

Pengaruh Laju Aliran Volume *Chilled Water* Terhadap *NTU* pada *FCU* Sistem AC Jenis *Water Chiller*

I Made Rasta

Pusat Studi Teknik Refrigerasi dan Tata Udara , Jurusan Teknik Mesin
Politeknik Negeri Bali, Bali
Email: rasta_imade1@yahoo.co.id

ABSTRAK

AC water chiller merupakan alat pengkondisian udara yang dapat mengkondisikan udara lebih dari satu ruangan untuk satu perangkat AC, karena sistem *AC water chiller* terdiri dari dua siklus yaitu siklus primer dan siklus sekunder. Pada siklus primer yang bertindak sebagai fluida kerja adalah refrigeran dan pada siklus sekunder yang bertindak sebagai fluida kerja adalah air. Untuk mengetahui penyerapan panas terjadi secara maksimal oleh air dapat dilakukan dengan menganalisa *NTU* dari sistem *water chiller* tersebut. Variasi laju aliran volume dilakukan dari 13 ltr/mnt sampai 5 ltr/mnt dengan selisih 0,5 ltr/mnt setiap pengujian. Dari hasil pengolahan data dan analisa grafik didapat bahwa *NTU* terbesar yaitu 2,01 dicapai pada laju aliran volume 12 ltr/mnt yaitu sebesar 2,01, kemudian turun dan stabil. Jadi laju aliran volume *chilled water* berpengaruh terhadap *NTU* pada sisi *FCU* dari sistem *water chiller*.

Kata kunci: *NTU*, laju aliran volume, air pendingin, *AC water chiller*.

ABSTRACT

Water Chiller Air Conditioning (AC) is an air conditioning system that has ability for cooling more than one room. The water chiller AC have two cycles consist of primary and secondary cycles. In the primary cycle, refrigerant is used as working fluid while in the secondary cycle, the water is used as working fluid. To determine the heat absorbed by water, it can be done by analyzing *NTU* (Number of Transfer Unit) of the water chiller system. The variation of the chilled water volume rate applied in this research was from 13 l/min to 5 l/min, with the interval of 0.5 l/min. As a result, it was founded that the maximum value of *NTU* was 2.01, at chilled water volume rate of 12 l/min. Below that chilled water volume rate, values of *NTU* would decrease and stable. It can be concluded that the volume rate of chilled water influenced the value of *NTU* in the *FCU* (Fan Coil Unit) of the water chiller AC system.

Keywords: *NTU*, volume flow rate, chilled water, water chiller AC.

PENDAHULUAN

Air Conditioning adalah "Proses penanganan udara; untuk mengontrol secara serempak terhadap temperatur, kelembaban, kebersihan dan distribusi untuk mencapai kondisi yang diinginkan"[1,2]. Dengan melakukan pengkondisian udara tersebut setiap orang dapat mengatur suhu, kelembaban udara sesuai dengan yang diinginkan sehingga dapat menghasilkan pengkondisian udara nyaman (*comfort air conditioning*). Di masyarakat, alat pengkondisian udara ini biasa dikenal dengan sebutan AC (*Air Conditioning*), yang mana salah satunya adalah AC jenis *Water Chiller*.

AC jenis *Water Chiller* terdiri dari dua siklus yang saling berkaitan; siklus refrigeran primer dan siklus refrigeran sekunder [3, 4]. Pada siklus primer, refrigeran primer tersirkulasi melalui empat komponen utama AC yaitu kompresor, kondensor, katup

ekspansi, dan evaporator. Refrigeran dikompresikan oleh kompresor menuju kondensor kemudian menuju alat ekspansi dan evaporator. Prinsip kerja pada siklus primer ini merupakan prinsip kerja kompresi uap. Refrigeran primer mengalami evaporasi dengan menyerap panas refrigeran sekunder untuk mendinginkan *chilled water*. Pada siklus sekunder, refrigeran sekunder disirkulasikan oleh pompa dari *evaporator* ke AHU (*air handling unit*), *FCU* dan kembali lagi ke evaporator secara kontinyu.

