

## Kajian Eksperimental Aplikasi Air Kondensat Sebagai *Evaporative Cooling* Pada Kondensor AC Split

I Nengah Ardita\*, I Nyoman Suamir dan Sudirman

Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bali  
Kampus Bukit Jimbaran, Kuta Selatan (0361) 701981,  
email: arditainengah@yahoo.com

### Abstrak

Air kondensat yang dihasilkan oleh indoor AC Split biasanya tidak dimanfaatkan dan dibuang begitu saja ke lingkungan. Dari hasil pengukuran didapatkan bahwa temperatur air kondensat yang dihasilkan AC Split cukup rendah yaitu 19-22 °C dengan laju 16-20 mL/min dan mempunyai PH balans. Dengan kondisi seperti itu, Air kondensat yang dihasilkan AC Split seharusnya masih bisa dimanfaatkan kembali sebagai media pendingin tambahan pada kondensor.

Penelitian ini menginvestigasi penggunaan air kondensat sebagai evaporative cooling pada kondensor untuk meningkatkan kapasitas pendinginan dari sistem AC tersebut. Dengan meningkatnya kapasitas pendinginan yang dihasilkan maka proses pendinginan suatu ruangan akan semakin cepat dan pada akhirnya dapat menghemat energi listrik yang digunakan. Penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimen yang pelaksanaannya meliputi beberapa tahap yaitu; perancangan dan pembuatan peralatan eksperimen, kalibrasi dan pemasangan alat ukur, pengambilan data eksperimen, pengolahan data dan analisis hasil.

Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan kaedah-kaedah termodinamika untuk mendapatkan besaran-besaran yang diinginkan seperti efek refrigerasi, COP, kapasitas pendinginan dan *energy efficiency ratio* (EER). Analisis hasil dilakukan dengan metode deskriptif kuantitatif. Berdasarkan hasil eksperimen dan analisis yang dilakukan dengan menggunakan air kondensat sebagai *evaporative cooling* pada kondensor terjadi peningkatan kapasitas refrigerasi 5÷15%, COP, dan EER sistem rata-rata berkisar antara 8 ÷ 18%.

**Kata kunci:** *Evaporative cooling*, kapasitas refrigerasi, COP dan EER

### Pendahuluan

*Air conditioning unit* (AC Unit) adalah sebuah alat yang digunakan untuk mengkondisikan udara dalam ruangan. Udara dalam ruangan perlu dikondisikan untuk menghasilkan kondisi yang membuat orang yang berada dalam ruangan tersebut merasa nyaman. Dan untuk saat ini AC split paling banyak dipilih orang karena tidak perlu banyak merusak dinding pada saat pemasangan, dan indoor unit yang terpasang sekaligus sebagai penghias ruangan, tidak berisik serta pemeliharaannya lebing mudah.

Akibat dari adanya pemanasan global, temperatur lingkungan kita semakin hari semakin meningkat. Hal ini akan dapat mempengaruhi kinerja dari AC Split yang digunakan, dimana pembuangan panas pada kondensor akan sedikit terhambat. Dengan semakin tingginya temperatur lingkungan maka akan meningkatkan temperatur kerja kondensor yang mengakibatkan menurunnya kinerja dari AC tersebut.

Air kondensat yang dihasilkan oleh indoor

AC Split biasanya disalurkan ke luar melalui pipa dan dibuang begitu saja ke lingkungan. Dari hasil pengukuran terhadap air kondensat didapatkan bahwa temperaturnya cukup rendah 19÷22 °C dan laju produksinya berkisar 16÷20 mL/min untuk AC Split dengan kapasitas 1 PK [1]. Air kondensat yang dihasilkan juga memiliki PH mendekati balans berkisar 6,9. Temperatur air kondensat yang cukup rendah ini seharusnya masih bisa dimanfaatkan. Sebagai contoh misalnya dimanfaatkan sebagai media pendinginan tambahan pada kondensor. Sampai saat ini belum banyak yang melakukan penelitian tentang pemanfaatan air kondensat ini.

Pada sisi lain usaha peningkatan kinerja AC Window pernah dilakukan dengan menggunakan sistem *evaporative cooling* pada kondensor AC yang digunakan [2]. Hasil yang didapatkan adalah adanya peningkatan performansi sampai 55%, penggunaan energi menurun sampai 15% dan kapasitas pendinginan meningkat sampai 33%. Hal ini sangat menguntungkan bila diterapkan

secara nyata, dimana penggunaan energi sampai saat ini terus mengalami peningkatan secara signifikan.

