

Simulasi Pengaruh Variasi Temperatur Evaporasi Terhadap Kinerja Sistem Air Conditioning dengan Refrigeran R-410a Menggunakan Aplikasi Coolpack

Gita Agatha^{1,a}, Andriyanto Setyawan^{1,b}, Tandi Sutandi^{1,c}

¹Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bandung, Bandung, 40012

^agita.agatha.tptu416@polban.ac.id

^bandriyanto@polban.ac.id

^cade.tandi@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja sistem AC Split dengan refrigeran R410a pada berbagai suhu evaporasi yang diatur dari 2 sampai 10°C dan efisiensi isentropik dari 0.5 sampai 1, dengan temperatur kondensasi dijaga konstan pada temperature 40°C. Simulasi dilakukan dengan menggunakan Aplikasi *CoolPack*. Besaran-besaran yang disimulasikan adalah kerja kompresi, beda entalpi pada kondenser, efek refrigerasi, koefisien kinerja (COP) dan efisiensi sistem. Hasil simulasi menunjukkan bahwa kenaikan temperatur evaporasi dapat meningkatkan kinerja sistem, terbukti dengan nilai COP_{aktual} meningkat sebesar 7%, COP_{carnot} meningkat sebesar 6% dan efisiensi sistem rata-rata meningkat sebesar 1%.

Kata Kunci

AC Split, Evaporasi, R410a, COP, Efisiensi Sistem

1. PENDAHULUAN

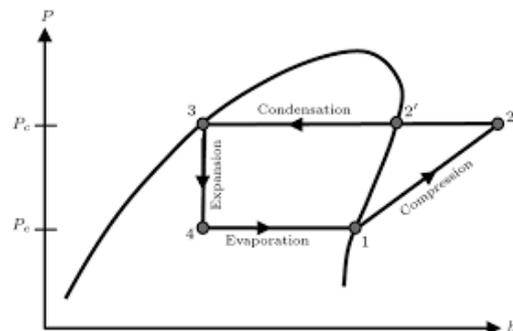
AC split adalah alat pendingin ruangan yang banyak dijumpai penggunaannya di ruangan kantor atau ruangan komersial seperti hotel, restoran, dan toko-toko penjual kebutuhan sehari-hari. Alat ini sangat vital dalam menciptakan kondisi nyaman yang bisa mendukung peningkatan efisiensi kerja dari penghuni, terutama di negara tropis, yang bersuhu panas. Tetapi alat tersebut banyak mengkonsumsi energi listrik, lebih dari 50% dari total energi yang digunakan ruangan tersebut adalah untuk AC, sehingga usaha-usaha untuk meningkatkan kinerjanya yang bisa menghemat penggunaan energi, sangatlah diperlukan [1].

Prinsip Kerja AC Split menggunakan sistem refrigerasi kompresi uap. Terdapat empat proses yang terjadi yaitu proses kompresi, proses kondensasi, proses ekspansi, dan proses evaporasi. Proses evaporasi adalah proses saat refrigeran melewati evaporator, refrigeran akan menyerap kalor dari ruangan yang didinginkan sehingga ruangan mengalami penurunan temperatur dan dapat memenuhi kenyamanan sesuai dengan fungsi dari AC Split. Perubahan temperatur evaporasi biasanya dipengaruhi oleh perubahan beban pendingin [3]. Pengaruh temperatur evaporasi dapat digambarkan dengan siklus ideal sistem pendingin kompresi uap yang umumnya digunakan di unit AC Split. Dalam kondisi ideal, sistem beroperasi pada temperatur evaporasi dan tekanan normal. Ketika suhu evaporasi meningkat, tekanan suction juga meningkat hal tersebut dapat mempengaruhi kinerja

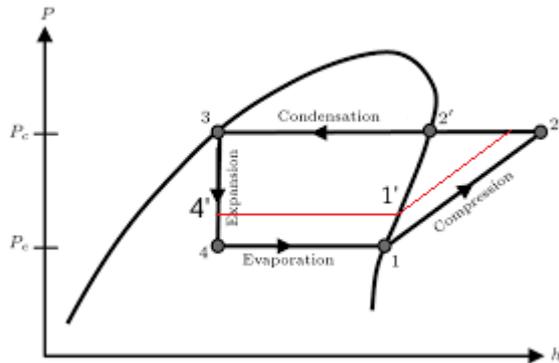
unit pendingin udara seperti efek refrigerasi dan kerja kompresi [4].

