

**INVESTIGASI UNJUK KERJA
PROSES PEMANASAN DAN HUMIDIFIKASI PADA
AIR CONDITIONING UNIT A660**

(Performance Investigation of Heating and Humidification Process on Air Conditioning Unit A660)

BAGUS TRI WIDIASTOKO, MUHAMMAD NADJIB, TITO HADJI AGUNG S*

*Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik UMY

ABSTRACT

Air conditioning instrument is one solution to create the conditions of a place as you wish. Application of air conditioning equipment used in houses, offices, market, transportation and other applications where human comfort is not a primary consideration, such as: computers, laboratories, photography, chemical industry, farming, food storage, etc. Hilton Air Conditioning Laboratory Unit A660 contained in the Laboratory of Machine Engineering Muhammadiyah University of Yogyakarta (UMY) provide settings for air conditioning process that can be demonstrated and investigated. performance of maximal heating humidification of Hilton Air Conditioning Laboratory Unit A660 need to know by doing this research. The thermocouples had calibrated with standard thermometer before the tests performed. There are several variation was performed in the pre-heater and re-heater (0kW, 1kW, 2kW). The testing also involved with boiler various 0kW, 2kW and 3kW. The analysis of research used adiabatic saturation assumption where the parameters used were dry bulb temperature (TDB) and wet bulb temperature (TWB) obtained from the test data acquisition. The results showed that the greater power of heater the greater the temperature of dry bulb (TDB) which also affects the increase in enthalphy. Meanwhile, the greater the power boiler that is used causes increased levels of water vapor in the air as shown by the increase in wet bulb temperature wet (TWB) and absolute humidity of air. Warming maximum of 67.5 ° C occurred on fan voltage 100Volt, 0kW boiler, 2kW pre-heater and 1kW re-heater. Maximum quantity of water vapor contained in the duct of 0.0313kgH₂O/kg Dry air reached on B suction with fan variation 100Volt, 5kW boiler, pre-heater 2kW, re-heater 2kW.

Keywords: Heating, Air conditioning, Humidification, moist air temperature, psychrometric.

PENDAHULUAN

1. Latar belakang

Alat pengkondisi udara merupakan salah satu solusi untuk menciptakan kondisi suatu tempat sesuai keinginan. Aplikasi alat pengkondisian udara digunakan di rumah tangga, perkantoran, sarana perbelanjaan umum, sarana transportasi darat, laut maupun udara serta aplikasi lain dimana kenyamanan manusia bukan menjadi pertimbangan utama, contohnya seperti komputer, laboratorium, fotografi, industri kimia, peternakan, penyimpan makanan (food storage) dan sebagainya. Refrigerasi dan pengkondisian udara adalah saling berkaitan juga mempunyai ruang lingkup yang sama yakni dalam hal temperatur dan kelembaban.

Fungsi utama dari berbagai unit pengkondisian udara adalah untuk menghadirkan lingkungan yang nyaman/sesuai khususnya kesegaran udara, temperature, kelembaban dan perpindahan udara. Hilton Air Conditioning Laboratory Unit A660 yang terdapat di Laboratorium Prestasi Mesin Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta (UMY) memberikan pengaturan proses pengkondisian udara yang dapat didemonstrasikan dan diinvestigasi. Unjuk kerja proses pemanasan dan pelembaban maksimal dari alat Hilton Air Conditioning Laboratory Unit A660 perlu diketahui dengan melakukan penelitian ini.

2. Rumusan masalah

Pada Panduan alat Air Conditioning Laboratory unit A660 ini belum diketahui unjuk kerja maksimalnya, maka pokok permasalahan dari penelitian ini adalah menentukan seberapa besar proses pemanasan dan pelembaban yang dapat dilakukan terhadap udara dalam alat *Air Conditioning Laboratory unit A660*.

3. Batasan masalah

Pada penelitian alat *AC Lab. Unit A660* ini permasalahan dibatasi pada:

1. Pengujian unjuk kerja thermal dibatasi pada variasi daya alat pemanas/Heater (0kW, 1kW, 2kW) dan Humidifier (*Boiler 0kW, 3kW dan 5kW*)
2. Tidak ada laju pendinginan oleh *refrigeration plan*.
3. Kondisi pengukuran diasumsikan konstan (*steady-flow*).
4. Pengaruh perubahan energi kinetik dan energi potensial diabaikan.

4. Tujuan penelitian

Mendapatkan unjuk kerja dari alat Air Conditioning Laboratory Unit A660 dalam proses pemanasan dan humidifikasi serta untuk mengetahui kondisi temperatur dan kelembaban udara saat melalui saluran udara (*duct*) akibat pemanasan dan humidifikasi.

5. Maksud penelitian

Maksud dari penelitian ini adalah untuk melengkapi informasi tentang unjuk kerja alat khususnya dalam proses pemanasan dan humidifikasi serta menambah referensi dalam pemanfaatan alat sebagai alat praktikum maupun alat penelitian

DASAR TEORI

1. Hukum Pertama Termodinamika

Hukum pertama termodinamika adalah hukum utama konsep energi dan merupakan prinsip kekekalan energi dimana energi tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan, tetapi hanya dapat berubah bentuk dari satu bentuk energi tertentu (Çengel,1998). Ketika energi bertransformasi ke energi tertentu, jumlah/kuantitas total energi tidak berubah/konstan.

