

**PENGARUH VARIASI JUMLAH *TURBULATOR VANES*
TERHADAP TRANSFER ENERGI DAN MASSA
PADA *DIRECT CONTACT HUMIDIFIER***

SKRIPSI

KONSENTRASI KONVERSI ENERGI

**Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik**



Disusun Oleh :

**TOGAP H. SIMANULLANG
NIM. 0510620098-62**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG**

2010

**PENGARUH VARIASI JUMLAH *TURBULATOR VANES*
TERHADAP TRANSFER ENERGI DAN MASSA
PADA *DIRECT CONTACT HUMIDIFIER***

**SKRIPSI
KONSENTRASI KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :
TOGAP H. SIMANULLANG
NIM. 0510620098-62

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Ir. Djoko Sutikno, M.Eng.

NIP. 19541009 198303 1 002

Prof. Dr. Ir. Rudy Soenoko, M.Eng. Sc.

NIP. 19490911 198403 1 001



**PENGARUH VARIASI JUMLAH *TURBULATOR VANES*
TERHADAP TRANSFER ENERGI DAN MASSA
PADA *DIRECT CONTACT HUMIDIFIER***

Disusun oleh :

TOGAP H. SIMANULLANG

NIM. 0510620098-62

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
tanggal 3 Agustus 2010

DOSEN PENGUJI

Penguji Skripsi I

Penguji Skripsi II

Ir. Suharto, MT.
NIP. 19531030 198212 1 001

Ir. Made Gunadiarta, MT.
NIP. 19461001 197702 1 001

Penguji Komprehensif

Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT.
NIP. 19720903 199702 1 001

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Mesin

Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT.
NIP. 19720903 199702 1 001

KATA PENGANTAR

Puji syukur atas limpahan karunia yang telah diberikan oleh Tuhan Yang Maha Esa sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari keterlibatan dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dalam kesempatan kali ini penulis menyampaikan ucapan terimakasih dan penghargaan kepada:

1. Bapak Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang.
2. Bapak Dr. Eng. Anindito Purnowidodo, ST., M. Eng. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang.
3. Bapak Ir. Djoko Sutikno, M.Eng. selaku Dosen Pembimbing I, yang telah banyak memberikan kritik dan saran yang konstruktif sehingga sangat penting dalam penyusunan skripsi ini.
4. Bapak Prof. Dr. Ir. Rudy Soenoko, M. Eng. Sc selaku Dosen Pembimbing II, yang telah banyak memberikan bimbingan dan saran yang sangat membantu dalam penyusunan skripsi ini.
5. Ayah, Ibu dan saudara yang telah memberikan dukungan doa, moril dan nasehat yang sangat berarti sehingga dapat menyelesaikan skripsi dengan baik.
6. Nopriagis Cipta Ayu sekeluarga yang telah banyak memberikan kepercayaan, dukungan dan doa.
7. Teman-teman Markazz M-15 yang setia memberi dukungan semangat dalam penyusunan skripsi ini.
8. Teman-teman '05 yang sangat kompak dan banyak membantu dalam kegiatan seminar dan lain-lain.
9. Teman-teman GKJW yang selalu menyediakan waktunya untuk menghibur dan melepas kejenuhan.
10. Teman-teman Ikan Hiu atas motivasinya, dan semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu. Trima kasih

Akhirnya, penulis mengharapkan agar skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca khususnya dalam pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi. Diharapkan kritik dan saran dari pembaca untuk ke depannya.

Malang, Juli 2010

Penulis

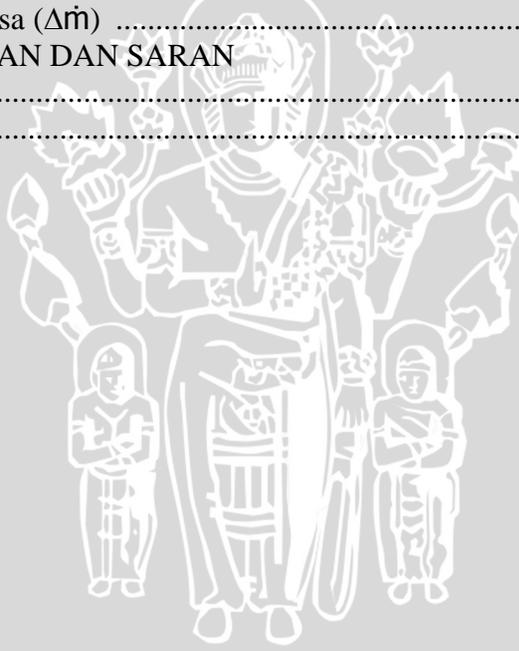
DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR LAMPIRAN	vii
RINGKASAN	viii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Penelitian Sebelumnya	5
2.2 <i>Humidifier</i>	5
2.2.1 Macam-macam <i>Humidifier</i>	6
2.3 <i>Turbulator Vanes</i>	8
2.4 <i>Spray Nozzle</i>	10
2.5 Analisa Aliran	12
2.5.1 Aliran Laminer	12
2.5.2 Aliran Turbulen	12
2.5.3 <i>Vortex</i>	13
2.6 Istilah-Istilah Pada Mesin Pengatur Kondisi Udara	15
2.6.1 Psikrometri dan Diagram Psikrometri	15
2.6.2 Massa Alir (\dot{m})	18
2.7 Proses Difusi	19
2.8 <i>Reynold Number</i>	21
2.9 Kesetimbangan Kalor Pada Sistem	21
2.10 Hipotesis	28
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Metode Penelitian	29
3.2 Variabel Penelitian	29
3.3 Alat-alat Penelitian	30
3.4 Instalasi Penelitian	36
3.5 Tempat Penelitian	38
3.6 Prosedur Penelitian	38
3.7 Diagram Alir Penelitian	39

BAB IV DATA DAN PEMBAHASAN	
4.1 Analisa Data.....	40
4.1.1 Data Hasil Pengujian.....	40
4.1.2 Contoh Perhitungan	41
4.1.3 Data Hasil Perhitungan	44
4.1.4 Pengujian Hipotesis	48
4.2 Grafik Hasil Perhitungan	54
4.2.1 Grafik Hubungan Antara <i>Reynold Number</i> (Re) dengan Transfer Energi (ΔH)	54
4.2.2 Grafik Hubungan Antara <i>Reynold Number</i> (Re) dengan Transfer Massa ($\Delta \dot{m}$)	55
4.3 Pembahasan Grafik.....	55
4.3.1 Pembahasan Grafik Hubungan Antara <i>Reynold Number</i> (Re) dengan Transfer Energi (ΔH)	55
4.3.2 Pembahasan Grafik Hubungan Antara <i>Reynold Number</i> (Re) dengan Transfer Massa ($\Delta \dot{m}$)	57
4.3.3 Grafik Optimum Point Jumlah <i>Turbulator Vanes</i> Terhadap Transfer Energi (ΔH) dan Massa ($\Delta \dot{m}$)	58
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	60
5.2 Saran	60

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



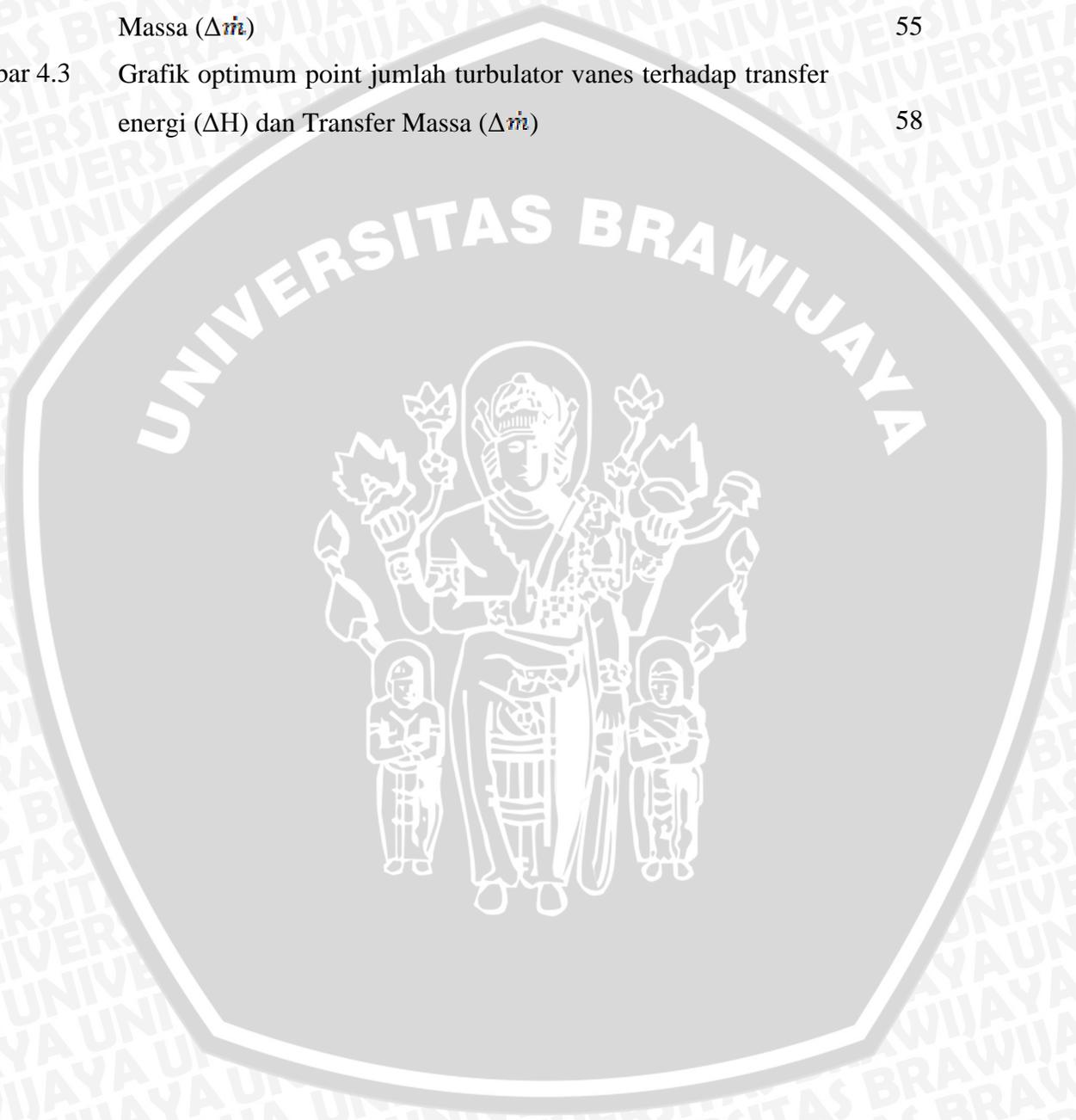
DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Hubungan <i>Droplet</i> dengan Spesifikasi Nosel	10
Tabel 3.1	Spesifikasi Penelitian	36
Tabel 4.1.	Tabel Hasil Pengambilan Data Yang Diperoleh	40
Tabel 4.2.	Data Hasil Perhitungan Energi Total Sisi Masuk (H_1), Energi Total Sisi Keluar (H_2) Dan Transfer Energi (ΔH)	44
Tabel 4.3.	Data Hasil Perhitungan Laju Massa Udara Campuran Masuk Dan Keluar (m_1 dan m_2), Massa Alir Udara Kering (m_a) dan Transfer Massa (Δm)	46
Tabel 4.4	Tabel Pengolahan Data Pengujian Hipotesis Pengaruh Jumlah <i>Turbulator Vanes</i> Terhadap Transfer Energi (ΔH)	49
Table 4.5	Tabel Analisis Varian Pengaruh Variasi Jumlah <i>Turbulator Vanes</i> Terhadap Transfer Energi (ΔH)	50
Tabel 4.6	Tabel Pengolahan Data Pengujian Hipotesis Pengaruh Jumlah <i>Turbulator Vanes</i> Terhadap Transfer Massa ($\Delta \dot{m}$)	52
Tabel 4.7	Tabel Analisis Varian Pengaruh Variasi Jumlah <i>Turbulator Vanes</i> Terhadap Transfer Massa ($\Delta \dot{m}$)	53

DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1.	<i>Impeller Humidifier</i>	6
Gambar 2.2.	<i>Vaporizer Humidifier</i>	7
Gambar 2.3.	<i>Hydro-Pneumatic Capillary System Humidifier (Non Electric Humidifier)</i>	7
Gambar 2.4.	<i>Ultrasonik Humidifier</i>	8
Gambar 2.5.	<i>Turbulator</i>	9
Gambar 2.6.	<i>Turbulator Vanes</i>	9
Gambar 2.7.	<i>Hollow Cone Spray</i>	10
Gambar 2.8.	<i>Flat Spray</i>	11
Gambar 2.9.	<i>Solid Cone Spray</i>	11
Gambar 2.10.	Geometri <i>Vortex</i> menurut bilangan <i>Reynoulds</i>	14
Gambar 2.11.	<i>Vortex</i> 2 dimensi	14
Gambar 2.12.	Diagram <i>Psycrometric</i>	15
Gambar 2.13.	Gambar proses difusi yang memiliki beda konsentrasi dan kecepatan yang besar	20
Gambar 2.14.	Kesetimbangan kalor pada <i>Humidifier</i>	22
Gambar 3.1.	<i>Wind Tunnel</i>	31
Gambar 3.2.	<i>Inclined Manometer</i>	32
Gambar 3.3.	<i>Nozzle</i>	33
Gambar 3.4.	Gelas Ukur	33
Gambar 3.5.	Heater	34
Gambar 3.6.	Adaptor	35
Gambar 3.7.	<i>Turbulator Vanes</i>	35
Gambar 3.8.	Pemasangan Sudut <i>Turbulator</i>	36
Gambar 3.9.	Instalasi Penelitian	37

Gambar 3.10	Diagram Alir Penelitian	39
Gambar 4.1	Grafik Hubungan antara <i>Reynold Number</i> dengan Transfer Energi	54
Gambar 4.2	Grafik Hubungan antara Reynold Number (Re) dengan Transfer Massa ($\Delta \dot{m}$)	55
Gambar 4.3	Grafik optimum point jumlah turbulator vanes terhadap transfer energi (ΔH) dan Transfer Massa ($\Delta \dot{m}$)	58



DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul
Lampiran 1.	Data pengujian dan hasil pengolahan tanpa pemasangan <i>turbulator vanes</i>
Lampiran 2.	Data pengujian dan hasil pengolahan pada variasi 3 <i>turbulator vanes</i>
Lampiran 3.	Data pengujian dan hasil pengolahan pada variasi 4 <i>turbulator vanes</i>
Lampiran 4.	Data pengujian dan hasil pengolahan pada variasi 5 <i>turbulator vanes</i>
Lampiran 5.	Tabel Sifat-sifat cairan dan uap jenuh
Lampiran 6.	Tabel Sifat-sifat termodinamika udara jenuh pada tekanan atmosfer 101,325 kPa
Lampiran 7.	Diagram Psikrometri
Lampiran 8.	Tabel Sifat-sifat udara



RINGKASAN

Togap H. Simanullang, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juli 2010, *Pengaruh Variasi Jumlah Turbulator Vanes Terhadap Transfer Energi Dan Massa Pada Direct Contact Humidifier*, Dosen Pembimbing : Ir. Djoko Sutikno, M.Eng. dan Prof. Dr. Ir. Rudi Soenoko, M.Eng. Sc.

Kondisi udara merupakan faktor yang penting dalam kehidupan manusia. Parameter yang penting dalam menentukan kondisi udara yaitu temperatur dan kelembaban. Parameter tersebut sangat mempengaruhi keadaan organisme di dalamnya baik organisme biotik maupun abiotik. Misalnya pengaruh kelembaban terhadap kesehatan manusia, dimana untuk memperoleh keadaan yang ideal maka diperlukan kondisi udara dengan kelembaban antara 60-70%. Demikian juga pengaruhnya pada sektor industri dimana kelembaban yang terlalu tinggi akan menyebabkan korosi pada komponen-komponen yang terbuat dari logam. Oleh karena itu perlu dilakukan pengkondisian udara sesuai dengan tujuan tertentu.

Alat yang berfungsi untuk mengatur tingkat kelembaban udara disebut *humidifier* dimana sistemnya disebut dengan *humidifying system*. Alat ini bekerja dengan prinsip alat penukar kalor dimana kelembaban udara ditingkatkan dengan cara menyemprotkan uap air ke udara secara *direct contact*. Karena itu alat ini juga disebut *direct contact humidifier*. Pada alat ini kecepatan udara sangat berpengaruh terhadap proses yang terjadi di dalamnya, selain kecepatan, intensitas turbulensi juga merupakan factor penting dalam aliran, dengan penambahan *turbulator vanes* dengan jumlah tertentu. Pemasangan ini bertujuan untuk meningkatkan intensitas turbulensi aliran sehingga meningkatkan transfer massa dan juga massa alirnya untuk meningkatkan transfer massa. Variasi jumlah turbulator vanes yang dipakai yaitu 3; 4; 5 buah dan dengan variasi bukaan blower sebesar 3 cm, 4 cm, 5 cm, 6 cm, 7 cm, 8 cm, dan 9 cm.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemasangan *turbulator vanes* pada *humidifier* mempengaruhi transfer energi dan massanya. Melalui pemasangan *turbulator vanes* dengan jumlah tertentu nilai transfer energi dan massanya lebih besar daripada tanpa pemasangan *turbulator vanes*. Transfer energi dan massa terbesar terjadi pada pemasangan 5 *turbulator vanes* yaitu $\Delta H = 2.571$ kJ/s pada $Re = 482379$ dan $\Delta \dot{m} = 0.0016$ (kg/s) juga pada $Re = 482379$. Hal ini dikarenakan pada sudut tersebut terjadi intensitas turbulensi tertinggi, sehingga massa udara yang mengalami kontak dengan air semakin banyak. Dengan semakin banyak massa udara yang mengalami kontak dengan air maka nilai transfer energi dan massa yang terjadi juga semakin tinggi.