Pengaruh temperatur evaporasi terhadap kinerja sistem AC Split dapat dijelaskan oleh gambar 1 dan 2. Gambar 1 menjelaskan siklus ideal sistem pendingin kompresi uap yang umum digunakan pada unit AC Split. Dalam kondisi ideal, sistem beroperasi pada temperatur dan tekanan evaporasi normal, seperti ditunjukkan oleh baris 4-1. Ketika temperatur evaporasi meningkat, tekanan evaporasi juga akan meningkat. Peningkatan temperatur evaporasi membuat garis 4-1 menggeser menjadi 4'-1' seperti yang terlihat pada gambar 2. Hal tersebut dapat mempengaruhi kinerja sistem unit pendingin udara seperti efek refrigerasi dan kerja kompresi.

Untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada gambar 1 dan gambar 2.



Gambar 1. Siklus ideal sistem pendingin kompresi uap

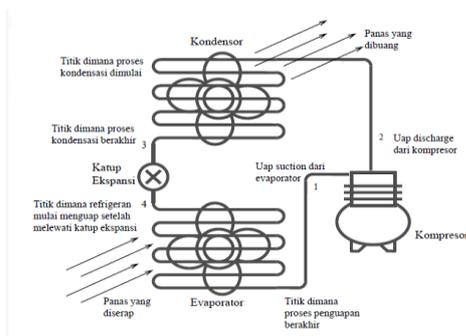


Gambar 2. Siklus pendingin kompresi uap ketika temperature evaporasi meningkat

2. TINJAUAN PUSTAKA

Air Conditioner (AC) adalah alat yang digunakan untuk mengkondisikan udara dalam ruangan sehingga mencapai kenyamanan termal. Menurut Rustandi (2013) AC Split terdiri dari dua bagian yaitu *indoor unit* dan *outdoor unit*. *Outdoor unit* biasa diletakkan diluar ruangan yang berfungsi untuk melepas kalor ke lingkungan sedangkan indoor unit diletakkan didalam ruangan yang akan dikondisikan.

Prinsip kerja AC dalam mengkondisikan ruangan yang dikondisikan menggunakan sistem refrigerasi kompresi uap. Terdapat empat komponen utama yaitu kompresor, kondenser, alat ekspansi dan evaporator. Hal tersebut dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Diagram Pemipaan Kompresi Uap

Pada sistem refrigerasi kompresi uap terdapat empat proses yaitu proses kompresi, proses kondensasi, proses ekspansi dan proses evaporasi. Umumnya untuk menggambarkan siklus kompresi uap digunakan diagram moiller atau disebut juga diagram tekanan entalpi (P-h). Siklus tersebut adalah siklus refrigerasi ideal. Faktor-faktor yang menyebabkan adanya gangguan terhadap sistem diabaikan. Dengan asumsi refrigeran keluar kondensor berfase cair jenuh, keluar evaporator uap jenuh, proses ekspansi secara isoentalphi, dan proses kompresi secara isentropik.

Untuk mendapatkan efek pendingin, beda efisiensi pada kondenser, kerja kompresi, COP, dan efisiensi sistem, dapat menggunakan persamaan berikut [2] :

$$q_e = h_1 - h_4 \dots \dots \dots (1)$$

$$q_c = h_2 - h_4 \dots \dots \dots (2)$$

$$q_w = h_2 - h_1 \dots \dots \dots (3)$$

$$COP_{aktual} = \frac{q_e}{q_w} = \frac{(h_1 - h_4)}{(h_2 - h_1)} \dots \dots \dots (4)$$

$$COP_{carnot} = \frac{T_e}{T_k - T_e} \dots \dots \dots (5)$$

$$\eta = \frac{COP_{aktual}}{COP_{carnot}} \times 100\% \dots \dots \dots (6)$$

dimana,

q_e = efek refrigerasi (kJ/kg)

q_c = panas yang dilepas oleh kondenser (kJ/kg)

q_w = kerja kompresi (kJ/kg)

h_1 = enthalpi saat refrigeran masuk kompresor (kJ/kg)

h_2 = enthalpi saat refrigeran masuk kondenser (kJ/kg)