2. Hukum Kedua Termodinamika

Penggunaan hukum kedua termodinamika tidak dibatasi untuk mengidentifikasi arah satu proses, hukum kedua juga menyatakan bahwa energi memiliki kuantitas dan kualitas, (Çengel,1998). Aplikasi dari Hukum Kedua Termodinamika yang dinyatakan oleh

Clausius :“Adalah tidak mungkin untuk membangun alat yang beroperasi dalam suatu siklus dan tidak menghasilkan pengaruh selain dari pemindahan kalor dari benda yang lebih dingin ke benda yang lebih panas”. Kesimpulan pernyataan tersebut adalah bahwa sistem yang menghasilkan perpindahan kalor dari sumber yang lebih dingin ke penyerap yang lebih panas, membutuhkan masukan berupa kerja atau energi tambahan. Sifat

termodinamika yang terpenting antara lain tekanan, suhu, densitas, volume spesifik, kalor spesifik, enthalpi dan entropi.

3. Pengkondisian Udara

Komposisi dari udara kering relatif konstan dari waktu ke waktu, yaitu: 79 % volume gas N₂ dan 21 % volume gas O₂. Komposisi gas – gas lain terlalu kecil sehingga diabaikan.

Tabel 1. Komposisi Udara Kering

Komposisi Gas	Simbol Kimia	Rata-rata Volume %	Berat Molekul Rata-rata 28.9645
Nitrogen	N ₂	78.084	
Oksigen	O ₂	20.9476	
Argon	Ar	0.934	
Karbon Dioksida	CO ₂	0.0314	
Neon	Ne	0.001818	
Helium	He	0.000524	
Metana	CH ₄	0.0002	
Sulfur dioksida	SO ₂	0 – 0.0001	
Hidrogen	H ₂	0.00005	
Komponen Minor - Kripton - Xenon - Ozon	Kr Xe O ₃	0.0002	

Sumber: ASHRAE, 1985

Hukum Gibbs-Dalton tentang kandungan campuran udara kering dan uap air dalam udara lembab/basah, dan dapat disimpulkan:

1. Tiap-tiap gas atau uap dalam suatu campuran bertindak sesuai sifat fisik mereka masing-masing seolah-olah mereka hanya satu-satunya penghuni ruang tersebut, pada temperature yang sama dengan campuran.
2. Enthalpi, energi dalam dan entropi dari suatu campuran udara adalah jumlah dari enthalpy, energi dalam dan entropi secara berurutan, dimana tiap unsur pokok menduduki ruang pada temperatur yang sama dengan campuran.

Udara merupakan campuran uap air (H₂O) dan udara kering (dry air), campuran ini disebut juga sebagai udara basah (*moist air*). Komposisi udara kering relatif konstan berkebalikan dengan perubahan jumlah uap air

dipengaruhi oleh temperatur dan tekanan, hasil kondensasi dan evaporasi air laut, danau, sungai, hujan, *human body*. Uap air merupakan komposisi terpenting pada aplikasi pengkondisian udara, terutama menyangkut *human comfort*.

Enthalpi dari udara kering dapat dituliskan sebagai berikut :

$$h_{dry\ air} = C_p \cdot T = [1,005 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})] \cdot T \quad (1)$$

$$\Delta h_{dry\ air} = C_p \cdot \Delta T = [1,005 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})] \cdot \Delta T \quad (2)$$

dengan nilai C_p udara kering sebesar 1,005 kJ/(kg · °C) diambil dari rata – rata C_p antara suhu udara -10 °C hingga 50 °C.

Enthalpi uap air dapat di estimasi sebagai berikut :

$$h_v(T, P \text{ rendah}) \cong hg(T) \quad (3)$$

$$h_g(T) \cong 2501,3 \text{ kJ/kg} + (1,82 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C})T \quad (4)$$

Dengan H_v = enthalpi jenis uap air, H_g = enthalpi jenis uap air pada keadaan uap jenuh.

Kelembaban udara menyatakan jumlah uap air (H_2O) yang ada di udara. Kelembaban udara dapat di bedakan menjadi kelembaban mutlak dan relatif. Kelembaban mutlak (ω) digunakan untuk menentukan kuantitas uap air di udara ($K_g H_2 / K_g$ udara kering).

$$\omega = \frac{m_v}{m_a} \quad (5)$$

dengan m_v = massa uap air, m_a = massa udara kering. persamaan gas ideal :

$$P.V = M . R . T$$

$$m = \frac{P.V}{R.T} \quad (6)$$

jika disubstitusikan ke persamaan ω , menjadi :

$$\omega = \frac{m_v}{m_a} = \frac{P_v.V/(R_v.T)}{P_a.V/(R_a.T)} = \frac{P_v/R_v}{P_a/R_a} \quad (7)$$

dengan $V_v = V_a$ karena uap air dan udara kering menempati volume yang sama, $T_v = T_a$ karena suhu uap air dan udara kering di udara yang sama. Dari tabel termodinamika (A-1) di dapat, Udara, $R_a = 0,287 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$ dan H_2O , $R_v = 0,4615 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$. Sehingga persamaanya menjadi :

$$\omega = \frac{R_a.P_v}{R_v.P_a} = \frac{0,287.P_v}{0,4615.P_a} = 0,622 \cdot \frac{P_v}{P_a}$$

$$\omega = \frac{0,622.P_v}{P - P_v} \quad (8)$$

Kelembaban relatif adalah perbandingan fraksi molekul uap air, di dalam udara basah terhadap fraksi molekul uap air jenuh pada suhu dan tekanan yang sama jika kelembaban relatif disimbolkan dengan (ϕ atau RH), maka :

$$\phi = \frac{m_v}{m_g} \quad (9)$$

dimana : m_v = masa uap air belum jenuh, m_g = masa uap air jenuh. Pada kondisi jenuh, massa uap air di udara sudah tidak dapat ditambah lagi, sehingga :

$$\phi = \frac{m_v}{m_g} = \frac{m_g}{m_g} = 100 \% \text{ (jenuh)} \quad (10)$$

Udara kering tidak memiliki uap air ($m_v=0$), $\phi = 0 \%$. Jika uap air dapat diasumsikan gas ideal, maka :

$$\phi = \frac{m_v}{m_g} = \frac{P_v.V/(R_v.T)}{P_g.V/(R_a.T)} = \frac{P_v}{P_g} \quad (11)$$