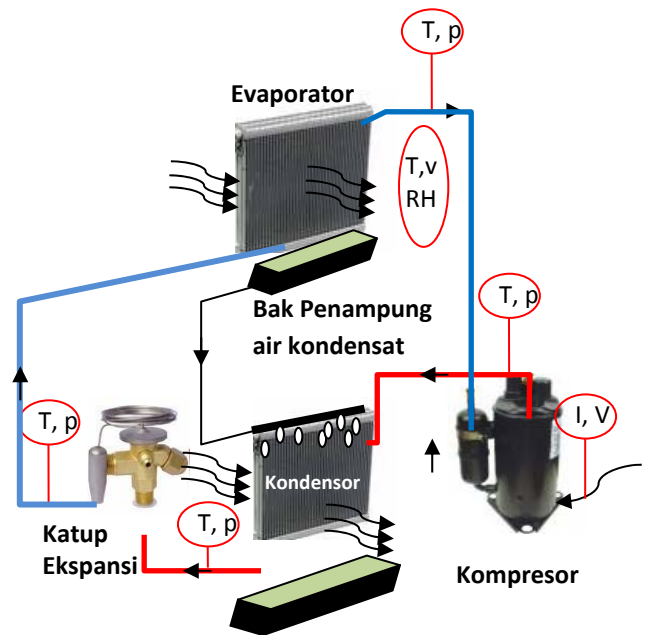
Penelitian penggunaan *evaporative cooling* pada kondensor AC Split juga pernah dilakukan dengan media pad yang terbuat dari sumbu kompor [3]. Hasil yang didapatkan bahwa *coefficient of performance* (COP) dan *energy efficiency ratio* (EER) dapat ditingkatkan sampai 20%. Udara lingkungan yang panas didinginkan terlebih dahulu dengan menggunakan pad *evaporative cooling* yang terbuat dari sumbu kompor, baru kemudian digunakan untuk mendinginkan kondensor. Dengan ini temperatur kerja kondensor menjadi lebih rendah sehingga tekanan kerja refrigeran di kondensor juga lebih rendah. Hal ini dapat menurunkan konsumsi energi listrik yang digunakan.

Invertigasi penggunaan air kondensat sebagai *pre-cooling evaporative* telah dilakukan pada AC Split 1Pk dalam usaha meningkatkan kapasitas pendinginan [4]. Hasil yang didapatkan bahwa kapasitas pendinginan dapat ditingkatkan sampai 11%, sedang kinerja sistem dapat ditingkatkan sampai 20%. Disamping itu temperatur udara dingin yang dihasilkan juga lebih rendah

Pada penelitian ini dilakukan analisis eksperimental aplikasi air kondensat sebagai *evaporative cooling* pada kondensor AC Split. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penggunaan air kondensat sebagai *evaporative cooling* pada kondensor terhadap efek pendinginan atau kapasitas pendinginan, *coefficient of performance* (COP) dan *energy efficiency ratio* sistem. Dengan temperatur udara dingin yang semakin rendah dan kapasitas pendinginan yang semakin besar, maka proses pendinginan ruangan akan semakin cepat. Dan pada akhirnya dapat menghemat dan menurunkan penggunaan energi listriknya.

### Metodologi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan secara bertahap, yang mencakup: persiapan, studi literatur, perancangan dan pembuatan peralatan eksperimen, pengambilan data eksperimen, pengolahan data dan analisis hasil pengujian. Adapun sketsa peralatan eksperimen dan penempatan alat ukur pada peralatan penelitian seperti pada sketsa Gambar-1



Gambar-1 Sketsa Disain Eksperimen

Sedangkan alat ukur yang digunakan berupa thermocouple, RH meter, Tang Ampere, Avometer, Anemometer dan pressure gauge.

Berdasarkan disain tersebut, dibuat peralatan eksperimen dengan menggunakan sebuah AC Split, seperti pada Gambar-2.