Kata kunci : *direct contact humidifier*, *turbulator vanes*, transfer energi, transfer massa,

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kelembaban udara suatu lingkungan sangat berpengaruh terhadap manusia maupun peralatan di lingkungan tersebut. Dalam dunia perindustrian hal ini sangatlah penting dimana faktor kelembaban udara akan sangat mempengaruhi kelangsungan industri tersebut. Kelembaban udara yang terlalu kecil akan membahayakan kesehatan manusia yang ada di dalamnya sedangkan kelembaban udara yang terlalu tinggi selain berbahaya bagi kesehatan manusia juga akan berdampak pada kerusakan komponen-komponen logam akibat korosi. Oleh karena itu perlu dilakukan pengkondisian tingkat kelembaban udara agar tidak berdampak buruk bagi manusia maupun bagi kelangsungan proses industri.

Untuk meningkatkan tingkat kelembaban udara kita dapat menggunakan suatu alat yang biasa dikenal dengan istilah *humidifier* atau alat pengatur 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 percampuran dan 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 ujungnya 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 pada air yang disemprotkan sehingga akan terjadi proses perpindahan kalor pada sistem. Semakin tinggi laju perpindahan kalor maka kelembaban udara akan semakin meningkat karena panas yang keluar dari udara semakin besar digunakan menguapkan air, sehingga secara otomatis uap air yang dikandung oleh udara setelah melewati *spray water* semakin tinggi, yang artinya transfer energi dan massa yang terjadi juga semakin besar.

Salah satu cara untuk memperbesar laju perpindahan panas yaitu dengan menambahkan *turbulator vanes* pada saluran masuk udara. *Turbulator vanes* merupakan suatu penghalang yang dipasang pada suatu saluran dengan tujuan mengganggu aliran fluida. Akan tetapi perlu diketahui bahwa, pemasangan *turbulator vanes* mempunyai pengaruh positif dan negatif pada alat penukar kalor. Dampak positifnya adalah peningkatan laju perpindahan kalor, sedangkan dampak negatifnya adalah peningkatan koefisien gesekan pada saluran yang dapat meningkatkan *pressure drop*.

Dampak negatif *turbulator vanes* yaitu penurunan tekanan (*pressure drop*) yang akan menjadikan kerja blower menjadi harus diperbesar lagi untuk mengatasi kebutuhan alat penukar panas tersebut. Dengan adanya pemasangan *turbulator vanes*, dimana pemasangannya secara miring dengan sudut tertentu, akan dapat mengurangi kerugian tekanan akibat gesekan yang berlebihan pada permukaan bidang sentuh yang dilalui fluida, sekaligus dapat mengarahkan fluida untuk mendapatkan permukaan sentuh yang tepat untuk mencapai proses perpindahan panas secara maksimal dalam hal ini sudut yang digunakan adalah 26° , sudut ini diperoleh dari hasil penelitian yang telah dilakukan pada penelitian sebelumnya.

Selain sudut yang tepat pada pemasangan *turbulator vanes* perlu pula diteliti pemasangan *turbulator vanes* dengan jumlah yang tepat agar kerugian tekanan akibat gesekan yang berlebihan pada bidang sentuh fluida tadi dapat diminimalisir.

Dengan kata lain, *turbulator vanes* adalah suatu penghalang yang dipasang pada suatu saluran dengan tujuan mengganggu aliran fluida, sehingga akan meningkatkan vorteks untuk mencapai transfer energi dan massa yang maksimum.

1.2 Rumusan Masalah

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

Bagaimana pengaruh variasi jumlah *turbulator vanes* terhadap transfer energi dan massa pada *direct contact humidifier*?

1.3 Batasan Masalah

Pada penelitian ini terdapat beberapa batasan masalah sebagai berikut:

1. Debit air disemprotkan kedalam sistem dengan menggunakan spray nozzle.
2. Kondisi dianggap *steady state*.
3. Variasi kecepatan diperoleh dari bukaan blower 5cm; 6cm; 7cm; 8cm; dan 9cm.
4. Variasi jumlah *turbulator vanes* yang digunakan adalah 3; 4; dan 5 buah
5. Fluida yang digunakan adalah air dan udara.
6. Diasumsikan tidak ada perpindahan kalor ke lingkungan atau adiabatik.
7. Sudut *turbulator vanes* yang digunakan adalah 26°
8. Temperatur air pendingin yang disemprotkan ke dalam sistem dibuat konstan (25°C).
9. Temperatur sisi masuk udara yang digunakan yaitu 40°C

1.4 Tujuan Penelitian

Mengetahui pengaruh variasi jumlah *turbulator vanes* terhadap transfer energi dan massa pada *direct contact humidifier*.

1.5 Manfaat Penelitian

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

1. Mampu mengaplikasikan teori yang telah didapat selama perkuliahan tentang transfer energi dan massa.
2. Diperoleh khasanah ilmu pengetahuan bagi masyarakat tentang jumlah *vanes* optimal pada *turbulator* 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 debit media pendingin (air) yang optimal.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Bunker, R.S. dan Osgood, S. J. (2003) melakukan penelitian eksperimental mengenai pengaruh pemasangan *turbulator* lurus terhadap laju perpindahan kalor dan koefisien gesekan pada saluran *rectangular*. Mereka bervariasi sudut antara *turbulator* terhadap penampang melintang saluran, yaitu 22,5°, 45°, 0°, -22,5°, dan -45°. Sedangkan *turbulator* yang digunakan mempunyai tinggi 6,985mm dan tebal 6,35mm. Dari hasil penelitiannya mereka menyimpulkan bahwa koefisien perpindahan kalor konveksi lokal mengalami peningkatan jika dibandingkan dengan tanpa menggunakan *turbulator*.

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. Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki performa pendinginan dan pemanasan pada sistem pengondisian udara secara *Direct Contact* untuk berbagai variasi seperti kecepatan udara, temperatur udara, laju aliran air dan temperatur air. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah kelembaban dan temperatur outlet udara akan meningkat pada kondisi pemanasan seiring dengan peningkatan temperatur dan massa alir air dan juga seiring dengan penurunan kecepatan udara.

2.2 *Humidifier*

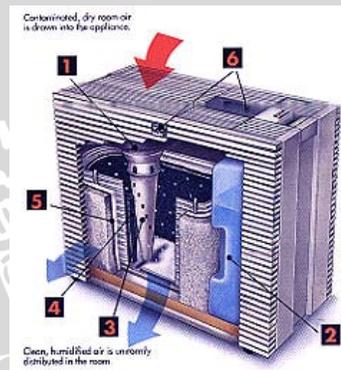
Humidifier adalah alat yang berfungsi untuk meningkatkan kelembaban udara. Alat ini bekerja melalui proses humidifikasi. Proses humidifikasi sendiri merupakan suatu proses yang dapat menambah kadar air dalam udara. Prinsip kerja dari *humidifier* yaitu dengan cara menyemprotkan air atau uap air ke aliran

udara. Dengan penyemprotan ini diharapkan konsentrasi uap air di udara akan meningkat sehingga kelembabannya secara otomatis juga meningkat.

2.2.1 Macam-macam *Humidifier* :

1. *Impeller Humidifier*

Pada *humidifier* jenis ini terdapat impeller pada bagian nosel yang berfungsi untuk memecah air yang akan disemprotkan ke udara. Dengan penambahan *impeller* ini butiran air yang terbentuk akan semakin kecil, impeller humidifier ditunjukkan pada gambar 2.1 di bawah ini.

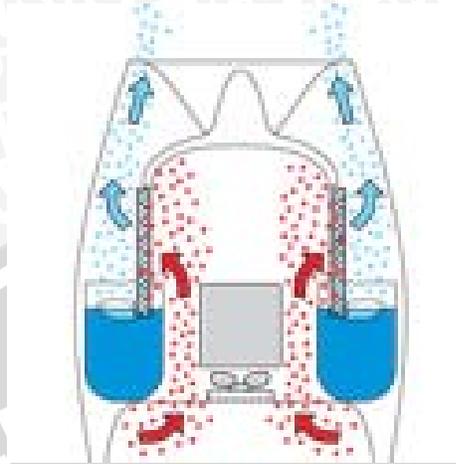


Gambar 2.1 : *Impeller Humidifier*

Sumber: http://www.aircare.co.uk/images/products/ph14_2.jpg

2. *Vaporizer Humidifier*

Humidifier jenis ini menggunakan energi listrik untuk menaikkan temperatur air sampai dengan temperatur uapnya. Setelah terbentuk uap maka uap air disemprotkan ke udara, skema kerja vaporizer humidifier ditunjukkan seperti pada gambar 2.2 di bawah ini.



Gambar 2.2 : Vaporizer Humidifier

Sumber: http://www.aircare.co.uk/images/products/ph14_2.jpg

3. *Hydro-Pneumatic Capillary System Humidifier (Non Electric Humidifier)*
Humidifier ini menggunakan katup dan pipa kapiler untuk menguapkan air yang akan disemprotkan ke udara hydro pneumatics capillary system humidifier ditunjukkan seperti pada gambar 2.3 di bawah ini.

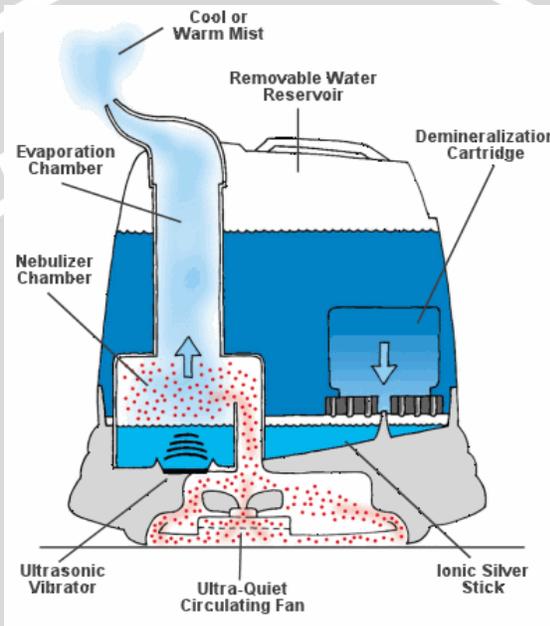


Gambar 2.3 : Hydro-Pneumatic Capillary System Humidifier (Non Electric Humidifier)

Sumber: http://www.aircare.co.uk/images/products/ph14_2.jpg

4. *Ultrasonik Humidifier*

Perbedaan *humidifier* jenis ini dengan yang lain yaitu adanya mekanisme getaran ultrasonik yang akan menghasilkan tetesan air. Tetesan ini diteruskan keluar menjadi kabut dingin. Dengan menyemprotkan kabut dingin ini maka kelembaban udara akan meningkat, hal ini ditunjukkan seperti pada gambar 2.4.



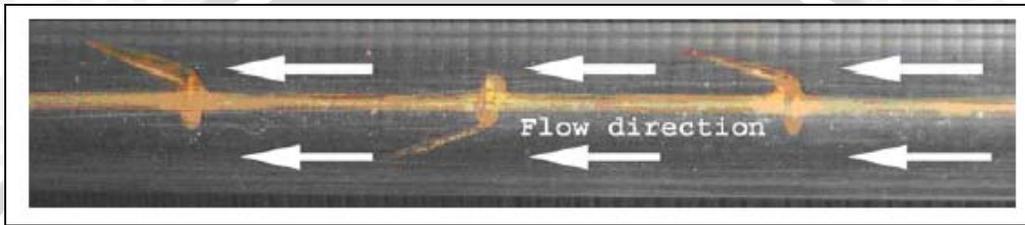
Gambar 2.4 : Ultrasonik *Humidifier*

Sumber: http://www.aircare.co.uk/images/products/ph14_2.jpg

2.3 *Turbulator Vanes*

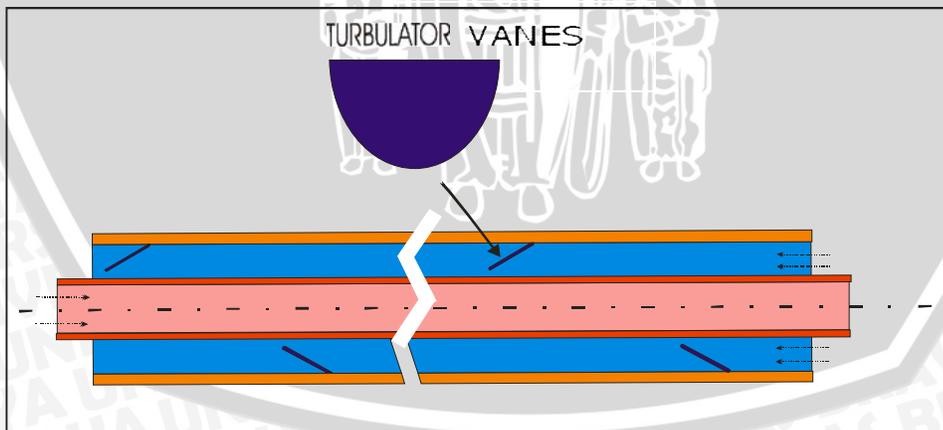
Turbulator merupakan alat atau penghalang yang berfungsi untuk meningkatkan turbulensi pada suatu aliran fluida. *Turbulator vanes* adalah sudu dari turbulator tersebut, yaitu suatu penghalang yang akan mengubah orientasi dari aliran fluida sehingga akan terjadi aliran sekunder (*secondary flow*) yang lebih tinggi, dalam aliran tersebut. Dengan adanya aliran sekunder dalam aliran utama, maka pada aliran tersebut akan terjadi peningkatan *vortex* yang merupakan awal dari terjadi turbulensi dalam aliran. Dengan adanya peningkatan *vortex* tersebut maka akan meningkatkan luasan kontak antara fluida bertemperatur tinggi ke fluida bertemperatur rendah sehingga akan meningkatkan laju transfer energi dan massa antara fluida air dan udara.

Turbulator yang dipasang sebagai pengacau aliran fluida, juga akan dapat berfungsi sebagai pengarah aliran fluida panas untuk dapat bersentuhan dengan fluida dingin. Bentuknya yang tipis dan mempunyai luasan, akan menciptakan aliran sekunder untuk memaksimalkan transfer energi dan massa yang berlangsung, seperti ditunjukkan gambar 2.5 di bawah ini.



Gambar 2.5 : *Turbulator* dipasang pada bagian dalam
 Sumber: Somsak Pethkool, Smith Eiamsa-ard, Artit Ridluan and Pongjet Promvonge, 1:2006

Jika *turbulator vanes* ini dipasang dalam keadaan miring dengan sudut, jarak dan jumlah yang tertentu akan dapat sekaligus mengarahkan fluida panas untuk bersentuhan dengan permukaan fluida dingin yang temperaturnya lebih rendah,hal ini ditunjukkan seperti pada gambar 2.6 di bawah ini.



Gambar 2.6 : *Turbulator vanes*
 Sumber : Dokumentasi pribadi

2.4 Spray Nozzle

Nozzle merupakan alat yang berbentuk pipa atau tabung dengan diameter masuk dan diameter keluar yang berbeda. Fungsi utama dari *nozzle* adalah mengubah energi tekanan fluida masuk nosel menjadi energi kecepatan fluida keluar nosel.

Spray nozzle merupakan salah satu jenis dari nosel yang memiliki fungsi untuk memecah fluida cair menjadi butiran-butiran halus atau *droplet* dengan sudut semprot tertentu. Pada debit yang sama, semakin besar sudut semprot suatu *nozzle* maka *droplet* yang dihasilkan akan semakin kecil.

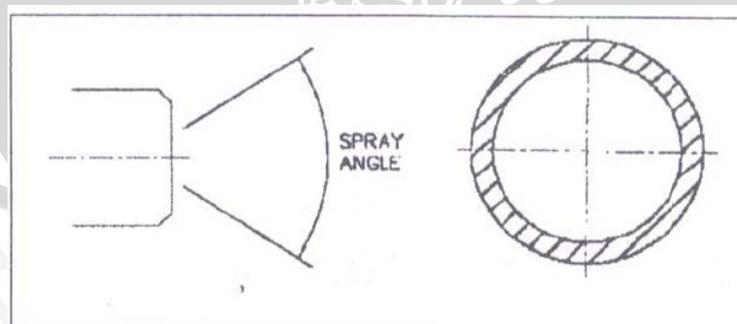
Tabel 2.1 Hubungan *Droplet* Dengan Spesifikasi Nosel

Ukuran droplet	Orifice nozzle	Sudut spray	Kecepatan aliran fluida
Semakin kecil	Semakin kecil	Semakin besar	Semakin besar
Semakin besar	Semakin besar	Semakin kecil	Semakin kecil

Macam-macam pola semprotan (*spray pattern*) :

1. *Hollow cone spray*

Pola semprotan berupa lingkaran dengan konsentrasi *droplet* berada pada sisi luar. Pada sisi tengah hanya sedikit atau bahkan tidak ada sama sekali seperti pada gambar 2.7 dibawah ini.

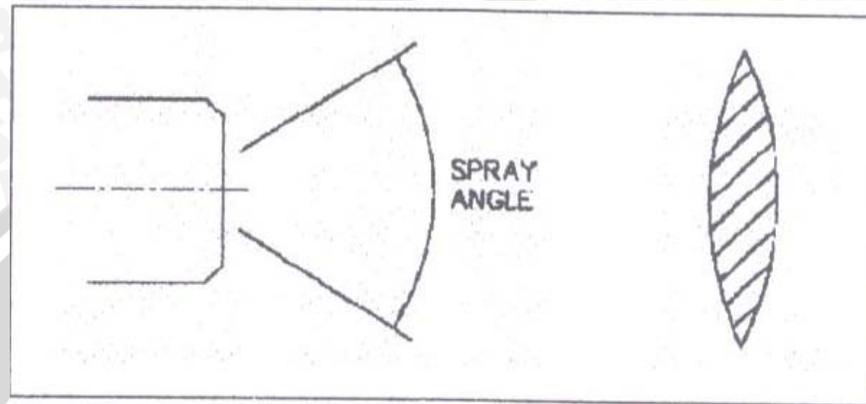


Gambar 2.7 : *Hollow cone spray*

Sumber : <http://www.Delavan.co.uk/pdffs/zNozzleTechnology.pdf>

2. Flat spray

Pola semprotan berupa lembaran tipis yang berbentuk elips atau oval, seperti pada gambar 2.8 dibawah ini.