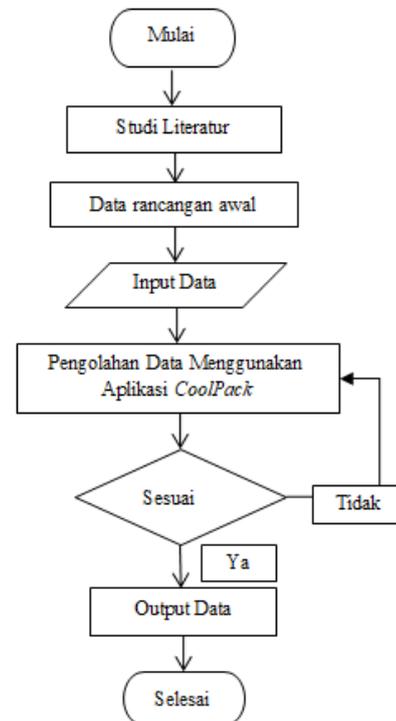
$h_3=h_4$ = enthalpi saat refrigeran masuk evaporator (kJ/kg)

T_e = Temperatur evaporasi (K)

T_k = temperature kondensasi (K)

3. METODOLOGI

Berikut langkah-langkah dalam penelitian yang disajikan dalam gambar 4.



Gambar 4. Diagram Alir Penelitian

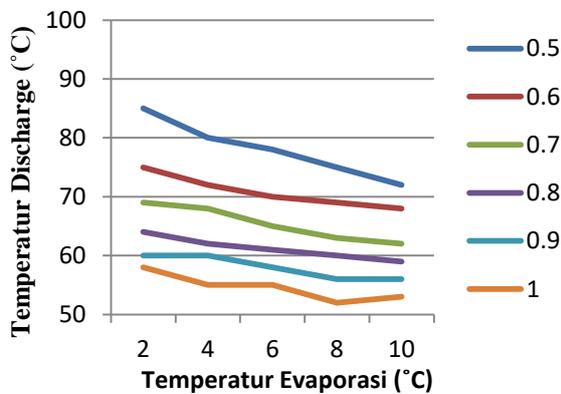
Pada penelitian ini, menggunakan Ac Split Refrigeran yang digunakan adalah R410a yang merupakan campuran dari R32 dan R125 dengan perbandingan massa masing-masing 50%. Refrigeran ini memiliki titik didih normal -52°C.

Simulasi dilakukan pada temperatur evaporasi bervariasi dari 2°C sampai 10°C dengan kenaikan 2°C. Untuk melihat kinerja sistem AC Split, analisis dilakukan terhadap kerja kompresi, efek refrigerasi, beda entalpi pada kondensor, koefisien kinerja (COP) dan efisiensi sistem.

Temperatur evaporasi dan temperatur kondensasi di plot kedalam diagram P-h pada aplikasi *coolpack*. Efisiensi isentropik yang digunakan adalah 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 dan 1. Pada simulasi ini tekanan sepanjang *liquid line*, *discharge line*, *suction line*, kondensor dan evaporator diasumsikan dapat diabaikan. *Sub-cool* refrigeran dari kondensor dan *superheat* refrigeran dari evaporator juga diasumsikan 0. *Output* dari setiap simulasi menggunakan temperatur evaporasi yang berbeda yang kemudian dianalisis ditampilkan dalam bentuk grafik.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil simulasi pengaruh evaporasi terhadap temperatur discharge ditunjukkan pada gambar 5.

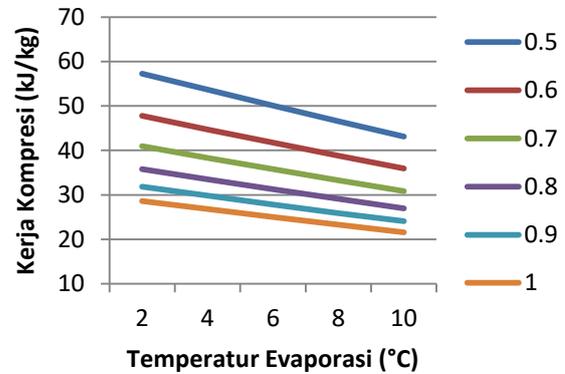


Gambar 5. Pengaruh Temperatur Evaporasi terhadap Temperatur Discharge

Gambar 5 menunjukkan pengaruh temperatur evaporasi terhadap temperatur discharge. Sumbu Y merupakan nilai temperatur discharge sedangkan sumbu X merupakan variasi nilai temperatur evaporasi yang dimulai dari 2°C sampai 10°C dengan range 2°C. Dari hasil simulasi dapat dilihat bahwa, Setiap kenaikan temperatur evaporasi sebesar 2°C maka akan terjadi penurunan nilai temperatur discharge sebesar 2-4% dan terjadi penurunan temperatur discharge sebesar 13-18% pada saat temperatur evaporasi meningkat sebesar 8°C. Jadi, semakin tinggi temperatur evaporasi dan

nilai efisiensi isentropik maka temperatur discharge semakin rendah.

