

PENGARUH LAJU ALIRAN UDARA TERHADAP KINERJA SISTEM REFRIGERASI PADA TATA UDARA SENTRAL

M. Nuriyadi

Staf Pengajar Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara
Politeknik Negeri Bandung, Jl.Trs. Gegerkalong Hilir, Ciwaruga-Bandung

Email : Nuriyadi@gmail.com

ABSTRACT

The work of refrigeration system in central air conditioning should be set to the cooling load to obtain the peak performance of the system with efficient energy consumption. One factor that affects the cooling load is the conditioned air flow rate supplied in the system. The experiment is conducted by varying air flow rate (with 4 variations which are 1,152; 1,184; 1,216 and 1,280 m³/s respectively), to aim the optimum performance of the refrigeration system in the air conditioning system (central AHU) to consumption efficient level of power.

The results are that the refrigeration system performance is not much influenced by variations of air flow rate, where the highest coefficient of performance (COP) of the refrigeration system (5.69) was obtained by air flow rate (debit) of 1,184 m³/s, about 4% of the COP on the largest debit. The highest compression ratio (3.5) was obtained at the lowest air flow rate (1.152 m³/s), and the lowest average of power consumption is obtained at the lowest air flow rate 1.152 m³/s, 9% lower than power consumption at the greatest air flow. While the performance of the HVAC system is affected by variations in air flow rate, where is the greatest cooling capacity (62.364 kW) and the highest EER (3.99) was obtained at the highest flow rate of 1.280 m³/s.

Keywords: air flow rate, performance, central air conditioning.

PENDAHULUAN

Sistem tata udara sentral atau biasa disebut *Air Handling Unit (AHU)* adalah peralatan pengolah udara yang di dalamnya terdapat kipas dan peralatan untuk sirkulasi, penyaringan, pendinginan, pemanasan, dehumidifikasi, humidifikasi, dan pencampuran udara. Peralatan ini merupakan salah satu yang paling banyak mengkonsumsi energi (listrik) yaitu sekitar 50% [1].

Sistem *AHU* ada yang menggunakan koil air dingin sebagai pendingin, namun banyak juga yang menggunakan evaporator sistem refrigerasi jenis ekspansi langsung.

Sistem ekspansi langsung merupakan salah satu sistem pengkondisi yang banyak digunakan terutama dalam bentuk unitary seperti window unit, split unit dan mobil. Disamping itu sistem ini juga digunakan pada sistem tata udara sentral. Komponen utama sistem ini terdiri dari evaporator, kompresor, kondensor dan katup ekspansi.

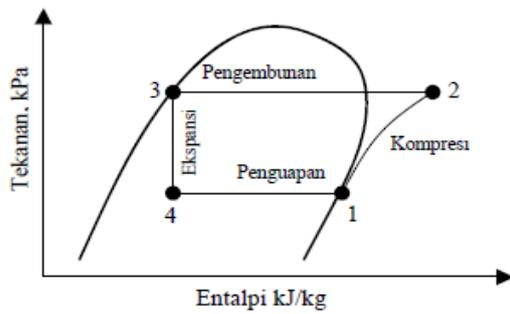
Penelitian yang dilakukan Senoadi (2015) menyimpulkan semakin besar laju aliran air *fan coil unit (FCU)* pada sistem *water chiller* maka semakin besar kemampuan koil menyerap panas [2]. Penelitian tersebut belum mengkaji kapasitas pendinginan koil dari sisi udara yang melaluinya. Hal yang sama juga dilakukan Rasta (2007) yang menyimpulkan jika laju aliran volume air pendingin semakin besar maka nilai *NTU (Number of Transfer Unit)* juga mengalami peningkatan [3]. Pada penelitian ini akan dikaji mengenai

penyerapan panas pada sistem refrigerasi dan pelepasan kalor dari sisi udara.

Koil pendingin yang terpasang pada unit pengolah udara merupakan penukar kalor yang akan digunakan untuk mendinginkan udara yang akan disuplai ke ruangan. Pada koil pendingin terjadi pertukaran kalor antara udara dan refrigeran. Kalor yang dilepaskan akan diserap oleh refrigeran sehingga udara yang melewati koil pendingin akan turun temperaturnya. Menurut Pita (2002) By pass factor dan Prestasi koil pendingin tergantung pada: (1) Jumlah kalor sensibel dan kalor laten ruangan, (2) Kondisi udara masuk dan keluar koil, (3) Konstruksi koil, (4) Kecepatan fluida koil (refrigeran atau air) dan (5) Debit udara [4].