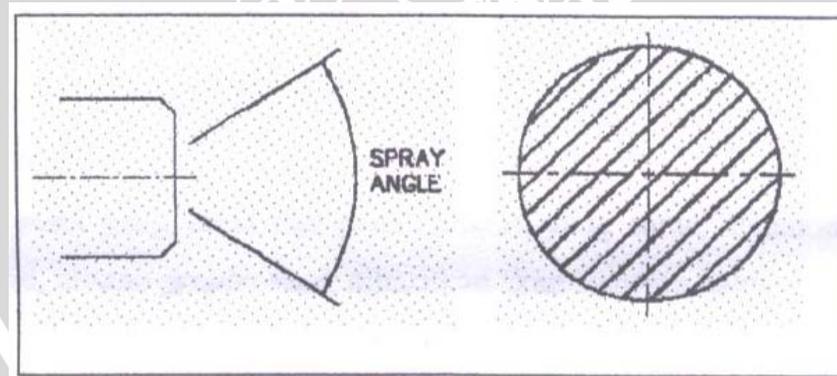


Gambar 2.8 : Flat spray

Sumber : <http://www.Delavan.co.uk/pdffs/zNozzleTechnology.pdf>

3. Solid cone spray

Pola semprotan berupa lingkaran dengan distribusi droplet merata pada seluruh luasan sudut semprot seperti pada gambar 2.9 dibawah ini.



Gambar 2.9 Solid cone spray

Sumber : <http://www.Delavan.co.uk/pdffs/zNozzleTechnology.pdf>

2.5 Analisa aliran

Perpindahan panas konveksi sangat tergantung pada keadaan aliran lapisan batas dan apakah aliran tersebut laminar atau turbulen. Dalam menentukan keadaan suatu aliran (bersifat turbulen atau laminar) maka yang dapat dijadikan acuan adalah besarnya bilangan *Reynold* dari aliran tersebut.

2.5.1 Aliran Laminar

Pada suatu aliran fluida, aliran yang bergerak dalam lapisan-lapisan dengan gerakan yang teratur dan tiap *streamline* tidak bercampur disebut aliran laminar. Perpindahan massa dan momentum dalam aliran laminar terjadi secara molekular dalam skala submikroskopis, dari lapisan yang mempunyai kecepatan yang relatif tinggi menuju ke lapisan lain yang memiliki kecepatan yang relatif lebih rendah. Dengan adanya viskositas, maka kecenderungan aliran untuk dapat berubah karena gangguan dapat diperkecil. Pada aliran laminar partikel-partikel fluida bergerak secara berurutan mengikuti suatu lintasan dan memiliki kecepatan yang tetap pada titik yang sama. Untuk aliran laminar nilai bilangan *Reynold* adalah :

$$Re < 2 \cdot 10^5 \quad \text{untuk aliran eksternal.....(Cengel, 2001:745)}$$

$$Re < 2300 \quad \text{untuk aliran internal.....(Cengel, 2001:512)}$$

2.5.2 Aliran Turbulen

Pada suatu aliran fluida, saat partikel-partikel dalam aliran tersebut bergerak secara acak dengan kecepatan yang berfluktuasi dan tiap *streamline* bercampur maka aliran tersebut dinamakan aliran turbulen. Pada aliran turbulen tidak terbentuk lapisan-lapisan fluida. Dan aliran fluida dibayangkan sebagai bongkahan-bongkahan fluida. Bongkahan-bongkahan fluida bergerak secara acak yang menyebabkan proses perpindahan momentum dan massa terjadi dalam skala makroskopik. Partikel-partikel bongkahan berperan sebagai pembawa energi dan memindahkan energi dengan cara bercampur dengan partikel-partikel lain pada fluida tersebut. Jika suatu aliran tersebut dimanfaatkan sebagai media penyerap

panas, maka aliran turbulen akan dapat menyerap panas lebih banyak dibanding dengan aliran laminar. Dimana tiap-tiap partikel fluida bisa bersentuhan dengan permukaan media yang mempunyai beda temperatur dan membawanya bercampur dengan partikel lain untuk selanjutnya mentransfer energi panas tersebut pada partikel yang lain

Untuk aliran turbulen, nilai bilangan *Reynold* adalah :

$Re > 5 \cdot 10^5$ untuk aliran eksternal(Cengel, 2001:745)

$Re > 4000$ untuk aliran internal(Cengel, 2001:512)

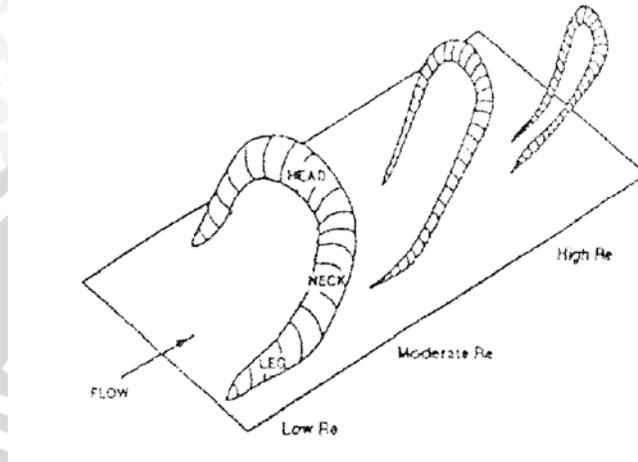
Pada aliran fluida, sebelum aliran menjadi turbulen maka, aliran akan mengalami proses transisi. Untuk aliran *internal*, aliran transisi dari aliran laminar ke aliran turbulen terjadi pada bilangan *Reynold* antara 2300 – 4000.

2.5.3 *Vortex*

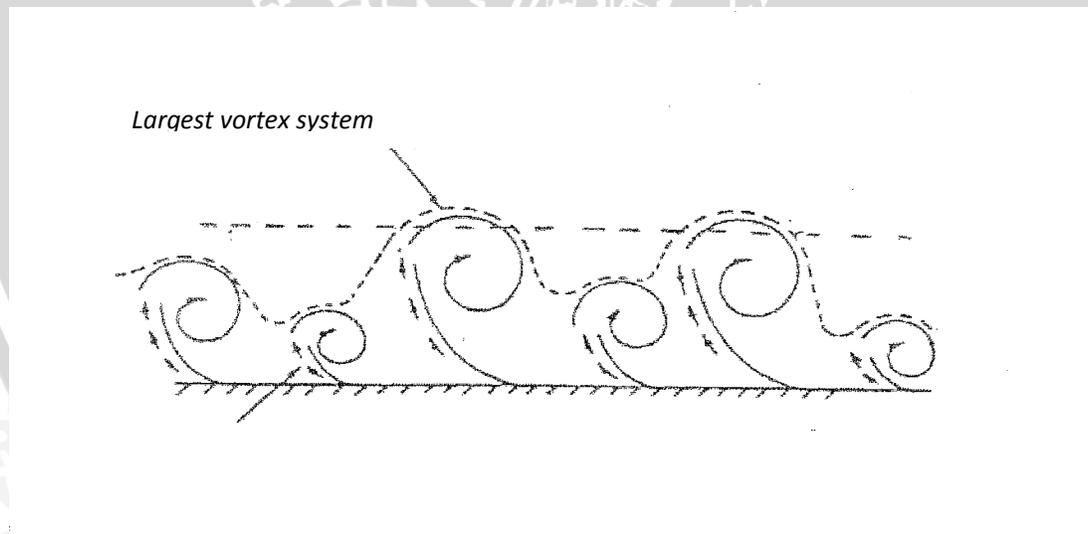
Vortex didefinisikan sebagai massa fluida cairan atau gas yang partikel-partikelnya bergerak berputar. Gerakan partikel fluida bergerak berputar disebabkan adanya perbedaan kecepatan antara lapisan-lapisan fluida yang bersebelahan dengan jarak tertentu menimbulkan gaya-gaya yang akhirnya akan menyebabkan puntiran. Torsi ini akan menyebabkan terjadinya *vortex-vortex* pada fluida tersebut. Menurut proses pembentukannya *vortex* dibagi menjadi 2 macam yaitu *vortex* bebas (*free vortex*) dan *vortex* paksa (*forced vortex*). *Vortex* bebas terjadi jika mekanisme pembentukan *vortex* tidak melibatkan energi dari luar sumber. Fluida berputar karena gerakan internalnya contohnya yaitu pusaran air disungai dan pusaran di belokan pipa akibat aliran sekunder. *Vortex* paksa terjadi jika mekanisme pembentukan *vortex* melibatkan energi dari luar misalnya fluida diberi torsi atau puntiran dari luar. Contohnya yaitu fluida dalam suatu wadah diputar dengan pipa silinder.

Sesungguhnya *vortex* berwujud tiga dimensi dan dapat berubah menurut harga bilangan *Reynold*-nya. Pada bilangan *Reynold* yang rendah, *vortex* berbentuk

seperti tapal kuda dan semakin tinggi harga bilangan *Reynold*-nya maka *vortex* akan semakin meruncing seperti ditunjukkan pada gambar 2.10, sedangkan profil dua dimensinya ditunjukkan seperti pada gambar 2.11 dibawah ini.



Gambar 2.10 : Geometri *Vortex* menurut besar bilangan *Reynolds*
 Sumber: "H.Schlichting: Boundary Layer Theory," 7th ed.,Mcgraw-Hill, New York, 1979.

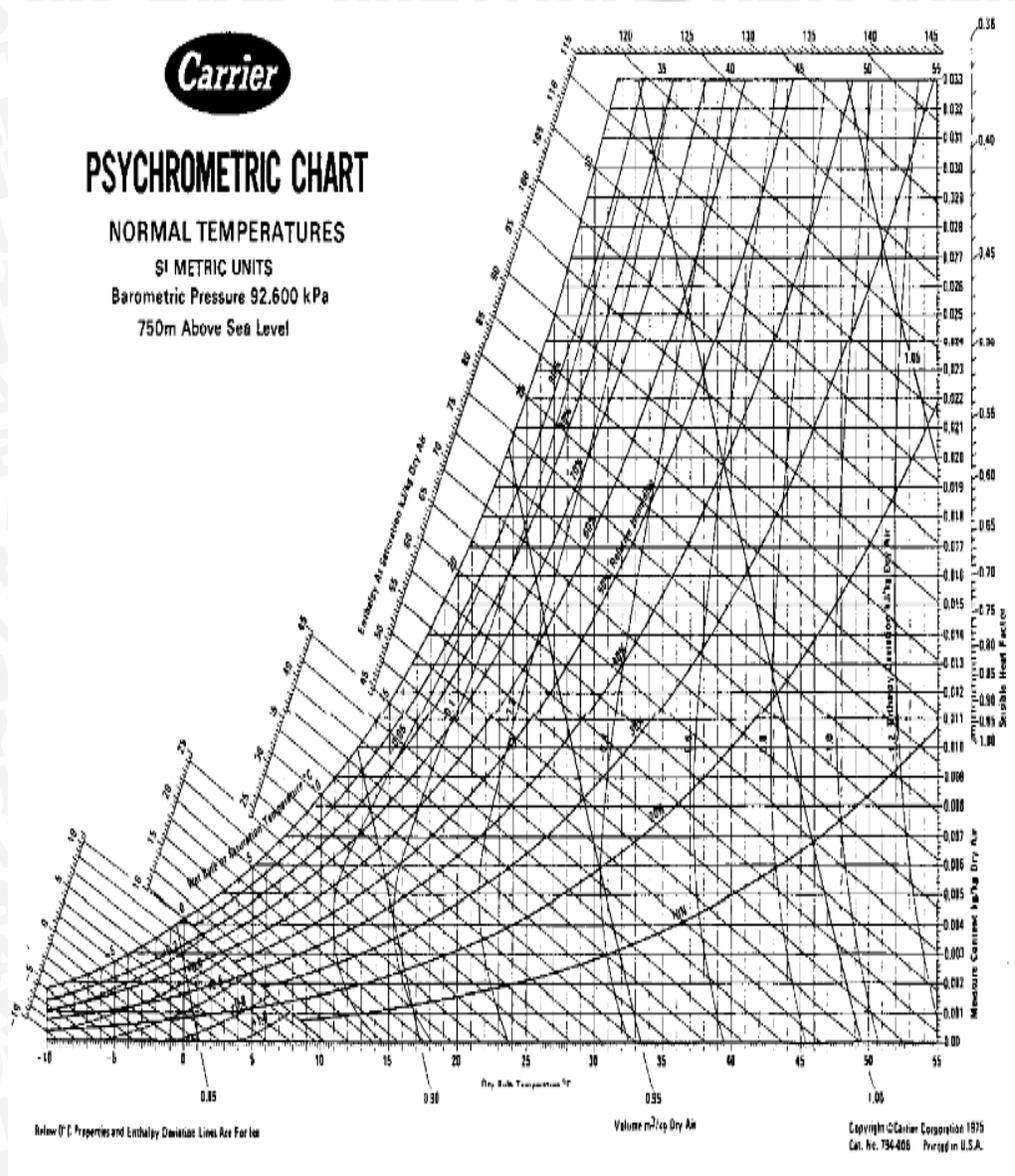


Gambar 2.11 : *Vortex* 2 dimensi

Sumber : Sumber: "H.Schlichting: Boundary Layer Theory," 7th ed.,Mcgraw-Hill, New York, 1979.

2.6 Istilah-Istilah Pada Mesin Pengatur kondisi Udara

2.6.1 Psikrometri dan Diagram Psikrometri



Gambar 2.12 : Diagram Psikrometri

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

Psikrometri (*psychrometric*) adalah ilmu yang mempelajari sifat-sifat dari udara lembab. udara lembab terdiri dari udara kering dan uap air. Diagram

psikrometri menggambarkan beberapa sifat penting dari udara kering hingga udara lembab, baik harga entalpi, kelembaban dan volume spesifik dari suatu keadaan udara.

- 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.

- Kelembaban Relatif (*Relative Humidity*)

Kelembaban relatif merupakan perbandingan tekanan parsial dari uap air dalam udara (P_v) dengan tekanan parsial dari uap air yang akan menjenuhkan udara pada temperatur tersebut, P_{sat} . Kelembaban relatif disimbulkan dengan Φ .

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

-Kelembaban Absolut (*Absolute Humidity* atau *Humidity Ratio*)

Kelembaban absolut 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 dengan rumusan sebagai berikut :

$$\omega = m_v/m_a \dots\dots\dots(\text{El Wakil, 1992: 266}) \quad (2-3)$$

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

$$\omega = \frac{P_v V/R_v T}{P_a V/R_a T}$$

$$\omega = \frac{P_v/R_v}{P_a/R_a}$$

$$\omega = \frac{P_v R_a}{P_a R_v}$$

$$\omega = \frac{P_v R_a}{(P - P_v) R_v}$$

(2-4)

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

$$\omega = 0,622 P/(p-p_v) \dots\dots\dots(\text{El-Wakil, 1992:266}) \quad (2-5)$$

dimana:

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

V = volume campuran udara uap (m^3)

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 (kJ/Kg K)

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

-Temperatur Bola Kering (*Dry-Bulb Temperature*)

Temperatur bola kering adalah temperatur yang biasanya dibaca oleh alat ukur secara langsung.

-Temperatur Bola Basah (*Wet-Bulb Temperature*)

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 keluar. 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 daripada 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.

- Entalpi (h)

Adalah energi kalor yang dimiliki oleh suatu zat pada suatu temperatur tertentu. Besarnya entalpi dapat diperoleh dengan persamaan:

$$h = C_p T_c + \omega h_g \dots\dots\dots(\text{Stocker, 1992:42}) \quad (2-6)$$

dimana:

- h = Entalpi fluida (kJ/kg)
- Cp = Kalor spesifik udara kering pada tekanan konstan (kJ/kg K)
- T = Temperatur fluida (°K)

2.6.2. Massa Alir (\dot{m})

Adalah jumlah massa udara yang dialirkan tiap satuan waktu. Besar massa alir fluida dapat diperoleh dengan persamaan:

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

$$\dot{m} = \rho \cdot Q \quad (2-7)$$

dimana:

\dot{m}	= massa alir fluida	(kg/dtk)
ρ	= massa jenis fluida	(kg/m ³)
V	= kecepatan fluida	(m/dtk)
A	= luas penampang	(m ²)
Q	= debit fluida	(m ³ /dtk)

2.7 Proses Difusi

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 keluar 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.

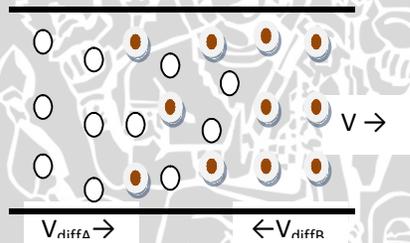
Pergerakan material (massa) antara dua fase karena perbedaan tekanan uap (konsentrasi) disebut difusi, dan dapat digambarkan dengan transfer material dari satu fase ke fase lain atau keduanya. Fenomena ini disebut perpindahan massa (untuk memisahkannya dengan konsep perpindahan panas). Pada sebuah sistem dengan fase tidak homogen, maka akan memungkinkan terjadinya difusi sendiri (*self-diffusion*) sampai fase mendekati homogen.