Dimana $R_v = \frac{R_g}{M}$ karena zatnya sama yaitu H_2O , $P_g = P_{sat}(T)$, P_g = tekanan jenuh pada tekanan tertentu. Jika persamaan kelembaban mutlak (ω) dan persamaan kelembaban relatif (ϕ) di gabung, maka di dapat hubungan sebagai berikut :

$$\omega = \frac{0,622 \cdot \phi \cdot P_g}{P - \phi \cdot P_g}$$

$$\phi = \frac{\omega \cdot P}{(0,0622 + \omega) \cdot P_g} \quad (12)$$

Entalpi udara/atmosfer = entalpi udara kering + entalpi uap air

$$H = H_a + H_v$$

$$H = (m_a \cdot h_a + m_v \cdot h_v) \times \frac{1}{m_a}$$

$$h = \frac{H}{m_a} = h_a + \frac{m_v}{m_a} \cdot h_v$$

$$h = h_a + \omega \cdot h_g \quad (13)$$

dengan, $h_v \approx h_g$ gas ideal $h = h(T)$

METODE PENELITIAN

1. Bahan penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah udara dan air. Dalam hal ini udara sebagai fluida yang mendapat perlakuan pemanasan oleh *Heater* (*pre-heater* maupun *re-heater*), sedangkan air diuapkan dengan menggunakan *Boiler* guna menambah kadar uap air dalam udara dimana akan mempengaruhi kelembaban udara (*humidity*) yang melalui saluran (*duct*) pada *Air Conditioning Laboratory Unit A660*.

2. Peralatan uji

Alat yang digunakan dalam pengujian ini adalah *Air Conditioning Laboratory Unit A660* yang terdiri dari beberapa bagian serta beberapa komponen tambahan sebagai berikut:

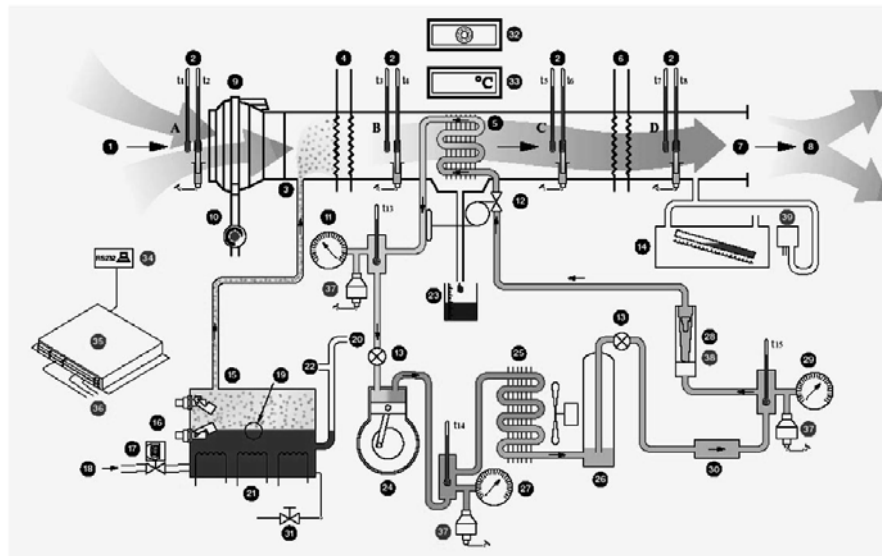
Filter berfungsi sebagai penyaring udara yang masuk ke dalam *duct* dari kotoran-kotoran yang terdapat dalam udara.

Fan dibutuhkan sebagai penggerak udara. Fan yang digunakan adalah jenis *Radial acting axial flow* (*variable speed*). Power input 120W, pada 240V 50Hz., R.P.M.: 0-2400. Power : 0-0.9A, 210W. Volts: 220-240

Heater untuk menaikkan temperatur udara dalam *duct*. Baik *Pre-heater* maupun *Re-heater*, terdiri dari *Extended fin electric heating elements* 2 x 1,0 kW pada 220V.

