



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGUAPAN AQUADES DENGAN VARIASI TEMPERATUR,
LAJU ALIRAN DAN KELEMBABAN**

SKRIPSI

**AGUS SUGIH HARTO
04 03 02 01 06**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
DEPOK
DESEMBER 2008**



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGUAPAN AQUADES DENGAN VARIASI TEMPERATUR,
LAJU ALIRAN DAN KELEMBABAN**

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
sarjana teknik**

**AGUS SUGIH HARTO
04 03 02 01 06**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
DEPOK
DESEMBER 2008**

PERNYATAAN ORISINALITAS

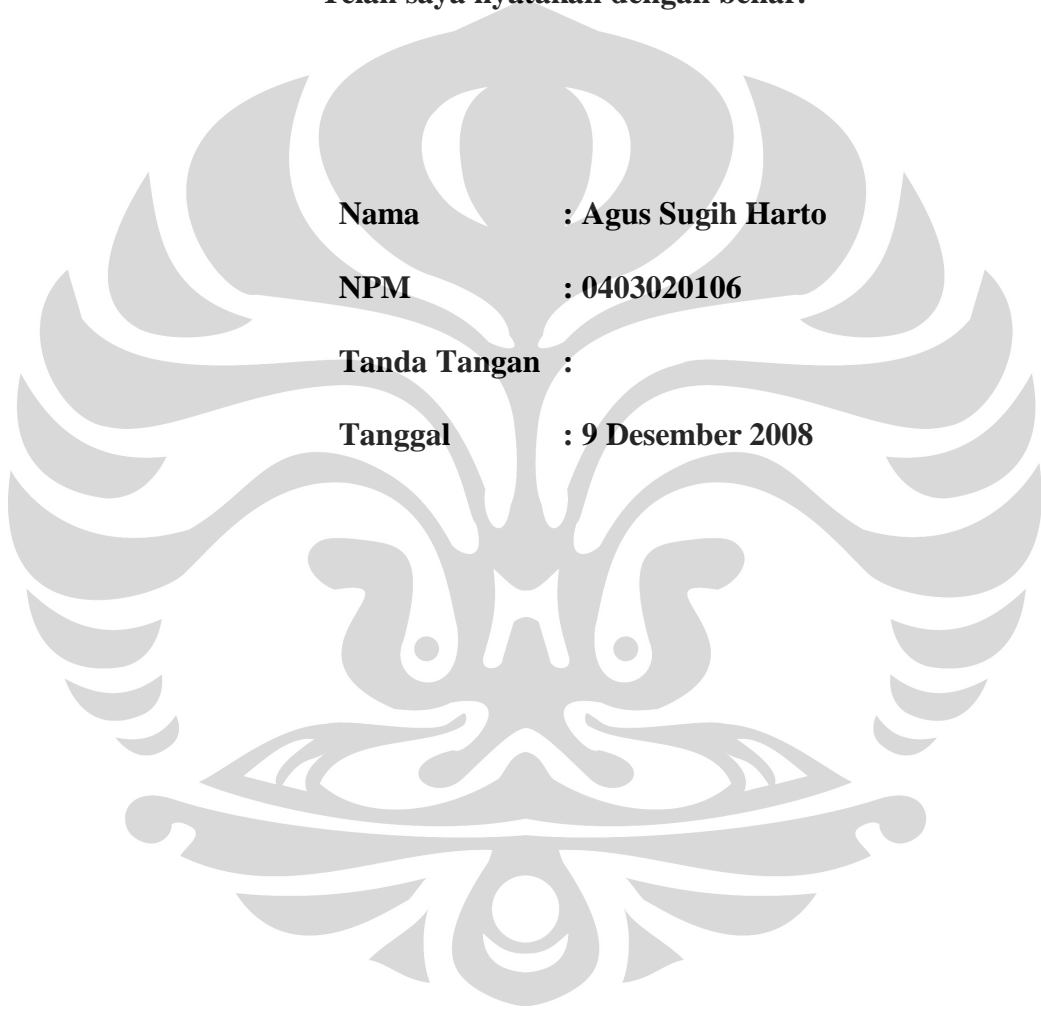
**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
Dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
Telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Agus Sugih Harto

NPM : 0403020106

Tanda Tangan :

Tanggal : 9 Desember 2008



PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Agus Sugih Harto
NPM : 0403020106
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Penguapan Aquades Dengan Variasi Temperatur,
Laju Aliran dan Kelembaban

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Ir. Engkos A. Kosasih, MT (.....)
Penguji : Prof. Dr. Ir Raldi Artono Koestoer, DEA (.....)
Penguji : Dr. Ing. Ir. Nandy Setiadi Djaya Putra (.....)
Penguji : Ir. Imansyah Ibnu Hakim, M.Eng (.....)

Ditetapkan di : Depok
Tanggal : 5 januari 2009

KATA PENGANTAR

Assalamu 'alaikum Wr. Wb.