Refrigerant adalah zat yang mengalir dalam sirkulasi sistem mesin pendingin baik sistem refrigerasi maupun *air conditioning* (AC) dan merupakan fluida kerja dalam proses penyerapan panas. *Refrigerant* dalam siklusnya dapat berubah wujud, menguap selama penyerapan kalor mengembun selama pelepasan kalor [5, 6, 7].

Refrigeran yang mengalir dalam siklus sekunder adalah air (*water*) yang disirkulasikan dengan bantuan pompa yang dapat diatur laju alirannya dengan bantuan *flow meter*. Tentu akan sangat penting untuk mengatur laju aliran volume air pendingin agar didapat pendinginan yang maksimal, karena air pendingin (*chilled water*) inilah yang nantinya akan mengambil panas ruangan [8]. Dengan laju aliran air pendingin yang tinggi, mungkin akan didapat pendinginan ruangan yang cepat, tetapi penyerapan panas ruangan tidak terjadi secara maksimal, karena dengan kecepatan yang tinggi akan mempengaruhi kemampuan fluida pendingin untuk mengambil panas ruangan. Disamping itu hal ini juga akan berdampak pada pelepasan panas yang terjadi pada kondensor, sehingga kondensor juga harus cepat melepas panas ke lingkungan. Hal ini juga akan berdampak pada kerja yang harus dilakukan kompresor juga harus semakin besar. Dilain pihak jika laju aliran volumenya rendah kemungkinan akan dapat menyerap panas secara maksimal tetapi, waktu untuk pendinginan ruangnya akan lama dicapai.

Kemudian, untuk mengetahui laju aliran volume yang sesuai untuk sistem *AC water chiller* ini agar diperoleh perpindahan panas yang maksimal dapat dilakukan dengan menganalisa NTU (*Number of Transfer Unit*) [9,10]. NTU merupakan parameter yang tidak berdimensi yang digunakan untuk menganalisa perpindahan panas yang terjadi pada suatu alat penukar panas. Yang akan menjadi tolak ukur adalah, bahwa dengan NTU yang besar akan didapat laju perpindahan panas yang besar dari suatu alat penukar panas.

Bermula dari adanya fenomena di atas muncul gagasan dari penulis untuk melakukan suatu penelitian untuk mengetahui pengaruh laju aliran volume *chilled water* terhadap NTU (*Number of Transfer Unit*) pada FCU (*Fan Coil Unit*) dari sistem AC jenis *water chiller*.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan melakukan pengujian langsung pada perangkat simulator AC sentral jenis *water chiller* di Laboratorium Refrigerasi dan Tata Udara, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bali. AC jenis *Water Chiller* ini sebenarnya merupakan AC Split yang dimodifikasi oleh Team Laboratorium Refrigerasi dan Tata Udara. Adapun spesifikasinya yaitu:

1. Kompresor: Rotari, jenis hermetik, 2 PK dilengkapi dengan HPS (*High Pressure Switch*), LPS (*Low Pressure Switch*), *External Overload Protector*
2. Refrigeran: R-407C
3. Kondensor: *Air-cooled (fin and tube)*
4. Evaporator: *Box (fin and tube)*

5. Flow Control :

- Chilled water:

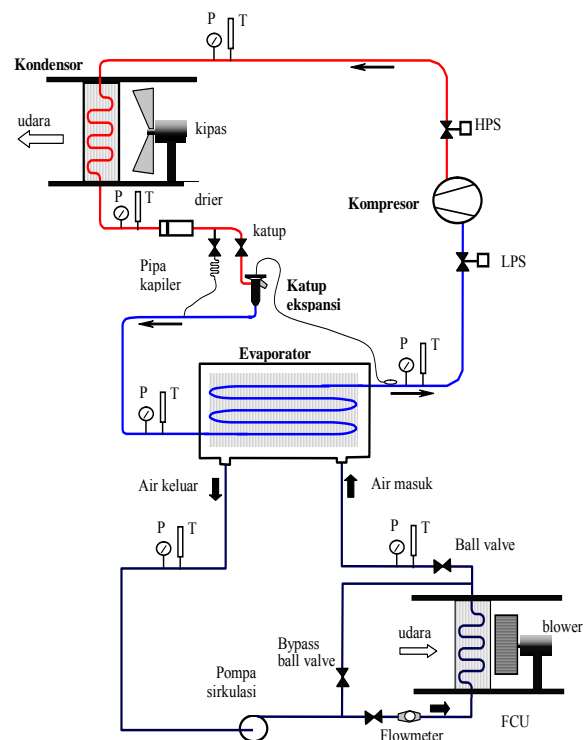
- o Stop keran ½ ” jenis bola pada sisi masuk dan keluar evaporator
- o *Flow-meter* pada sisi keluar *waterbox*
- o Pompa air dengan debit 42 liter / menit

6. Chilled water pipin :

- Pipa PVC ½ ”
- Isolasi: *harmaflex* dan aluminium *foil*
- *Thermometer* dan manometer pada sisi masuk dan keluar *evaporator*.

7. Alat Ukur: 8 buah termokopel (dalam °C), 1 buah *stop watch*, 1 buah *Flow-meter*.

Diagram Skematik Pengujian Water Chiller



Gambar 1. Diagram Skematik Perangkat Pengujian AC Jenis *Water Chiller*.

Langkah – Langkah Pengujian:

Adapun langkah-langkah yang dilakukan dalam pengujian ini adalah sebagai berikut:

1. Pengisian refrigeran R-407C ke dalam sistem *water chiller*
2. Menghidupkan pompa air, kemudian mengatur volume aliran air pendingin yang akan mengalir ke FCU. Untuk pengujian pertama volume diatur sebesar 13 ltr/mnt, selanjutnya diatur dengan selisih 0,5 ltr/mnt.
3. Mencatat temperatur lingkungan pada saat pengujian
4. Menghidupkan mesin/sistem *water chiller* secara keseluruhan
5. Mencatat laju aliran udara

6. Mencatat temperatur yang terbaca pada masing-masing *thermocouple* pada menit ke 5, 10, 15, ..., 60.
7. Mengulang langkah 2-6 dengan memvariasikan volume aliran air pendingin



Gambar 3. Flow Chart Perhitungan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian

Data dari hasil pengujian terhadap variasi laju aliran volume *chilled water* pada sistem AC jenis *water chiller* ditampilkan dalam lampiran 1a-c.

Perhitungan data Hasil Pengujian

Untuk contoh perhitungan diambil dari data hasil pengujian pada laju aliran volume *chilled water*

sebesar 13 ltr/mnit dengan mengambil nilai rata-rata untuk masing-masing temperatur pengujian:

- $T_{h,i} = 30,8\text{ }^{\circ}\text{C} = 303,8\text{ K}$
- $v = 22\text{ m/dt}$ (kecepatan udara)
- $T_{h,o} = 20,9\text{ }^{\circ}\text{C} = 293,9\text{ K}$
- $L = 0,9\text{ m}$ (lebar saluran udara FCU)
- $T_{c,i} = 16,4\text{ }^{\circ}\text{C} = 289,4\text{ K}$
- $Z = 0,08\text{ m}$ (tinggi saluran udara FCU)
- $T_{c,o} = 20,0\text{ }^{\circ}\text{C} = 293,0\text{ K}$
- $\dot{V} = 13\text{ ltr/mnt} = 0.0002167\text{ m}^3/\text{dt}$ (laju aliran volume *chilled water*)

Perhitungan Laju Aliran Massa

Perhitungan laju aliran massa udara (\dot{m}_h)

$$\dot{m}_h = \rho \cdot A \cdot v$$

- a. Menghitung Temperatur Rata – rata (\bar{T}_h)

$$\bar{T}_h = \frac{T_{h,i} + T_{h,o}}{2} = 298,85\text{ K} = 25,8\text{ }^{\circ}\text{C}$$

- b. Menghitung Massa jenis udara (ρ)