Data eksperimen yang diambil ada dua jenis yaitu; data eksperimen tanpa menggunakan air kondensat dan data eksperimen dengan menggunakan air kondensat. Adapun datanya meliputi data temperatur dan tekanan refrigeran pada masing-masing state, keadaan udara masuk dan keluar evaporator serta energi yang digunakan oleh kompresor seperti terlihat pada Gambar-1.

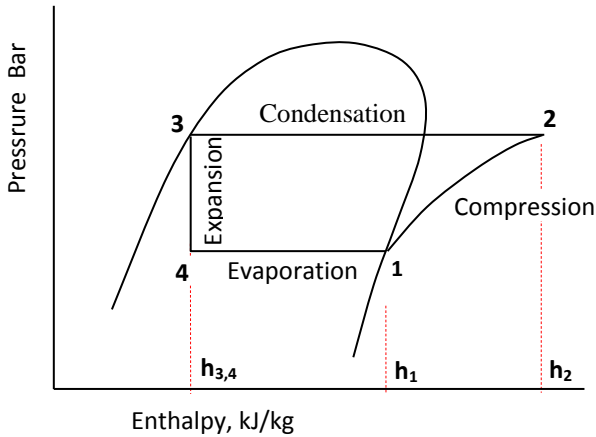
Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan kaedah-kaedah termodinamika.



Gambar-2. Peralatan Eksperimen

P-h Diagram Siklus Kompresi Uap [5,6]

Pada diagram Mollier, proses siklus refrigerasi menyangkut empat hal pokok yaitu penguapan – kompresi – pengembunan dan ekspansi, begitu seterusnya. Hal ini dapat digambarkan seperti pada Gambar-3, untuk mempermudah perhitungan perancangan ataupun pemeriksaan terhadap kondisi operasinya.



Gambar-3. Diagram Siklus Refrigerasi Kompresi.

Efek Refrigerasi (*Refrigeration Effect*)

Efek refrigerasi (ER) merupakan jumlah kalor yang diserap oleh refrigeran di dalam evaporator untuk setiap satu satuan massa refrigeran, terjadi pada proses 4 ke 1.

$$ER = h_1 - h_4 \quad (\text{kJ/kg}) \quad \dots\dots\dots (1)$$

dimana;

$h_1$  = enthalpy refrigeran pada sisi ke luar evaporator, (kJ/kg).

$h_4$  = enthalpy refrigeran pada sisi masuk evaporator, (kJ/kg).

Dengan mengetahui harga ER dan besarnya massa refrigeran yang dapat diuapkan tiap satu satuan waktu pada evaporator, maka dapat ditentukan besarnya kapasitas pendinginan (*Cooling Capacity*) dari sistem refrigerasi tersebut.

$$KR = ER \cdot \dot{m}_r \quad (\text{kJ/s}) \quad \dots\dots\dots (2).$$

dimana :

$\dot{m}_r$  = laju aliran massa refrigeran (kg/s).

Kerja Kompresi ( $W_k$ )

Kerja kompresi ( $W_k$ ) yang dibutuhkan pada proses kompresi uap refrigeran di dalam kompresor yang berlangsung secara *adiabatic reversible* ( $q = 0$ ), maka

$$W_k = h_2 - h_1 \quad (\text{kJ/kg}) \quad \dots\dots\dots (3)$$

dimana;

$h_2$  = enthalpy refrigeran pada sisi ke luar kompresor, (kJ/kg).

*Coefficient of Performance*) (COP)

Koefisien prestasi (COP) adalah suatu koefisien yang besarnya sama dengan efek refrigerasi (ER) dibagi dengan kerja kompresi ( $W_k$ )

$$COP = (ER) / (W_k) \quad \dots\dots\dots (4)$$

Daya yang Dibutuhkan Kompresor, ( $P_k$ )