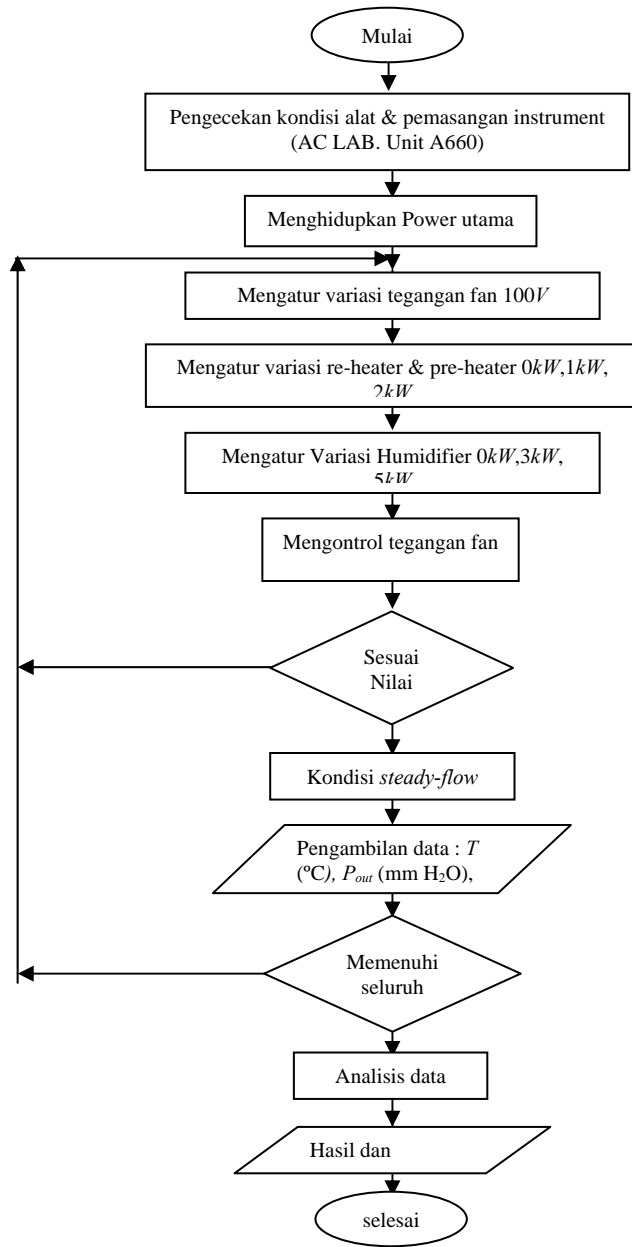
Humidifier untuk meningkatkan kadar uap air dalam udara. Disini menggunakan *steam injector* dengan uap air yang dihasilkan oleh boiler kemudian dihembuskan (*spray*) pada *duct*. Komponen pada boiler adalah: Heater : 1 x 1.0kW dan 2 x 2.0kW pada 220V. Volume : 2,5 liter dibawah kontrol dari *control float switch*

Thermocouple untuk membaca nilai temperature pada titik-titik yang diamati sepanjang saluran. *Thermocouple* yang digunakan adalah thermocouple 4 channel.



Gambar 1. Skema *Air Conditioning Laboratory Unit A660*

1. air inlet
2. wet and dry temperature stations
3. steam injector
4. pre-heaters
5. evaporator
6. re-heaters
7. orifice
8. treated air
9. fan
10. fan speed control
11. evaporator pressure
12. thermostatic expansion valve
13. stop valve
14. inclined manometer
15. steam generator tank
16. water level control
17. solenoid valve
18. water inlet
19. sight glass
20. vent
21. water heaters
22. overflow to drain
23. condensate measurement
24. compressor
25. air condenser
26. liquid receiver
27. condenser inlet pressure
28. refrigerant flowmeter
29. condenser outlet pressure
30. filter/drier
31. steam generator tank drain valve
32. selector switch
33. digital temperature indicator
34. RS232 serial link to PC
35. datalogger
36. transducer inputs
37. refrigerant pressure transducer
38. refrigerant flow transducer
39. differential air pressure transducer



Gambar 2. Diagram alir penelitian

3. Tahap Pengambilan Data

Pada tahap pengambilan data ini membutuhkan interval waktu dari pengambilan data sebelum dan sesudah perubahan-perubahan variasi yang dilakukan selama 10 menit, dengan asumsi kondisi udara yang terjadi pada saat pengambilan data adalah konstan (*steady-flow*). Adapun data yang diambil adalah temperatur udara lingkungan (T_{db}, T_{wb}) maupun temperature udara dalam *duct* yang mendapat perlakuan pemanasan dan humidifikasi (T_{db}, T_{wb}), kecepatan udara keluar (*m/s*) dan tekanan udara keluar/*outlet pressure* (*mmH2O*).

4. Tahap Analisis Data

Nilai sifat-sifat thermodinamika udara lingkungan pada tekanan atmosfer adalah pada 1atm = 760 mm Hg.

Analisa system *steady-flow* dan laju aliran massa udara kering sepanjang proses adalah konstan ($\dot{m}_{a_1} = \dot{m}_{a_2} = \dot{m}_a$). Pengaruh perubahan energi kinetik dan energi potensial diabaikan.

PERHITUNGAN

1. Data Pengujian

Sebelum digunakan untuk mengambil data, dilakukan kalibrasi terhadap *thermocouple* dengan thermometer standar terlebih dahulu agar setara. Hal ini dikarenakan tiap-tiap sensor pada *thermocouple* memiliki sensitivitas yang berbeda-beda. Hasil kalibrasi dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Persamaan Linear kalibrasi thermocouple

No.	T	Persamaan Liner	No.	T	Persamaan Linear
1	T_1	$y = 1.003x - 0.0817$	5	T_5	$y = 1.006x - 0.1963$
2	T_2	$y = 0.997x + 0.1780$	6	T_6	$y = 1.005x - 0.1586$
3	T_3	$y = 1.001x + 0.0268$	7	T_7	$y = 1.001x - 0.0114$
4	T_4	$y = 1.002x - 0.0657$	8	T_8	$y = 1.004x - 0.1221$