Diketahui : $\bar{T}_h = 298,85\text{ K} = 25,8\text{ }^{\circ}\text{C}$

Dari tabel A-15 *Properties of air at 1 atm pressure* didapat:

$T_{bawah} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan $\rho_{bawah} = 1,184\text{ kg/m}^3$

$T_{atas} = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan $\rho_{atas} = 1,164\text{ kg/m}^3$

Dengan metoda interpolasi dapat dihitung

$\rho_{(25,8)}$ yaitu:

$$\frac{\rho_{(25,8)} - \rho_{bawah}}{\rho_{atas} - \rho_{bawah}} = \frac{\bar{T}_h - T_{bawah}}{T_{atas} - T_{bawah}};$$

$$\rho_{(25,8)} = 1,1808\text{ kg/m}^3$$

- c. Menghitung luas saluran udara FCU (A)

$$A = Z \cdot L = 0,072\text{ m}^2$$

Jadi, laju aliran massa udara untuk kecepatan aliran udara (v) = 22 m/dt adalah sebagai berikut:

$$\dot{m}_h = \rho \cdot A \cdot v = 1,8704\text{ kg/dt.}$$

Perhitungan laju aliran massa air (\dot{m}_c)

$$\dot{m}_c = \rho \cdot \dot{V}$$

- a. Menghitung Temperatur Rata – rata (\bar{T}_c)

$$\bar{T}_c = \frac{T_{c,i} + T_{c,o}}{2} = 291,2\text{ K} = 18,2\text{ }^{\circ}\text{C}$$

- b. Menghitung Massa jenis air (ρ)

$$\rho_{(18,2)} = \dots\dots?$$

Dari tabel A-9 *Properties of saturated water* didapat:

$T_{bawah} = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan $\rho_{bawah} = 999,1\text{ kg/m}^3$

$T_{atas} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan $\rho_{atas} = 998\text{ kg/m}^3$

Dengan metoda interpolasi dapat dihitung $\rho_{(18,2)}$ yaitu:

$$\frac{\rho_{(18,2)} - \rho_{bawah}}{\rho_{atas} - \rho_{bawah}} = \frac{\bar{T}_c - T_{bawah}}{T_{atas} - T_{bawah}}; \rho_{(18,2)} = 998,396 \text{ kg/m}^3$$

Jadi laju aliran massa air dapat (untuk $\dot{V} = 13 \text{ ltr/mnt} = 0,0002167 \text{ m}^3/\text{dt}$) sebagai berikut:
 $\dot{m}_c = \rho \cdot \dot{V} = 0,216 \text{ kg/dt}$.

Perhitungan Perpindahan Panas Aktual

Perhitungan C_c

$$C_c = \dot{m}_c \cdot c_{p,c}$$

Kapasitas sfesifik untuk fluida dingin ($c_{p,c}$) yang akan dipakai adalah $c_{p,c}$ pada temperatur rata-rata untuk fluida dingin (air), $\bar{T}_c = 291,2 \text{ K} = 18,2 \text{ }^\circ\text{C}$.

Dari tabel A-9 *Properties of saturated water* didapat:

$$T_{bawah} = 15 \text{ }^\circ\text{C} \text{ dan } c_{p, bawah} = 4186 \text{ J/kg }^\circ\text{C}$$

$$T_{atas} = 20 \text{ }^\circ\text{C} \text{ dan } c_{p, atas} = 4182 \text{ J/kg }^\circ\text{C}$$

Dengan metoda interpolasi ($c_{p,c}$) dapat dihitung yaitu :

$$\frac{c_{p,c} - c_{p,bawah}}{c_{p,atas} - c_{p,bawah}} = \frac{\bar{T}_c - T_{p,bawah}}{T_{p,atas} - T_{p,bawah}};$$

$$c_{p,c} = 4183,44 \text{ J/kg }^\circ\text{C}$$

$$\text{Maka : } C_c = \dot{m}_c \cdot c_{p,c} = 903,62 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

Perhitungan C_h

$$C_h = \dot{m}_h \cdot c_{p,h}$$

Kapasitas sfesifik untuk fluida panas ($c_{p,h}$) yang akan dipakai adalah $c_{p,h}$ pada temperatur rata – rata untuk fluida panas (udara), $\bar{T}_h = 298,85 \text{ K} = 25,8 \text{ }^\circ\text{C}$.

