BRAWIJAY

PENGARUH KECEPATAN UDARA TERHADAP TRANSFER ENERGI DAN MASSA PADA DIRECT CONTACT HUMIDIFIER

SKRIPSI

KONSENTRASI KONVERSI ENERGI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar sarjana teknik



Disusun Oleh:

LAILATUL MU'ARIFAH NIM. 0510620061-62

KEMENTERIAN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2010

KATA PENGANTAR

Alkhamdulillah penulis ucapkan kepada Allah SWT yang telah memberikan kemudahan dan petunjuk dalam penyusunan skripsi ini. Sholawat serta salam semoga tetap tercurahkan kepada Nabi besar Muhammad SAW, yang telah membawa petunjuk kebenaran kepada manusia akan indahnya Islam.

Dalam kesempatan ini, penulis ingin memberikan ucapan terimakasih dan penghargaan kepada :

- 1. Bapak Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang.
- 2. Bapak Anindito Punowidodo, ST. M Eng., Dr. Eng, selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang.
- 3. Bapak Ir. Djoko Sutikno, MEng. selaku Dosen Pembimbing I, yang telah banyak memberikan kritik dan saran yang sangat penting dalam penyusunan skripsi ini.
- 4. Bapak Prof. Dr. Ir Rudy Soenoko MEng., Sc., selaku Dosen Pembimbing II, yang telah banyak memberikan bimbingan dan saran yang sangat membantu dalam penyusunan skripsi ini.
- 5. Terimakasih kepada Ayahku Saeroji dan Ibuku Mashuroh atas do'a, pengertian, dukungan serta semangat yang selalu diberikan.
- 6. Kakakku (Mas Fuad, mbak Ni'am, mbak In) terimakasih atas do'a, dukungan serta pengertiannya.
- 7. Adik-adikku, Alfiaturrohmah, Azzam, Kakak (Samsul), Dedek (Qomar) dan sibungsu Wilda terimakasih atas do'a, inspirasi dan semangat yang selalu kalian berikan
- 8. *Humiteam*, Joko dan Nano, terimakasih atas kerjasama dan pengertiannya serta maaf bila ada salah.
- 9. Teman-teman M-Gals '05 (Wida, Ray, Bernice, Santi, Aliph, Anna alias Jeki, Angi dan Dita) terimakasih atas keceriaan, kebersamaan serta pengertiannya selama ini.
- 10. Teman-teman Asisten Fluida (Pak Ponco, Fery, Figur, Nano, Rizal, Andry) terimakasih atas kebersamaan dan kerjasamanya.
- 11. M0limo's prend, terimakasih atas pengalaman, dukungan, do'a serta kebersamaanya selama ini.

12. Serta pihak-pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah membantu memperlancar dalam penyusunan skripsi ini.

Akhir kata, semoga makalah ini bermanfaat dan mampu memberikan inspirasi untuk mengembangkan ide-ide yang brilian, serta kritik dan saran dari pembaca tetap menjadi harapan penulis.



DAFTAR ISI

	ENGANTAR		
	R ISI		
DAFTAF	R TABEL	v	
DAFTAF	R GAMBAR	vi	
	DAFTAR LAMPIRANvi		
RINGKA	RINGKASANv		
BAB I	PENDAHULUAN 1.1 Latar Belakang		
	1.1 Latar Belakang	1	
	1.2 Rumusan Masalah		
	1.3 Batasan Masalah		
	1.4 Tujuan Penelitian		
	1.5 Manfaat Penelitian	2	
BAB II	TINJAUAN PUSTAKA		
	2.1 Penelitian Sebelumnya		
	2.2 Humidifier	4	
	2.3.1 Blower Sentrifugal		
	2.3.2 Blower Positif Displacement	7	
	2.4 Spray Nozzle		
	2.5 Psycrometric dan Diagram Psycrometric	8	
	2.6 Perpindahan Panas dan Massa pada Humidifier		
	2.6.1 Proses Difusi	12	
	2.6.2 Difusi fluida yang memiliki beda konsentrasi dan kecepatan besar	13	
	2.6.3 Kesetimbangan Kalor pada Sistem	14	
	2.7 Hipotesa	20	
BAB III	METODE PENELITIAN		
		21	
	3.2 Variabel Penelitian		
	3.3 Alat-alat Penelitian	21	

	3.4 Instalasi Penelitian	
	3.5 Tempat Penelitian	
	3.6 Prosedur Penelitian	27
	3.7 Diagram Alir Penelitian	28
BAB IV	DATA DAN PEMBAHASAN	
	4.1 Analisa Data	29
	4.1.1 Data Hasil Pengujian	29
	4.1.2 Contoh Perhitungan	30
	4.1.3 Hasil Pengolahan Data	32
	4.2Pembahasan Grafik	34
	4.2.1 Pembahasan Grafik Hubungan antara Kecepatan Udara (V ₁)	
	terhadap Transfer Energi (ΔH)	34
	4.2.2 Pembahasan Grafik Hubungan antara Kecepatan Udara (V ₁)	
	terhadap Transfer Massa (Δm)	36
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	
	5.1 Kesimpulan	
	5.2 Saran	40
DAFTAI	R PUSTAKA	
LAMDID	DAN E LANGE E	

DAFTAR TABEL

No.	judul	Halaman
Tabel 4.1	Tabel hasil pengambilan data yang diperoleh pada $T_{udara\;inlet}40\;{}^{\circ}C$	29
Tabel 4.2	Tabel hasil pengambilan data yang diperoleh pada $T_{udarainlet}45^{\circ}C$	29
Tabel 4.3	Tabel hasil pengambilan data yang diperoleh pada $T_{udarainlet}50^{\circ}C$	30
Tabel 4.4	Tabel Hasil Pengolahan Data pada T _{udara inlet} = 40°C	32
Tabel 4.5	Tabel Hasil Pengolahan Data pada $T_{udara inlet} = 45^{\circ}C$	32
Tabel 4.6	Tabel Hasil Pengolahan Data pada T _{udara inlet} = 50°C	33



DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1.	Vaporizer Humidifier	5
Gambar 2.2.	Impeller Humidifier	5
Gambar 2.3.	Ultrasonik <i>Humidifier</i>	6
Gambar 2.4.	Hydro-Pneumatic Capillary Sistem Humidifier (Non Electric	6
	Humidifier)	
Gambar 2.5.	Blower Sentrifugal	7
Gambar 2.6.	Diagram Psycrometric	9
Gambar 2.7.	Gambar proses difusi dengan fluida yang memiliki beda	13
	konsentrasi dan kecepatan yang besar	7
Gambar 2.8.	Kesetimbangan kalor pada Humidifier	15
Gambar 3.1.	Wind Tunnel	22
Gambar 3.2.	Inclined Manometer	23
Gambar 3.3.	Gelas Ukur	25
Gambar 3.4.	Heater	25
Gambar 3.5	Adaptor	26
Gambar 3.6	Instalasi Penelitian	26
Gambar 3.7	Diagram Alir Penelitian	28
Gambar 4.1.	Grafik Hubungan antara Kecepatan Udara Inlet (V1) Terhadap	36
	Transfer Energi (ΔH)	
Gambar 4.2.	Grafik Hubungan antara Kecepatan Udara Inlet (V1) Terhadap	38
	Transfer Massa (Δm)	

DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul
Lampiran 1	Tabel Hasil Pengujian dan Pengolahan Data pada Temperatur Udara
	Inlet 40 °C
Lampiran 2	Tabel Hasil Pengujian dan Pengolahan Data pada Temperatur Udara
	Inlet 45 °C
Lampiran 3	Tabel Hasil Pengujian dan Pengolahan Data pada Temperatur Udara
	Inlet 50 °C
Lampiran 4	Tabel A-1 Air: Sifat-sifat cairan dan uap jenuh
Lampiran 5	Tabel A-2 Udara Lembab: Sifat-sifat termodinamika udara jenuh pada
	tekanan atmosfer
Lampiran 6	Diagram Psikrometri

RINGKASAN

Lailatul Mu'arifah, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Januari 2010, "Pengaruh Kecepatan Udara Terhadap Transfer Energi Dan Massa pada *Direct Contact Humidifier*". Dosen Pembimbing 1: <u>Ir. Djoko Sutikno, MEng.</u>, Dosen Pembimbing 2: <u>Prof. Dr. Ir. Rudy Soenoko, MEng., Sc.</u>

Kelembaban udara di dalam suatu ruangan dapat mempengaruhi keadaan ruangan, baik untuk organisme biotik ataupun abiotik. Untuk meningkatkan kelembaban udara digunakan suatu alat yang biasa dikenal dengan istilah *humidifier*. Alat ini menggunakan suatu sistem perpindahan panas kontak langsung, dimana udara dan partikel air disinggungkan secara langsung sehingga terjadi proses transfer energi dan massa. Kelembaban udara akan meningkat pada saat partikel air dan udara bersinggungan karena sebagian air berubah menjadi uap air. Dalam proses kontak secara langsung antara udara dengan partikel air, kecepatan udara sangat berpengaruh terhadap proses transfer energi dan massa. Untuk itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimanakah pengaruh kecepatan udara terhadap transfer energi dan massa pada *direct contact humidifier*.

Metode penelitian yang digunakan adalah metode penelitian eksperimental nyata. Penelitian ini digunakan untuk menguji pengaruh kecepatan udara terhadap transfer energi dan massa pada *direct contact humidifier*. Kecepatan udara di ukur dengan *incline manometer* melalui beda tekanan yang ditunjukkan saat proses pengukuran. Sedangkan kelembaban diukur dengan *hygrometer*.