Perpindahan Panas dan Massa pada *Humidifier*

1. Perpindahan Kalor Difusi (q_d)

Perpindahan kalor ini terjadi antara udara dengan partikel air, dimana udara bercampur dengan partikel air. Pada proses ini terjadi perubahan fasa dimana sebagian air berubah menjadi uap air dan kelembaban udara juga meningkat

Pada difusi dengan fluida yang memiliki beda konsentrasi dan kecepatannya yang besar, terjadi proses difusi molekuler 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 seperti ditunjukkan pada gambar 2.13 dibawah ini.



Gambar 2.13 : Gambar proses difusi dengan fluida yang memiliki beda konsentrasi dan kecepatan yang besar
Sumber : Cengel, 2003: 651

2. 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.

2.8 Reynold Number

Pada saat suatu fluida mengalir dan memiliki suatu pola tertentu. Pola pertama adalah aliran laminar, yaitu aliran yang mulus dan *streamline* dan memiliki kecenderungan bergerak secara teratur. Pola kedua adalah aliran turbulen yaitu aliran bergerak acak dan tidak teratur dengan kecepatan yang berfluktuasi. Perbandingan antara gaya inersia terhadap gaya viskos yang merupakan ukuran gaya gesekan antar lapisan fluida disebut bilangan *Reynold* (Re), ini merupakan parameter yang tidak berdimensi dan dapat dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$Re = \frac{V \cdot dH}{\nu} \dots\dots\dots(\text{Cengel, 2003:343}) \quad (2-8)$$

Dimana :

V = Kecepatan aliran fluida (m/s)

dH = diameter hidrolis (m)

$\nu = \frac{\mu}{\rho}$ = Viskositas kinematik fluida (m²/s)

μ = viskositas dinamik (kg/m.s)

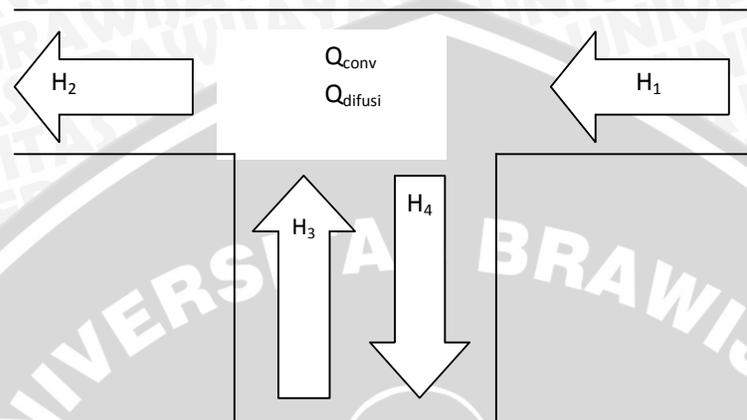
ρ = massa jenis (kg/m³)

2.9 Kesenjangan Kalor Pada Sistem

Udara bertemperatur tinggi dimasukkan kedalam sistem dengan menggunakan blower dan disinggung dengan air bertemperatur lebih rendah yang disemprotkan oleh *spray nozzle*. Udara bersinggungan dengan air secara langsung sehingga timbul proses transfer kalor antara kedua zat tersebut

Gambar 2.14 berikut ini menunjukkan kesetimbangan kalor yang terjadi pada *humidifier*. Udara yang memiliki temperatur tinggi dialirkan melalui saluran inlet dengan *blower*. Pada saat melewati *spray nozzle* udara tersebut akan

bersinggungan langsung dengan uap air yang disemprotkan sehingga terjadi proses perpindahan kalor dari udara ke uap air.



Gambar 2.14 : Keseimbangan kalor pada *Humidifier*
Sumber: dokumentasi pribadi

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 kalor total pada *humidifier* terdiri dari dua macam proses, yaitu :

a. Perpindahan Kalor Difusi (q_d)

Pada proses ini terjadi perubahan fasa dimana sebagian air berubah menjadi uap air akibat proses percampuran yang terjadi antara udara dan partikel air.

b. Perpindahan kalor Konveksi (q_c)

Perpindahan kalor konveksi terjadi pada media yang bergerak dimana udara dan air yang memiliki beda temperatur saling bersinggungan. Pada penelitian ini, proses konveksi terjadi dari udara ke air. Hal ini terjadi karena udara memiliki temperatur yang lebih tinggi. Besarnya nilai kalor yang berpindah

dapat kita ketahui dengan mengukur beda temperatur antara air yang masuk dengan air yang keluar.

Perpindahan kalor konveksi dapat dihitung berdasarkan besar nilai bilangan *Nusselt*, *Reynold*, dan *Prandlt* dimana ketiga parameter tersebut mempunyai hubungan yang saling berkaitan. Peningkatan bilangan *Reynold* berbanding lurus dengan peningkatan kecepatan alir fluida, selain itu juga akan berpengaruh terhadap bilangan *Nusselt* dan *Prandlt*. Semakin besar nilai bilangan *Nusselt* dan *Prandlt* maka koefisien perpindahan panas konveksi juga akan meningkat sehingga transfer energi juga akan meningkat. Hubungan ketiga parameter tersebut dapat dilihat dari persamaan 2-9 berikut:

$$\begin{aligned} Re &= V_{DH} / \nu \\ Nu &= C.Re^m, Pr^n \\ Nu &= h.D_H/k \dots\dots\dots(Holman J.P, 1991:214) \quad (2-9) \end{aligned}$$

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 :

$$q = h A \Delta T \dots\dots\dots(Holman J.P; 1991:11) \quad (2-10)$$

Dimana :

- V = Kecepatan aliran fluida (m/s)
- $\nu = \frac{\mu}{\rho}$ = Viskositas kinematik fluida (m²/s)
- μ = Viskositas dinamik (kg/m.s)
- ρ = Massa jenis (kg/m³)
- Re = *Reynold Number*
- Nu = *Nusselt Number*
- Pr = *Prandlt Number*

$C_{m,n}$ = Konstanta

h = Koefisien perpindahan panas konveksi ($W/m^2 \cdot ^\circ K$)

k = Koefisien perpindahan panas konduksi ($W/m \cdot ^\circ K$)

D_h = Diameter hidrolik (m)

Kesetimbangan energi secara matematik dapat dituliskan sebagai berikut :

Σ Kalor keluar :

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

maka:

Σ Kalor keluar = Σ Kalor masuk

$$H_2 + H_4 = H_1 + H_3 \tag{2-11}$$

Entalpi fluida (udara kering + uap air):

$$h = C_p T_c + \omega h_g \dots\dots\dots(\text{Stoeker, 1992:42}) \tag{2-12}$$

Keterangan :

h = Entalpi campuran antara udara kering dengan uap air (kJ/kg)

C_p = Kalor pesifik udara kering pada tekanan konstan 1,0 kJ/kg K

T_c = Suhu campuran antara udara dan uap ($^\circ C$)

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

h_g = Entalpi uap (kJ/kg)

Sehingga nilai energi kalor udara masuk dihitung dengan rumus :

$$H_1 = m_{a1} \cdot h_1$$

$$H_1 = m_{a1} (C_p T_1 + \omega_1 h_{g1}) \tag{2-13}$$

Keterangan :

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

T_1 = Temperatur udara inlet ($^\circ C$)

ω_1 = Kelembaban absolut udara inlet (kg uap air/kg udara kering)

h_{g1} = Entalpi uap udara inlet (kJ/kg)

Nilai kalor udara keluar dihitung dengan persamaan :

$$H_2 = m_{a2} \cdot h_2$$

$$H_2 = m_{a2} (C_p T_c + \omega h_g) \tag{2-14}$$

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 (kg uap air/kg udara kering)

h_{g2} = Entalpi uap udara keluar (kJ/kg)

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

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

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

rumus :

$$\omega = \frac{m_v}{m_a} \dots\dots\dots(\text{Stoeker,1992:41}) \tag{2-14}$$

$$\omega \times m_a = m_v$$

$$m = \rho \times V \times A \dots\dots\dots(\text{Cengel,2003:98}) \tag{2-15}$$

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

$$m = m_a + m_v$$

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

$$m = (1 + \omega) \times m_a \tag{2-16}$$

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

Keterangan :

ω = Kelembaban absolut campuran udara dan uap air (kg uap air/kg udara kering)

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



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

m_v = Laju massa alir uap air (kg/s)

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

ρ = Massa jenis campuran udara dan uap air.

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

$$V = c \times \sqrt{2gh} \quad (2-17)$$

$$V = c \times \sqrt{2g \frac{\Delta P}{\gamma}} \quad (2-18)$$

$$V = c \times \sqrt{2g \frac{\rho_{\text{MINYAK}} g h_{\text{MINYAK}}}{8 \rho_{\text{udara}}}} \quad (2-19)$$

$$V = c \times \sqrt{2g \frac{\rho_{\text{air}} SG_{\text{MINYAK}} (z \sin 3,75/1000)}{\rho_{\text{udara}}}} \quad (2-20)$$

Dimana :

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} = *Specific gravity* (0,826)

Sedangkan H_3 dan H_4 masing-masing dihitung dengan rumus :

$$H_3 = m_3 \times h_3$$

$$H_4 = m_4 \times h_4 \quad (2-21)$$

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)

h_3 = Entalpi air yang masuk ke dalam sistem (kJ/kg)

h_4 = Entalpi air yang ke luar dari sistem (kJ/kg)

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

$$\dot{m}_3 = \rho_{air} \times \dot{Q}_3$$

$$\dot{m}_4 = \rho_{air} \times \dot{Q}_4 \quad (2-22)$$

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

$$H_1 + H_3 = H_2 + H_4$$

$$H_1 + m_3 h_3 = m_{a2} (C_p T_2 + \omega_2 h_{g2}) + m_4 h_4$$

$$H_1 + m_3 h_3 = m_{a2} (C_p T_2 + \omega_2 h_{g2}) + m_4 h_4$$

$$m_{a1} (C_p T_1 + \omega_1 h_{g1}) + m_3 h_3 = m_{a2} (C_p T_2 + \omega_2 h_{g2}) + m_4 h_4$$

$$m_a (C_p T_1 + \omega_1 h_{g1}) + m_3 h_3 = m_a (C_p T_2 + \omega_2 h_{g2}) + m_4 h_4 \quad (2-23)$$

Nilai transfer energi dihitung dengan persamaan :

$$\Delta H = H_1 - H_2 = H_4 - H_3 \quad (2-24)$$

Sedangkan besarnya massa uap air yang ditransfer ke udara adalah :

$$\Delta m = m_2 - m_1 = m_3 - m_4 \quad (2-25)$$

2.10 Hipotesis

Variasi jumlah *turbulator vanes* yang semakin banyak, akan meningkatkan intensitas turbulensi yang ditandai dengan adanya peningkatan *vortex*, *vortex* akan menyebabkan luas bidang sentuh antara fluida udara dengan air meningkat, sehingga transfer energi dan massa juga meningkat.



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Pada penelitian ini metode penelitian yang digunakan yaitu menggunakan metode eksperimental (*true experimental research*). Metode ini dapat langsung digunakan pada obyek yang akan diteliti. Cara pengambilan data dilakukan pada tahapan-tahapan tertentu dimana beberapa data diambil untuk diolah. Setelah data tersebut diolah maka dilakukan perbandingan sehingga terbentuk suatu pola perbandingan. Pola perbandingan tersebut akan dihubungkan satu dengan lainnya.

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 3; 4; 5; 6; 7; 8; dan 9 [cm]. Variasi kecepatan ini berbanding lurus dengan bilangan Reynold

2. Variabel terikat (*dependent variabel*)

Variabel terikat yang diamati dalam penelitian ini adalah:

- Transfer energi
- Transfer massa

3. Variabel terkontrol.

Variabel terkontrol pada penelitian ini nilainya dikonstantkan pada waktu penelitian dilakukan. Variabel yang dikontrol dalam penelitian ini adalah:

Variasi jumlah *turbulator vanes* yaitu 3; 4; 5 dan tanpa *turbulator vanes*

3.3 Alat-alat Penelitian

Peralataan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. *Windtunnel*

Windtunnel adalah suatu lorong fluida yang mengalir dengan memiliki seksi uji. Di dalam *windtunnel* ini kecepatan udara dapat diketahui dengan cara mengukur beda tekanannya menggunakan *inclined manometer*.

Dimana persamaannya :

$$V_2 = c \times \sqrt{2gh}$$

$$V_2 = c \times \sqrt{2g \frac{\Delta P}{\gamma}}$$

$$V_2 = c \times \sqrt{2g \frac{\rho_{\text{MINYAK}} gh}{g \rho_{\text{udara}}}}$$

$$V_2 = c \times \sqrt{2g \frac{\rho_{\text{air}} SG_{\text{MINYAK}} (z \sin 3,75/1000)}{\rho_{\text{udara}}}}$$

keterangan :

c	= Konstanta tabung pitot (0,85)
ΔP	= Beda tekanan rata-rata yang diukur oleh tabung pitot.
γ	= Berat jenis udara dan uap air pada saat pengujian
ρ_{air}	= Massa jenis air (1000kg/m ³)
ρ_{udara}	= Massa jenis udara outlet (campuran antara air dan uap air)
SG_{minyak}	= <i>specific gravity</i> (0,826)

Adapun gambar *wind tunnel* ditunjukkan seperti pada gambar 3.1 di bawah ini :



Gambar 3.1: *Windtunnel*
Sumber : Dokumentasi Pribadi

2. *Thermocouple*

Berfungsi untuk mengukur temperatur air panas, temperatur keluar air panas, temperatur masuk air dingin dan, temperatur keluar dingin. Dalam hal ini *thermocouple* digunakan untuk mengubah suatu besaran fisis yang berupa suhu menjadi bentuk elektrik berupa tegangan.

3. *Thermo Controler*

Berfungsi untuk mengontrol temperatur udara inlet ($40\text{ }^{\circ}\text{C}$). Cara kerja alat ini yaitu memutus arus listrik pada heater secara otomatis apabila temperatur telah mencapai $40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Toleransi dari pengaturan temperatur ini adalah $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$.

4. *Digital Multimeter*

Berfungsi untuk mengubah data *analog* dari *termocouple* menjadi temperatur dengan tampilan *digital*.

5. *Inclined Manometer*

Diisi dengan zat cair (air) sebagai fluida pengukurnya. Prinsipnya adalah mengukur beda tekanan udara saat keluar dari *duct* yang ditunjukkan oleh perbedaan ketinggian cairan pada *inclined manometer*, yang selanjutnya digunakan untuk menentukan kecepatan udara pada *duct* seperti ditunjukkan pada gambar 3.2 di bawah ini.



Gambar 3.2: *Inclined Manometer*

Sumber : Dokumentasi Pribadi

6. Pompa

Berfungsi untuk memompa air menuju nosel. Adapun spesifikasi pompa tersebut adalah sebagai berikut :

- No. Part : MZS38017
- Merk : G
- Daya : 0,175 kW
- Kapasitas : 25 ml/menit

7. *Spray Nozzle*

Berfungsi mengubah energi tekanan fluida masuk nosel menjadi energi kecepatan fluida keluar nosel. Alat ini digunakan untuk memecah air menjadi partikel-partikel dengan ukuran yang jauh lebih kecil, spray nozzle ditunjukkan seperti pada gambar3.3 di bawah ini.



Gambar 3.3: Nozzle
Sumber : Dokumentasi Pribadi

8. Gelas ukur

Berfungsi untuk mengetahui debit air yang disemprotkan oleh nosel. Dimana secara matematis dapat ditunjukkan dengan :

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

keterangan :

\dot{Q} = debit air pendingin (m^3/detik)

V = volume air pendingin (m^3)

t = waktu (detik)

Gelas ukur ditunjukkan seperti pada gambar 3.4 di bawah ini



Gambar 3.4: Gelas Ukur
Sumber : Dokumentasi Pribadi

7. Heater

Berfungsi untuk meningkatkan temperatur udara inlet. Cara kerja alat ini yaitu dengan merubah energi listrik menjadi panas. Instalasi heater disambungkan dengan *thermocontroller* sehingga temperatur pemanasan dapat dibuat konstan, heater yang dipakai dalam penelitian ditunjukkan seperti pada gambar 3.5 di bawah ini.



Gambar 3.5: Heater
Sumber : Dokumentasi Pribadi

8. Adaptor

Berfungsi untuk merubah arus bolak-balik menjadi arus searah sehingga bisa digunakan sebagai sumber arus pompa. Adapun spesifikasi adaptor adalah sebagai berikut :

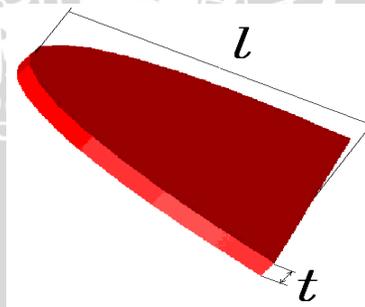
- Arus : 5 A
- Voltase : 12 Volt



Gambar 3.6: Adaptor
Sumber : Dokumentasi Pribadi

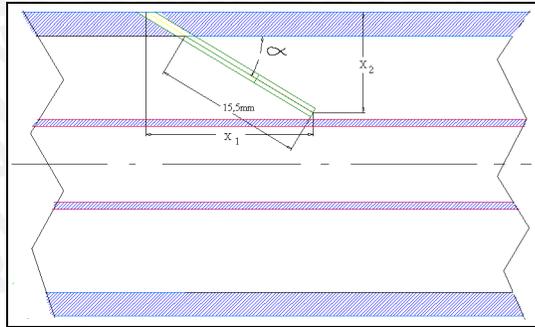
9. Turbulator Vanes

Merupakan plat tipis dari bahan fiberglass dengan bentuk tertentu yang mempunyai tebal (t) 3 mm, lebar 50 mm dan panjang (l) 150 mm.