Dari tabel A-15 *Properties of air at 1 atm pressure* didapat $c_{p,h} = 1007 \text{ J/kg }^\circ\text{C}$ untuk $\bar{T}_h = 25,8 \text{ }^\circ\text{C}$.

$$C_h = \dot{m}_h \cdot c_{p,h} = 1884,097 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

Dari harga C_c dan C_h hasil perhitungan diatas maka didapat harga $C_{min} = C_c = 903,62 \text{ W/}^\circ\text{C}$

Perhitungan Perpindahan Panas Maksimum

$$Q_{max} = C_{min} (T_{h,i} - T_{c,i}) = 13012,128 \text{ W}$$

Perhitungan Koefisien Perpindahan Panas

$$U.A = \frac{\dot{Q}_{max}}{\Delta T_{lm}}$$

Alat penukar panas yang digunakan adalah alat penukar panas aliran melintang maka,

$$\Delta T_{lm} = F \cdot \Delta T_{lm,CF}$$

dimana faktor koreksi yang dipakai adalah 1 ($F=1$)

$$\Delta T_{lm,CF} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln(\Delta T_2 / \Delta T_1)} \text{ dimana;}$$

$$\left[\begin{array}{l} \Delta T_1 = T_{h,1} - T_{c,1} = T_{h,i} - T_{c,o} \\ \Delta T_2 = T_{h,2} - T_{c,2} = T_{h,o} - T_{c,i} \end{array} \right]$$

$$\Delta T_{lm,CF} = \frac{4,5 - 10,8}{\ln(4,5/10,8)} = 7,2 \text{ }^\circ\text{C}$$

kemudian : $\Delta T_{lm} = F \cdot \Delta T_{lm,CF} = 7,2$

$$\text{Jadi, } U.A = \frac{\dot{Q}_{max}}{\Delta T_{lm}} = 1807,24 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

Menghitung NTU (*Number of Transfer Unit*)

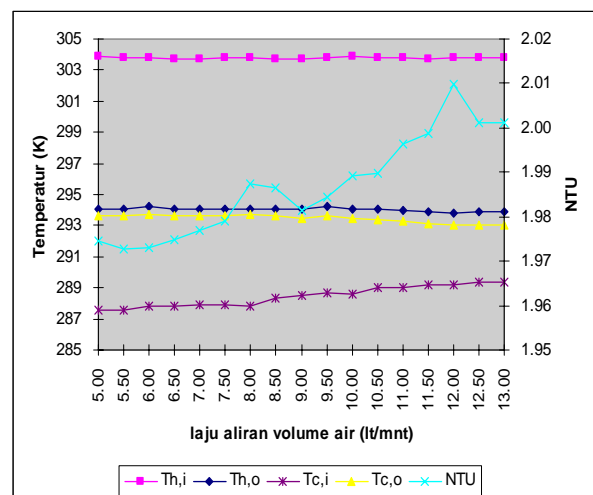
$$NTU = \frac{U.A}{C_{min}} = 2,00$$

Hasil Perhitungan

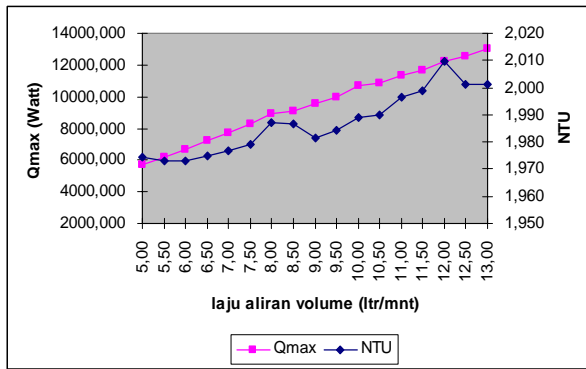
Tabel 1. Hasil perhitungan untuk masing-masing laju aliran volume chilled water:

\dot{V} (ltr/mnt)	v (m/s)	Udara ($^\circ\text{C}$)		Air ($^\circ\text{C}$)		\dot{m}_c (kg/dt)	\dot{m}_h (kg/dt)	Q_{max} (Watt)	U.A (W/ $^\circ\text{C}$)	NTU
		$T_{h,i}$	$T_{h,o}$	$T_{c,i}$	$T_{c,o}$					
5	22	30,90	21,10	14,80	20,60	0,08	1,87	6883,158	688,47	1,975
5,5	22	30,80	21,10	14,80	20,60	0,09	1,87	6213,121	756,63	1,973
6	22	30,80	21,20	14,80	20,70	0,10	1,87	6694,080	825,43	1,973
6,5	22	30,70	21,10	14,80	20,60	0,11	1,87	7206,664	895,12	1,975
7	22	30,70	21,10	14,90	20,60	0,12	1,87	7712,138	964,98	1,977
7,5	22	30,80	21,10	14,90	20,60	0,13	1,87	8315,303	1034,92	1,979
8	22	30,80	21,10	14,80	20,70	0,13	1,87	8925,440	1108,60	1,987
8,5	22	30,70	21,10	15,30	20,60	0,14	1,87	9127,308	1177,37	1,987
9	22	30,70	21,10	15,50	20,50	0,15	1,87	9538,608	1243,38	1,981
9,5	22	30,80	21,20	15,70	20,60	0,16	1,87	10002,003	1314,39	1,984
10	22	30,90	21,10	15,60	20,50	0,17	1,87	10668,078	1386,98	1,989
10,5	22	30,80	21,10	16,00	20,40	0,18	1,87	10835,110	1456,74	1,990
11	22	30,80	21,00	16,00	20,30	0,18	1,87	11351,176	1531,25	1,996
11,5	22	30,70	20,90	16,20	20,10	0,19	1,87	11626,588	1602,68	1,999
12	22	30,80	20,80	16,20	20,00	0,20	1,87	12215,878	1681,63	2,010
12,5	22	30,80	20,90	16,40	20,00	0,21	1,87	12550,320	1744,03	2,001
13	22	30,80	20,90	16,40	20,00	0,22	1,87	13052,333	1813,80	2,001

Grafik Hasil Penelitian



Gamabr 4. Grafik Hubungan NTU, Temperatur dan Laju Aliran Volume



Gambar 5. Grafik Hubungan NTU, Qmax Terhadap Laju Aliran Volume.

Analisa Grafik

Dari Gambar 4. dapat dianalisa bahwa semakin besar laju aliran volume air pendingin maka akan berpengaruh terhadap temperatur masuk air pendingin ($T_{c,i}$) ke dalam FCU dan temperatur keluar air pendingin ($T_{c,o}$) serta temperatur udara yang dihembuskan kelingkungan ($T_{h,o}$) oleh FCU yang akan mempengaruhi dalam perhitungan ΔT_{lm} , yang juga secara langsung dapat berpengaruh terhadap nilai NTU. Grafik tersebut memperlihatkan bahwa semakin besar laju aliran volume air pendingin maka temperatur air pendingin yang masuk FCU ($T_{c,i}$) semakin besar sedangkan air pendingin yang keluar FCU ($T_{c,o}$) semakin kecil. Hal ini mengakibatkan dengan meningkatnya laju aliran volume chilled water maka selisih antara temperatur air pendingin masuk dan keluar ($T_{c,i}$ dan $T_{c,o}$) semakin kecil yang akan berpengaruh terhadap NTU. Hal ini terjadi karena semakin besar laju aliran volume maka kemampuan air pendingin untuk menyerap panas dari lingkungan semakin cepat yang akan berpengaruh terhadap pendinginan yang dilakukan oleh refrigerant pada evaporator. Dengan demikian pendinginan yang dilakukan pada evaporator oleh refrigeran terhadap air pendingin akan terjadi secara maksimal. Artinya penyerapan panas yang dilakukan oleh air pendingin terhadap kalor pada ruangan yang dikondisikan sebanding dengan penyerapan panas yang dilakukan refrigeran terhadap panas yang diserap oleh air pendingin.