Dari hasil penelitian didapatkan bahwa proses transfer energi dan massa akan semakin tinggi jika kecepatan udara inlet semakin besar, karena massa udara yang mengalir ke dalam sistem semakin banyak. Transfer energi dapat bernilai positif dan negatif. Transfer energi bernilai positif jika energi ditransfer dari udara ke air akibat proses penguapan ketika udara melewati semburan air. Sebaliknya, transfer energi bernilai negatif jika energi ditransfer dari air ke udara akibat proses pengembunan udara. Transfer massa bernilai positif jika udara outlet menerima tambahan uap air dan bernilai negatif jika kanduangan uap di dalam udara berkurang. Transfer massa yang tertinggi terjadi pada temperatur udara inlet 40°C yaitu sebesar 0,0013 kg/s pada kecepatan udara 3,085 m/s. Sedangkan transfer energi tertinggi sebesar 2,389 kJ/s pada temperatur udara inlet 50 °C dan kecepatan udara inlet sebesar 3,210 m/s.

Kata kunci: kelembaban, transfer energi, transfer massa, direct contact humidifier

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kelembaban udara di dalam suatu ruangan dapat mempengaruhi keadaan ruangan, baik untuk organisme biotik ataupun abiotik. Dengan mengondisikan kelembaban suatu ruangan kita dapat memperoleh nilai kelembaban yang sesuai untuk tujuan tertentu. Misalnya, pada industri tekstil kelembaban relatif yang dibutuhkan berkisar antara 50% sampai 85% pada suhu 24°C sampai 30°C (Kulshresta, 1989). Kemudian kelembaban untuk udara yang bersirkulasi di dalam rumah, memiliki kelembaban berkisar 40%-70% dengan suhu berkisar antara 18° - 30°C (Gracia Emerentiana, 2009). Dengan tujuantujuan tersebut, kita dapat menggunakan suatu alat yang berfungsi untuk mengatur nilai kelembaban udara dari suatu ruangan. Alat tersebut biasa dikenal dengan istilah humidifier atau alat penambah kelembaban sedangkan sistem pengondisiannya disebut dengan humidification system. Humidification system merupakan suatu sistem penambahan uap air ke dalam udara dengan jalan menyemprotkan air atau uap air menuju ke aliran udara.

Humidifier bekerja dengan sistem pertukaran kalor kontak langsung (direct contact heating principles), dimana udara bertemperatur tinggi disinggungkan secara langsung dengan air ataupun uap air. Karena kalor berpindah pada fluida yang mengalir, maka pada sistem terjadi perpindahan kalor secara konveksi.

Pada penelitian ini, kelembaban udara ditingkatkan dengan menyemprotkan air menuju aliran udara. Alat yang digunakan berupa wind tunnel yang pada bagian inlet diberi elemen pemanas dan spray water untuk menyemprotkan air sebagai penambah kelembaban udara. Fungsi dari elemen pemanas ini adalah untuk meningkatkan temperatur udara yang mengalir memasuki wind tunnel. Kemudian udara tersebut dialirkan melalui air yang disemprotkan sehingga akan terjadi proses perpindahan kalor pada sistem. Penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh kecepatan udara terhadap media penambah kelembaban yang disemprotkan pada sistem (air) dengan jalan memvariasikan bukaan blower. Dengan bukaan blower yang berbeda, maka kita akan mendapatkan kecepatan udara inlet yang berbeda sehingga kita dapat mengetahui

BRAWIJAYA

pengaruh kecepatan udara terhadap transfer energi dan massa. Jika transfer energi dan massa meningkat, maka proses humidifikasi yang terjadi pada sistem akan semakin tinggi, akibatnya kelembaban udara pada sistem akan meningkat. Oleh karena itu, perlu dilakukan suatu penelitian mengenai pengaruh variasi kecepatan udara terhadap transfer energi dan massa pada *direct contact humidifier*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut :

Bagaimana pengaruh kecepatan udara *inlet* terhadap transfer energi dan massa pada *direct contact humidifier*?

1.3 Batasan Masalah

Pada penelitian ini terdapat beberapa batasan masalah sebagai berikut:

- 1. Bukaan *blower* divariasikan sebesar 3cm, 4cm, 5cm, 6cm, 7cm, 8cm, dan 9cm untuk mendapatkan kecepatan udara yang berbeda.
- 2. Kondisi dianggap steady state.
- 3. Fluida yang digunakan adalah air dan udara.
- 4. Diasumsikan tidak ada perpindahan kalor ke lingkungan.
- 5. Debit air yang disemprotkan ke dalam sistem dibuat konstan $(8,7x10^{-7} \text{ m}^3/\text{detik})$.
- 6. Temperatur air pendingin yang disemprotkan ke dalam sistem dibuat konstan (25°C).
- 7. Temperatur udara inlet divariasikan masing-masing sebesar 40 °C, 45 °C dan 50 °C.

1.4 Tujuan Penelitian

Mengetahui pengaruh kecepatan aliran udara terhadap proses transfer energi dan massa pada *direct contact humidifier*.

1.5 Manfaat Penelitian

Dengan adanya penelitian ini diharapkan dapat memberikan beberapa manfaat sebagai berikut :

BRAWITAYA

- 1. Mampu mengaplikasikan teori yang telah didapat selama perkuliahan tentang transfer energi dan massa.
- 2. Dengan penelitian ini, akan diperoleh perbandingan kecepatan udara dari blower dan air untuk mendapatkan transfer energi dan massa yang besar pada *direct contact humidifier*.
- 3. Memberikan kontribusi bagi perkembangan IPTEK dan dunia industri dalam mendisain *humidifier* untuk mendapatkan transfer energi dan massa yang besar dengan kecepatan udara yang optimal.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Seong-Yeon Yoo dan Hwa-Kil Kwon (2004) melakukan penelitian eksperimental mengenai performa dari udara atau air pada sistem pengondisian udara secara *direct contact*. Sistem ini memiliki lebih banyak keuntungan dari pada sistem pengondisian udara secara *indirect contact*. Pada sistem pengondisian udara secara *direct contact* ini transfer panas dan massa terjadi secara langsung antara udara dan *droplet* air. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menyelidiki performa pendinginan dan pemanasan pada sistem pengondisian udara secara *direct contact*. Kesimpulan dari penelitian ini adalah kelembaban dan temperatur outlet udara akan semakin meningkat pada kondisi pemanasan seiring dengan peningkatan temperatur dan massa alir air dan juga seiring dengan penurunan kecepatan udara. Sebaliknya, pada kondisi pendinginan, kelembaban dan temperatur outlet akan menurun seiring dengan peningkatan temperatur dan kecepatan udara.

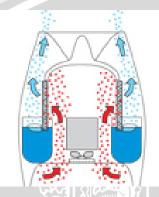
2.2 Humidifier

Humidifier merupakan suatu alat yang berfungsi untuk meningkatkan kelembaban udara melalui proses humidifikasi. Proses humidifikasi, merupakan suatu proses penambahan kadar air dalam udara. Dengan mengkondisikan kelembaban suatu ruangan kita dapat memperoleh nilai kelembaban yang sesuai untuk tujuan tertentu. Pada dunia industri, pengendalian kelembaban adalah massalah yang penting untuk beberapa proses industri. Sebagai contoh, pada industri tekstil, kelembaban yang tinggi akan menaikkan kandungan air pada serat higroskopis pada saat didinginkan, disisir, dipintal dan ditenun sehingga akan menambah kekuatan lentur, mengurangi sifat elektrostatik dan memisahkan serat dengan jalan mendorong akibatnya kerja mesin akan semakin mudah. Tekstil membutuhkan kelembaban relatif sekitar 50%-85% pada suhu 24°C sampai 30°C (Kulshresta, 1989). Sedangkan kelembaban untuk udara yang bersirkulasi di dalam rumah, kelembabannya berkisar 40%-70% dengan suhu antara 18° - 30°C (Gracia Emerentiana, 2009).

Jenis-jenis humidifier diantaranya:

1. Vaporizer Humidifier

Kelembaban udara ditingkatkan dengan jalan melepaskan uap air ke udara. Jenis *humidifier* ini (Gambar 2.1) menggunakan energi listrik untuk memanaskan air sampai terbentuk uap air.



Gambar 2.1 : Vaporizer Humidifier

Sumber: http://www.airoswiss.net/images/interior/vaporizer.jpg&imgrefurl

2. Impeller Humidifier

Air pada *diffuser* diputar oleh *impeller* akan terpecah menjadi tetesan air yang akan terhanyut pada udara. Akibatnya, kelembaban udara akan meningkat karena kanduangan air didalam udara bertambah. Sistem *humidifier* ini ditunjukkan oleh gambar 2.2.



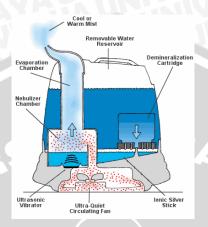
Gambar 2.2 : Impeller Humidifier

Sumber: http://www.draftair.com/images/ph15.jpg&imgrefurl

3. *Ultrasonik Humidifier*

Pada sistem *humidifier* (gambar 2.3) di dalamnya dibuat mekanisme getaran ultrasonik. Getaran ultrasonik membantu proses pembentukan tetesan air yang secara

perlahan ke luar dari humidifier membentuk kabut dingin. Kabut dingin ini kemudian bercampur dengan udara luar sehingga kelembaban udara menjadi meningkat. *Humidifier* ultrasonik harus sering dibersihkan untuk mencegah terjadinya kontaminasi antara udara dengan bakteri.



Gambar 2.3 : Ultrasonik *Humidifier*

Sumber: www.healthgoods.com/shopping/images/AirOSwiss_Ultrasonic_Humidification.gif

4. Hydro-Pneumatic Capillary Sistem Humidifier (Non Electric Humidifier)

Pada *humidifier* jenis ini (gambar 2.4), *humidifier* tidak menggunakan energi listrik sama sekali, hanya menggunakan sistem katup dan pipa kapiler. Dengan menggunakan sistem tersebut air diuaraikan menjadi partikel-partikel kecil dan dilepaskan ke udara, sehingga kelembaban udara menjadi meningkat.