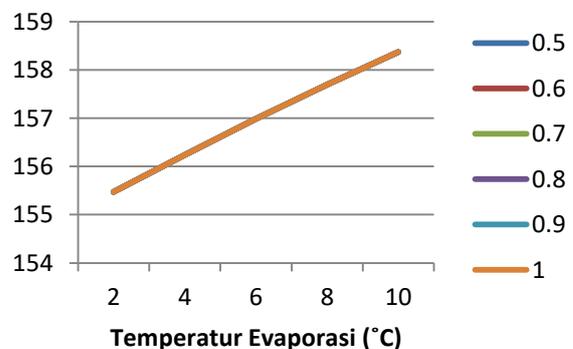
Berikut merupakan hasil simulasi temperatur evaporasi terhadap kerja kompresi dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6. Pengaruh Temperatur Evaporasi terhadap Kerja Kompresi

Kerja kompresi merupakan selisih antara entalpi masuk kondensor (h_2) dengan entalpi masuk kompresor (h_1). Gambar 6 menunjukkan pengaruh temperatur evaporasi terhadap kerja kompresi. Sumbu X merupakan variasi temperatur evaporasi yang dimulai dari 2°C hingga 10°C dengan range 2°C sedangkan sumbu Y merupakan kerja kompresi. Dari hasil simulasi dapat dilihat bahwa, setiap kenaikan temperatur evaporasi sebesar 2°C maka akan terjadi penurunan kerja kompresi sebesar 7%. Hal ini menunjukkan pengaruh hubungan temperatur evaporasi terhadap kerja kompresi. Semakin tinggi temperatur evaporasi dan efisiensi isentropik maka kerja kompresi semakin turun. Dengan menggunakan persamaan (3) dimana nilai entalpi masuk kompresor (h_1) dan nilai entalpi masuk kondensor (h_2) yang semakin turun maka kerja kompresi akan turun.

Berikut merupakan hasil simulasi pengaruh temperatur evaporasi terhadap efek refrigerasi, ditunjukkan pada gambar 7.

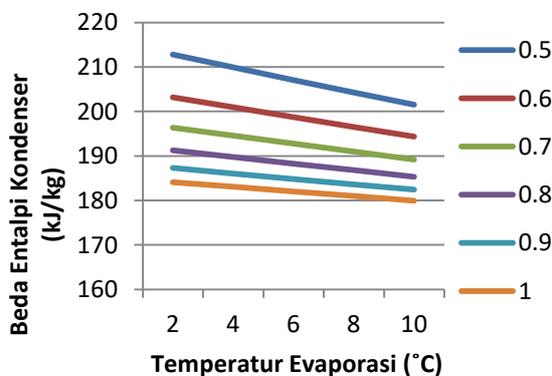


Gambar 7. Pengaruh Temperatur Evaporasi terhadap Efek Refrigerasi

Berdasarkan gambar 7 dapat dilihat bahwa, sumbu X merupakan variasi nilai temperatur evaporasi yang dimulai dari 2°C hingga 10°C dengan range 2°C sedangkan sumbu Y merupakan nilai dari efek refrigerasi. setiap kenaikan temperatur evaporasi sebesar 2°C maka akan terjadi kenaikan nilai efek refrigerasi sebesar 0.5% dan terjadi peningkatan efek refrigerasi sebesar 2% pada saat temperatur evaporasi meningkat sebesar 8°C. Semakin tinggi temperatur evaporasi maka semakin besar efek refrigerasi yang dihasilkan. Hal ini disebabkan karena pada diagram p-h terjadi kenaikan nilai entalpi masuk kompresor (h_1) dengan menggunakan persamaan (1) dimana nilai entalpi masuk kompresor (h_1) semakin besar dan nilai entalpi masuk evaporator (h_4) tetap maka otomatis nilai dari efek refrigerasi akan semakin besar.

Semua nilai efek refrigerasi dengan berbagai nilai efisiensi isentropik mempunyai nilai yang sama, hal itu karena efisiensi isentropic tidak berpengaruh pada efek refrigerasi sehingga nilai efek refrigerasi yang didapat sama meskipun nilai efisiensi isentropic berbeda. Sehingga pada grafik hanya terlihat satu garis saja meskipun mempunyai nilai efisiensi isentropic yang berbeda.