Daya yang diperlukan oleh kompresor untuk mensirkulasikan refrigeran dapat ditentukan dengan persamaan

$$P_k = W_k \cdot \dot{m}_r \quad (\text{kW}) \quad \dots\dots\dots (5)$$

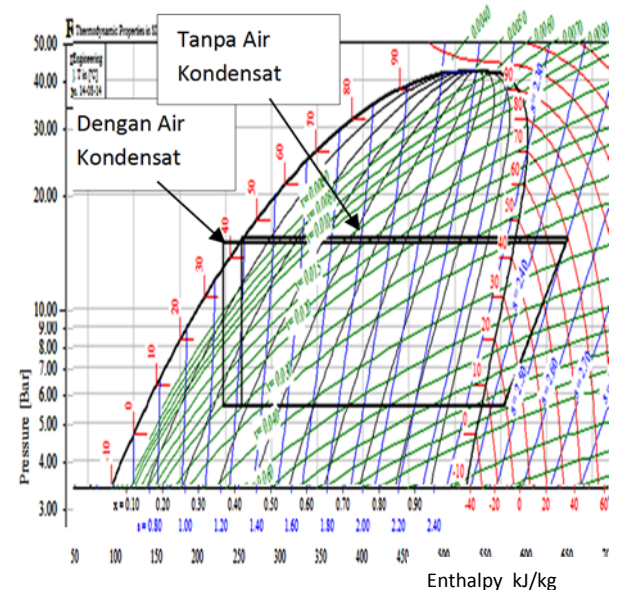
Energy Efficiency Ratio (EER)

EER adalah formula untuk mengetahui efisiensi energi pada suatu sistem yang didefinisikan sebagai perbandingan antara kapasitas energi yang dimanfaatkan (*cooling capacity dalam BTU/hr*) terhadap konsumsi daya keseluruhan (power input total dalam watt).

$$EER = \frac{\text{cooling capacity (BTU/hr)}}{\text{daya input total (watt)}} \quad \dots \quad (6)$$

Hasil dan Pembahasan

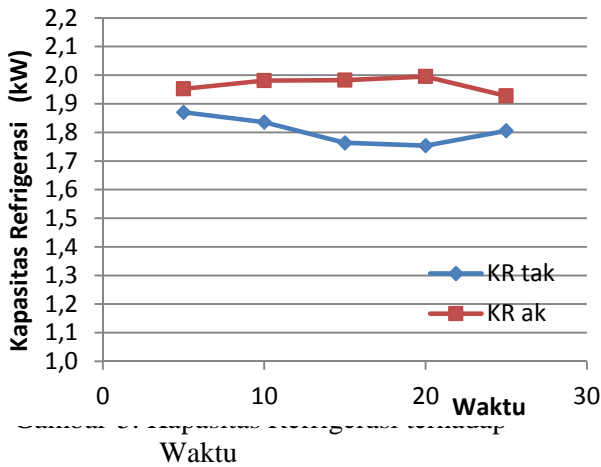
Berdasarkan data hasil pengujian yang didapatkan, data temperatur dan tekanan rata-rata kemudian diflot ke dalam p-h diagram dan hasilnya seperti pada Gambar-4.



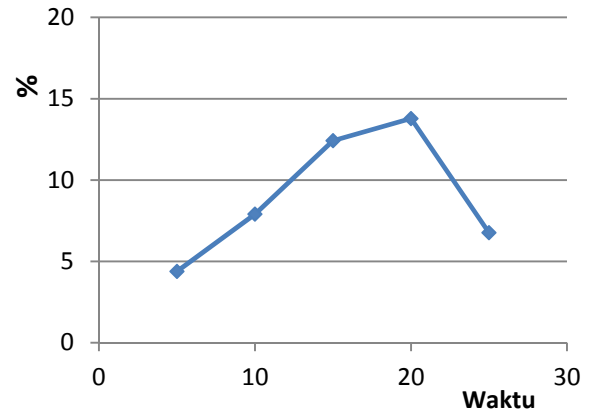
Gambar-4. P-h Diagram Sistem Tanpa dan dengan Air Kondensat

Dari hasil floting (Gambar-4) terlihat bahwa temperatur dan tekanan kerja kondensor dengan menggunakan air kondensat sebagai *evaporative cooling* sedikit lebih rendah dibandingkan dengan tanpa menggunakan air kondensat. Hal ini tentunya berimbas pada konsumsi energi yang digunakan oleh sistem menjadi lebih rendah. Disamping itu pada gambar juga terlihat bahwa sistem dengan menggunakan air kondensat, keadaan refrigeran keluar kondensor lebih *sub-cold* dibandingkan tanpa menggunakan air kondensat. Keadaan ini akan memperbesar efek refrigerasi yang dihasilkan pada evaporator dan pada akhirnya akan memperbesar kapasitas pendinginan.