Gambar 2.4 : Hydro-Pneumatic Capillary Sistem Humidifier (Non Electric Humidifier)

Sumber: www.rtmagazine.com/issues/articles/2006-09_02.asp

2.3 Blower

Blower merupakan suatu alat yang berfungsi untuk mengalirkan dan memampatkan udara. Blower yang digunakan untuk mengeluarkan udara dari oven kokas disebut *exhauser*, sedangkan blower dengan sisi isap yang melebihi tekanan atmosfer, blower biasa dikenal dengan istilah *booster* atau *circulator*. Blower dapat mencapai tekanan yang lebih tinggi dari pada fan, sampai 1,20 kg/cm2. Dapat juga digunakan untuk menghasilkan tekanan negatif untuk sistem vakum di industri. Berikut ini adalah macam-macam blower:

2.3.1 Blower Sentrifugal

Blower sentrifugal (gambar 2.5) terlihat lebih seperti pompa sentrifugal daripada fan. Impelernya digerakan oleh gir dan berputar 15.000 rpm. Blower sentrifugal beroperasi melawan tekanan 0,35 sampai 0,70 kg/cm2, namun dapat mencapai tekanan yang lebih tinggi Pada *blower multi-stage*, udara dipercepat setiap melewati impeler.



Gambar 2.5 : Blower Sentrifugal Sumber : www.energyefficiencyasia.org

2.3.2 Blower Positif displacement

Blower ini menyediakan volume udara yang konstan bahkan untuk tekanan sistem yang bervariasi dan diputar lebih pelan dari pada blower sentrifugal (3600 rpm). Karena dapat menghasilkan tekanan yang cukup (sampai 1,25 kg/cm²), blower jenis ini dapat menekan bahan-bahan penyumbat sampai keluar.

2.4 Spray Nozzle

Nozzle merupakan suatu alat yang berfungsi untuk meningkatkan kecepatan aliran fluida. Sedangkan spray nozzle merupakan salah satu jenis dari nozzle yang berfungsi untuk memecah fluida cair menjadi butiran-butiran halus atau droplet dengan sudut semprot

BRAWIJAYA

tertentu. Pada debit yang sama, semakin besar sudut semprot suatu *nozzle* maka *droplet* yang dihasilkan akan semakin kecil.

Fungsi dasar dari swirl nozzle adalah:

- 1. Mengontrol laju aliran fluida
- 2. Atomisasi cairan menjadi droplet
- 3. Menyebarkan droplet dengan pola tertentu

Swirl nozzle memerlukan energi yang berasal dari pompa. Energi spesifik fluida ke luar pompa diubah menjadi energi kinetik dengan cara mengalirkannya melalui alur/slot pada inti. Fluida yang melalui alur ini akan memiliki kecepatan tinggi yang kemudian masuk swirl chamber pada arah tangensial, dan akan membentuk vorteks (pusaran). Hasil perubahan energi inilah yang digunakan untuk pembentukan droplet dan juga untuk membentuk sudut semprot tertentu dengan pola semprotan yang spesifik.

Ukuran droplet dipengaruhi oleh beberapa faktor sebagai berikut :

a. Diameter orifice nozzle

Pada tipe *nozzle* yang sama dan pada tekanan kerja yang sama, semakin kecil diameter orifice *nozzle* maka ukuran *droplet* yang dihasilkan semakin halus.

b. Kecepatan aliran fluida

Pada tipe *nozzle* yang sama dan pada variasi tekanan yang berbeda semakin besar tekanan maka semakin besar kecepatan aliran fluida sehingga ukuran *droplet* yang dihasilkan akan semakin halus.

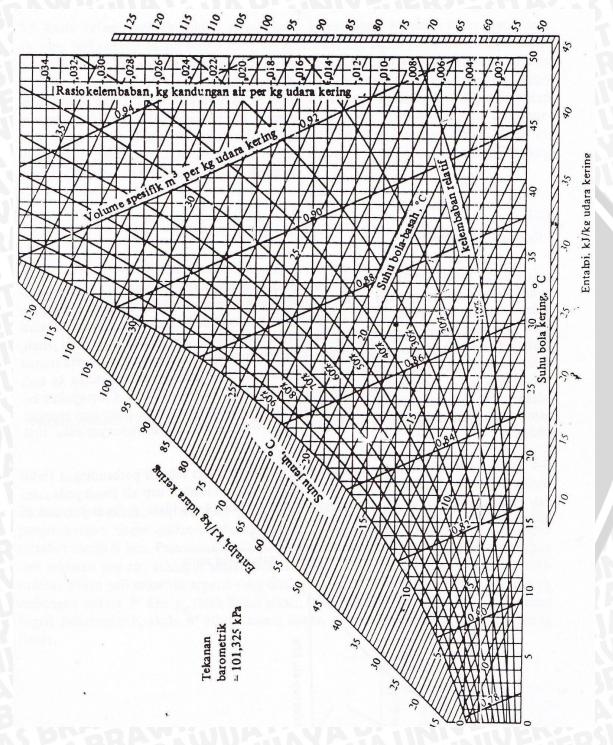
c. Sudut spray

Semakin besar sudut *spray* suatu *nozzle* maka *droplet* yang dihasilkan akan semakin halus.

2.5 Psycrometric dan Diagram Psycrometric

Ilmu yang mempelajari sistem yang terdiri dari campuran udara kering dan uap air, udara dan air serta udara jenuh disebut *Psycrometric*. Ilmu ini banyak diterapkan pada analisa dan disain pada alat-alat pengondisian udara, proses-proses yang berhubungan dengan kandungan uap di udara, menara pendingin (*cooling tower*) serta proses pemanasan dan pendinginan udara demikian juga untuk sistem pada *humidifier*. Diagram psikrometri (gambar 2.6) menggambarkan beberapa sifat penting dari udara kering hingga udara lembab,

baik harga entalpi, kelembaban dan volume spesifik dari suatu sampel udara dengan jalan mengukur temperatur bola basah dan temperatur bola kering suatu ruangan, kemudian dengan diagram ini kita dapat menentukan harga parameter-parameter dari udara



Gambar 2.6 : Diagram Psycrometric

Sumber: http://www.fao.org/docrep/S1250E/S1250EEW.GIF

Udara Jenuh (Saturated Air)

Adalah udara yang tidak dapat lagi menerima uap air pada temperatur yang diberikan. Penurunan pada temperatur tersebut akan menghasilkan kondensasi. Peningkatan pada temperatur ini akan membuatnya menjadi tak jenuh lagi sehingga akan dapat menerima uap air lagi. Dalam udara jenuh, tekanan parsial uap air adalah sama dengan tekanan jenuh P_{sat} (didapat dari tabel uap) pada temperatur udara.

Berikut ini parameter-parameter udara yang terdapat pada diagram psikrometri:

b. Kelembaban Relatif (*Relative Humidity*)

Kelembaban relatif sama dengan tekanan parsial dari uap air dalam udara (P_v), dibagi dengan tekanan parsial dari uap air yang akan menjenuhkan udara pada temperatur tersebut, P_{sat}. Sehingga kelembaban relatif, Φ, dapat rumuskan sebagai berikut:

$$\Phi = P_v/P_{sat}$$
 (El-Wakil, 1984:284) (2-1)

Kelembaban Absolut (Absolute Humidity atau Humidity Ratio)

Kelembaban absolut atau rasio kelembaban adalah perbandingan massa uap air dengan massa udara kering dalam udara atmosfer, atau dapat pula didefinisikan sebagai massa uap air yang terkandung dalam setiap kilogram udara kering. Sehingga dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\omega = m_v/m_a$$
 (El- Wakil, 1992: 266) (2-2)

karena uap air dan udara dapat dianggap sebagai gas ideal (Stoecker, 1992: 41), maka:

$$\omega = \frac{P_{\nu}V/R_{\nu}T}{P_{a}V/R_{a}T}$$

$$\omega = \frac{P_{\nu}/R_{\nu}}{P_{a}/R_{a}}$$

$$\omega = \frac{P_{\nu}R_{a}}{P_{a}R_{\nu}}$$

$$\omega = \frac{P_{\nu}R_{a}}{P_{c}R_{\nu}}$$

(2-3)

dengan harga $R_a = 287$ (J/Kg K), maka diperoleh :

$$\omega = 0.622 \text{ P/(p-p_v)}$$
 (C-4)

dengan:

ω = kelembaban absolut (kg uap air/kg udara kering)

V = volume campuran udara uap (m³)

 $P = tekanan atmosfer = P_a + P_v (Pa)$

 P_a = tekanan parsial udara kering (Pa)

P_v = tekanan parsial uap air dalam keadaan jenuh (Pa)

T = temperatur mutlak campuran udara uap (K)

 R_v = tetapan gas untuk uap air (J/Kg K)

R_a = tetapan gas untuk udara kering (J/Kg K)

d. Temperatur Bola Kering (*Dry-Bulb Temperatur*)

Temperatur bola kering adalah temperatur dari udara sebagaimana yang biasanya diukur dan digunakan. Temperatur ini merupakan temperatur yang diukur dengan sebuah termometer raksa, termokopel, dan lain-lain.

e. Temperatur Bola Basah (Wet-Bulb Temperatur)

Secara teori temperatur udara jenuh dapat diukur dengan alat penjenuh adiabatik, yaitu suatu alat yang mengalirkan udara melewati percikan air. Air tersebut didaurkan secara terus-menerus hingga mencapai kesetimbangan dan diberi penyekat agar tidak ada kalor yang masuk maupun ke luar. Karena hal ini sulit sekali dilakukan, maka digunakan alat pengukur temperatur bola basah yang lebih sederhana. Temperatur bola basah adalah temperatur yang ditunjukkan oleh termometer dimana pada bagian bolanya dilengkapi dengan sumbu yang selalu basah. Temperatur yang diperoleh merupakan pendekatan dari temperatur udara jenuh yang diukur dengan alat penjenuh adiabatik. Selama udara yang ada di sekitarnya belum jenuh, maka temperatur yang ditunjukkan selalu di bawah temperatur bola keringnya. Hal ini terjadi karena apabila udara tidak jenuh dan sumbu yang digunakan selalu basah, maka tekanan parsial uap air di sekitar sumbu bola basah akan lebih besar dari pada tekanan parsial di atmosfer, sehingga terjadilah penguapan.