Daur kompresi uap dapat dilihat pada gambar 1:

- 1 – 2 merupakan proses kompresi, dari uap jenuh menuju ke tekanan kondensasi
- 2 – 3 merupakan proses pelepasan kalor pada tekanan konstan, menyebabkan penurunan panas lanjut (*desuperheating*) dan pengembunan refrigeran
- 3 – 4 merupakan proses ekspansi *unreversibel* pada entalpi konstan, dari fase cair jenuh menuju tekanan evaporasi.
- 4 – 1 merupakan proses penyerapan kalor pada tekanan konstan yang menyebabkan terjadinya penguapan menuju uap jenuh.



Gambar 1. Siklus sistem refrigerasi

Dari diagram tersebut dapat dicari kinerja mesin refrigerasi, yang meliputi efek refrigerasi, kerja kompresor spesifik, dan koefisien kinerja (*coefficient of performance, COP*) [5]. Efek refrigerasi, atau efek pendinginan didefinisikan sebagai selisih entalpi refrigeran keluaran dan masukan evaporator:

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

Kerja kompresor spesifik, w_k , didefinisikan sebagai selisih entalpi refrigeran keluaran dan masukan kompresor:

$$w_k = h_2 - h_1 \quad (2)$$

Sementara itu, pembuangan panas oleh kondenser, dapat dihitung dengan

$$q_c = h_3 - h_2 \quad (3)$$

Dari besaran pertama dan kedua dapat dihitung koefisien kinerja (*coefficient of performance, COP*) sistem refrigerasi, yang merupakan perbandingan antara efek refrigerasi dengan kerja kompresor

$$COP = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \quad (4)$$

Kapasitas pendinginan evaporator dapat dicari dari hasil kali antara selisih entalpi keluaran dan masukan evaporator dengan laju aliran massa refrigeran, atau

$$Q_e = \dot{m}(h_1 - h_4) \quad (5)$$

dimana \dot{m} adalah laju aliran massa refrigeran. Dengan cara yang sama, kapasitas kompresor dapat dihitung dari hasil kali selisih entalpi keluaran dan masukan kompresor dengan laju aliran massa refrigeran, atau

$$W_k = \dot{m}(h_2 - h_1) \quad (6)$$

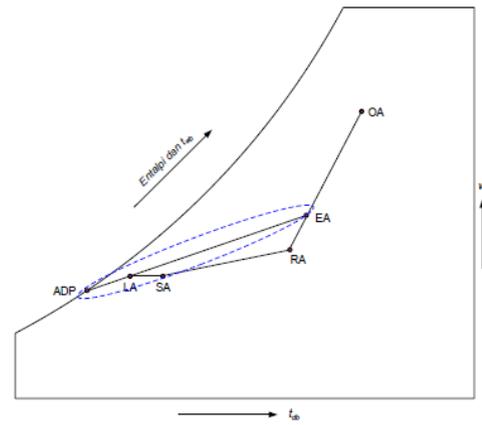
Kemampuan coil pendingin untuk menyerap panas yang terdapat pada udara dapat diketahui dengan hubungan berikut [2,6]:

$$Q_{coil} = \dot{m}x(h_{EA} - h_{LA}) \quad (7)$$

Dimana \dot{m} = laju aliran massa udara, kg/s

h_{EA} = rasio kelembaban udara masuk coil, kJ/kg

h_{LA} = rasio kelembaban udara keluar coil, kJ/kg



Gambar 2. Proses pendinginan udara pada diagram psikrometrik

Udara yang melewati coil pendingin akan mengalami proses pendinginan dan pengembunan. Laju pengembunan yang terjadi dapat dicari menggunakan persamaan berikut [1]:

$$\dot{w} = \dot{m}x(\omega_{EA} - \omega_{LA}) \quad (8)$$

dimana \dot{m} = laju aliran massa udara, kg/s

ω_{EA} = rasio kelembaban udara masuk coil, g/kg

ω_{LA} = rasio kelembaban udara keluar coil g/kg

Proporsi udara yang tidak melewati coil pendingin dapat diperoleh dengan[6]:

$$BF = \frac{(t_{LA} - t_{ADP})}{(t_{EA} - t_{ADP})} \quad (9)$$

Dimana t_{EA} = temperatur udara masuk coil, °C

t_{LA} = temperatur udara keluar coil, °C

t_{ADP} = temperatur coil, °C

Tujuan Penulisan ini adalah untuk mendapatkan prestasi optimal Air System refrigusi central AHU untuk efisiensi daya konsumsi