Tabel 3. Data Hasil Kalibrasi Pengujian pada Tegangan Fan 100Volt

TA udara		Fan	Boiler	Preheater	TB udara		TC udara		Reheater	TD udara		z
T_{db}	T_{wb}	(V)	(kW)	(kW)	T_{db}	T_{wb}	T_{db}	T_{wb}	(kW)	T_{db}	T_{wb}	(mmH ₂ O)
30,5	26,7	100	0	0	31,6	26,5	32,2	26,9	0	32,3	27,2	3,4
30,8	26,8	100	0	0	31,7	26,6	32,4	27,3	1	44,5	29,5	3,6
30,9	27,2	100	0	0	31,7	26,7	32,4	27,6	2	53,2	31,7	3,7
30,7	27,1	100	0	1	45,3	29,4	42	29,4	0	41	29,6	3,5
31,2	27,2	100	0	1	46,9	29,5	42,7	29,9	1	53,7	32,1	3,5
31	27,1	100	0	1	46,2	29,6	42,7	30,1	2	59,5	32,8	3,7
30,8	27	100	0	2	64,3	31,9	52,7	31,5	0	50	31,7	3,5
30,8	27,1	100	0	2	67,5	30,5	53,6	32,1	1	61,4	33,6	3,5
30,5	27,4	100	0	2	59,8	30,9	47,4	30,6	2	62,6	33	3,7
29,2	25,2	100	3	0	32	30,8	32	30,7	0	32,1	30,6	3,7
29,3	25,1	100	3	0	32	30,8	32,3	31,1	1	40,3	32,6	3,3
29,3	25,1	100	3	0	32,2	31,1	32,7	31,4	2	47,5	34,7	3,3
29	25,1	100	3	1	39,8	32,1	39,2	32,1	0	38,2	31,7	3,9
29,3	25,2	100	3	1	41,5	33	41,6	33,1	1	48,2	34,3	3,4
29,4	25,3	100	3	1	42,4	33,2	42,2	33,3	2	53,7	35,4	3,8
29,7	25,3	100	3	2	50,4	34,5	50,6	34,1	0	47,5	33,3	4
29,2	25,3	100	3	2	51,9	35,6	52,2	35,4	1	55,2	36,1	3,9
29	25,2	100	3	2	49,1	34	47	34,3	2	54,9	35,6	3,5
29,7	24,8	100	5	0	32	29,6	32,1	29,9	0	32,1	29,9	3,6
29,3	24,4	100	5	0	32,3	30,6	32,5	31,1	1	40,1	32,5	3,2
29,4	23,6	100	5	0	32,5	30,9	32,7	31,6	2	45,4	34,7	3,8
29,6	24,8	100	5	1	42,6	31,4	40,1	31,1	0	38,4	31,2	3,9
29,6	24,8	100	5	1	42,9	31	41,6	32,7	1	46,9	34,1	3,4

TA udara		Fan	Boiler	Preheater	TB udara		TC udara		Reheater	TD udara		z
T _{db}	T _{wb}	(V)	(kW)	(kW)	T _{db}	T _{wb}	T _{db}	T _{wb}	(kW)	T _{db}	T _{wb}	(mmH ₂ O)
29,6	23,8	100	5	1	44,3	32,3	42,1	32,8	2	51,2	35	3,1
30,1	25,1	100	5	2	57,3	34,5	50,3	34,2	0	45,8	33,8	3,9
30,2	25,2	100	5	2	57,2	35	52,7	34,9	1	54,5	35,7	3,5
29,7	23,2	100	5	2	55,3	34,5	47,8	34,3	2	53,6	36	3,2

2. Karakteristik Udara

Karakteristik udara pada setiap titik dapat dicari dengan dua pendekatan, yaitu dengan menggunakan perhitungan dengan bantuan tabel termodinamika dan menggunakan diagram psikrometrik. Pada prinsipnya kedua metode ini sama, yaitu menentukan sifat-sifat udara pada kondisi tertentu. Perbedaan dari kedua metode ini hanya pada cara menentukan sifat-sifat udara tersebut dimana metode perhitungan dengan bantuan tabel yaitu dengan cara menghitung dengan rumus karakteristik udara yang akan kita cari dengan acuan T_{db} dan T_{wb} dan data udara pada tabel termodinamika. Metode dengan pembacaan diagram psikrometrik yaitu dengan menarik garis sesuai data karakteristik yang akan kita cari dengan acuan T_{db} dan T_{wb} . Pada dasarnya diagram psikrometrik merupakan hasil dari perhitungan pada range temperatur tertentu dan pada tekanan tertentu. Kelemahan dalam menggunakan diagram psikrometrik yaitu keakuratan pembacaan, karena harus dengan ketelitian yang tinggi untuk mendapatkan hasil yang akurat. Dengan alasan tersebut maka dalam perhitungan data karakteristik udara pada penelitian ini menggunakan metode pembacaan tabel. Tekanan udara atmosfer pada percobaan adalah 1 atm (101,325 kPa), data karakteristik udara setiap kondisi adalah sebagai berikut :

❖ Perhitungan Karakteristik pada Kondisi A

Pada Variasi Fan 100V, Boiler 0kW, Preheater 0kW dan Reheater 0kW

$$T_{db} = 30,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{wb} = 26,8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

➤

➤ Kelembaban mutlak udara (ω_1)

$$\omega_1 = \frac{C_p(T_1 - T_2) + \omega_2 \cdot h_{fg2}}{h_{g1} - h_{f2}}$$

$$\text{Dengan : } T_2 = T_{wb} = 26,8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\omega_2 = \frac{0,622 \cdot P_{g2}}{P_2 - P_{g2}}$$

$$P_2 = \text{Patmosfer} = 101,325 \text{ kPa}$$

$$P_{g2} = P_{sat}@T_2 = P_{sat}@26,8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{Untuk } T_2 = T_{wb} = 26,8 \text{ } ^\circ\text{C} \longrightarrow \text{tabel A-4:}$$

$$P_{g2} = 3,55672 \text{ kPa}$$

$$h_{f2} = 112,414 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{fg2} = 2438,052 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{Untuk } T_1 = T_{db} = 30,5 \text{ } ^\circ\text{C} \longrightarrow \text{tabel A-4:}$$

$$h_{g1} = 2557,2 \text{ kJ/kg}$$

$$\omega_2 = \frac{0,622 \times 3,5567 \text{ kJ/kg}}{101,325 \text{ kPa} - 3,5567 \text{ kJ/kg}}$$