Penguapan akan terjadi pada temperatur konstan atau apabila ada tambahan kalor dari luar. Karena tidak ada kalor yang ditambahkan maka untuk mengubah fase menjadi uap, air pada sumbu akan melepas sebagian kalor yang dimilikinya sehingga akan menurunkan temperaturnya. Temperatur bola basah akan sama dengan temperatur bola kering apabila udara sudah mencapai kondisi jenuh.

f. Titik Embun (Dew Point)

Temperatur dimana uap air yang diberikan dari udara mulai mengembun.

g. Entalpi

Entalpi dapat didefinisikan sebagai besarnya energi untuk setiap satu satuan massa. Sedangkan penjumlahan dari entalpi uadara kering dan entalpi uap air merupakan entalpi campuran antara udara kering dan uap air. Dimana entalpi campuran dirumuskan sebagai berikut:

$$h = C_p T_c + \omega h_g$$
 (2-5)

Keterangan:

h = entalpi campuran antara udara kering dengan uap air (J/kg)

C_P = kapasitas spesifik udara kering pada tekanan konstan 1,0 kJ/kg_{udara kering} K

 T_c = Suhu campuran antara udara dan uap (°C)

 ω = kelembaban absolut (kg_{uap}/ kg_{udara kering})

 $h_{_{\sigma}} = \text{entalpi uap } (J/kg_{\text{uap}})$

2.6 Perpindahan Panas dan Massa pada Humidifier

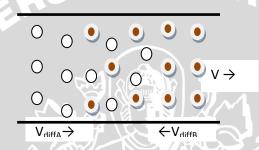
Proses Difusi 2.6.1

Bila udara kering pada temperatur konstan dijenuhkan oleh air pada temperatur yang sama pada alat perpindahan kalor kontak langsung (direct contact heat transfer), uap air memasuki udara dengan membawa kalor latennya untuk penguapan. Kelembaban campuran udara-uap air meningkat selama penjenuhan. Hal ini terjadi karena selama proses penjenuhan, terjadi proses penguapan dimana penguapan timbul karena tekanan uap air yang ke luar dari cairan adalah lebih besar dibandingkan tekanan uap parsial air yang berada dalam udara tidak jenuh. Ketika tekanan parsial uap air dalam udara sama dengan cairan, udara menjadi jenuh dan penguapan berhenti. Temperatur penguapan air dapat dijaga konstan selama proses penjenuhan udara jika terdapat suplai panas pada air yang digunakan untuk mengganti panas yang hilang sebagai panas laten penguapan. Dari uraian di atas dapat diketahui bahwa perpindahan kalor selama penjenuhan dapat terjadi meskipun tanpa ada perbedaan temperatur.

Pergerakan material (massa) antara dua fase karena perbedaan tekanan uap (konsentrasi) disebut difusi, dan dapat digambarkan dengan transfer material dari satu fase ke fase lain atau keduanya. Fenomena ini disebut perpindahaan massa (untuk memisahkannya dengan konsep perpindahan panas). Pada sebuah sistem dengan fase tidak homogen, maka

2.6.2 Difusi fluida yang memiliki beda konsentrasi dan kecepatan besar.

Pada sistem ini, gambar 2.7, terjadi proses difusi molekul dan konveksi. Kecepatan masing-masing zat sama dengan jumlah antara kecepatan pergerakan volume dan kecepatan difusi. Kecepatan aliran dan kecepatan difusi dapat searah atau berlawanan arah tergantung pada gradien konsentrasi. Kecepatan difusi akan bernilai negatif ketika aliran volume pada arah x positif dan gradien konsentrasi bernilai positif.



Gambar 2.7 : Gambar proses difusi dengan fluida yang memiliki beda konsentrasi dan kecepatan yang besar

Sumber: Cengel, 1998: 651

Pada sistem tersebut berlaku:

$$\rho_A \neq cons \tan \theta$$

$$\rho_B \neq cons \tan \theta$$

$$\rho = \frac{m_A + m_B}{v} = cons \tan \theta$$

$$m_A = \rho_A V_{diffA} A$$

$$m_B = \rho_B V_{diffB} A$$

$$m = \rho VA = m_A + m_B$$

$$V_{A} = V + V_{diffA}$$

$$V_{\scriptscriptstyle B} = V + V_{\scriptscriptstyle diffB}$$

$$V - V$$

.....(Cengel, 1998: 651) (2-6)

BRAWIJAYA

: fluida A

: fluida B

 ρ_A

: massa jenis fluida A (kg/m³)

 $\rho_{\rm B}$

: massa jenis fluida B (kg/m³)

ρ

: massa jenis fluida campuran (kg/m³)

 m_{A}

: massa alir fluida A (kg/s)

 $m_{\rm B}$

V_{diff A}: kecepatan fluida A (m/s)

V_{diffB}: kecepatan fluida B(m/s)

: volume campuran antara udara dengan uap air (m³)

Kecepatan rata-rata fluida dapat diketahui nilainya dengan menggunakan rumus :

$$V = \frac{\rho_A V_A + \rho_B V_B}{\rho_m}$$

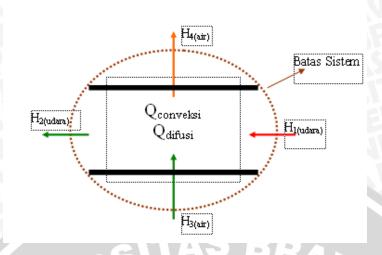
$$V = \frac{\rho_A}{\rho_m} V_A + \frac{\rho_B}{\rho_m} V_B$$
$$V = w_A V_A + w_B V_B$$

$$V = w_A V_A + w_B V_B$$

.....(Cengel, 1998: 651) (2-7)

2.6.3 Kesetimbangan Kalor pada Sistem

Udara dengan temperatur yang lebih tinggi dialirkan ke dalam sistem dengan menggunakan blower yang kemudian disinggungkan dengan partikel air yang memiliki temperatur lebih rendah dari pada temperatur udara. Udara bersinggungan dengan air secara langsung sehingga timbul proses transfer kalor antara kedua zat tersebut. Gambar 2.8 menunjukkan kesetimbangan kalor yang terjadi di dalam humidifier.



Gambar 2.8 : Kesetimbangan kalor pada *Humidifier*

Keterangan:

 H_1 : Kalor udara yang masuk ke dalam sistem [watt]

 H_2 : Kalor yang ke luar dari sistem $(H_1 + Q_{diff} - Q_{conv})$ [watt]

 H_3 : Kalor air yang masuk ke dalam sistem [watt]

 H_4 : Kalor air tampung (H_3 - Q_{diff} + Q_{conv}) [watt]

Perpindahan panas total pada humidifier terdiri dari dua komponen perpindahan panas, yaitu:

Perpindahan Kalor Difusi (q_d) a.

Perpindahan kalor ini terjadi antara udara dengan partikel air, dimana udara bercampur dengan pertikel air. Pada proses ini terjadi perubahan fasa dimana sebagian air berubah menjadi uap air sehingga terjadi peningkatan kelembaban udara akibat penambahan massa uap air menuju ke udara.

b. Perpindahan kalor Konveksi (q_c)

Perpindahan kalor konveksi terjadi pada media yang bergerak dimana udara dan air temperaturnya berbeda dan saling bersinggungan. Pada penelitian ini, proses konveksi terjadi dari udara ke air. Besarnya nilai kalor yang berpindah tergantung pada beda temperatur fluida yang bersinggungan (ΔT), koefisien konveksi (h) dan luas permukaan perpindahan kalor (A). Sedangkan nilai koefisien konveksi dipengaruhi oleh bilangan Nuselt, Reynold dan koefisien konduksi.

Dengan memvariasikan bukaan blower, berarti kecepatan udara antara bukaan satu dengan yang lain berbeda. Semakin besar kecepatan udara maka bilangan *Reynold* akan semakin meningkat karena kecepatan udara berbanding lurus dengan bilangan *Reynold*, dimana dapat dirumuskan :

$$Re = \frac{Vd_H}{V}$$
 (2-8)

Hubungan antara bilangan *Nuselt*, bilangan *Reynold* dan koefisien konveksi adalah sebagai berikut:

$$Nu = C \operatorname{Re}^m \operatorname{Pr}^n$$
(Holman; 1984:230)

$$Nu = \frac{hd_H}{k}$$
 (2-10)

Dengan demikian dapat kita simpulkan, seiring dengan kenaikan kecepatan udara maka bilangan *Reynold*, bilangan *Nuselt* dan koefisien konveksi akan semakin besar, akibatnya perpindahan kalor akibat proses konveksipun akan semakin meningkat. Hal tersebut dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$q = h A \Delta T$$
(Holman; 1984:229) (2-11)

Dimana:

Re = bilangan *Reynold*

V = kecepatan udara (m/s)

d_H = diameter hidrolik

C,m,n = konstanta

Pr = bilangan *Prandlt*

 $h = \text{koefisien perpindahan panas konveksi } (W/m^2 K)$

k = koefisien konduksi (W/mK)

Nu = bilangan Nuselt

 ΔT = beda temperatur (K)

q = laju perpindahan kalor konveksi (J/s)

Keseimbangan kalor secara matematik dapat dituliskan sebagi berikut :

 \sum Kalor keluar :

$$H_2 + H_4 = H_1 + Q_{enff} - Q_{conv} + H_3 - Q_{diff} + Q_{conv}$$

Sehingga dapat disimpulkan:

 \sum Kalor keluar = \sum Kalor masuk

$$H_2 + H_4 = H_1 + H_3$$
 (2-12)