METODOLOGI PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental. Tahap yang dilakukan dalam penelitian ini adalah:

1. Penelitian dilakukan pada sistem refrigerasi tata udara sentral jenis ekspansi langsung (DX System)
2. Parameter yang divariasikan adalah laju aliran udara dengan mengatur bukaan saluran udara (*dampers*).
3. Pengambilan data dilakukan dengan mengukur tekanan isap dan buang kompresor, temperatur isap dan buang kompresor, temperatur sisi cair refrigeran dan temperatur keluaran coil evaporator, serta dengan mengukur arus dan tegangan yang mensuplai daya motor kompresor.
4. Selanjutnya dilakukan evaluasi dan analisis kinerja dari sistem refrigerasi dan tata udara pada AC sentral

Pengambilan data dilakukan selama kurang lebih 90 menit, dari sejak sistem belum dijalankan sampai dengan pengambilan data terakhir. Pada saat awal pengoperasian sistem refrigerasi, maka variasi debit yang digunakan adalah debit maksimal (1,280 m³/s). Hal ini dimaksudkan agar kapasitas pendinginan

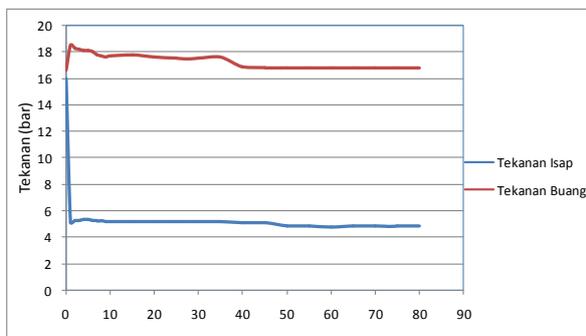
yang digunakan optimal. Selanjutnya debit udara yang diinginkan secara bertahap dikurangi dengan mengatur bukaan damper saluran udara. Variasi debit udara selanjutnya adalah 1,216 m³/s, 1,184 m³/s, dan 1,152 m³/s.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis sistem refrigerasi

Profil tekanan isap dan buang kompresor pada sistem refrigerasi yang digunakan oleh sistem tata udara AC sentral ditampilkan pada gambar 3. Gambar tersebut menunjukkan tekanan kerja dari sebelum dioperasikan sampai akhir pengambilan data. Tekanan isap rata-rata pada variasi bukaan saluran udara dengan debit 1,280 m³/s sebesar 5,2 bar, debit 1,216 m³/s sebesar 5,2 bar, debit 1,184 m³/s sebesar 5,0 bar, dan debit 1,152 m³/s sebesar 4,8 bar.

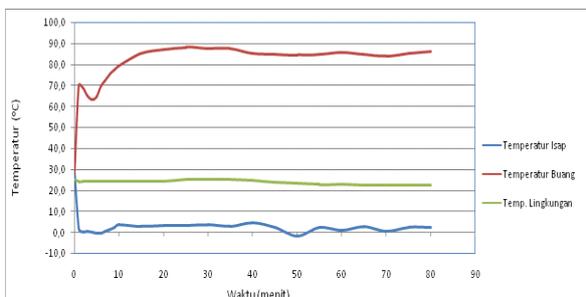
Sedangkan rata-rata tekanan buang dari kompresor pada variasi bukaan saluran udara dengan debit 1,280 m³/s sebesar 17,7 bar, debit 1,216 m³/s sebesar 17,5 bar, debit 1,184 m³/s sebesar 16,8 bar, dan debit 1,152 m³/s sebesar 16,8 bar.



Gambar 3. Tekanan kerja sistem refrigerasi

Profil temperatur isap dan buang kompresor pada sistem refrigerasi ditampilkan pada gambar 4. Temperatur isap rata-rata pada variasi bukaan saluran udara dengan debit 1,280 m³/s sebesar 3,2°C, debit 1,216 m³/s sebesar 3,2 °C, debit 1,184 m³/s sebesar 1,7°C, dan debit 1,152 m³/s sebesar 2,1 °C.

