https://www.ipu.dk/products/cooltools/>
- [14]. Venkataiah S., and Rao G. V., 2014, Analysis of Alternative Refrigerants to R22 for Air-Conditioning Applications at Various Evaporating Temperatures, *International Journal of Engineering Research and Applications*, Vol. 4, No. 3, pp. 39-46.