Gambar 3.7: Turbulator
Sumber : Dokumentasi Pribadi

Pemasangan sudut turbulator vanes pada seksi uji duct yang ditunjukkan seperti pada gambar 3.8 di bawah ini

Gambar 3.8 Pemasangan sudut *turbulator*

Sumber : Dokumentasi Pribadi

Dimana:

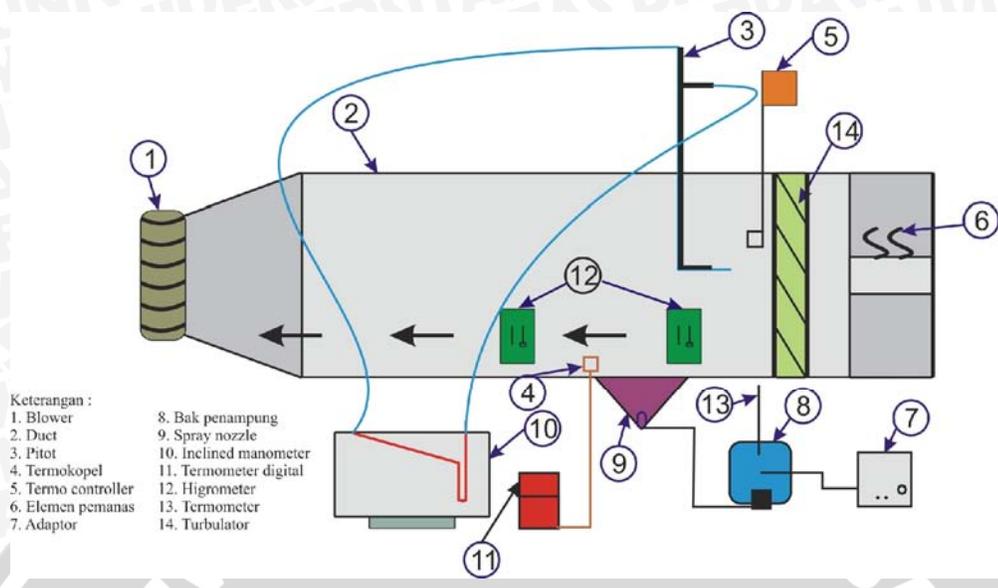
 α = sudut *turbulator* (26°)X1 dan X2 = jarak setelah posisi *turbulator* dipasang

3.4 Instalasi Penelitian

Instalasi penelitian beserta keterangannya terlihat pada gambar 3.9 yang menunjukkan instalasi penelitian serta alat pendukungnya.

Tabel 3.1 Spesifikasi penelitian

Jumlah <i>turbulator</i>	Tebal <i>turbulator</i>	Sudut <i>turbulator</i>
0	3 mm	26°
3	3 mm	26°
4	3 mm	26°
5	3 mm	26°



Gambar 3.9 Instalasi Penelitian
Sumber : Dokumentasi Pribadi





3.5 Tempat Penelitian

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

3.6 Prosedur Penelitian

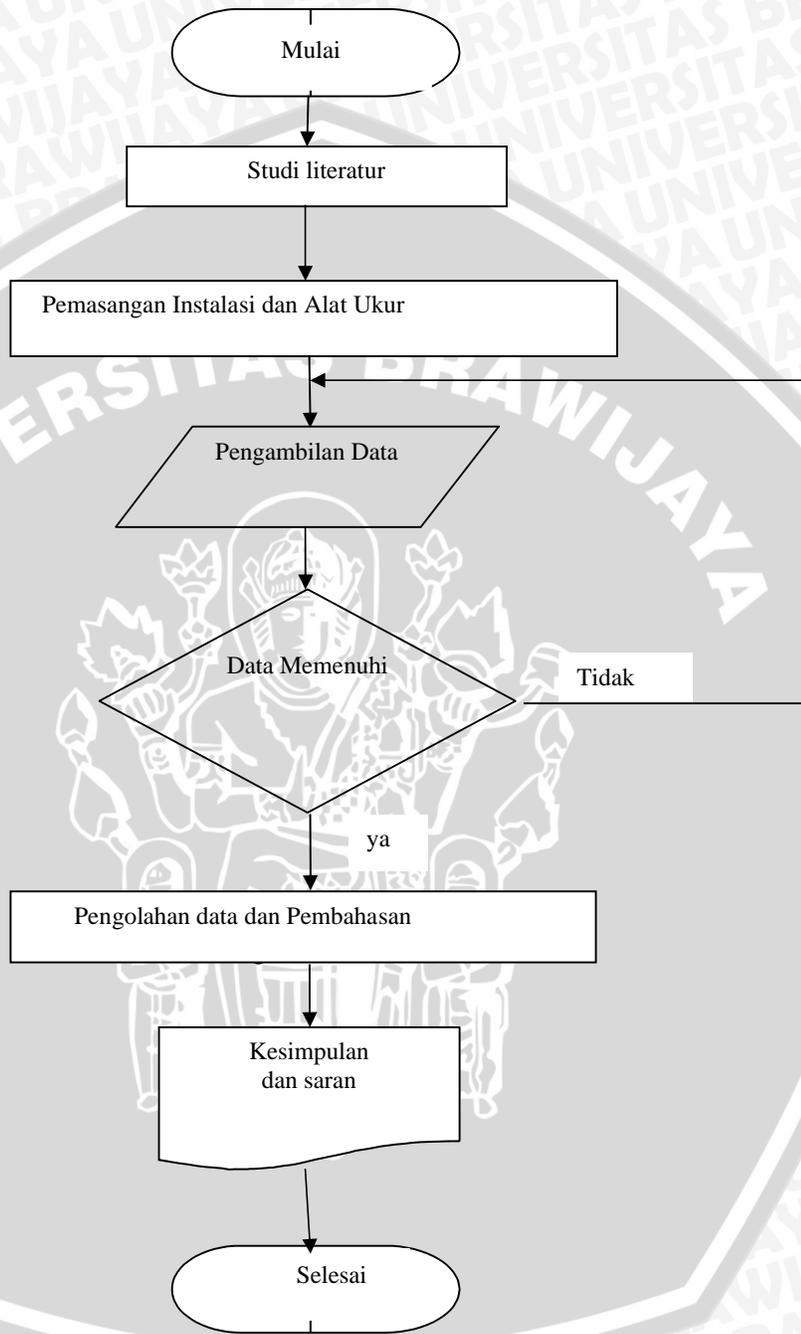
Persiapan meliputi :

1. Menyiapkan instalasi penelitian dengan berbagai variasi sudut turbulator
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.

Pelaksanaan percobaan :

1. Memasang 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 pada bukaan 3 cm
4. Mengambil data temperatur air masuk, temperatur air keluar, temperatur udara masuk, temperatur udara keluar dan perbedaan tekanan udara keluar pada *inclined manometer*
5. Mengulangi langkah 2 sampai 4 pada variasi bukaan blower 4cm, 5cm, 6cm, 7cm, 8cm, dan 9cm
6. Mengulangi langkah 2 sampai 5 pada variasi jumlah *turbulator vanes*
7. Data diolah, kemudian dianalisa pengaruh kecepatan udara inlet terhadap laju perpindahan kalor. Data dianalisa dengan rumusan dan persamaan sesuai dengan ilmu perpindahan panas, mekanika fluida maupun termodinamika. Dari analisa tersebut nantinya akan dapat diketahui hubungan antara variabel bebas dan variabel terkontrol terhadap variabel terikatnya. Dari hubungan tersebut akan digunakan untuk menjawab rumusan masalah yang telah dikemukakan lebih awal
8. Menarik kesimpulan.

3.7 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.10 : Diagram Alir Penelitian

BAB IV
DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Data

4.1.1 Data hasil pengujian

Berikut ini 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

Tanpa turbulator

Bukaan	Td in	Twin	Td out	Tw out	z
3	40	27	37	28	3
4	40	26	36.6	28	4
5	40	26	36.3	27.7	6
6	40	25.5	35	27.7	7
7	40	25.3	33	27.5	9
8	40	25	32	27.5	10
9	40	25	32	27.5	11

3 Turbulator

Bukaan	Td in	Twin	Td out	Tw out	z
3	40	27	36	28	4
4	40	26	35	28	5
5	40	26	35	28	6.5
6	40	25.5	33	27.8	8
7	40	25.3	32	27.5	10
8	40	25	31	27.5	11.5
9	40	25	30	27.4	12

4 Turbulator

Bukaan	Td in	Twin	Td out	Tw out	z
3	40	27	34	28.5	5
4	40	26	33	28.5	5.5
5	40	26	32	28.4	7
6	40	25.5	31	28.2	9
7	40	25.3	30	28	11
8	40	25	29	28	12
9	40	25	29	28	13

5 Turbulator

Bukaan	Td in	Twin	Td out	Tw out	z
3	40	27	33	28.5	6.5
4	40	26	31	28.4	7.5
5	40	26	30	28.4	9
6	40	25.5	30	28.4	11
7	40	25.3	29.5	28.3	12
8	40	25	29.5	28.3	13.5
9	40	25	29.5	28	14.5

4.1.2 Contoh Perhitungan

Data yang diperoleh dari pengujian humidifier dengan pemasangan 5 turbulator vanes data ke 2 :

a. Data dari hasil pengujian

- $T_{din} = 40^{\circ}\text{C}$
- $T_{win} = 26^{\circ}\text{C}$
- $T_{dout} = 31^{\circ}\text{C}$
- $T_{wout} = 28.4^{\circ}\text{C}$
- $Z_1 = 7.5 \text{ mm}$
- $A = 30 \text{ cm} \times 15,5 \text{ cm}$

b. Data yang diambil dari diagram psikrometri

- $RH_1 = 33.2\%$
- $RH_2 = 81\%$
- $\omega_1 = 0,0150$
- $\omega_2 = 0,0240$

c. Data yang diperoleh dari table 5.1 sifat-sifat cairan dan uap jenuh

- $\rho_{\text{udara inlet}} = 1,046 \text{ kg/m}^3$
- $hg_1 = 2549.1 \text{ kJ/kg}$
- $hg_2 = 2544.69 \text{ kJ/kg}$

Pengolahan Data :

1. Perhitungan Kecepatan (V_1)

$$V_1 = c \sqrt{2g \frac{\rho_{\text{air}} SG_{\text{MINYAK}} (Z \sin 3,75) \times 10^{-3}}{\rho_{\text{UDARA}}}}$$

$$V_1 = 0,85 \times \sqrt{2 \times 9,81 \frac{1000 \times 0,826 \times (6.5 \sin 3,75) \times 10^{-3}}{1,046}}$$

$$V_1 = 2.334 \text{ m/s}$$

2. Perhitungan Reynould Number (Re)

$$Re = \frac{V \cdot dH}{\nu}$$

$$= \frac{2.334 \times \frac{4(0.3 \times 0.155)}{2(0.3 + 0.155)}}{17.10^{-6}}$$

$$= 27167$$

3. Laju massa alir udara inlet (m_1)

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

$$m_1 = 1,046 \times 2.334 \times 0,3 \times 0,155$$

$$m_1 = 0.1136 \text{ kg/s}$$

4. Laju massa alir udara kering outlet (m_a)

$$m_a = \frac{m_1}{(1 + \omega_1)}$$

$$m_a = \frac{0,1136}{(1 + 0,015)}$$

$$m_a = 0.1119 \text{ kg/s}$$

3. Laju massa alir udara outlet (m_2)

$$m_2 = m_a \times (1 + \omega_2)$$

$$m_2 = 0,1119 \times (1 + 0,0240)$$

$$m_2 = 0,1146 \text{ kg / s}$$

4. Transfer Massa (Δm)

$$\Delta m = m_2 - m_1$$

$$\Delta m = 0,01146 - 0,1139$$

$$\Delta m = 0,0010 \text{ kg / s}$$

5. Energi total udara sisi masuk (H_1)

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

$$H_1 = 0,1119 \times (1 \times 40 + 2549,1 \times 0,015)$$

$$H_1 = 8,754 \text{ kJ / s}$$

6. Energi total sisi keluar (H_2)

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

$$H_2 = 0,1119 \times (1 \times 31 + 2544,69 \times 0,0240)$$

$$H_2 = 10,302 \text{ kJ / s}$$

7. Transfer Energi (ΔH)

$$\Delta H = H_2 - H_1$$

$$\Delta H = 10,302 - 8,754$$

$$\Delta H = 1,584 \text{ kJ/s}$$

4.1.3 Data Hasil Perhitungan

Berikut ini merupakan data hasil perhitungan pada variasi jumlah *turbulator vanes* dan tanpa pemasangan *turbulator vanes*

A. Tabel 4.2 : Data Hasil Perhitungan Energi Total Sisi Masuk (H_1), Energi Total Sisi Keluar (H_2), dan Transfer Energi (ΔH) Tanpa *Turbulator Vanes*

No	Bukaan Blower	H_1 (kJ/s)	H_2 (kJ/s)	ΔH (kJ/s)
1	3	5.594	6.247	0.654
2	4	6.393	7.225	0.832
3	5	7.829	8.700	0.870
4	6	8.330	9.314	0.984
5	7	9.353	10.486	1.133
6	8	9.731	10.960	1.229
7	9	10.207	11.417	1.209



3 Turbulator Vanes

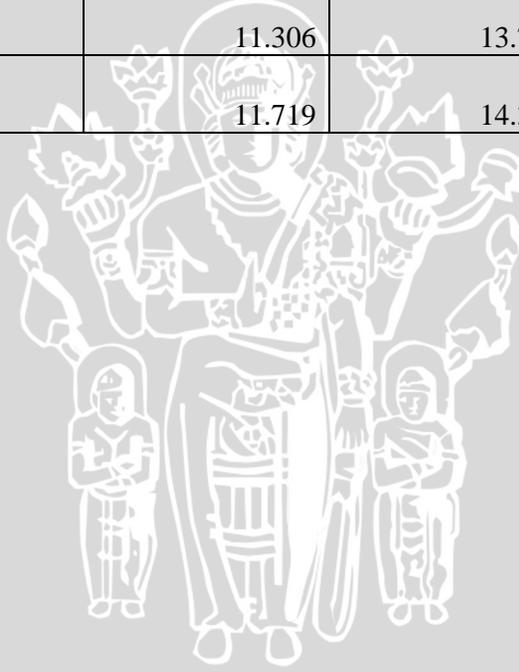
No	Bukaan Blower	H ₁ (kJ/s)	H ₂ (kJ/s)	ΔH (kJ/s)
1	3	6.459	7.278	0.819
2	4	7.147	8.118	0.971
3	5	8.149	9.256	1.107
4	6	8.905	9.997	1.092
5	7	9.859	11.083	1.224
6	8	10.435	11.751	1.316
7	9	10.661	12.021	1.360

4 Turbulator Vanes

No	Bukaan Blower	H ₁ (kJ/s)	H ₂ (kJ/s)	ΔH (kJ/s)
1	3	7.221	8.353	1.131
2	4	7.496	8.789	1.293
3	5	8.457	9.840	1.384
4	6	9.446	11.052	1.606
5	7	10.340	12.203	1.863
6	8	10.659	12.718	2.058
7	9	11.096	13.275	2.178

5 turbulator vanes

No	Bukaan Blower	H ₁ (kJ/s)	H ₂ (kJ/s)	ΔH (kJ/s)
1	3	8.234	9.552	1.319
2	4	8.754	10.302	1.548
3	5	9.589	11.162	1.573
4	6	10.443	12.347	1.904
5	7	10.800	12.978	2.178
6	8	11.306	13.770	2.464
7	9	11.719	14.336	2.617



B. Tabel 4.3 : Data Hasil Perhitungan Laju Massa Alir Udara Campuran Masuk Dan Keluar (\dot{m}_1 dan \dot{m}_2), Massa Alir Udara Kering (\dot{m}_a) dan Transfer Massa ($\Delta \dot{m}$)

Tanpa *Turbulator Vanes*

No	Bukaan blower (cm)	\dot{m}_1 (kg/s)	\dot{m}_a (kg/s)	\dot{m}_2 (kg/s)	$\Delta \dot{m}$ (kg/s)
1	3	0.0718	0.0707	0.0722	0.0003
2	4	0.0829	0.0817	0.0834	0.0004
3	5	0.1016	0.1001	0.1021	0.0005
4	6	0.1097	0.1081	0.1104	0.0007
5	7	0.1244	0.1227	0.1253	0.0009
6	8	0.1311	0.1293	0.1321	0.0010
7	9	0.1375	0.1357	0.1386	0.0010

3 *Turbulator Vanes*

No	Bukaan blower (cm)	\dot{m}_1 (kg/s)	\dot{m}_a (kg/s)	\dot{m}_2 (kg/s)	$\Delta \dot{m}$ (kg/s)
1	3	0.0829	0.0817	0.0834	0.0004
2	4	0.0927	0.0914	0.0933	0.0006
3	5	0.1057	0.1042	0.1064	0.0006
4	6	0.1173	0.1156	0.1181	0.0008
5	7	0.1311	0.1293	0.1321	0.0010
6	8	0.1406	0.1387	0.1417	0.0011
7	9	0.1436	0.1417	0.1449	0.0012

4 *Turbulator Vanes*

No	Bukaan blower (cm)	\dot{m}_1 (kg/s)	\dot{m}_a (kg/s)	\dot{m}_2 (kg/s)	$\Delta \dot{m}$ (kg/s)
1	3	0.0927	0.0913	0.0934	0.0007
2	4	0.0973	0.0958	0.0980	0.0008
3	5	0.1097	0.1081	0.1106	0.0009
4	6	0.1244	0.1226	0.1255	0.0011
5	7	0.1375	0.1356	0.1388	0.0013
6	8	0.1436	0.1417	0.1451	0.0014
7	9	0.1495	0.1475	0.1510	0.0015

5 Turbulator Vanes

No	Bukaan blower (cm)	\dot{m}_1 (kg/s)	\dot{m}_a (kg/s)	\dot{m}_2 (kg/s)	$\Delta \dot{m}$ (kg/s)
1	3	0.1057	0.1041	0.1065	0.0008
2	4	0.1136	0.1119	0.1146	0.0010
3	5	0.1244	0.1226	0.1255	0.0011
4	6	0.1375	0.1356	0.1388	0.0013
5	7	0.1436	0.1416	0.1451	0.0015
6	8	0.1524	0.1503	0.1540	0.0016
7	9	0.1579	0.1558	0.1596	0.0017

4.1.4 Pengujian Hipotesis

Pengujian hipotesis adalah suatu prosedur yang akan menghasilkan suatu keputusan yaitu keputusan menerima atau menolak hipotesis. Dalam penelitian ini digunakan analisis varian (Anova) satu arah untuk menguji hipotesis. Pengujian Anova satu arah merupakan pengujian hipotesis ketika variable dependennya univariat dengan satu faktor yang berpengaruh.