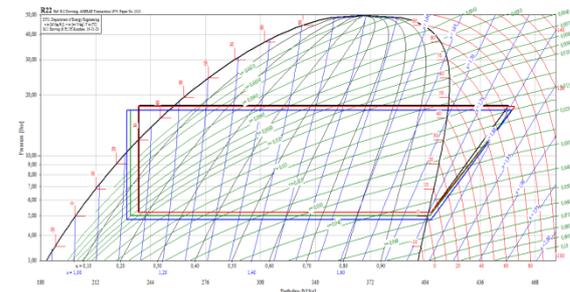
Sedangkan rata-rata temperatur keluar dari kompresor pada variasi bukaan saluran udara dengan debit 1,280 m³/s sebesar 83,8°C, debit 1,216 m³/s sebesar 87,7°C, debit 1,184 m³/s sebesar 84,7°C, dan debit 1,152 m³/s sebesar 84,9°C.



Gambar 4. Temperatur kerja sistem refrigerasi

Parameter tekanan dan temperatur kerja dari sistem refrigerasi digunakan untuk menentukan kinerja dari sistem refrigerasi pada tata udara sentral. Parameter

tersebut diplot ke dalam diagram tekanan-entalpi (P-h diagram). Gambar 5 menampilkan hasil plot parameter tekanan dan temperatur kerja dari sistem refrigerasi tata udara sentral dengan menggunakan refrigeran R-22.

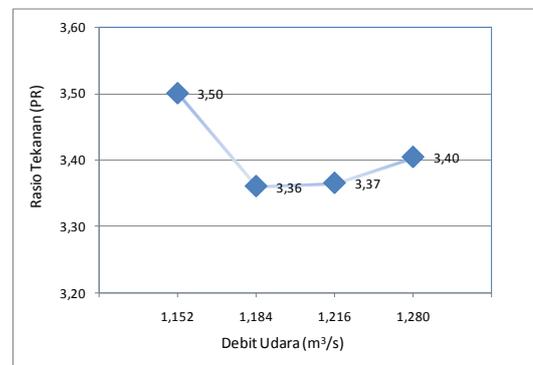


Gambar 5. Plot parameter pada diagram tekanan-entalpi

Keterangan:

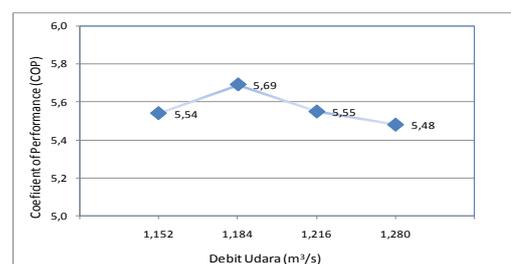
- : Siklus refrigerasi dengan debit udara 1,152 m³/s
- : Siklus refrigerasi dengan debit udara 1,184 m³/s
- : Siklus refrigerasi dengan debit udara 1,216 m³/s
- : Siklus refrigerasi dengan debit udara 1,280 m³/s

Perbandingan tekanan dari sistem refrigerasi sistem tata udara sentral ditampilkan pada gambar 6. Rasio tekanan (kompresi) tertinggi diperoleh pada bukaan debit udara 1,152 m³/s yaitu sebesar 3,50 dan terendah (3,36) pada debit udara 1,184 m³/s.



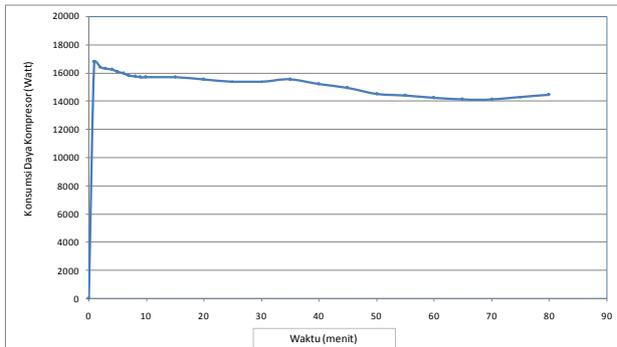
Gambar 6. Rasio tekanan (kompresi) untuk tiap debit udara

Sedangkan perbandingan koefisien kinerja dari sistem refrigerasi (*COP*) pada tiap bukaan debit udara ditampilkan pada gambar 7. *COP* tertinggi dari sistem refrigerasi diperoleh pada bukaan debit udara 1,184 m³/s yaitu sebesar 5,69 dan terendah (3,48) pada debit udara 1,280 m³/s.