Udara tidak hanya terdiri dari udara kering saja, tetapi juga mengandung uap air sehingga untuk menghitung entalpinya digunakan persamaan :

$$h = C_p T_c + \omega h_g$$
 (2-13)

Sehingga nilai energi kalor udara masuk dihitung dengan rumus :

$$H_1 = m_{a1} \, \mathbf{C}_p T_1 + \omega_1 h_{g1}$$
 (2-14)

Keterangan:

 m_{a1} = massa alir udara kering yang masuk ke dalam sistem (kg/s)

 T_1 = temperatur udara inlet (°C)

 ω_1 = kelembaban absolut udara inlet (%)

 h_{g1} = entalpi uap udara inlet (J/kg)

Nilai kalor udara keluar dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$H_2 = m_{a2} \, \mathbf{C}_p T_c + \omega h_g$$
 (2-15)

 m_{a2} = massa alir udara kering yang keluar ke dalam sistem (kg/s)

 T_2 = temperatur udara keluar (°C)

 ω_2 = kelembaban absolut udara keluar (%)

 h_{g2} = entalpi uap udara keluar (J/kg)

Massa udara kering yang masuk ke dalam sistem besarnya sama dengan massa udara kering yang keluar dari sistem, sehingga dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$m_{a1} = m_{a2} = m_a$$

 m_a merupakan massa alir udara kering, dimana nilainya dapat dihitung dengan rumus :

$$\omega = \frac{m_v}{m_a}$$
 (2-16)

$$m = \rho \times V \times A$$
 (Cengel,1994:98) (2-18)

Dari persamaan (2-15) dan (2-16) akan diperoleh:

$$m = m_a + m_v$$

$$m = m_a + \omega \times m_a$$

$$m = (1+\omega) \times m_a$$

$$m_a = \frac{m}{(1+\omega)}$$

BR4///....(2-19) ERSIT

Keterangan:

= kelembaban absolut campuran udara dan uap air. ω

m= laju massa alir campuran udara dan uap air (kg/s)

 m_a = laju massa alir udara kering (kg/s)

= laju massa alir uap air (kg/s)

V = kecepatan campuran udara dan uap air (m/s)

= massa jenis campuran udara dan uap air.

Sedangkan V, kecepatan campuran antara udara dan uap air, diperoleh dari rumus :

$$V = c \times \sqrt{2gh} \tag{2-20}$$

$$V = c \times \sqrt{2g \frac{\Delta P}{\gamma}}$$
 (2-21)

$$V = c \times \sqrt{2g \frac{\rho_{MINYAK}gh_{MINYAK}}{g\rho_{udara}}}$$
(2-22)

$$V = c \times \sqrt{2g \frac{\rho_{air} SG_{MINYAK}(z \sin 3,75/1000)}{\rho_{udara}}}$$
(2-23)

c = Konstanta tabung pitot (0.85)

 ΔP = Beda tekanan rata-rata fluida.

γ = Berat jenis udara dan uap air pada saat pengujian

 ρ_{minyak} = Massa jenis minyak pada manometer

z = beda tekanan yang diukur oleh tabung pitot (mm minyak manometer)

 ρ_{udara} = Massa jenis udara outlet (campuran antara air dan uap air)

 SG_{minyak} = spesifik grafity (0,826)

Sedangan H_3 dan H_4 masing-masing dihitung dengan rumus :

$$H_3 = m_3 \times h_3$$

$$H_4 = m_4 \times h_4$$
 (2-24)

Keterangan:

 m_3 = massa alir air yang masuk ke dalam sistem (kg/s)

 m_4 = massa alir air yang ke luar dari sistem (kg/s)

h₃ = entalpi air yang masuk ke dalam sistem (J/kg)

 h_4 = entalpi air yang ke luar dari sistem (J/kg)

Massa alir air masing-masing dihitung dari perkalian antara massa jenis air dengan debitnya atau secara matematis dapat ditulis :

$$m_3 = \rho_{air} \times Q_3$$

$$m_4 = \rho_{air} \times Q_4 \tag{2-25}$$

Sedangkan nilai entalpinya dilihat pada tabel udara dan uap air yang tergantung dengan besaranya temperatur dan tekanan masing-masing kondisi.Dengan menggabungkan persamaan-persamaan sebelumnya, maka persamaan energinya menjadi :

$$H_1 + H_3 = H_2 + H_4$$

$$H_1 + m_3 h_3 = m_{a2} \, \mathbf{C}_p T_2 + \omega_2 h_{g2} + m_4 h_4$$

$$H_1 + m_3 h_3 = m_{a2} \, \mathbf{C}_p T_2 + \omega_2 h_{g2} + m_4 h_4$$

$$m_{a1} \mathbf{C}_p T_1 + \omega_1 h_{g1} + m_3 h_3 = m_{a2} \mathbf{C}_p T_2 + \omega_2 h_{g2} + m_4 h_4$$

$$m_a \mathbf{C}_p T_1 + \omega_1 h_{g1} + m_3 h_3 = m_a \mathbf{C}_p T_2 + \omega_2 h_{g2} + m_4 h_4$$

.....(2-26)

Nilai transfer energi dihitung dengan persamaan :

$$\Delta H = H_1 - H_2 = H_4 - H_3$$
(2-27)

Sedangkan besarnya massa uap air yang ditransfer ke udara adalah :

$$\Delta m = m_2 - m_1 = m_3 - m_4$$
 (2-28)

2.7 **Hipotesa**

Semakin besar kecepatan udara masuk maka jumlah massa udara yang mengalir ke dalam sistem, angka Reynold, Nuselt dan koefisien konveksi akan semakin tinggi, akibatnya proses transfer energi dan massa pada sistem akan semakin meningkat.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode penelitian yang dilakukan adalah dengan menggunakan metode eksperimental (*true experimental research*) yang secara langsung digunakan ke obyek yang akan diteliti. Obyek tersebut akan diambil datanya pada tahapan-tahapan tertentu yang akan menghasilkan beberapa data yang bisa dibandingkan dan akan menunjukkan suatu pola perbandingan tertentu yang bisa dihubungkan.

3.2 Variabel Penelitian

1. Variabel bebas (independent variabel)

Dalam penelitian ini variabel bebas yang digunakan adalah:

- Variasi kecepatan udara inlet pada bukaan blower sebesar 3cm, 4cm, 5cm, 6cm, 7cm, 8cm dan 9cm.
- 2. Variabel terikat (dependent variabel)

Variabel terikat yang diamati dalam penelitian ini adalah:

- Transfer energi
- Transfer massa
- 3. Variabel terkontrol.

Variabel yang dikontrol dalam penelitian ini adalah:

Temperatur udara inlet divariasikan masing-masing sebesar 40 °C, 45 °C dan 50 °C.

3.3 Alat-alat Penelitian

Peralataan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari :

1. Windtunnel

Windtunnel (gambar 3.1) merupakan suatu alat yang digunakan untuk mengukur kecepatan aliran udara yang mengalir didalamnya. Kecepatan udara dapat dihitung melalui beda tekanan yang diukurdengan *inclined manometer*. Dimana kecepatan udara dapat dihitung dengan rumus :

$$V = c \times \sqrt{2gh}$$

$$V = c \times \sqrt{2g \frac{\Delta P}{\gamma}}$$

$$V = c \times \sqrt{2g \frac{\rho_{MINYAK}gh_{MINYAK}}{g\rho_{udara}}}$$

$$V = c \times \sqrt{2g \frac{\rho_{air} SG_{MINYAK}(z \sin 3,75/1000)}{\rho_{udara}}}$$

Dimana:

= Konstanta tabung pitot (0,85)

ΔΡ = Beda tekanan rata-rata fluida.

BRAWIUA = Berat jenis udara dan uap air pada saat pengujian γ

 ρ_{minyak} = Massa jenis minyak pada manometer

 \mathbf{Z} = beda tekanan yang di ukur oleh tabung pitot (mm minyak manometer)

= Massa jenis udara outlet (campuran antara air dan uap air)

SG_{minyak}= spesifik grafity (0,826)

sedangkan p_{udara} dapat kita peroleh dari tabel uap air.



Gambar 3.1: Wind Tunnel

Sumber: Laboratorium Mesin-Mesin Fluida, Teknik Mesin, UB.

- Sensor dan peralatan pendukung lainnya.
 - a. Thermocouple

Thermocouple yang digunakan adalah tipe K. Thermocouple ini digunakan untuk mengukur temperatur udara masuk dan, temperatur udara keluar. Dalam hal ini thermocouple digunakan untuk mengubah suatu besaran fisis yang berupa suhu menjadi bentuk elektris berupa tegangan.

b. Peralatan pendukung

Digital Multimeter

Alat ini berfungsi mengubah data analog dari termocouple menjadi temperatur dengan tampilan digital.

Thermo Controler

Fungsi dari alat ini adalah mematikan aliran listrik menuju eleemen pemanas ketika temperatur udara yang masuk pada alat duck melebihi 40°C, 45°C dan 50°C pada setiap pengambilan data serta menghidupkannya kembali jika temperatur di bawah 40°C, 45°C dan 50°C. Toleransi dari pengaturan temperatur ini adalah ± 0.5 °C.

3. Inclined Manometer

Pada prinsipnya inclined manometer (gambar 3.2) digunakan untuk mengukur beda tekanan udara saat inlet yang ditunjukkan oleh perbedaan ketinggian cairan, yang selanjutnya digunakan untuk menentukan kecepatan udara inlet.



Gambar 3.2: Inclined Manometer

Sumber: Laboratorium Mesin-Mesin Fluida, Teknik Mesin, UB

WIJAYA

4. Pompa

Pompa yang digunakan dalam penelitian ini adalah *wiper washer assy* mobil yang digunakan untuk memompa air. Adapun spesifikasi pompa tersebut adalah sebagai berikut :

• No. Part : MZS38017

• Merk : G

• Daya : 0,175 kW

• Kapasitas : 52 ml/menit

5. Spray Nozzle (Sprayer)

Sprayer merupakan suatu alat yang berfungsi untuk mengubah energi tekanan fluida masuk sprayer menjadi energi kecepatan fluida keluar srayer. Pada penelitian ini srayer yang digunakan memiliki diameter sebesar 0,2 mm.