$$\omega_2 = 0,022628 \text{ kgH}_2\text{O/kg.dryair}$$

$$C_p \text{ udara kering} \longrightarrow \text{tabel A-2 :}$$

$$C_p = 1,005099 \text{ kJ/kg.K}$$

$$\omega_1 = 0,021 \text{ kgH}_2\text{O/kg.dryair}$$

➤ Kelembaban relative (ϕ_1):

$$\phi_1 = \frac{\omega_1 \cdot P_1}{(0,622 + \omega_1) P_{g1}}$$

$P_1 = P_2 = 101,325 \text{ kPa}$
 Untuk $T_1 = T_{db} = 30,5^\circ\text{C}$ \longrightarrow tabel A-4:
 $P_{g1} = 4,3842 \text{ kPa}$

$$\phi_1 = \frac{0,021 \frac{\text{kgH}_2\text{O}}{\text{kg.dyair}} \times 101,325 \text{ kPa}}{(0,622 + 0,021 \frac{\text{kgH}_2\text{O}}{\text{kg.dyair}}) 4,3824 \text{ kPa}}$$

$$\phi_1 = 0,7563$$

$$\phi_1 = 75,63 \%$$

\triangleright Enthalpy udara per-satuan massa udara kering (h_1):

$$h_1 = h_{a1} + \omega_1 \cdot h_{v1} \cong C_p \cdot T_1 + \omega_1 \cdot h_{g1}$$

$$h_1 = 84,4701 \text{ kJ/kg}$$

Nilai karakteristik udara pada kondisi A, B, C dan D dengan variasinya dapat dilihat dalam tabel. 4.

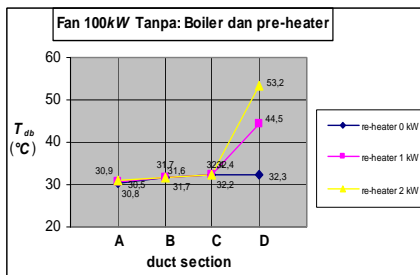
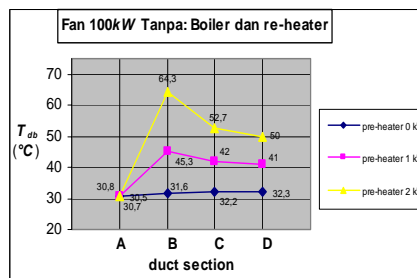
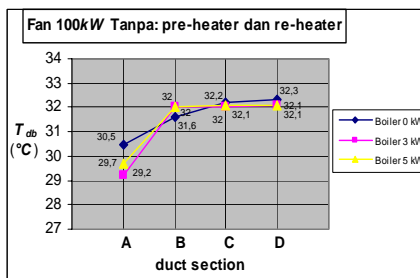
duct mengalami kenaikan akibat penambahan panas dari uap yang dihasilkan boiler.

Pada variasi preheater (gambar 3.b), semakin besar daya preheater maka temperatur udara kering (T_{db}) semakin tinggi. Hal serupa juga terjadi pada variasi reheater, dimana *section* A,B dan C konstan tetapi pada *section* D terjadi kenaikan temperatur akibat daya reheater (gambar 3.c).

ANALISA

1. Temperatur Udara Kering (T_{db})

Pengaruh variasi daya boiler terhadap temperatur udara kering dapat dilihat dalam grafik di bawah ini (gambar 3.a). Daya boiler memberikan pengaruh terhadap temperatur udara kering. Temperatur udara kering di dalam



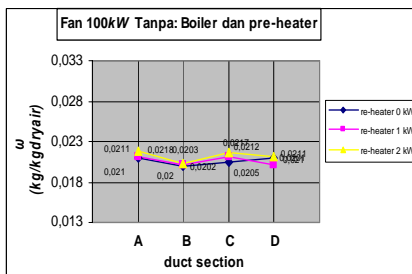
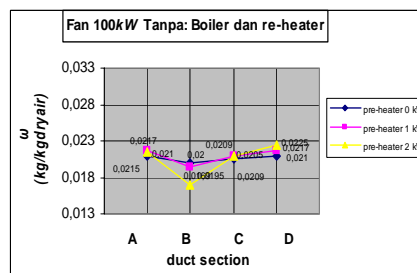
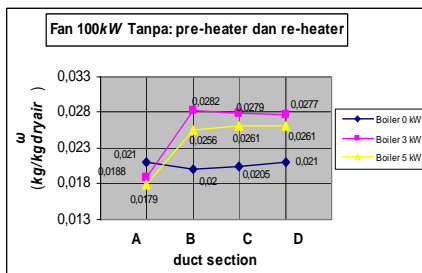
(a)

(b)

(c)

Gambar 3. Grafik hubungan Temperatur udara kering sepanjang *duct*

- Pengaruh daya boiler terhadap T_{db}
- Pengaruh daya preheater terhadap T_{db}
- Pengaruh daya reheater terhadap T_{db}



(a)

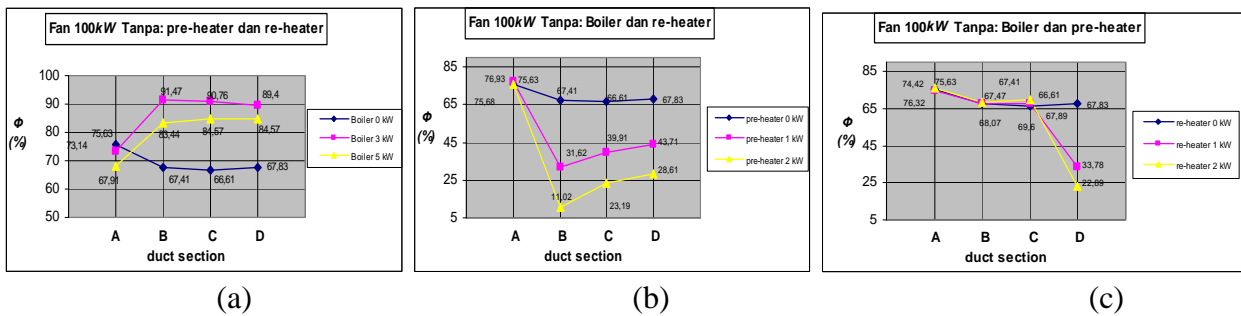
(b)