A. Pengujian Hipotesis Pengaruh Variasi Jumlah *Turbulator Vanes* terhadap *Transfer Energi* (ΔH).

Dalam pengujian hipotesis ini faktor yang diteliti adalah jumlah turbulator vanes dan kecepatan udara inlet yang diwakili oleh bukaan blower. Masing-masing faktor memiliki beberapa kondisi (perlakuan) yang berbeda. *Jumlah Turbulator Vanes* memiliki 4 kondisi yaitu 3;4;5 dan tanpa *Turbulator Vanes*. Sedangkan kecepatan udara inlet memiliki 7 kondisi yaitu bukaan blower 3;4;5;6;7;8;9 cm. Langkah-langkah pengujian hipotesisnya adalah sebagai berikut :

1. Penentuan Formulasi Hipotesis

a. $H_{01} : \alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \alpha_4 = \alpha_5 = \alpha_6 = \alpha_7$

$H_{11} : \text{sekurang-kurangnya ada satu } \alpha_i \neq 0$

Dimana α_i = rata-rata kondisi ke-*i* pada faktor kecepatan udara inlet

b. $H_{02} : \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \beta_4$

$H_{12} : \text{sekurang-kurangnya ada satu } \beta_j \neq 0$

Dimana β_j = rata-rata kondisi ke-*j* pada faktor jumlah *turbulator vanes*

2. Taraf nyata dan nilai $F_{\text{tabel}} (\alpha = 5\%)$
 - a. Faktor kecepatan udara inlet
 $F_{0,05}(6,18) = 2,66$
 - b. Faktor jumlah *turbulator vanes*
 $F_{0,05}(3,18) = 3,16$
3. Kriteria pengujian
 - a. H_0 diterima apabila $F_{\text{hitung}} \leq F_{\alpha}(v_1, v_2)$
 - b. H_0 ditolak apabila $F_{\text{hitung}} > F_{\alpha}(v_1, v_2)$
4. Uji statistik

Tabel di bawah ini (Tabel 4.4) adalah tabel hasil data perhitungan *transfer energi*.

Tabel 4.4 : Tabel pengolahan data pengujian hipotesis pengaruh jumlah *turbulator vanes* terhadap *transfer energi* (ΔH).

Transfer energi, $\Delta H(\text{kJ/s})$ pada jumlah <i>turbulator vanes</i>					
bukaan	0	3	4	5	ΣB
3	0.654	0.819	1.131	1.319	
$\Sigma K1$	0.654	0.819	1.131	1.319	3.922
4	0.832	0.971	1.293	1.548	
$\Sigma K2$	0.832	0.971	1.293	1.548	4.644
5	0.870	1.107	1.384	1.573	
$\Sigma K3$	0.870	1.107	1.384	1.573	4.934
6	0.984	1.092	1.606	1.904	
$\Sigma K4$	0.984	1.092	1.606	1.904	5.586
7	1.133	1.224	1.863	2.178	
$\Sigma K5$	1.133	1.224	1.863	2.178	6.398
8	1.229	1.316	2.058	2.464	
$\Sigma K6$	1.229	1.316	2.058	2.464	7.068
9	1.209	1.360	2.178	2.617	
$\Sigma K7$	1.209	1.360	2.178	2.617	7.364
ΣT	6.912	7.888	11.514	13.603	39.917

$$F K = \frac{39,917^2}{7.4} = 56,907$$

$$J K T = (0,654^2 + 0,819^2 + \dots + 2,617^2) - 56,907$$

$$= 64,013 - 56,907 = 7,106$$

$$J K B = \frac{(3,922^2 + 4,644^2 + 4,934^2 + 5,586^2 + 6,398^2 + 7,068^2 + 7,364^2)}{4} - 56,907$$

$$J K B = 59,407 - 56,907 = 2,500$$

Dimana B = baris, yaitu faktor kecepatan udara inlet

$$J K K = \frac{(6,912^2 + 7,888^2 + 11,514^2 + 13,603^2)}{7} - 56,907$$

$$J K G = 33,947 - 56,907 = 4,1818$$

Dimana K = kolom, yaitu faktor jumlah *turbulator vanes*

$$J K G = 7,106 - 2,500 - 4,1818 = 0,423$$

5. Kesimpulan

Dari tabel analisis varian (Tabel 4.5) terlihat masing-masing perlakuan $F_{hitung} > F_{tabel}$ dengan keyakinan 95 %.

Tabel 4.5 : Tabel analisis varian pengaruh variasi jumlah *turbulator vanes* terhadap *transfer energi* (ΔH).

Sumber varian	JK	Db	KT	F _{hitung}	F _{α,5%}
Efek kecepatan udara inlet	2.500	6	0.416802	17.73	2.66
Efek variasi jumlah <i>turbulator vanes</i>	4.1818	3	1.393934	59.299	3.16
Galat	0.423	18	0.023507		
Total	7.106	27			

Atau dapat dinyatakan sebagai berikut :

a. Faktor kecepatan udara inlet

H_0 ditolak maka H_1 diterima, artinya ada pengaruh variasi kecepatan udara inlet terhadap *transfer energi*.

b. Faktor variasi jumlah *turbulator vanes*

H_0 ditolak maka H_1 diterima, artinya ada pengaruh variasi jumlah *turbulator vanes* terhadap *transfer energi*.

B. Pengujian Hipotesis Pengaruh Variasi Jumlah *Turbulator Vanes* terhadap Transfer Massa ($\Delta \dot{m}$).

Langkah-langkah pengujian sebagai berikut :

1. Penentuan Formulasi Hipotesis

c. $H_{01} : \alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \alpha_4 = \alpha_5 = \alpha_6 = \alpha_7$

$H_{11} : \text{sekurang-kurangnya ada satu } \alpha_i \neq 0$

Dimana α_i = rata-rata kondisi ke-*i* pada faktor kecepatan udara inlet

d. $H_{02} : \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \beta_4$

$H_{12} : \text{sekurang-kurangnya ada satu } \beta_j \neq 0$

Dimana β_j = rata-rata kondisi ke-*j* pada faktor jumlah *turbulator vanes*

2. Taraf nyata dan nilai $F_{\text{tabel}} (\alpha = 5\%)$

c. Faktor kecepatan udara inlet

$F_{0,05}(6,18) = 2,66$

d. Faktor jumlah *turbulator vanes*

$F_{0,05}(3,18) = 3,16$

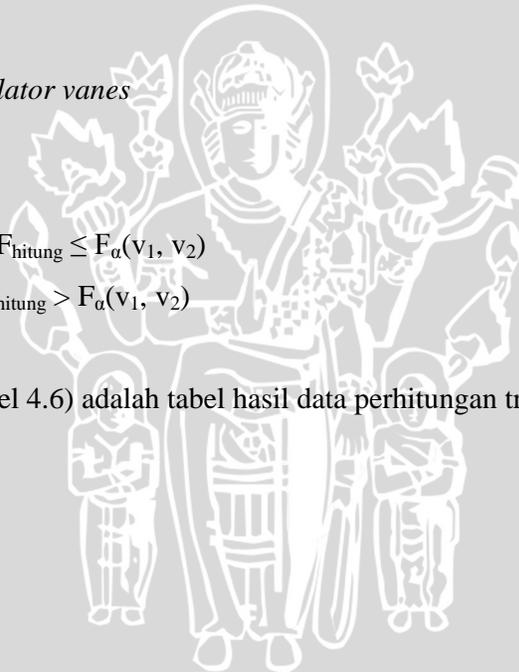
3. Kriteria pengujian

c. H_0 diterima apabila $F_{\text{hitung}} \leq F_{\alpha}(v_1, v_2)$

d. H_0 ditolak apabila $F_{\text{hitung}} > F_{\alpha}(v_1, v_2)$

4. Uji statistik

Tabel di bawah ini (Tabel 4.6) adalah tabel hasil data perhitungan transfer massa.



Tabel 4.6 : Tabel pengolahan data pengujian hipotesis pengaruh jumlah *turbulator vanes* terhadap transfer massa ($\Delta \dot{m}$).

Transfer massa, $\Delta \dot{m}$ (kg/s) pada jumlah turbulator vanes					
bukaan	0	3	4	5	Σ
3	0.00034	0.000449	0.000658	0.000802	
Σ	0.00034	0.000449	0.000658	0.000802	0.002248
4	0.000433	0.000557	0.000767	0.001007	
Σ	0.000433	0.000557	0.000767	0.001007	0.002764
5	0.00054	0.000635	0.000886	0.001103	
Σ	0.00054	0.000635	0.000886	0.001103	0.003165
6	0.00066	0.000832	0.001091	0.001288	
Σ	0.00066	0.000832	0.001091	0.001288	0.003871
7	0.000871	0.000983	0.001261	0.001459	
Σ	0.000871	0.000983	0.001261	0.001459	0.004574
8	0.000983	0.00111	0.001417	0.001608	
Σ	0.000983	0.00111	0.001417	0.001608	0.005118
9	0.001031	0.001233	0.00149	0.001667	
Σ	0.001031	0.001233	0.00149	0.001667	0.00542
Σ_T	0.00486	0.0058	0.0076	0.0089	0.027

$$F K = \frac{0,027^2}{7.4} = 2,63449 \times 10^{-5}$$

$$J K T = (\Theta,00034^2 + 0,000449^2 + \dots + 0,001667^2) - 2,63449 \times 10^{-5}$$

$$= 3,63645 \times 10^{-6}$$

$$J K B$$

$$= \frac{(0,002248^2 + 0,002764^2 + 0,003165^2 + 0,003871^2 + 0,004574^2 + 0,005118^2 + 0,00542^2)}{4}$$

$$- 2,63449 \times 10^{-6}$$

$$J K B = 2,201 \times 10^{-6}$$

Dimana B = baris, yaitu faktor kecepatan udara inlet

$$J K K = \frac{(0,00486^2 + 0,0058^2 + 0,0076^2 + 0,0089^2)}{7} - 2,201 \times 10^{-6}$$

$$J K K = 1,4166 \times 10^{-6}$$

Dimana K = kolom, yaitu faktor temperatur *desiccant*

$$J K G = 3,63645 \times 10^{-6} - 2,201 \times 10^{-6} - 1,4166 \times 10^{-6} = 1,88174 \times 10^{-8}$$

5. Kesimpulan

Dari tabel analisis varian (Tabel 4.7) terlihat masing-masing perlakuan $F_{hitung} > F_{tabel}$ dengan keyakinan 95 %.

Tabel 4.7 : Tabel analisis varian pengaruh variasi jumlah *turbulator vanes* terhadap transfer massa ($\Delta \dot{m}$).

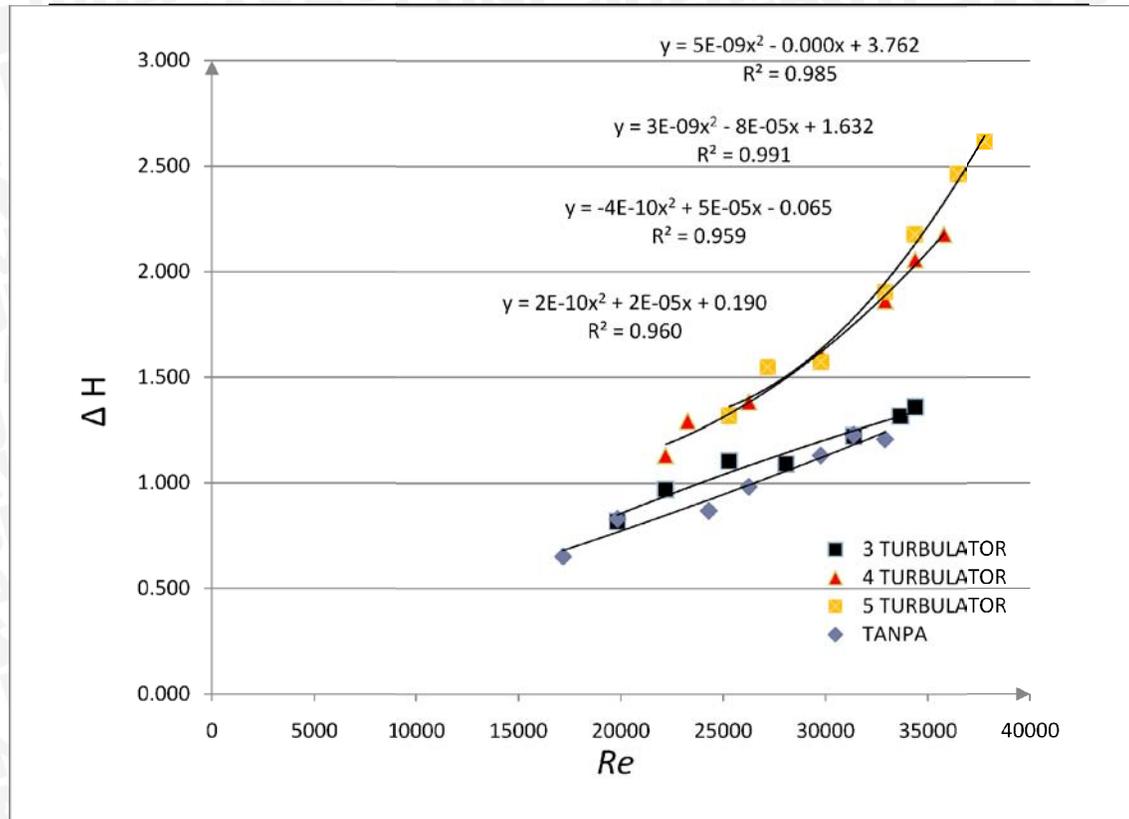
Sumber varian	JK	Db	KT	F_{hitung}	$F_{\alpha,5\%}$
Efek kecepatan udara inlet	2.201×10^{-6}	6	3.66834×10^{-6}	350.899	2.66
Efek variasi jumlah <i>turbulator vanes</i>	1.41663×10^{-6}	3	4.72209×10^{-7}	451.696	3.16
Galat	1.88174×10^{-8}	18	1.04541×10^{-9}		
Total	3.63645×10^{-6}	27			

Atau dapat dinyatakan sebagai berikut :

- Faktor kecepatan udara inlet
 H_0 ditolak maka H_1 diterima, artinya ada pengaruh variasi kecepatan udara inlet terhadap transfer massa ($\Delta \dot{m}$).
- Faktor variasi jumlah *turbulator vanes*
 H_0 ditolak maka H_1 diterima, artinya ada pengaruh variasi jumlah *turbulator vanes* terhadap transfer massa ($\Delta \dot{m}$).

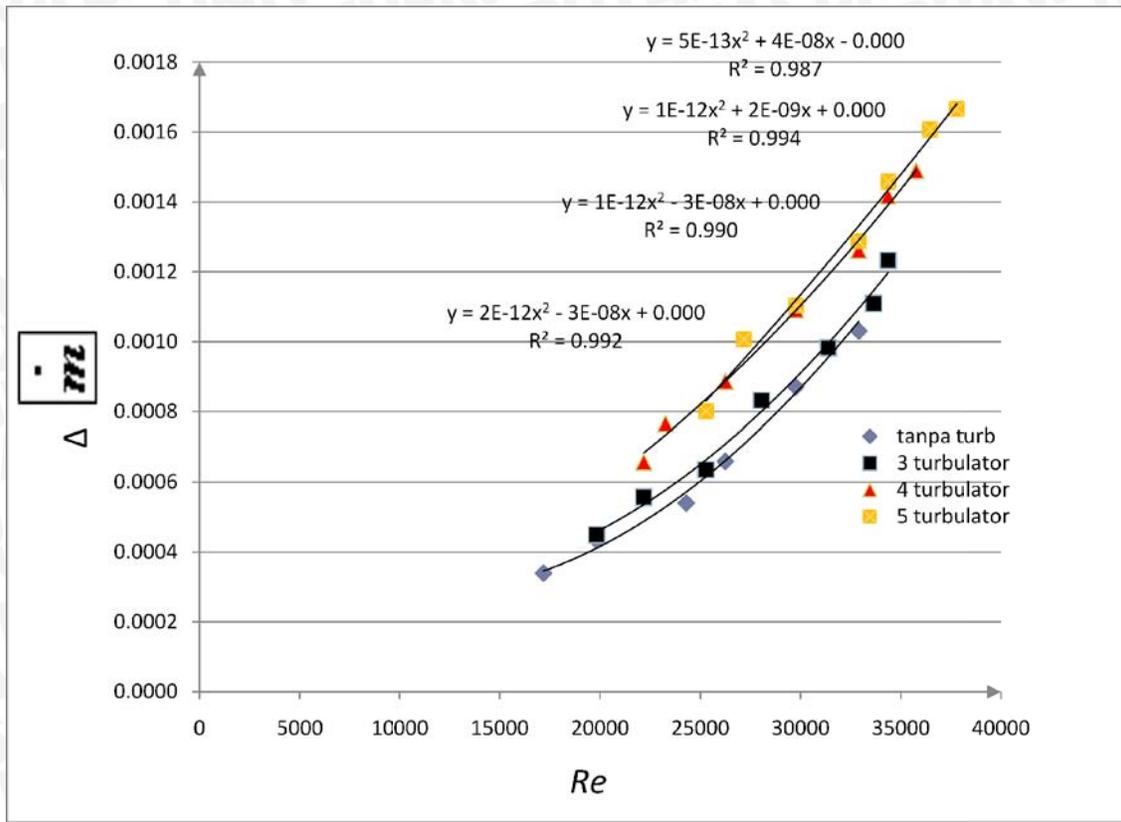
4.2 Grafik Hasil Perhitungan

4.2.1 Grafik Hubungan Antara *Reynold Number* (Re) dengan Transfer Energi (ΔH)



Gambar 4.1: Grafik Hubungan antara *Reynold Number* dengan Transfer Energi

4.2.2 Grafik Hubungan Antara *Reynold Number* (Re) dengan Transfer Massa ($\Delta \dot{m}$)



Gambar 4.2: Grafik Hubungan antara Reynold Number (Re) dengan Transfer Massa ($\Delta \dot{m}$)

4.3 Pembahasan Grafik

4.3.1 Pembahasan Grafik Hubungan Antara *Reynold Number* (Re) Dengan Transfer Energi (ΔH)

Grafik pada gambar 4.1 menunjukkan hubungan antara *Reynold Number* dengan transfer energi (H) pada *humidifier* tanpa *turbulator vanes* dan dengan penambahan *turbulator vanes*. Transfer energi dirumuskan :

$$\Delta H = H_2 - H_1$$

Rumusan di atas memperlihatkan bahwa jumlah transfer energi (ΔH) merupakan selisih antara energi total udara pada sisi masuk (H_1) dan energi total udara pada sisi keluar (H_2). Apabila udara menerima energi dari air saat melewati semburan maka kandungan energi totalnya semakin besar.