6. Gelas ukur

Gelas ukur (gambar 3.3) berfungsi untuk mengetahui debit air pendingin yang disemprotkan ke dalam sistem. Debit dihitung dengan membagi volume air yang berkumpul pada gelas ukur dengan waktu proses pengumpulan air tersebut. Dimana secara matematis dapat ditunjukkan dengan rumus:

$$\dot{Q} = \frac{V}{t}$$

Dimana:

 \dot{Q} = debit air pendingin (m³/detik)

 $V = \text{volume air pendingin } (\text{m}^3)$

t = waktu (detik)



Gambar 3.3: Gelas Ukur

Sumber: Laboratorium Mesin-Mesin Fluida, Teknik Mesin, UB.

3.6 Heater

Alat ini (gambar 3.4) digunakan untuk mendapatkan udara panas dengan temperatur tertentu. Heater ini mengonversikan energi listrik menjadi energi panas melalui elemen pemanas yang selanjutnya digunakan untuk memanaskan udara inlet.



Gambar 3.4: Heater

Sumber: Laboratorium Mesin-Mesin Fluida, Teknik Mesin, UB.

8. Adaptor

Adaptor (gambar 3.5) berfungsi sebagai sumber listrik untuk pompa, sehingga pompa dapat menekan air menuju nozzle dan tersembur keluar menjadi partikel-partikel kecil. Adapun spesifikasi adaptor adalah sebagai berikut :

• Arus : 5 A

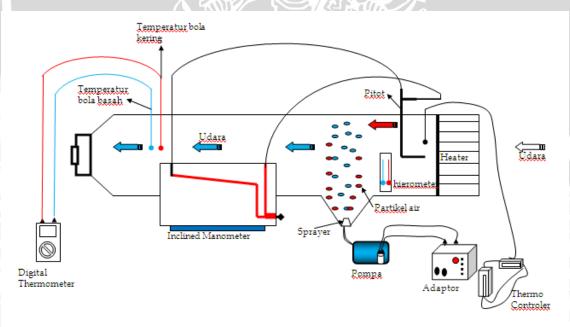
• Voltase : 12 Volt



Gambar 3.5: Adaptor

Sumber: Laboratorium Mesin-Mesin Fluida, Teknik Mesin, UB.

3.4 Instalasi Penelitian



Gambar 3.6 Instalasi Penelitian

3.5 Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Mesin-mesin Fluida, Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Brawijaya.

3.6 Prosedur penelitian

Persiapan meliputi:

- 1. Menyiapkan instalasi penelitian dengan berbagai variasi bukaan katup blower.
- 2. Memanaskan udara dengan elemen pemanas sampai pada temperatur 40°C sebagai persiapan udara inlet.
- 3. Pengecekan kondisi alat ukur meliputi manometer dan sensor beserta alat pendukungnya.
- 4. Ulangi langkah 1 sampai 3 untuk setiap pengesetan temperatur udara inlet sebesar 45°C dan 50°C.

Pelaksanaan percobaan:

- 1. Memassang semua instalasi penelitian pada *wind tunnel* dengan temperatur udara inlet sebesar 40°C.
- 2. Menghidupkan pompa dan mengatur debit air sesuai dengan yang diinginkan.
- 3. Hidupkan blower dengan bukaan 3 cm.
- 4. Setelah keadaan mencapai kondisi *steady*, pengambilan data dapat dilakukan.
- 5. Mengambil data temperatur udara masuk, temperatur udara keluar dan perbedaan tekanan udara keluar pada *inclined manometer*.
- 6. Mengulangi langkah 2 sampai 4 pada variasi bukaan blower sebesar sebesar 4cm, 5cm, 6cm, 7cm, 8cm dan 9cm untuk mendapatkan kecepatan udara inlet yang berbeda.
- 7. Mengulangi langkah 2 sampai 5 pada temperatur udara inlet sebesar 45°C dan 50°C.
- 8. Data diolah, kemudian dianalisa pengaruh kecepatan udara inlet terhadap transfer energi dan massa. Data dianalisa dengan rumusan dan persamaan sesuai dengan ilmu mekanika fluida dan thermodinamika. Dari analisa tersebut nantinya akan dapat diketahui hubungan antara variabel bebas dan variabel terkontrol terhadap variabel terikatnya. Dari hubungan tersebut akan

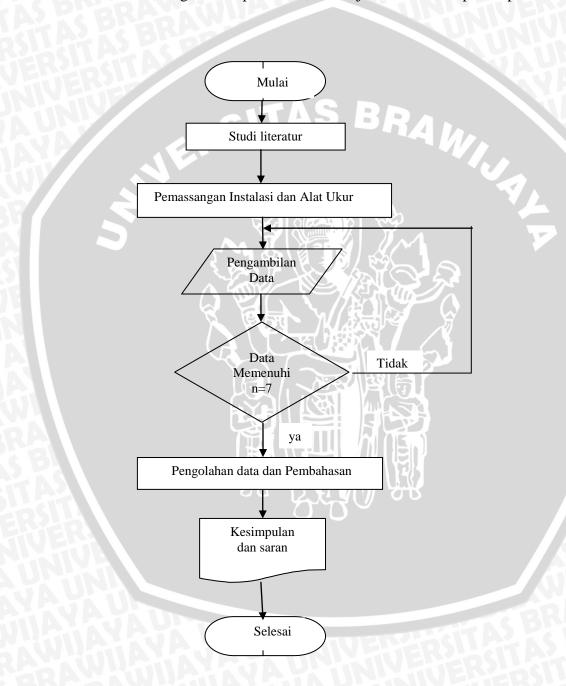
BRAWIJAYA

digunakan untuk menjawab rumusan massalah yang telah dikemukakan lebih awal.

9. Menarik kesimpulan.

3.7 Diagram Alir Penelitian

Gambar 3.7, diagram alir penelitian, menunjukkan alur dari proses penelitian.



Gambar 3.7 Diagram Alir Penelitian

BAB IV DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Data

4.1.1 Data hasil pengujian

Berikut ini (tabel 4.1,4.2 dan 4.3) adalah data hasil pengujian pengaruh kecepatan udara terhadap transfer energi dan massa pada *direct contact humidifier*:

Tabel 4.1 Tabel hasil pengambilan data yang diperoleh pada $T_{udara\;inlet}$ 40 °C

 $P_{atm} = 1 atm$

LLATV.	T _{d in}	T_{win}	T _{d out}	T _{w out}		
Bukaan Blower (cm)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	Z (mm minyak manometer)	
3	40	26	36	27	3	
4	40	26	35	27	4	
5	40	25,5	35	27	6	
6	40	25,3	36	27	7	
7	40	25	31	27	9	
8	40	25	29	26	11	
9	40	25	-28	27	13	

Tabel 4.2 Tabel hasil pengambilan data yang diperoleh pada $T_{udara\;inlet}\,45\;{}^{\circ}C$

 $P_{atm} = 1 atm$

Bukaan Blower (cm)	T _{d in} (°C)	T _{win} (°C)	T _{d out} (°C)	$T_{w \text{ out}}$ (°C)	Z (mm minyak manometer)
3	45	32,5	39	30	3
4	45	32,5	38	30	4
5	45	32,5	39	30	6
6	45	32	38	29	7
7	45	32	31	29	9
8	45	32	29	28	11
9	45	31,5	28	28	13

Tabel 4.3 Tabel hasil pengambilan data yang diperoleh pada $T_{udara\;inlet}\,50\;{}^{\circ}C$

 $P_{atm} = 1 atm$

Bukaan Blower (cm)	T _{d in} (°C)	T _{win} (°C)	T _{d out} (°C)	T _{w out} (°C)	Z (mm minyak manometer)
3	50	33,5	42	31	3
4	50	33	42	31	4
5	50	33	42	31	6
6	50	33	38	30	7
7	50	33	33	29	9
8	50	32,5	30	29	11
9	50	32,5	30	29	13

4.1.2 Contoh perhitungan

Data yang diperoleh dari pengujian humidifier untuk temperatur inlet 40°C:

- a. Data dari hasil pengujian (tabel 4.1, data pertama)
 - $T_{din} = 40^{\circ}C$
 - $T_{win} = 26^{\circ}C$
 - $T_{dout} = 36^{\circ}C$
 - $T_{wout} = 27^{\circ}C$
 - $Z_1 = 3 \text{ cm}$
 - A = 30 cm x 15,5 cm
- b. Data yang diambil dari diagram psycrometry (lampiran 6)
 - $RH_1 = 33\%$
 - $RH_2 = 42\%$
 - $\omega_1 = 0.015$
 - ω_2 = 0,019
- c. Data yang diperoleh dari table A₁ (lampiran4) dan tabel A₂ (lampiran 5)
 - $\rho_{\text{udara inlet}} = 1,046 \text{ kg/m}^3$
 - $hg_1 = 2549,1 \text{ kJ/kg}$
 - $hg_2 = 2550.9 \text{ kJ/kg}$

Pengolahan Data:

1. Perhitungan Kecepatan (V₁)

$$V_{1} = c\sqrt{2g} \frac{\rho_{air}SG_{MINYAK}(Z\sin 3,75)\times 10^{-3}}{\rho_{UDARA}}$$

$$V_{1} = 0.85\times\sqrt{2\times9.81} \frac{1000\times0.826\times(3\sin 3,75)\times 10^{-3}}{1.046}$$

$$V_{1} = 1.47744m/s$$
Laju massa alir udara inlet (m_{1})

$$m_{1} = \rho_{udara}\times V_{1}\times A$$

$$m_{1} = 1.046\times1.47744\times0.3\times0.155$$

$$m_{1} = 0.0719kg/s$$
Laju massa alir udara kering (m_{a})