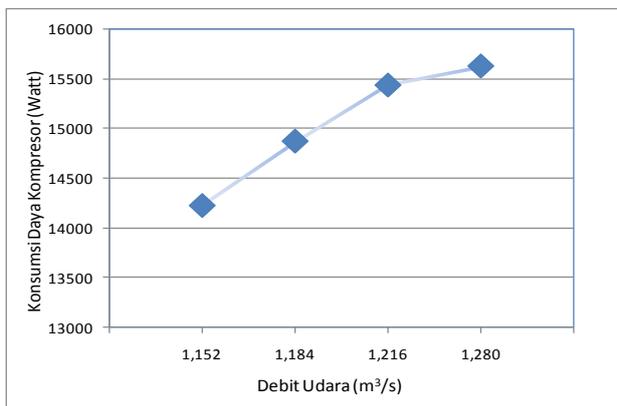
Gambar 7. Perbandingan koefisien kinerja (COP) sistem refrigerasi tiap debit aliran udara

Profil konsumsi daya listrik oleh kompresor selama pengambilan data ditampilkan pada gambar 8.



Gambar 8. Profil konsumsi daya kompresor

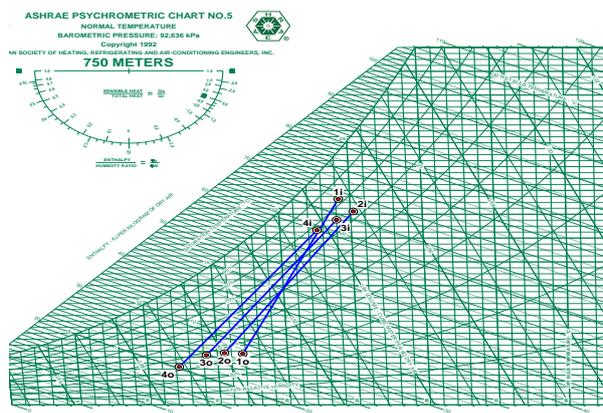
Sedangkan perbandingan konsumsi daya kompresor untuk tiap debit laju aliran udara ditampilkan pada gambar grafik 9. Konsumsi daya terendah diperoleh pada debit aliran udara 1,152 m³/s yaitu sebesar 14231 Watt, sedangkan konsumsi daya tertinggi pada bukaan debit aliran udara 1,280 m³/s yaitu sebesar 15622 Watt. Ini berarti beban pendinginan udara juga mempengaruhi konsumsi daya kompresor sistem refrigerasi.



Gambar 9. Perbandingan konsumsi daya kompresor tiap debit laju aliran udara

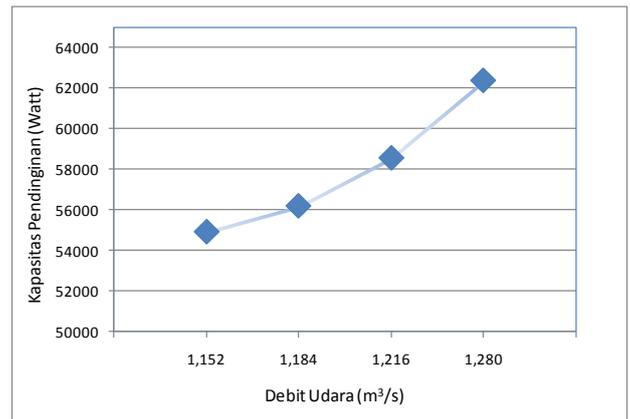
Analisis sistem tata udara

Analisis pada sisi udara dilakukan dengan mem-plot hasil pengukuran ke diagram Psikrometrik udara. Hasil pengeplotan disajikan pada gambar 10.