(c)

Gambar 4. Grafik hubungan kelembaban mutlak sepanjang *duct*
 a. Pengaruh daya boiler terhadap ω
 b. Pengaruh daya preheater terhadap ω
 c. Pengaruh daya reheater terhadap ω

Tabel 6. Data Karakteristik Udara pada Tegangan Fan 100V_{olt}

DATA PSYCHROMETRIC PROSES PEMANASAN & HUMIDIFIKASI																						
Fan	Boiler	Dryboiler	Reboiler	z	Went	h ₁	w ₁	φA	w ₂	ma	h ₂	w ₂	φB	w ₃	h ₃	w ₃	φC	w ₄	h ₄	w ₄	φD	w ₅
(V)	(KW)	(kW)	(kW)	(mmH ₂ O)	(m/s)	KJ/Kg	Kg/Kg dry air	%	m ³ /Kg	Kg/s	KJ/Kg	Kg/Kg dry air	%	m ³ /Kg	KJ/Kg	Kg/Kg dry air	%	m ³ /Kg	KJ/Kg	Kg/Kg dry air	%	m ³ /Kg
100	0	0	0	3,4	6,5	84,4701	0,0210	75,63	0,8887	0,1008	83,007	0,0200	67,41	0,8905	84,8608	0,0205	66,61	0,8930	86,2699	0,0210	67,83	0,8940
100	0	0	1	3,6	6,1	84,9270	0,0211	74,42	0,8897	0,1018	83,4725	0,0202	67,47	0,8910	86,7369	0,0212	67,89	0,8945	86,5505	0,0201	67,78	0,8983
100	0	0	2	3,7	5,9	86,8090	0,0218	76,32	0,8910	0,1017	83,9429	0,0203	68,07	0,8913	88,1536	0,0217	69,60	0,8952	108,367	0,0211	22,89	0,9353
100	0	1	0	3,5	6,6	86,3465	0,0217	76,93	0,8902	0,1008	86,0346	0,0195	31,62	0,9209	96,2041	0,0209	39,91	0,9223	97,2072	0,0217	43,71	0,9205
100	0	1	1	3,5	6,4	86,7945	0,0217	74,51	0,8917	0,0988	86,4270	0,0190	28,29	0,9339	98,5470	0,0216	39,58	0,9252	110,682	0,0218	23,08	0,9378
100	0	1	2	3,7	6,7	86,3321	0,0216	75,09	0,8909	0,1008	86,9378	0,0195	30,07	0,9325	99,6045	0,0220	40,31	0,9258	114,464	0,0209	16,9	0,9735
100	0	2	0	3,5	7,3	85,8699	0,0215	75,68	0,8902	0,0993	108,924	0,0169	11,02	0,9813	107,225	0,0209	23,19	0,9335	108,544	0,0225	28,61	0,9479
100	0	2	1	3,5	7,2	86,3417	0,0217	76,31	0,8905	0,0977	100,624	0,0125	7,083	0,9838	110,688	0,0218	23,23	0,9376	119,069	0,0219	16,15	0,9806
100	0	2	2	3,7	7,1	87,7733	0,0223	80,12	0,8905	0,1004	103,345	0,0165	13,28	0,9677	102,263	0,0211	30,45	0,9383	115,463	0,0201	14,02	0,9813
100	3	0	0	3,7	6,7	77,4906	0,0188	73,14	0,8819	0,1047	104,268	0,0282	91,47	0,903	103,682	0,0279	90,76	0,9027	103,091	0,0277	89,40	0,9026
100	3	0	1	3,3	6,4	77,0188	0,0186	71,91	0,8819	0,0975	104,268	0,0282	91,47	0,903	106,011	0,0287	91,61	0,9047	114,392	0,0287	59,43	0,9283
100	3	0	2	3,3	7,1	77,0188	0,0186	71,91	0,8819	0,0962	106,017	0,0288	92,27	0,9044	107,752	0,0292	91,12	0,9066	126,444	0,0304	43,04	0,9322
100	3	1	0	3,9	7	77,0321	0,0187	73,55	0,8812	0,1064	111,47	0,0278	59,19	0,9255	111,504	0,0280	61,49	0,9241	109,206	0,0275	63,62	0,9205
100	3	1	1	3,4	6,5	77,4862	0,0188	72,6	0,8821	0,0977	116,689	0,0291	56,25	0,9325	117,276	0,0293	56,29	0,9330	124,013	0,0292	39,97	0,9325
100	3	1	2	3,8	7	77,9494	0,0189	72,74	0,8826	0,1024	117,822	0,0292	53,73	0,9352	118,427	0,0295	54,86	0,9351	130,775	0,0295	30,89	0,9693
100	3	2	0	4	7,2	77,9360	0,0188	71,15	0,8833	0,1062	125,070	0,0287	35,39	0,9383	122,676	0,0277	33,84	0,9374	118,112	0,0272	38,67	0,9475
100	3	2	1	3,9	7,4	77,9385	0,0190	73,83	0,8822	0,1034	131,559	0,0306	34,79	0,9655	130,869	0,0302	33,86	0,9658	135,816	0,0309	30,08	0,9737
100	3	2	2	3,5	7,2	77,4995	0,0189	74,25	0,8814	0,0981	122,172	0,0281	36,95	0,9355	124,086	0,0297	43,17	0,9497	132,164	0,0296	29,32	0,9729
100	5	0	0	3,6	6,7	75,6831	0,0179	67,91	0,8821	0,1034	97,6782	0,0256	83,44	0,8994	99,1075	0,0261	84,57	0,9005	99,1075	0,0261	84,57	0,9005
100	5	0	1	3,2	6,3	74,1647	0,0175	67,72	0,8803	0,0960	103,080	0,0276	88,12	0,9031	106,000	0,0286	90,53	0,9052	113,813	0,0285	59,55	0,9275
100	5	0	2	3,8	5,7	71,0974	0,0163	62,71	0,8789	0,1035	104,827	0,0282	88,94	0,9045	108,920	0,0297	92,48	0,9072	126,574	0,0313	49,49	0,9473
100	5	1	0	3,9	7	75,6874	0,0180	68,42	0,8819	0,1065	107,198	0,0250	45,81	0,9298	105,578	0,0253	53,41	0,9230	106,258	0,0263	60,27	0,9193
100	5	1	1	3,4	6,6	75,6874	0,0180	68,42	0,8819	0,0979	104,840	0,0239	43,30	0,9292	114,908	0,0284	54,80	0,9317	122,900	0,0293	42,81	0,9488
100	5	1	2	3,1	6,8	71,8338	0,0165	62,86	0,8798	0,0928	112,391	0,0263	44,24	0,9367	115,470	0,0284	53,17	0,9332	128,007	0,0295	34,83	0,9618
100	5	2	0	3,9	7,1	76,9836	0,0183	67,69	0,8838	0,1050	124,649	0,0257	22,75	0,9743	123,289	0,0280	34,81	0,9570	121,181	0,0291	45,08	0,9452
100	5	2	1	3,5	6,5	77,4464	0,0184	67,76	0,8842	0,0981	127,635	0,0269	23,87	0,9757	127,316	0,0286	31,40	0,9650	132,922	0,0300	30,27	0,9724
100	5	2	2	3,2	6,7	69,5578	0,0155	59,06	0,8788	0,0938	124,770	0,0266	23,93	0,9696	124,037	0,0293	41,00	0,9515	135,183	0,0313	32,77	0,9716