2. Laju massa alir udara inlet (m_1)

$$m_1 = \rho_{udara} \times V_1 \times A$$

 $m_1 = 1,046 \times 1,47744 \times 0,3 \times 0,155$
 $m_1 = 0,0719 kg/s$

3. Laju massa alir udara kering (m_a)

$$\dot{m}_a = \frac{m_1}{(1+\omega_1)}$$

$$\dot{m}_a = \frac{0,0719}{(1+0,015)}$$

$$\dot{m}_a = 0,0708kg/s$$

4. Laju massa alir udara outlet (m_2)

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_a \times (1 + \omega_2)$$

$$\dot{m}_1 = 0.0708 \times (1 + 0.019)$$

$$\dot{m}_1 = 0.0721 kg / s$$

5. Transfer Massa (Δm)

$$\Delta m = m_2 - m_1$$
 $\Delta m = 0.0723 - 0.0721$
 $\Delta m = 0.0002 kg / s$

$$H_1 = m_a \times (C_p T_{d1} + h_{g1} \times \omega_1)$$

$$H_1 = 0.0708 \times (1 \times 40 + 2549, 1 \times 0.015)$$

$$H_1 = 5.609kJ/s$$

7. Entalpi total sisi keluar (H₂)

$$H_2 = m_a \times (C_p T_{d2} + h_{g2} \times \omega_2)$$

$$H_2 = 0.0708 \times (1 \times 36 + 2550.9 \times 0.019)$$

$$H_2 = 5.942 kJ/s$$

8. Transfer Energi (ΔH)

$$\Delta H = H_1 - H_2$$

$$\Delta H = 5,609 - 5,942$$

$$\Delta H = -0,333 \text{ kJ/s}$$

(Tanda negatif menunjukkan udara pada sisi outlet mengalami penambahan energi hingga melebihi jumlah energi udara ketika masuk ke dalam *duck*)

AS BRAWIUS

4.1.3 Hasil Pengolahan Data

Dari hasil pengolahan data akan di tampilkan dalam bentuk tabel (tabel 4.4, tabel 4.5 dan tabel 4.6) berikut ini :

Tabel 4.4 Tabel Hasil Pengolahan Data pada Tudara inlet = 40°C

 $P_{atm} = 1 atm$

Bukaan Blower (cm)	V ₁ (m/s)	$\Delta m \langle g/s \rangle$	ΔH (kJ/s)
3	1,47744	0,0002	-0,333
4	1,706	0,0003	-0,445
5	2,05942	0,0004	-0,445
6	2,25653	0,0005	-0,757
7	2,559	0,0009	-1,156
8	2,52905	0,0008	-0,655
9	3,07554	0,0013	-1,474

BRAWIJAYA

Tabel 4.2 Tabel Hasil Pengolahan Data pada $T_{udara\;inlet} = 45^{\circ}C$

 $P_{atm} \\$

Bukaan Blower (cm)	V ₁ (m/s)	$\Delta m (g/s)$	ΔH (kJ/s)
3	1,507	-0,0002	0,946
4	1,740	-0,0002	1,166
5	2,132	-0,0003	1,338
6	2,302	-0,0003	1,533
7	2,611	0,0000	1,659
8	2,556	-0,0001	2,440
9	3,138	0,0001	2,121

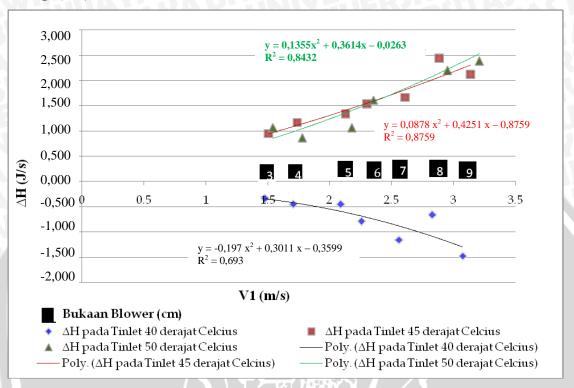
Tabel 4.3 Tabel Hasil Pengolahan Data pada $T_{udara inlet} = 50^{\circ}C$

 P_{atm} = 1 atm

Bukaan Blower (cm)	V ₁ (m/s)	$\Delta m (g/s)$	ΔH (kJ/s)
3	1,543	-0,00020	1,061
4	1,781	-0,00009	0,868
5	2,181	-0,00011	1,063
6	2,356	-0,00014	1,610
7	2,671	-0,00014	2,353
8	2,953	0,00015	2,197
9	3,210	0,00017	2,389

4.2 Pembahasan Grafik

4.2.1 Pembahasan Grafik Hubungan antara Kecepatan Udara (V_1) terhadap *Transfer* Energi (ΔH)



Gambar 4.1 : Grafik Hubungan antara Kecepatan Udara Inlet (V_1) Terhadap Transfer Energi (ΔH)

Dari gambar 4.1 dapat kita ketahui bahwa transfer energi yang terjadi pada sistem benilai negatif ataupun positif. Transfer energi bernilai negatif jika entalpi total pada sisi keluar menerima energi hingga melebihi entalpi total pada sisi masuk. Sebaliknya, transfer energi akan bernilai positif jika entalpi total outlet lebih kecil dari pada sisi inlet akibat kehilangan energi saat udara melewati semburan air. Hal ini sesuai dengan rumus transfer energi (Δ H) yaitu :

$$\Delta H = H_1 - H_2$$

Dimana, transfer energi merupakan hasil pengurangan antara entalpi total sisi masuk (H_1) dengan entalpi total sisi keluar (H_2) . Karena transfer energi dapat bernilai negatif atau positif, maka :

$$\pm \Delta H = H_1 - H_2$$

Entalpi total pada suatu sisi dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu temperatur udara campuran (T), kelembaban absolut (ω) dan entalpi uap (h_g) yang terkandung didalam udara. Entalpi total pada sisi keluar akan meningkat seiring dengan peningkatan ketiga faktor tersebut (T_2 , ω_2 , h_{g2}). Semakin besar bukaan blower, maka kecepatan udara yang masuk (V_1) ke dalam sistem akan semakin cepat, sehingga massa udara yang mengalir kedalam sistem semakin besar, akibatnya proses transfer energi akan semakin tinggi karena entalpi total pada sisi outlet naik. Hal tersebut sesuai dengan rumus entalpi total yaitu :

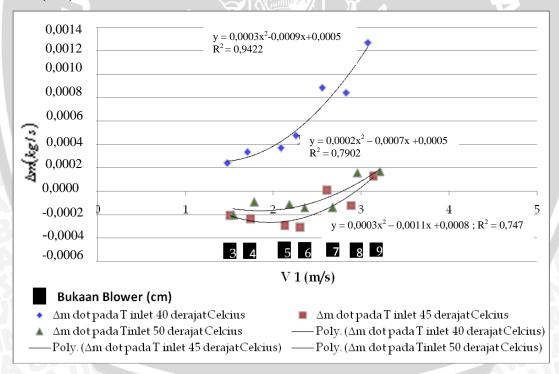
$$H = m_a(C_pT + \omega h_g)$$

Pada gambar 4.1 juga dapat kita lihat bahwa nilai transfer energi tertinggi terjadi pada temperatur udara inlet 50 °C ($\Delta H = 2,389$ kJ/s pada $V_1 = 3,210$ m/s), kemudian didikuti dengan transfer energi pada temperatur 45°C ($\Delta H = 2,121$ kJ/s pada $V_1 = 3,138$ m/s) dan 40°C ($\Delta H = -1,478$ kJ/s pada $V_1 = 3,085$ m/s). Pada masing-masing grafik, semakin besar bukaan blower maka proses transfer energi juga akan semakin tinggi. Hal ini disebabkan oleh kecepatan udara inlet yang semakin besar, sehingga massa udara yang masuk ke dalam sistem akan semakin banyak, dimana laju massa alir udara berbanding lurus dengan entalpi total.

Dari hasil pengujian, didapatkan bahwa pada temperatur inlet 45 °C dan 50 °C nilai transfer energi yang diperoleh lebih besar dibandingkan dengan temperatur udara inlet 40°C, hal ini dikarenakan semakin besar temperatur udara inlet maka akan memperbesar beda temparatur antara udara masuk dengan air yang disemprotkan ke dalam sistem sehingga proses perpindahan kalor konveksi akan semakin besar. Pada data pertama hingga ke empat, nilai transfer energi tertinggi terjadi pada temperatur udara inlet 45 °C, kemudian 50 °C, dan 40 °C. Namun pada data ke lima hingga ke tuju, transfer energi pada temperatur 50 °C melebihi transfer energi udara dengan temperatur inlet 45 °C, udara mengalami proses penjenuhan sehingga kapasitas udara untuk menerima uap air semakin berkurang. Sedangkan udara dengan temperatur inlet 50 °C masih memiliki kapasitas yang besar untuk menampung uap air seiring dengan peningkatan kecepatan udara inlet sehingga proses transfer energinya mengalami peningkatan yang lebih besar

dibandingkan dengan proses transfer energi pada udara dengan temperatur inlet 45 °C. Dari masing-masing grafik juga dapat kita ketahui berapa nilai dari koefisien determination (R^2), nilai yang ditunjukkan oleh koefisien ini memberikan arti bahwa jika nilai $R^2 \geq 60\%$ maka H_0 ditolak dan menerima H_1 , maksudnya hipotesa kita sesuai dengan hasil penelitian kita. Dari grafik kita ketahui bahwa untuk nilai $R^2_{40^{\circ}C} = 0,693$ (69,3%), $R^2_{45^{\circ}C} = 0,8759$ (87,59%) dan $R^2_{50^{\circ}C} = 0,8432$ (84,32%) ketiga koefisien tersebut bernilai lebih dari 60%, sehingga dapat disimpulkan bahwa penelitian ini tidak menyimpang dengan dugaan secara teoritis. Sehingga hal ini juga memperkuat hasil penelitian ini serta mempertegas bahwasannya semakin besar nilai kecepatan udara maka nilai transfer energi akan semakin meningkat.