Tetapi sebaliknya, dengan laju aliran volume air pendingin yang semakin kecil mengakibatkan penyerapan panas yang dilakukan oleh refrigerant terhadap air pendingin kurang maksimal. Hal ini terjadi karena untuk laju aliran pendingin yang rendah mengakibatkan perpindahan panas yang terjadi antara refrigerant dengan air pendingin terjadi tidak maksimal. Dapat dikatakan bahwa perpindahan panas yang dilakukan oleh refrigeran terhadap air pendingin terjadi lebih cepat jika dibandingkan terhadap penyerapan panas yang dilakukan air pendingin pada FCU terhadap udara dalam ruangan yang dikondisikan.

Gambar 5. memperlihatkan hubungan antara laju aliran volume air pendingin terhadap perpindahan panas maksimum (Q_{max}) dan NTU. Pada awalnya terjadi sedikit penurunan NTU dari laju aliran volume 5 ltr/mnt sampai 5,5 ltr/mnt, kemudian perlahan-lahan terjadi peningkatan NTU yaitu dari laju aliran volume 5,5 ltr/mnt sampai 7,5 ltr/mnt dengan nilai NTU berkisar antara 1,973 sampai 1,979. Peningkatan NTU yang cukup tajam terjadi pada laju aliran volume air pendingin antara 7,5-8,5 ltr/mnt, kemudian terjadi sedikit penurunan nilai NTU sampai pada laju aliran volume 9 ltr/mnt, kemudian kembali terjadi peningkatan nilai NTU pada laju aliran volume air pendingin 12 ltr/mnt. Nilai NTU untuk laju aliran volume air pendingin 12 ltr/mnt adalah sebesar 2,01 yang merupakan nilai NTU maksimum yang dapat dicapai oleh AC water chiller pada sisi FCU. Dari grafik dapat juga diketahui bahwa laju perpindahan panas maksimum dan NTU (*number of transfer unit*) cenderung meningkat seiring dengan kenaikan laju aliran volume air pendingin. Peningkatan nilai perpindahan panas dan NTU terjadi karena semakin besar laju aliran volume chilled water maka berpengaruh terhadap penyerapan panas oleh air pendingin (*chilled water*) terhadap udara ruangan. Dengan meningkatnya laju aliran volume maka, kecepatan fluida juga meningkat, sehingga pengambilan panas ruangan juga meningkat yang menyebabkan perubahan temperatur (ΔT_{lm}) semakin kecil yang mengakibatkan meningkatnya nilai NTU. Naik turunnya nilai NTU, sangat dipengaruhi oleh perubahan temperatur chilled water yang terjadi pada masing-masing laju aliran volume chilled water. Kemudian laju perpindahan panas maksimum dari grafik 4.2 terjadi pada laju aliran volume air pendingin (*chilled water*) 13 ltr/mnt yaitu sebesar 13.052,333 Watt.

KESIMPULAN

- Laju aliran volume air pendingin berpengaruh terhadap NTU (*Number of Transfer Unit*) dari sistem AC water chiller. Semakin besar laju aliran volume maka NTU juga mengalami peningkatan
- NTU (*Number of Transfer Unit*) terbesar diperoleh untuk laju aliran volume air pendingin 12 Ltr/mnt yaitu sebesar 2,01.

DAFTAR PUSTAKA

1. ASHRAE, *Handbook of Fundamentals*, American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers. SI Edition, 2005.
2. Yuli Setyo Indartono, "Perkembangan Terkini Teknologi Refrigerasi (1)", 2006, www.beritaipstek.com.
3. Stoecker, W.F., *Refrigeration and Air Conditioning*. Second Edition, McGraw-Hill Book Co-Singapore, 1982.