Berikut merupakan hasil simulasi temperatur evaporasi terhadap beda entalpi pada kondenser ditunjukkan pada gambar 8.

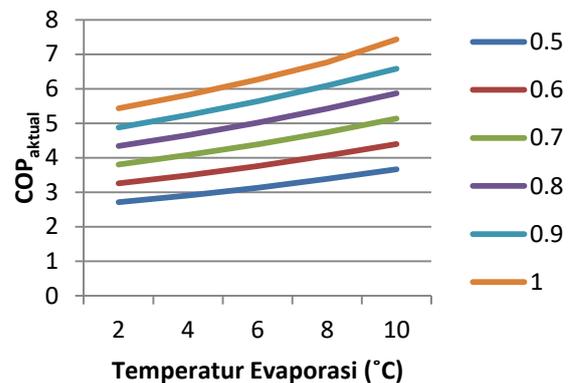


Gambar 8. Pengaruh Temperatur Evaporasi terhadap Beda Entalpi Kondenser

Gambar 8 merupakan grafik pengaruh temperatur evaporasi terhadap beda entalpi pada kondenser. Sumbu Y merupakan nilai dari beda entalpi kondenser sedangkan sumbu X merupakan variasi nilai temperatur evaporasi yang dimulai dari 2°C hingga 10°C dengan range 2°C. Hasil Simulasi menunjukkan, setiap kenaikan temperatur evaporasi sebesar 2°C maka akan terjadi Penurunan nilai beda entalpi pada kondenser sebesar 1% dan penurunan sebesar 4-6% pada saat temperatur evaporasi meningkat sebesar 8°C. Beda entalpi pada kondenser semakin rendah apabila temperatur evaporasi dan nilai efisiensi isentropik semakin

tinggi. Hal ini disebabkan karena pada diagram p-h terjadi penurunan nilai entalpi masuk kondenser (h_2). Dengan menggunakan persamaan (2) dimana nilai entalpi masuk kondenser (h_2) semakin kecil dan nilai entalpi masuk ekspansi (h_3) tetap maka otomatis nilai beda entalpi pada kondenser semakin kecil.

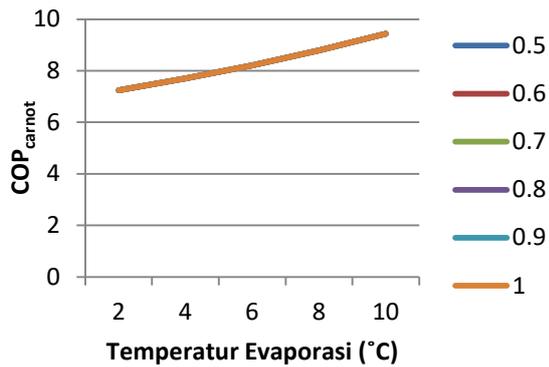
Hasil simulasi pengaruh temperatur evaporasi terhadap COP_{actual} ditunjukkan pada gambar 9.



Gambar 9. Pengaruh Temperatur Evaporasi terhadap COP_{actual}

Coeffisien of performance (COP) dapat diturunkan dari efek refrigerasi (q_e) dan kerja kompresi (q_w). Telah dibahas bahwa kenaikan temperatur evaporasi maka efek refrigerasi akan cenderung naik sedangkan kerja kompresi akan cenderung turun. Karena faktor pembagi (kerja kompresi) cenderung turun sedangkan faktor pembilang (efek refrigerasi) cenderung naik, maka COP akan mengalami kenaikan. Gambar 9 merupakan grafik pengaruh temperatur evaporasi terhadap COP_{aktual} . Sumbu Y merupakan nilai dari COP_{aktual} sedangkan sumbu X merupakan variasi nilai temperatur evaporasi yang dimulai dari 2°C hingga 10°C dengan range 2°C. Dari hasil simulasi dapat dilihat bahwa, setiap kenaikan temperatur evaporasi sebesar 2°C maka akan terjadi kenaikan nilai COP_{aktual} sebesar 7% dan terjadi peningkatan sebesar 26% pada saat temperatur evaporasi meningkat sebesar 8°C.