Energi total udara dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain massa alir udara kering (m_a), temperatur udara (T), kelembaban absolut (ω), dan entalpi uap (h_g). Hubungan antar parameter di atas dapat dilihat pada rumusan berikut :

$$H = m_a(C_p T + \omega h_g)$$

Semakin besar nilai keempat parameter di atas maka semakin besar pula nilai energi total udara.

Pada grafik gambar 4.1 terlihat bahwa nilai transfer energi (ΔH) semakin meningkat seiring dengan peningkatan harga bilangan *Reynold* (Re) dimana harga bilangan tersebut menunjukkan besarnya kecepatan aliran udara. Kecepatan udara yang semakin besar maka bilangan *Reynold* juga semakin meningkat. Hubungan antara bilangan *Reynold* dan kecepatan udara terlihat pada persamaan berikut :

$$Re = V_{DH} / \nu$$

Dengan penambahan pemasangan *turbulator vanes* dengan jumlah yang semakin besar maka akan mempengaruhi arah dan besar dari kecepatan aliran udara, besar dan arah kecepatan yang berubah ini akan menciptakan *vortex* dalam aliran aliran yang lebih banyak, sehingga dari *vortex* ini akan timbul intensitas turbulensi dari aliran. Semakin turbulen aliran udara maka massa alir udara yang mengalir semakin besar. Karena laju massa alir udara semakin besar, maka udara yang mengalami proses perpindahan energi saat melewati semburan bertambah banyak. Hal inilah yang menyebabkan energi total udara pada sisi keluar lebih tinggi daripada energi total udara pada sisi masuk. Dari fenomena inilah terlihat bahwa pemasangan *turbulator vanes* mempunyai pengaruh yang nyata terhadap proses transfer energi udara.

Pada grafik gambar 4.1 terlihat bahwa penambahan jumlah *turbulator vanes* meningkatkan harga transfer energi (ΔH). Nilai transfer energi tertinggi terjadi pada pemasangan 5 *turbulator vanes* yaitu $\Delta H = 2.617$ kJ/s pada $Re = 37.774$, kemudian $\Delta H = 2.464$ kJ/s pada $Re = 36.448$, dan $\Delta H = 2.178$ kJ/s pada $Re = 34.364$. Nilai transfer energi pada pemasangan 5 *turbulator vanes* memiliki nilai terbesar dibanding pada jumlah *turbulator vanes* yang lebih sedikit karena pada jumlah ini terjadi perubahan yang paling signifikan dari kecepatan baik dalam arah maupun besarnya, sehingga memiliki intensitas turbulensi tertinggi dibandingkan yang lain. Semakin tinggi intensitas turbulensi maka massa udara yang mengalir semakin banyak yang akhirnya meningkatkan nilai transfer energi udara.

4.3.2 Pembahasan Grafik Hubungan Antara *Reynold Number* (Re) Dengan Transfer Massa ($\Delta\dot{m}$)

Grafik gambar 4.2 menunjukkan hubungan antara bilangan *Reynold* (Re) dan transfer massa pada *humidifier* yang dipasang 3;4;5 *turbulator vanes* dan tanpa *turbulator vanes*. Pemasangan *turbulator vanes* dengan jumlah tertentu dimaksudkan untuk meningkatkan intensitas turbulensi aliran, dimana semakin tinggi intensitas turbulensi suatu aliran maka transfer massa yang terjadi juga akan semakin meningkat, hal ini diakibatkan dengan meningkatnya intensitas turbulensi maka massa uap air yang terbawa akan semakin banyak, karena intensitas kontak antara udara dan uap air juga semakin tinggi. Transfer massa merupakan selisih antara massa uap air yang dikandung oleh udara pada sisi keluar dan massa uap air yang dikandung oleh udara pada sisi masuk. Kandungan uap air udara dapat diketahui dengan mengukur nilai kelembaban absolut. Kelembaban absolut sendiri didapatkan berdasarkan harga temperatur bola kering dan temperatur bola basah. Hubungan antara kelembaban absolut dan massa uap air dapat dilihat dari persamaan berikut :

$$\omega = m_u / m_a$$

Dari rumusan di atas terlihat bahwa nilai kelembaban absolut merupakan perbandingan antara massa uap air (m_u) dan massa udara kering (m_a). Dengan massa udara kering tetap dan massa uap air yang semakin besar maka kelembaban absolut udara akan meningkat. Pada proses *humidifying* terjadi penambahan kandungan uap air ke dalam udara dimana prosesnya dilakukan dengan cara melewatkan udara yang memiliki temperatur lebih tinggi melewati semburan air sehingga terjadi proses perpindahan uap air akibat proses penguapan.

Transfer massa kita hitung dengan mengukur selisih antara massa uap air udara pada sisi keluar dengan massa uap air udara pada sisi masuk sesuai dengan rumus :

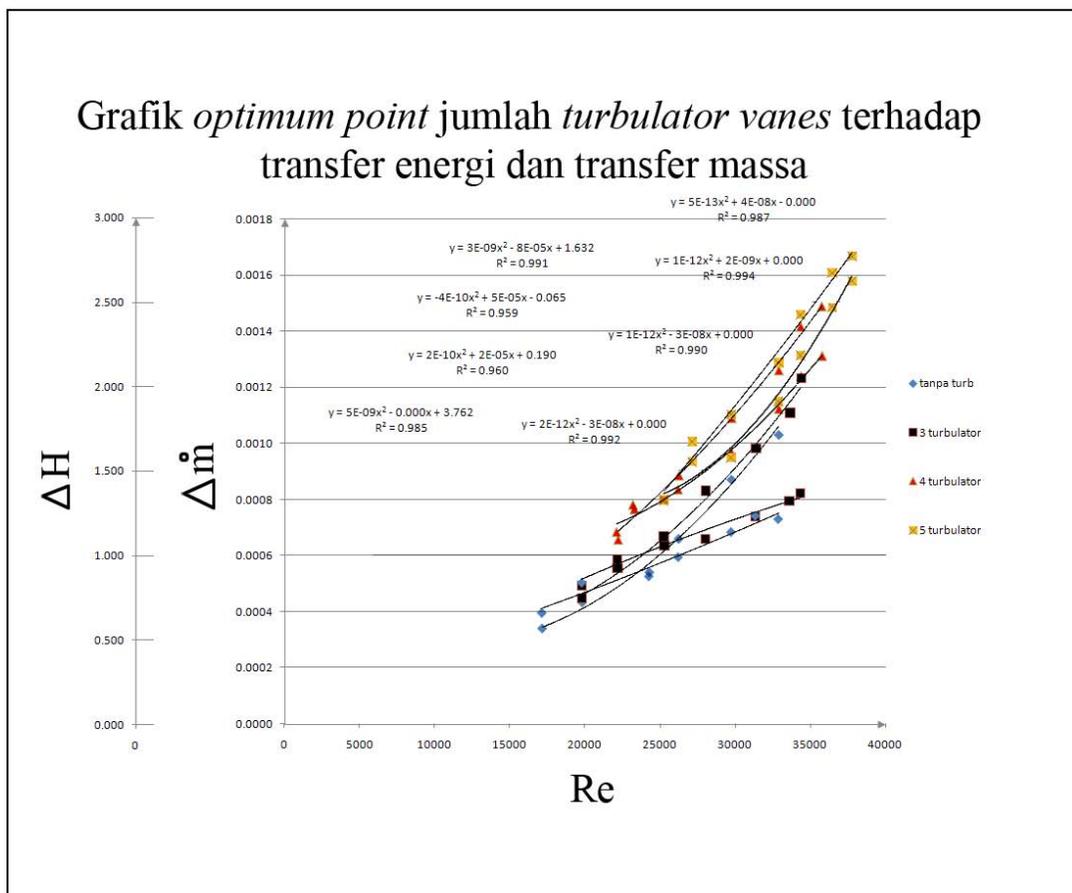
$$\Delta\dot{m} = \Delta\dot{m}_2 - \Delta\dot{m}_1$$

Semakin besar kandungan uap air udara pada sisi keluar menunjukkan bahwa transfer massa yang terjadi juga besar sebagai akibat dari penguapan.

Pada grafik gambar 4.2 terlihat bahwa dengan pemasangan *turbulator vanes* dengan jumlah tertentu memiliki harga transfer energi lebih tinggi daripada tanpa *turbulator vanes*. Harga transfer massa tertinggi terjadi pada pemasangan 5 buah *turbulator vanes* yaitu $\Delta\dot{m} = 0.0017$ (kg/s) pada bilangan *Reynold* = 37.774, kemudian diikuti $\Delta\dot{m} = 0.0016$ (kg/s) pada bilangan *Reynold* = 36.448, dan $\Delta\dot{m} = 0.0015$ (kg/s) pada bilangan *Reynold* = 34.364. Nilai

transfer massa pada pemasangan 5 turbulator vanes memiliki harga tertinggi karena terjadi perubahan signifikan dari kecepatan, baik dalam arah maupun besarnya, perubahan ini akan memicu peningkatan *vortex* dalam aliran, dimana *vortex* akan meningkatkan intensitas turbulensi, karena intensitas turbulensi yang terjadi mempunyai nilai paling besar dibandingkan jumlah *turbulator vanes* yang lebih sedikit, maka semakin banyak massa udara yang mengalir. Hal inilah yang menyebabkan proses penguapan saat di semburan semakin besar sehingga transfer massa yang terjadi menjadi lebih tinggi.

4.3.3 Grafik Optimum Point Jumlah *Turbulator Vanes* Terhadap Transfer Energi (ΔH) dan Massa ($\Delta \dot{m}$)



Gambar 4.3: Grafik Optimum Point Jumlah *Turbulator Vanes* Terhadap Transfer Energi (ΔH) dan Transfer Massa ($\Delta \dot{m}$)

Optimum point adalah suatu titik keseimbangan antara pengorbanan dengan keuntungan yang diperoleh atau disebut juga BEP, diperoleh dengan mempertemukan dua grafik yakni grafik hubungan antara variasi jumlah turbulator vanes dengan transfer massa

dan transfer energy, dengan variable bebasnya adalah bilangan tanpa dimensi *Reynould Number*, titik optimum ini diperoleh melalui berbagai pertimbangan, yang terutama yakni nilai efisiensinya sejumlah 100%, nilai ini deiperoleh dari pengamatan gradient, dimana gradient nya adalah 1. Dari grafik ditunjukkan bahwa *optimum point* diperoleh saat *Reynould Number* = 25.000, nilai transfer energy = 1.25 kj/s; dan transfer massanya = 0.0007 kg/s.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut :

- Jumlah *Turbulator Vanes* mempengaruhi transfer energi dan massa secara parabolik.
- Pengaruh terbesar diperoleh pada jumlah *turbulator vanes* 5
- Nilai transfer energi terbesar yaitu $\Delta H = 2.617 kJ/s$ dan transfer massa $\Delta m = 0.017 k g /s$ didapatkan saat *Reynould Number* = 37.774 dengan jumlah *turbulator vanes* 5

5.2 Saran

Dari penelitian ini diperoleh saran atas beberapa hal sebagai berikut :

- Dilakukan penambahan jumlah *turbulator vanes* dengan konfigurasi yang berbeda
- Perhitungan transfer energi dan massa dilakukan dengan pendekatan metode perpindahan panas sehingga dapat diketahui nilai energi yang terlibat.

DAFTAR PUSTAKA

- Cengel, Yunus A; 2003: *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.
- Daugherty, Robert L; 1977 : *Fluid Mechanics With Engineering Application*; McGraw-Hill Book Company, New York
- El-Wakil, M. M; 1992: Instalasi Pembangkit Daya, Alih Bahasa: Ir. E. Jasfi M.Sc; Erlangga, Jakarta
- El-Wakil, M. M; 1984: 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
- H.Schlichting; 1979 : *Boundary Layer Theory*, 7th ed., McGraw-Hill, New York.
- Incropera, F.P. dan De Witt, D.P; 1981: *Fundamental of Heat Transfer*; 2nd edition; John Wiley and Sons, New York.
- Kreith, Frank; 1986: *Prinsip-prinsip Perpindahan Kalor*; Alih bahasa: Arko Prijono M.Sc.; Erlangga, Jakarta..
- Leinhard, John H; 2005: *A Heat Transfer Textbook*; 3rd edition; Phlogiston Press, Massachusetts.
- Somsak Pethkool, Smith Eiamsa-ard, Artit Ridluan and Pongjet Promvonge, 1:2006
- Stoeker, W.F.; 1992: *Refrigerasi dan Pengondisian Udara*; Erlangga, Jakarta
- Velte C. M., M. Hansen O. L. dan Cavar D.; 2008: *Flow Analysis of Vortex on Wing Sections by Stereoscopic Particle Image Velocimetry Measurements*; Environ. Res. Lett.
- <http://www.airoswiss.net/images/interior/vaporizer.jpg&imgrefurl>
- <http://www.Delavan.co.uk/pdffs/zNozzleTechnology.pdf>
- <http://www.fao.org/docrep/S1250E/S1250EEW.GIF>

Lampiran 1 : Data pengujian dan hasil pengolahan tanpa pemasangan *Turbulator Vanes*

TANPA TURBULATOR VANES										
Bukaan	Td in	Twin	Td out	Tw out	z mm	RH ₁ (%)	RH ₂ (%)	ω_1 (kgu/kg)	ω_2 (kgu/kg)	ρ udara (kg/m ³)
3	40	27	37	28	3	36.86	50	0.0153	0.0201	1.046
4	40	26	36.6	28	4	33.2	53	0.0150	0.0203	1.046
5	40	26	36.3	27.7	6	33.2	55	0.0150	0.0204	1.046
6	40	25.5	35	27.7	7	31.43	58	0.0145	0.0206	1.046
7	40	25.3	33	27.5	9	30.73	68	0.0142	0.0213	1.046
8	40	25	32	27.5	10	29.69	71	0.0138	0.0214	1.046
9	40	25	32	27.5	11	29.69	71	0.0138	0.0214	1.046

V1 (m/s)	Re	\dot{m}_1 (kg/s)	\dot{m}_a (kg/s)	\dot{m}_2 (kg/s)	$\Delta\dot{m}$ (kg/s)	hg1 (kJ/kg)	hg2 (kJ/kg)	H ₁ (kJ/s)	H ₂ (kJ/s)	ΔH (kJ/s)
1.476687	17182	0.0718	0.0707	0.0722	0.0003	2553.7	2,552.70	5.594	6.247	0.654
1.705131	19840	0.0829	0.0817	0.0834	0.0004	2549.1	2,552.70	6.393	7.225	0.832
2.088351	24299	0.1016	0.1001	0.1021	0.0005	2549.1	2,482.00	7.829	8.700	0.870
2.255677	26246	0.1097	0.1081	0.1104	0.0007	2553.7	2,481.97	8.330	9.314	0.984
2.557697	29760	0.1244	0.1227	0.1253	0.0009	2552.7	2,464.05	9.353	10.486	1.133
2.696049	31370	0.1311	0.1293	0.1321	0.0010	2552.7	2,464.05	9.731	10.960	1.229
2.82764	32901	0.1375	0.1357	0.1386	0.0010	2553.7	2,437.17	10.207	11.417	1.209

Lampiran 2 : Data pengujian dan hasil pengolahan pada variasi 3 Turbulator Vanes

3 TURBULATOR VANES										
Bukaan	Td in	Twin	Td out	Tw out	z mm	RH ₁ (%)	RH ₂ (%)	ω ₁ (kgu/kg)	ω ₂ (kgu/kg)	ρ udara (kg/m ³)
3	40	27	36	28	4	36.86	55	0.0153	0.0208	1.046
4	40	26	35	28	5	33.2	59	0.0150	0.0211	1.046
5	40	26	35	28	6.5	33.2	59	0.0150	0.0211	1.046
6	40	25.5	33	27.8	8	31.43	65	0.0145	0.0217	1.046
7	40	25.3	32	27.5	10	30.73	72	0.0142	0.0218	1.046
8	40	25	31	27.5	11.5	29.69	75	0.0138	0.0218	1.046
9	40	25	30	27.4	12	29.69	80	0.0138	0.0225	1.046