Berdasarkan hasil floting dari keseluruhan data yang didapat ke dalam p-h diagram, maka akan didapat besarnya enthalpy pada masing-masing state. Besaran enthalpy ini digunakan untuk menghitung besarnya efek refrigerasi dan COP serta EER dari masing-masing kondisi sistem.



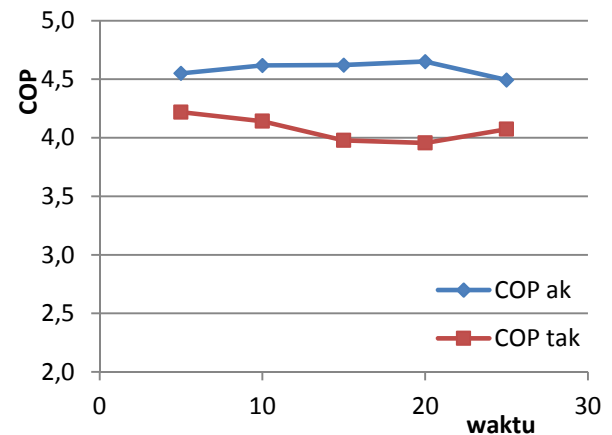
Kapasitas refrigerasi yang dihasilkan sistem dengan menggunakan air kondensat sebagai *evaporative cooling* pada kondensor ( $KR_{ak}$ ) lebih besar dibandingkan tanpa menggunakan air kondensat ( $KR_{tak}$ ) seperti terlihat pada Gambar-5. Hal ini akibat pendinginan tambahan dari air kondensat pada kondensor yang menyebabkan refrigeran cair yang keluar dari kondensor lebih *sub-cold*. Dengan lebih *sub-cold* keadaan refrigeran yang keluar kondensor menyebabkan efek refrigerasi pada evaporator lebih besar. Peningkatan kapasitas refrigerasi yang didapat dengan air kondensat ini berkisar 5÷15%, seperti terlihat pada Gambar-6.



Gambar-6. Prosentase Peningkatan Kapasitas Refrigerasi (KR)

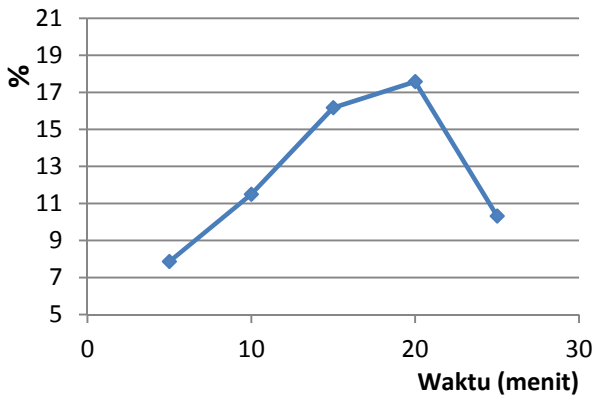
Penggunaan air kondensat sebagai *pre-cooling evaporative* juga dapat meningkatkan kapasitas refrigerasi 10÷20% [4]. Jadi limbah air kondensat ini cukup potensial diterapkan untuk meningkatkan kapasitas refrigerasi sistem.

Hasil analisis terhadap *coefficient of performance* (COP), terjadi peningkatan setelah sistem menggunakan air kondensat sebagai *evaporative cooling* pada kondensor. Pada Gambar-7 ditunjukkan besaran COP yang dicapai sistem tanpa menggunakan air kondensat mencapai rata-rata 4,1. Sedangkan pada sistem dengan menggunakan air kondensat, COP rata-ratanya bisa mencapai 4,6.



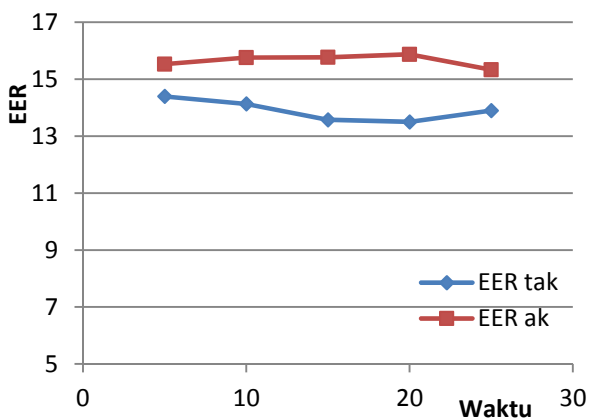
Gambar-7. Coefficient of Performance (COP) Sistem