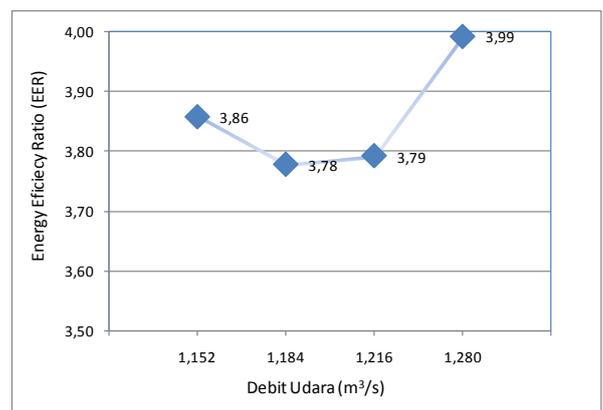
Gambar 10. Hasil plot parameter udara yang dikondisikan pada diagram Psikrometrik

Kapasitas pendinginan dari koil evaporator disajikan pada gambar 11. Gambar grafik tersebut menunjukkan bahwa debit aliran udara sangat mempengaruhi kapasitas pendinginan. Kapasitas pendinginan terbesar 62,364 Watt diperoleh dengan debit aliran udara 1,280 m³/s. Ini juga berarti bahwa kapasitas sistem refrigerasi pada sistem tata udara AC sentral yang digunakan masih mampu menangani beban pendingin udara pada debit aliran terbesar.



Gambar 11. Kapasitas pendinginan udara pada tiap debit aliran udara

Dengan membandingkan kapasitas pendinginan yang diperoleh dengan daya yang dikonsumsi, kita dapat memperoleh nilai Rasio Efisiensi Energi (*Energy Efficiency Ratio/EER*). Perbandingan EER untuk tiap variasi debit laju aliran disajikan pada gambar 12. EER tertinggi sebesar 3,99 diperoleh pada saat debit aliran udara 1,280 m³/s yang berarti pada debit tertinggi tersebut sistem bekerja paling efektif.



Gambar 12. *Energy Efficiency Ratio (EER)* pada tiap debit aliran udara

KESIMPULAN

Hasil penelitian tentang pengaruh debit/laju aliran udara terhadap kinerja sistem refrigerasi pada sistem tata udara AC sentral ini dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Kinerja sistem refrigerasi dari tata udara sentral tidak banyak dipengaruhi oleh laju aliran (debit) udara, hal ini terlihat dari:
 - Koefisien kinerja (*COP*) sistem refrigerasi tertinggi (5,69) diperoleh pada laju aliran udara (debit) 1,184 m³/s, hanya sekitar 4% dari *COP* pada debit yang terbesar.
 - Rasio kompresi tertinggi (3,5) diperoleh pada laju aliran (debit) udara terendah 1,152 m³/s
 - Sedang konsumsi daya kompresor terendah diperoleh pada laju aliran udara (debit) terendah 1,152 m³/s, sekitar 9% dari konsumsi daya pada debit udara yang terbesar.
2. Kinerja sistem tata udara lebih mendapat pengaruh dari variasi laju aliran udara (debit) dibanding kinerja sistem refrigerasi, ini ditunjukkan oleh:
 - Kapasitas pendinginan terbesar (62,364 kW) diperoleh pada laju aliran (debit) udara yang tertinggi 1,280 m³/s
 - EER yang tertinggi (3,99) juga diperoleh pada laju aliran (debit) udara yang tertinggi 1,280 m³/s

SARAN

Untuk mendapatkan korelasi yang lebih jelas dari pengaruh laju aliran udara (debit) terhadap sistem refrigerasi dari tata udara AC sentral, penelitian ini perlu dilanjutkan dengan variasi debit yang lebih banyak lagi sehingga diperoleh kinerja dari sistem refrigerasi maupun sistem tata udara yang optimum

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Pérez-Lombard L, Ortiz J, Pout C. A “Review on Buildings Energy Consumption Information. *Energy and Buildings*” 2008;40(3):394-398.
- [2] Senoadi, A.C. Arya, Zainuljajah, Erens, 2015, “Pengaruh Debit Aliran Air terhadap Proses Pendinginan pada *Mini Chiller*”, Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XIV, Banjarmasin
- [3] Rasta, I Made, 2007, “Pengaruh Laju aliran Volume *Chilled Water* terhadap NTU pada FCU Sistem AC Jenis *Water Chiller*”. Jurnal Teknik Mesin Vol. 9 No 2, Universitas Kristen Petra
- [4] Pita. Edward G, 2002, *Air Contioning Principles and systems, An Energy Approach*, Prentice Hall, Ohio
- [5] ASHRAE HANDBOOK, 2009, *Fundamental* , Atlanta
- [6] HAINES, 2004, *HVAC Sistems Design Handbook*. McGraw-Hill, Amerika
- [7] Wang,. Shan.K, 2001, *Handbook of Air Conditioning dan Refrigeration*, McGraw-Hill, Amerika