4.2.2 Pembahasan Grafik Hubungan antara Kecepatan Udara (V_1) terhadap Transfer Massa (Δm)



Gambar 4.2 : Grafik Hubungan antara Kecepatan Udara Inlet (V_1) Terhadap

Transfer Massa (Δm)

Dari gambar 4.2 dapat diketahui bahwa pada bukaan blower dari bukaan kecil hingga besar, transfer massa pada sistem cenderung meningkat untuk masing-masing variabel kontrol. Peningkatan ini terjadi karena semakin besar bukaan blower, maka kecepatan udara yang masuk ke dalam sistem akan semakin tinggi akibatnya laju massa alir udara yang masuk ke dalam sistem akan semakin meningkat. Dengan peningkatan laju massa alir udara inlet, maka proses penguapan air akan semakin meningkat, akibatnya udara pada sisi keluar akan memiliki kelembaban absolut yang lebih besar dibandingkan dengan kelembaban absolut pada sisi masuk karena kelembaban absolut merupakan perbandingan antara massa uap dibagi dengan massa udara kering. Jumlah massa udara kering pada sisi masuk dan keluar bernilai sama, dengan massa uap yang semakin besar maka akan terjadi peningkatan kelembaban absolut udara. Hal ini sesuai dengan rumus:

$$\omega = m_v/m_a$$

Peningkatan kelembaban ini dapat diartikan bahwa udara pada sisi keluar mengalami penambahan uap air pada saat udara bersinggungan dengan air atau biasa dikenal dengan istilah transfer massa. Transfer massa (Δm) dapat kita peroleh dari rumusan :

$$\Delta_m = m_2 - m_1$$

Dimana, transfer massa merupakan selisih antara laju massa alir udara keluar dengan laju massa alir udara masuk sehingga dapat disimpulkan semakin besar massa udara yang keluar maka proses transfer massa yang terjadi akan semakin besar. Jika kita amati, grafik gambar 4.2 transfer massa dapat bernilai negatif atau positif, hal ini disebabkan karena massa udara pada sisi masuk lebih besar dibandingkan dengan massa udara pada sisi keluar. Sehingga persamaan transfer massa dapat rumuskan sebagai berikut:

$$\pm \Delta m = m_2 - m_1$$

Perpindahan massa dapat terjadi akibat proses penguapan dan pengembunan. Transfer massa akan bernilai positif jika udara pada sisi keluar mendapat tambahan uap akibat proses penguapan air. Sedangkan transfer massa akan bernilai negatif jika massa uap diudara mengalami proses pengembunan. Kedua proses tersebut membutuhkan

energi, energi kalor udara inlet akan diserap oleh air pada saat keduanya bersinggungan hingga air mengembun. Peristiwa ini disebut dengan penguapan yang mengakibatkan udara outlet mengalami tambahan uap air. Namun jika energi kalor udara inlet yang diserap tidak mencukupi untuk mengubah air menjadi uap, maka udara mengalami proses pengembunan, karena uap air di udara berubah menjadi air akibat proses perpindahan energi kalor dari udara ke air, sehingga jumlah massa uap pada sisi outlet berkurang.

Dari pengolahan data (tabel 4.4) kita dapatkan bahwa nilai transfer massa pada temperatur 40°C memiliki nilai tertinggi yaitu sebesar 0,0002 kg/s pada bukaan 3cm; 0,0003 kg/s pada bukaan blower 4cm; 0,0004 kg/s pada bukaan 5 cm; 0,0005 kg/s pada bukaan blower 6 cm; 0,0008 kg/s pada bukaan 7 cm; 0,0008 kg/s pada bukaan blower 8 cm; 0,00013 kg/s pada bukaan 9 cm. Kemudian diikuti transfer massa pada temperatur udara inlet 50 °C (tabel 4.6) dengan nilai transfer massa terbesar yaitu 0,00017 kg/s pada bukaan 8 cm dan 9 cm serta pada nilai transfer massa terendah yaitu pada temperatur udara inlet 45°C (tabel 4.5) sebesar 0,0001kg/s pada bukaan 9 cm.

Udara inlet dengan temperatur 40 °C memiliki nilai tertinggi karena pada kondisi ini udara masih mampu menerima transfer massa uap dari penguapan air dengan kapasitas yang terbesar diantara variabel kontrol yang lain. Sedangkan pada temperatur 45 °C kondisi udara mendekati kondisi jenuh bahkan telah mencapai kondisi jenuh, sehingga udara tidak dapat lagi menerima uap yang timbul akibat proses penguapan. Fenomena transfer massa yang terjadi pada kondisi ini bukan akibat dari proses penguapan melainkan pengembunan, karena sebagian uap melepaskan kalor ke air sehingga kelembaban udara pada sisi keluar berkurang. Hal ini dibuktikan oleh nilai transfer massa pada bukaan blower 3cm sampai 8 cm bernilai negatif pada tempertur udara inlet 45°C, demikian juga pada temperatur udara inlet 50°C transfer massa bernilai negatif pada bukaan 3cm-7cm.

Selain itu, kondisi ini juga dipertegas oleh grafik sebelumnya bahwa pada kondisi temperatur udara inlet 40°C transfer energi bernilai negatif yang menyatakan kondisi udara outlet memperoleh tambahan energi yang besar akibat proses transfer massa. Sedangkan pada temperatur 45° C dan 50° C transfer energi bernilai positif yang menunjukkan pada daerah outlet, energi udara lebih kecil dibandingkan dengan energi udara pada kondisi inlet dimana, uap udara outlet berkurang akibat proses pengembunan.

Seperti halnya pada pembahasan grafik hubungan antara kecepatan udara terhadap transfer energi, dari grafik gambar 4.2 dapat kita ketahui bahwa masing-masing memiliki koefisien of determinasi sebesar $R^2_{40^{\circ}C} = 0,9422$ (94,22%), $R^2_{45^{\circ}C} = 0,747$ (74,7%) dan $R^2_{50^{\circ}C} = 0,7902$ (79,02%) ketiga koefisien tersebut bernilai lebih dari 60%, sehingga dapat disimpulkan bahwa penelitian ini tidak menyimpang dengan dugaan secara teoritis yaitu semakin besar nilai kecepatan udara maka nilai transfer massa akan semakin meningkat.



BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa:

- Semakin besar kecepatan udara inlet maka transfer energi dan transfer massa yang terjadi akan semakin besar.
 - Transfer energi bernilai positif jika energi ditransfer dari udara ke air akibat proses pengembunan udara ketika udara melewati semburan air. Sebaliknya, transfer energi bernilai negatif jika energi ditransfer dari air ke udara akibat proses penguapan air.
 - Transfer massa bernilai positif atau negatif sesuai dengan arah perpindahan massa uap yang timbul akibat proses transfer energi. Transfer massa bernilai positif jika udara outlet menerima tambahan uap air dan bernilai negatif jika kanduangan uap di dalam udara berkurang.
 - Transfer massa yang tertinggi terjadi pada temperatur udara inlet 40°C yaitu sebesar 0,0013 kg/s pada kecepatan udara 3,085 m/s. Sedangkan transfer energi tertinggi sebesar 2,389 kJ/s pada temperatur udara inlet 50 °C dan kecepatan udara inlet sebesar 3,210 m/s.

5.2 Saran

Untuk memperoleh transfer energi dan massa pada *direct contact Humidifier* yang lebih baik, perlu dilakukan beberapa hal sebagai berikut :

- 1. Dilakukan penelitian mengenai pengaruh besar butir air yang mempengaruhi luasan kontak antara udara dengan air pada proses transfer energi dan massa.
- 2. Perlu dilakukan pengolahan data dengan pendekatan ilmu perpindahan panas pada butiran kabut air sehingga dapat diketahui nilai energi kalor yang timbul pada saat proses berlangsung.

DAFTAR PUSTAKA

- Cengel, Yunus A; 1998: *Heat Transfer A Practical Approach*: 2nd edition; McGraw-Hill Companies Inc, New York.
- Cengel, Yunus A. dan Robert H. Turner; 2001: Fundamentals of Thermal-Fluid Sciences; McGraw-Hill Companies Inc, New York.
- El-Wakil, M.M; 1992: *Instalasi Pembangkit Daya*; Alih bahasa: Ir. E. Jasfi M.Sc.; Erlangga, Jakarta
- Holman, J.P; 1991: *Perpindahan Kalor*; Alih bahasa: Ir. E. Jasfi M.Sc.; Edisi kelima; Erlangga, Jakarta
- Incropera, F.P. dan De Witt, D.P; 1981: *Fundamental of Heat Transfer*; 2nd edition; John Willey and Sons, New York.
- Kulshrestha, S.K.; 1989: *Termodinamika Terpakai, Teknik Uap dan Panas*, Alih bahasa: Budiardjo, I Made Kartika D, Budiarso; Universitas Indonesia, Jakarta
- Olson, Reuben M dan Steven J. Wright; 1993: *Dasar-dasar Mekanika Fluida Teknik*; Alih bahasa: Alex Tri KW; Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.

Stoeker, W.F.; 1992: Refrigerasi dan Pengondisian Udara; Erlangga, Jakarta

www.airoswiss.net/image/interior/vaporizer.jpg&imgrefurl

www.draftair.com/images/ph15.jpg&imgrefurl

www.energyefficiencyasia.org

www.fao.org/docreb/S1250E/S1250EEW.GIF

 $www.healthgoods.com/shoping/images/airOSwiss_Ultrasonic_Humidification.gift$

www.rtmagazine.com/issues/articles/2006-09_02.asp

www.wikimu.com