Dilihat dari prosentase peningkatan COP yang didapat seperti terlihat pada Gambar-8, cukup signifikan berkisar antara 8÷18%. Sedikit lebih rendah bila dibandingkan bila air kondensat digunakan sebagai *pre-cooling evaporative* (rata-rata 20%) [4]



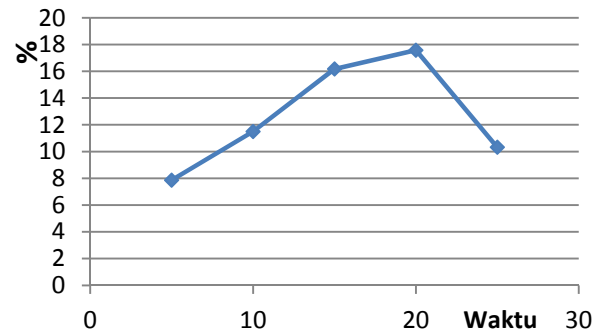
Gambar-8. Presentase Peningkatan COP

Efisiensi pada pengkondisian udara sering juga diukur dari perbandingan antara besarnya energi yang dimanfaatkan terhadap energi yang diperlukan untuk menggerakkan sistem, yang sering disebut dengan *energy efficiency ratio* (EER). EER sistem yang dicapai dengan menggunakan air kondensat sebagai *evaporative cooling* pada kondensor, lebih besar dibanding tidak menggunakan seperti terlihat pada Gambar-9.



Gambar-9. EER Sistem Terhadap Waktu

Makin besar nilai EER berarti semakin besar energi output yang bisa dimanfaatkan dengan input energi yang digunakan sistem semakin kecil. Pada Gambar-9 terlihat bahwa nilai EER dengan menggunakan air kondensat dapat mencapai rata-rata 15,6, sedangkan tanpa menggunakan air kondensat sebesar 13,9. Dalam hal ini terjadi peningkatan dengan kisaran 8÷18% (Gambar-10). Dengan semakin tingginya temperatur lingkungan maka akan menyebabkan naiknya temperatur kerja kondensor. Penggunaan air kondensat ini sebagai *evaporative cooling* pada kondensor sangat layak dipertimbangkan untuk diterapkan sehingga temperatur kerja kondensor dapat dipertahankan bahkan diturunkan.



Gambar-10. Presentase Peningkatan EER

### Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini dan analisis yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa dengan memanfaatkan air kondensat dari sistem *air conditioner* (AC) yang diuji sebagai pendingin tambahan (*evaporative cooling*) pada kondensor, dapat meningkatkan kapasitas refrigerasi dari sistem sekitar 5÷15%. Pemanfaatan air kondensat yang keluar dari evaporator juga dapat menurunkan konsumsi energi dari sistem AC. Dari hasil penelitian juga diperoleh peningkatan pada kinerja sistem AC dengan *coefficient of performance* (COP) dan *energy efficiency ratio* (EER) meningkat sekitar 8÷18%.

### Referensi

- [1] I.N. Sugiarta, Analisa Ph air kondensasi buangan AC split pada Politeknik Negeri Bali, LOGIC. 11 (2011)
- [2] E. Hajidavalloo, Application of evaporative cooling on the condenser of window-air-conditioner, Applied Thermal Engineering. 27 (2007) 1937–1943.
- [3] I.N. Ardita, Pengaruh penggunaan evaporative cooling dengan bahan sumbu kompor pada kondensor terhadap kinerja AC Split 1 Pk, Jurnal LOGIC. 12 (2012).
- [4] I.P. Sastra Negara, Investigasi peningkatan kapasitas pendinginan sistem AC melalui aplikasi air kondensat sebagai pre-cooling evaporative, Proseding Semi-nar Nasional "Senapati Technoprenour-ship" (2013) 218–222.
- [5] C.P. Arora, Refrigeration and Air Conditioning, 2<sup>nd</sup> ed., McGraw-Hill, Singapore, 2001.
- [6] S. Moran, Fundamental of Engineering Thermodynamic, 5<sup>th</sup> ed., John Wiley & Sons. Inc, New York, 2004.