Gambar 5. Grafik hubungan kelembaban relatif sepanjang duct

- Pengaruh daya boiler terhadap ϕ
- Pengaruh daya preheater terhadap ϕ
- Pengaruh daya reheater terhadap ϕ

Kelembaban relatif udara meningkat dengan adanya penambahab uap air oleh boiler (gambar 5.a). Semakin besar daya boiler maka kadar uap air yang ditambahkan ke udara semakin banyak. Dengan adanya preheater dan reheater menyebabkan temperatur udara kering meningkat tinggi tetapi temperatur udara basah tidak terlalu meningkat signifikan dibanding dengan temperatur udara kering yang megakibatkan menurunnya kelembaban relatif (gambar 5.b dan 5.c).

KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan dan pembahasan pada Investigasi Unjuk Kerja Proses Pemanasan dan pelembaban (humidifikasi) Pada Alat *Air Conditioning Laboratory A660* dapat disimpulkan sebagai berikut :

- Semakin besar daya heater dan humidifier mengakibatkan temperatur udara kering dalam duct meningkat.
- Kelembaban udara meningkat akibat penambahan uap air oleh boiler.
- Pemanasan maksimal terjadi pada tegangan fan terendah dalam penelitian ini yaitu sebesar 67,5 °C pada kondisi B dengan $\Delta T_{AB} = 36,7^{\circ}\text{C}$ yang terindikasi pada variasi fan 100 Volt , boiler 0kW pre-heater 2kW, re-heater 1kW, dengan kondisi udaranya $\omega = 0,0125 \text{ kJ/kg}_{\text{dryair}}$, $\phi = 7,083 \%$, $h = 100,624 \text{ kJ/kg}$, $\dot{m}_a = 0,0977 \text{ kg/s}$.

- Humidifikasi terjadi pada udara dengan menggunakan boiler berdaya 3kW dan 5kW. Kuantitas uap air yang terkandung dalam udara maksimal sebesar 0,0313 $\text{kgH}_2\text{O/kg}_{\text{dryair}}$ dengan $\Delta\omega_{AD} = 0,0158 \text{ kgH}_2\text{O/kg}_{\text{dry air}}$ dicapai pada suction B dengan variasi boiler 5kW, pre-heater 2kW, re-heater 2kW.

DAFTAR PUSTAKA

- Arora. C.P. (1983). *Refrigeration and Air Conditioning*. New Delhi: Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited.
- ASHRAE. (1985). *Handbook Fundamental*. American Society of Heating Refrigeration and Air conditioning engineers. Inc.
- Çengel. Y.A and Boles M. A. (1998). *Thermodynamic and Engineering Approach*. 3rd edition. USA: McGraw-Hill.
- Hilton. P.A. (2003). *Experimental Operating and Maintenance Manual Air Conditioning Laboratory Unit A660*. England: P. A. Hilton Limited.
- Stoecker. W.F dan Jones. J.W. (1996). *Refrigerasi dan Pengkondisian Udara*. Edisi Kedua. Jakarta: Erlangga.
- Suprojo. Bambang. (2008). "Investigasi Penambahan Unit Pemanas dan Pelembab pada Alat Uji Sistem Fan dan Saluran Udara," Tugas Akhir. Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis berikan kepada :

1. Jurusan Teknik Mesin UMY atas kesempatan dan fasilitas untuk penelitian ini.
2. Team Sling Pump skala lapangan atas kerja samanya dan bantuannya selama ini.

Penulis:

Bagus Tri Widiastoko

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas
Teknik, UMY. Yogyakarta.

Email: flip2green@yahoo.com