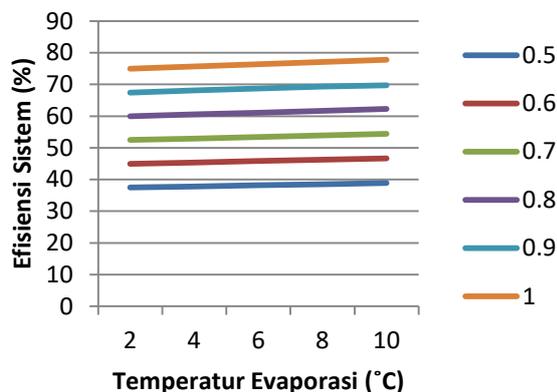
Berikut merupakan hasil simulasi pengaruh temperatur evaporasi terhadap COP_{carnot} , ditunjukkan pada gambar 10.



Gambar 10. Pengaruh Temperatur Evaporasi Terhadap COP_{carnot}

Seperti yang telah dijelaskan oleh persamaan (5) bahwa COP_{carnot} didapatkan dari pembagian antara temperature evaporasi+273.15 (faktor pembagi) dan pengurangan antara temperatur kondensasi dengan temperatur evaporasi (faktor pembilang). Karena kenaikan temperatur evaporasi maka faktor pembagi akan naik sedangkan faktor pembilang akan turun sehingga COP_{carnot} akan mengalami kenaikan. Gambar 10 merupakan grafik pengaruh temperatur evaporasi terhadap COP_{carnot}. Sumbu Y merupakan nilai dari COP_{carnot} sedangkan sumbu X merupakan variasi nilai temperatur evaporasi yang dimulai dari 2°C hingga 10°C dengan range 2°C. Dapat dilihat bahwa, setiap kenaikan temperatur evaporasi sebesar 2°C maka akan terjadi kenaikan nilai COP_{carnot} sebesar 6% dan terjadi peningkatan sebesar 23% pada saat temperatur evaporasi meningkat sebesar 8°C

Berikut merupakan hasil simulasi pengaruh temperatur evaporasi terhadap efisiensi sistem, dapat dilihat pada gambar 11.



Gambar 11. Pengaruh Temperatur Evaporasi terhadap Efisiensi Sistem

Efisiensi Sistem didapatkan dari pembagian antara COP_{aktual} dengan COP_{carnot}. Telah dibahas bahwa kenaikan temperatur evaporasi maka COP_{aktual} dan

COP_{carnot} akan cenderung naik. Karena hal tersebut maka Efisiensi sistem akan mengalami kenaikan. Gambar 11 menyajikan pengaruh temperatur evaporasi terhadap efisiensi sistem pada temperatur kondensasi 40°C. Sumbu X merupakan variasi nilai temperatur evaporasi yang dimulai dari 2°C hingga 10°C dengan interval 2°C. Dapat dilihat bahwa, setiap kenaikan temperatur evaporasi sebesar 2°C maka akan terjadi kenaikan efisiensi sistem sebesar 1% dan terjadi peningkatan sebesar 23% pada saat temperatur evaporasi meningkat sebesar 8°C.

5. KESIMPULAN

Secara umum kenaikan temperatur evaporasi menaikkan nilai entalpi masuk kompresor (h_1), Menurunkan nilai entalpi masuk kondenser (h_2), menurunkan nilai kerja kompresi (q_w), menaikkan nilai efek refrigerasi (q_e), menurunkan nilai beda entalpi pada condenser (q_c), menaikkan nilai COP_{aktual}, COP_{carnot} dan Efisiensi Sistem.

Setiap kenaikan temperatur evaporasi sebesar 2°C akan mengakibatkan penurunan nilai kerja kompresi sebesar 7%, kenaikan nilai efek refrigerasi sebesar 0,5%, penurunan nilai beda entalpi pada kondenser sebesar 1%, Kenaikan nilai COP_{aktual} sebesar 7%, COP_{carnot} sebesar 6% dan efisiensi sistem sebesar 1%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Rustandi, R. (2013). Pemamfaatan Air Kondensat Dari Evaporator Yang Biasa Terbuang Untuk Meningkatkan Unjuk Kerja AC Split. 7.
- [2] Dossat, Roy J. 1981. *Principle of Refrigeration, SI Version, Second Edition*. John Wiley & Sons, Inc. Canada.
- [3] Yunianto, B. (2005). Pengaruh Perubahan Temperatur Evaporator Terhadap Prestasi Air Cooled Chiller Dengan Refrigeran R-134a pada Temperatur Kondensator Tetap. 6.
- [4] Setyawan, A., Sutandi T., Faldian, & Margana S. A. (2017). Simulation of the Effect of the Condensing Temperature on The Performance of a Split AC with R-410a under Constan Cooling Capacity. 7.