V1 (m/s)	Re	m ₁ (kg/s)	m _a (kg/s)	m ₂ (kg/s)	Δm(kg/s)	hg1 (kJ/kg)	hg2 (kJ/kg)	H ₁ (kJ/s)	H ₂ (kJ/s)	ΔH(kJ/s)
1.705131	19840	0.0829	0.0817	0.0834	0.0004	2553.7	2,552.70	6.459	7.278	0.819
1.906395	22182	0.0927	0.0914	0.0933	0.0006	2549.1	2,552.7	7.147	8.118	0.971
2.173624	25291	0.1057	0.1042	0.1064	0.0006	2549.1	2,552.70	8.149	9.256	1.107
2.41142	28058	0.1173	0.1156	0.1181	0.0008	2553.7	2464.05	8.905	9.997	1.092
2.696049	31370	0.1311	0.1293	0.1321	0.0010	2552.7	2464.05	9.859	11.083	1.224
2.891191	33640	0.1406	0.1387	0.1417	0.0011	2552.7	2464.05	10.435	11.751	1.316
2.953374	34364	0.1436	0.1417	0.1449	0.0012	2553.7	2,437.17	10.661	12.021	1.360

Lampiran 3 : Data pengujian dan hasil pengolahan pada variasi 4 *Turbulator Vanes*

4 TURBULATOR VANES										
Bukaan	Td in	Twin	Td out	Tw out	z mm	RH ₁ (%)	RH ₂ (%)	ω_1 (kgu/kg)	ω_2 (kgu/kg)	ρ udara (kg/m ³)
3	40	27	34	28.5	5	36.86	67	0.0153	0.0225	1.046
4	40	26	33	28.5	5.5	33.2	72	0.0150	0.0230	1.046
5	40	26	32	28.4	7	33.2	76	0.0150	0.0232	1.046
6	40	25.5	31	28.2	9	31.43	80	0.0145	0.0234	1.046
7	40	25.3	30	28	11	30.73	85	0.0142	0.0235	1.046
8	40	25	29	28	12	29.69	87	0.0138	0.0238	1.046
9	40	25	29	28	13	29.69	91	0.0138	0.0239	1.046

V1 (m/s)	Re	\dot{m}_1 (kg/s)	\dot{m}_a (kg/s)	\dot{m}_2 (kg/s)	$\Delta\dot{m}$ (kg/s)	hg1 (kJ/kg)	hg2 (kJ/kg)	H ₁ (kJ/s)	H ₂ (kJ/s)	ΔH (kJ/s)
1.906395	22182	0.0927	0.0913	0.0934	0.0007	2553.7	2553.7	7.221	8.353	1.131
1.999444	23264	0.0973	0.0958	0.0980	0.0008	2549.1	2553.7	7.496	8.789	1.293
2.255677	26246	0.1097	0.1081	0.1106	0.0009	2549.1	2,544.69	8.457	9.840	1.384
2.557697	29760	0.1244	0.1226	0.1255	0.0011	2553.7	2526.8	9.446	11.052	1.606
2.82764	32901	0.1375	0.1356	0.1388	0.0013	2552.7	2552.7	10.340	12.203	1.863
2.953374	34364	0.1436	0.1417	0.1451	0.0014	2552.7	2552.7	10.659	12.718	2.058
3.073969	35767	0.1495	0.1475	0.1510	0.0015	2553.7	2552.7	11.096	13.275	2.178

Lampiran 4 : Data pengujian dan hasil pengolahan pada variasi 5 Turbulator Vanes

5 TURBULATOR VANES										
Bukaan	Td in	Twin	Td out	Tw out	z mm	RH ₁ (%)	RH ₂ (%)	ω_1 (kgu/kg)	ω_2 (kgu/kg)	ρ udara (kg/m ³)
3	40	27	33	28.5	6.5	36.86	72	0.0153	0.0230	1.046
4	40	26	31	28.4	7.5	33.2	81`	0.0150	0.0240	1.046
5	40	26	30	28.4	9	33.2	87	0.0150	0.0240	1.046
6	40	25.5	30	28.4	11	31.43	87	0.0145	0.0240	1.046
7	40	25.3	29.5	28.3	12	30.73	92	0.0142	0.0245	1.046
8	40	25	29.5	28.3	13.5	29.69	92	0.0138	0.0245	1.046
9	40	25	29.5	28	14.5	29.69	92	0.0138	0.0245	1.046

V1 (m/s)	Re	\dot{m}_1 (kg/s)	\dot{m}_a (kg/s)	\dot{m}_2 (kg/s)	$\Delta\dot{m}$ (kg/s)	hg1 (kJ/kg)	hg2 (kJ/kg)	H ₁ (kJ/s)	H ₂ (kJ/s)	ΔH (kJ/s)
2.173624	25291	0.1057	0.1041	0.1065	0.0008	2553.7	2553.7	8.234	9.552	1.319
2.334847	27167	0.1136	0.1119	0.1146	0.0010	2549.1	2544.69	8.754	10.302	1.548
2.557697	29760	0.1244	0.1226	0.1255	0.0011	2549.1	2544.69	9.589	11.162	1.573
2.82764	32901	0.1375	0.1356	0.1388	0.0013	2553.7	2544.69	10.443	12.347	1.904
2.953374	34364	0.1436	0.1416	0.1451	0.0015	2552.7	2535.73	10.800	12.978	2.178
3.132526	36448	0.1524	0.1503	0.1540	0.0016	2552.7	2535.73	11.306	13.770	2.464
3.246473	37774	0.1579	0.1558	0.1596	0.0017	2553.7	2552.7	11.719	14.336	2.617

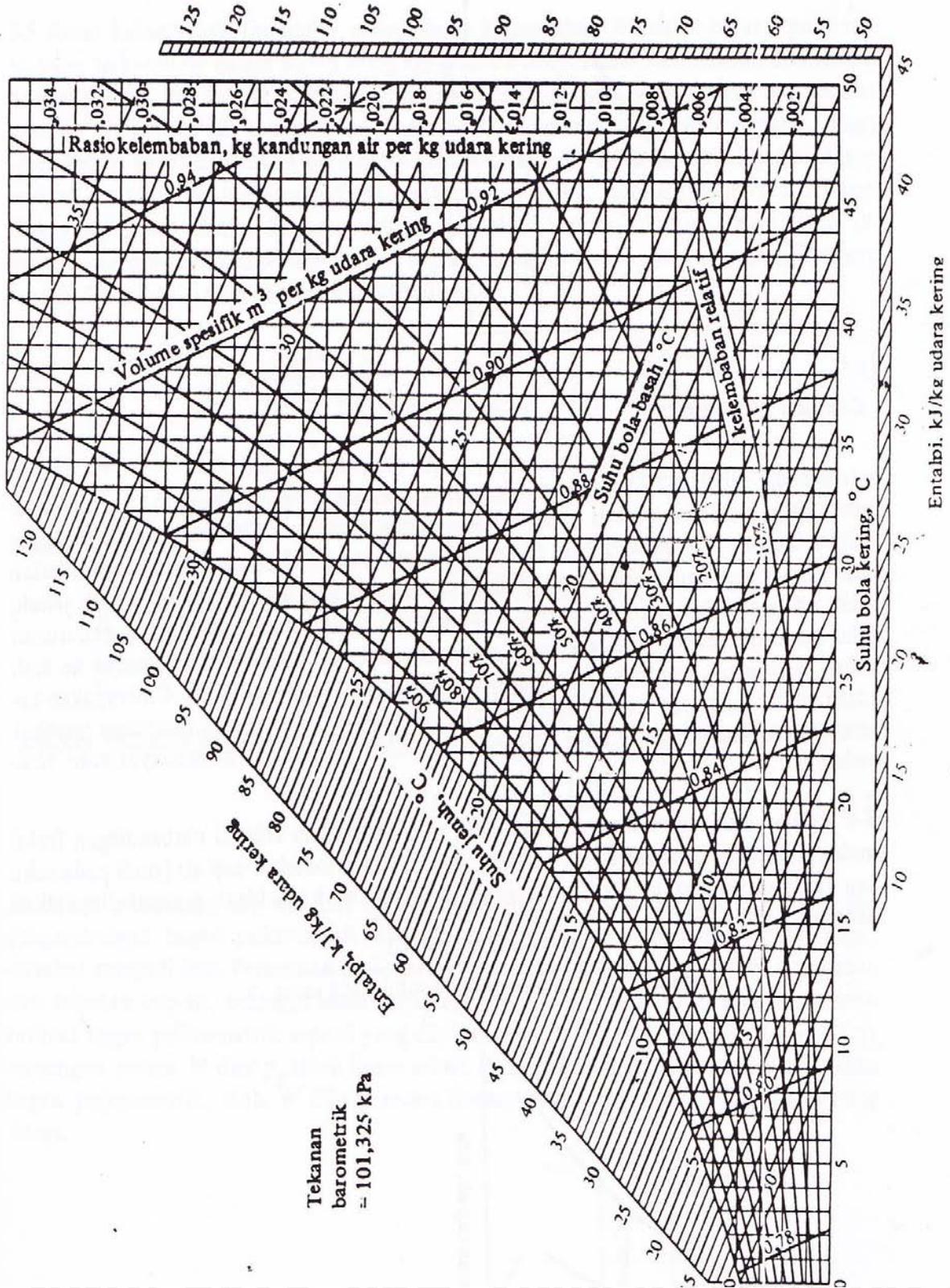
Lampiran 5 : Tabel Sifat-sifat cairan dan uap jenuh

t, °C	Tekanan jenuh, kPa	Volume spesifik, m ³ /kg		Entalpi, kJ/kg		Entropi, kJ/kg · K	
		Cairan	Gas	Cairan	Gas	Cairan	Gas
0	0,6108	0,0010002	206,3	- 0,04	2501,6	-0,0002	9,1577
2	0,7055	0,0010001	179,9	8,39	2505,2	0,0306	9,1047
4	0,8129	0,0010000	157,3	16,80	2508,9	0,0611	9,0526
6	0,9345	0,0010000	137,8	25,21	2512,6	0,0913	9,0015
8	1,0720	0,0010001	121,0	33,60	2516,2	0,1213	8,9513
10	1,2270	0,0010003	106,4	41,99	2519,9	0,1510	8,9020
12	1,4014	0,0010004	93,84	50,38	2523,6	0,1805	8,8536
14	1,5973	0,0010007	82,90	58,75	2527,2	0,2098	8,8060
16	1,8168	0,0010010	73,38	67,13	2530,9	0,2388	8,7593
18	2,062	0,0010013	65,09	75,50	2534,5	0,2677	8,7135
20	2,337	0,0010017	57,84	83,86	2538,2	0,2963	8,6684
22	2,642	0,0010022	51,49	92,23	2541,8	0,3247	8,6241
24	2,982	0,0010026	45,93	100,59	2545,5	0,3530	8,5806
26	3,360	0,0010032	41,03	108,95	2549,1	0,3810	8,5379
28	3,778	0,0010037	36,73	117,31	2552,7	0,4088	8,4959
30	4,241	0,0010043	32,93	125,66	2556,4	0,4365	8,4546
32	4,753	0,0010049	29,57	134,02	2560,0	0,4640	8,4140
34	5,318	0,0010056	26,60	142,38	2563,6	0,4913	8,3740
36	5,940	0,0010063	23,97	150,74	2567,2	0,5184	8,3348
38	6,624	0,0010070	21,63	159,09	2570,8	0,5453	8,2962
40	7,375	0,0010078	19,55	167,45	2574,4	0,5721	8,2583
42	8,198	0,0010086	17,69	175,31	2577,9	0,5987	8,2209
44	9,100	0,0010094	16,04	184,17	2581,5	0,6252	8,1842
46	10,086	0,0010103	14,56	192,53	2585,1	0,6514	8,1481
48	11,162	0,0010112	13,23	200,89	2588,6	0,6776	8,1125
50	12,335	0,0010121	12,05	209,26	2592,2	0,7035	8,0776
52	13,613	0,0010131	10,98	217,62	2595,7	0,7293	8,0432
54	15,002	0,0010140	10,02	225,98	2599,2	0,7550	8,0093
56	16,511	0,0010150	9,159	234,35	2602,7	0,7804	7,9759
58	18,147	0,0010161	8,381	242,72	2606,2	0,8058	7,9431
60	19,920	0,0010171	7,679	251,09	2609,7	0,8310	7,9108
62	21,84	0,0010182	7,044	259,46	2613,2	0,8560	7,8790
64	23,91	0,0010193	6,469	267,84	2616,6	0,8809	7,8477
66	26,15	0,0010205	5,948	276,21	2620,1	0,9057	7,8168
68	28,56	0,0010217	5,476	284,59	2623,5	0,9303	7,7864
70	31,16	0,0010228	5,046	292,97	2626,9	0,9548	7,7565

Lampiran 6 : Tabel Sifat-sifat termodinamika udara jenuh pada tekanan atmosfer
101,325 kPa

t_f , °C	Tekanan gas, kPa	Perbandingan kelembaban, kg/kg	Volume spesifik, m ³ /kg	Entalpi, kJ/kg
-40	0,01283	0,000079	0,6597	-40,041
-35	0,02233	0,000138	0,6740	-34,868
-30	0,03798	0,000234	0,5884	-29,600
-25	0,06324	0,000390	0,7028	-24,187
-20	0,10318	0,000637	0,7173	-18,546
-18	0,12482	0,000771	0,7231	-16,203
-16	0,15056	0,000930	0,7290	-13,795
-14	0,18107	0,001119	0,7349	-11,314
-12	0,21716	0,001342	0,7409	-8,745
-10	0,25971	0,001606	0,7469	-6,073
-8	0,30975	0,001916	0,7529	-3,285
-6	0,36846	0,002280	0,7591	-0,360
-4	0,43716	0,002707	0,7653	2,724
-2	0,51735	0,003206	0,7716	5,991
0	0,61072	0,003788	0,7781	9,470
1	0,6566	0,00407	0,7813	11,200
2	0,7055	0,00438	0,7845	12,978
3	0,7575	0,00471	0,7878	14,807
4	0,8130	0,00505	0,7911	16,692
5	0,8719	0,00542	0,7944	18,634
6	0,9347	0,00582	0,7978	20,639
7	1,0013	0,00624	0,8012	22,708
8	1,0722	0,00668	0,8046	24,848
9	1,1474	0,00716	0,8081	27,059
10	1,2272	0,00766	0,8116	29,348
11	1,3119	0,00820	0,8152	31,716
12	1,4017	0,00876	0,8188	34,172
13	1,4969	0,00937	0,8225	36,719
14	1,5977	0,01001	0,8262	39,362
15	1,7044	0,01069	0,8300	42,105
16	1,8173	0,01141	0,8338	44,955
17	1,9367	0,01218	0,8377	47,918
18	2,0630	0,01299	0,8417	50,998
19	2,1964	0,01384	0,8457	54,205
20	2,3373	0,01475	0,8498	57,544
21	2,4861	0,01572	0,8540	61,021
22	2,6431	0,01674	0,8583	64,646
23	2,8086	0,01781	0,8626	68,425
24	2,9832	0,01896	0,8671	72,366
25	3,1671	0,02016	0,8716	76,481
26	3,3609	0,02144	0,8763	80,777
27	3,5649	0,02279	0,8811	85,263
28	3,7797	0,02422	0,8860	89,952
29	4,0055	0,02572	0,8910	94,851
30	4,2431	0,02732	0,8961	99,977
31	4,4928	0,02900	0,9014	105,337
32	4,7552	0,03078	0,9068	110,946
33	5,0308	0,03266	0,9124	116,819
34	5,3201	0,03464	0,9182	122,968
35	5,6237	0,03674	0,9241	129,411
36	5,9423	0,03895	0,9302	136,161
37	6,2764	0,04129	0,9365	143,239
38	6,6265	0,04376	0,9430	150,660
39	6,9935	0,04636	0,9497	158,445
40	7,3778	0,04911	0,9567	166,615

Lampiran 7 : Diagram Psikrometri



Lampiran 8 :Tabel Sifat-Sifat Udara

T, K	$c_p, J/(kg \cdot K)$	$\mu, kg/(m \cdot s)$	$\nu, m^2/s$ (1 atm)	$k, W/(m \cdot K)$	Pr
100	$1,0266 \times 10^3$	$0,6924 \times 10^{-5}$	$1,923 \times 10^{-6}$	0,009246	0,770
150	1,0099	1,0283	4,343	0,013735	0,753
200	1,0061	1,3289	7,490	0,01809	0,739
250	1,0053	1,488	9,49	0,02227	0,722
300	1,0057	1,983	15,68	0,02624	0,708
350	1,0090	2,075	20,76	0,03003	0,697
400	1,0140	2,286	25,90	0,03365	0,689
450	1,0207	2,484	28,86	0,03707	0,683
500	1,0295	2,671	37,90	0,04038	0,680
550	1,0392	2,848	44,34	0,04360	0,680
600	1,0551	3,018	51,34	0,04659	0,680
650	1,0635	3,177	58,51	0,04953	0,682
700	1,0752	3,332	66,25	0,05230	0,684
750	1,0856	3,481	73,91	0,05509	0,686
800	1,0978	3,625	82,29	0,05779	0,689
850	1,1095	3,765	90,75	0,06028	0,692
900	1,1212	3,899	99,3	0,06279	0,696
950	1,1321	4,023	108,2	0,06525	0,699
1000	1,1417	4,152	117,8	0,06752	0,702
1100	1,160	4,44	138,6	0,0732	0,704
1200	1,179	4,69	159,1	0,0782	0,707
1300	1,197	4,93	182,1	0,0837	0,705
1400	1,214	5,17	205,5	0,0891	0,705
1500	1,230	5,40	229,1	0,0946	0,705
1600	1,248	5,63	254,5	0,100	0,705