Puji syukur kehadiran Allah SWT, karena atas berkat dan rahmat-NYA, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi gelar Sarjana Teknik Jurusan Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Penulis juga tidak lupa ingin mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak, antara lain :

- (1) Dr. Ir. Engkos A. Kosasih, MT, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini, beserta istri beliau yang telah banyak memberikan dukungannya agar penulis tetap semangat untuk menyelesaikan skripsi ini;
- (2) Seluruh karyawan DTM FTUI, antara lain : Mas Yasin, Mas Udiyono, Mas Syarif, Mas Nurdin, Mas Awang, Mba Yani, Bu Tina, dan yang lainnya yang telah banyak membantu penulis dan dalam usaha memperoleh data yang diperlukan;
- (3) Ayahanda dan Ibunda tercinta yang telah memberikan kasih sayang, doa, dan dukungan baik moril dan materiil kepada penulis;
- (4) Saudara-saudara saya yang telah memberikan dukungannya agar penulis tetap semangat menyelesaikan skripsi ini;
- (5) Anak-anak Mesin khususnya Wiely Piazza, Ahmad Syahugi, Mahpudi, dan Ibil yang telah membantu dalam proses pengerjaan skripsi;
- (6) Fatimah Al Aina yang selalu mendampingi/membantu saya memberikan dukungan dan bantuan dalam menyelesaikan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan laporan akhir ini masih banyak kekurangan, baik dalam cara penulisan maupun pengumpulan dan pengolahan data. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dari para pembaca agar menjadi masukan untuk penulisan-penulisan selanjutnya. Semoga skripsi ini

bermanfaat bagi para pembaca dan membawa manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Depok, 9 Desember 2008

Penulis

Agus Sugih Harto
NPM. 04 03 02 01 06



**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Agus Sugih Harto

NPM : 0403020106

Program Studi : Teknik Mesin

Departemen : Mesin

Fakultas : Teknik

Jenis karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah yang berjudul :

Penguapan Aquades Dengan Variasi Temperatur, Laju Aliran Dan Kelembaban

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (datahouse), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 9 Desember 2008

Yang menyatakan

(Agus Sugih Harto)

ABSTRAK

Name : Agus Sugih Harto
Program Studi : Teknik Mesin
Judul : Penguapan aquades dengan variasi temperature, laju aliran dan kelembaban

Penelitian ini berisi tentang laju penguapan tetesan di mana sangat dipengaruhi oleh kelembaban udara, konsentrasi, temperatur lingkungan dan kecepatan aliran. Pada penelitian ini digunakan alat berupa penyuntik cairan yang berisi larutan aquades. Suntikan ini menghasilkan tetesan, yang kemudian dialirkan udara dengan variasi kecepatan antara 7 Hz, 10 Hz dan 15 Hz. Lalu variasi temperatur yang ada pada nilai 50 °C 75 °C, 100 °C dan 150 °C. Dari sini akan diperlihatkan korelasi dari bilangan Reynolds (Re), Prandtl (Pr), Schmidt (Sc), Nusselt (Nu), dan Sherwood (Sh). Tujuannya adalah untuk mengetahui adanya perpindahan kalor dan massa serta korelasi antara data pengujian dengan menggunakan metode rumus model umum, metode stagnan film, dan pendekatan model baru dari metode stagnan film oleh E. A. Kosasih.

Kata Kunci :

Penguapan tetesan; Bilangan : Reynolds (Re), Prandtl (Pr), Schmidt (Sc), Nusselt (Nu), dan Sherwood (Sh); Rumus empiris umum; Model stagnan film; Pendekatan model baru (E. A. Kosasih, 2006)

ABSTRACT

Name : Agus Sugih Harto
Study Program : Mechanical Engineering
Title : Aquades evaporation with temperature, flow rate and humidity

Research about droplet evaporation is very influenced by air humidity, concentration, ambient temperature, and velocity of flow. The instrument device uses injection contained seaweed suspension. Air flows through the droplet with the variation of velocity on 7 Hz, 10 Hz dan 15 Hz. Variation of temperature on 50 °C 75 °C, 100 °C dan 150 °C. This variation can shows the relationship of Reynolds (Re), Prandtl (Pr), Schmidt (Sc), Nusselt (Nu), and Sherwood (Sh) numbers. Heat and mass transfer occur in this process. This experiment's intended for knowing the correlation between analyzed data with the general method, stagnant film model, and the new model analysis of film stagnant model (E. A. Kosasih, 2006).

Keyword:

Droplet Evaporation; Numbers: Reynold (Re), Prandtl (Pr), Schmidt (Sc), Nusselt (Nu), and Sherwood (Sh); Empirical method; Film stagnant model; The new model (E. A. Kosasih, 2006).

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....	vi
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
DAFTAR NOTASI.....	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Metodologi Penelitian	3
1.5 Sistematika Penulisan.....	4
BAB 2 DASAR TEORI.....	6
2.1 Prinsip Dasar Pengeringan.....	6
2.2 Sistem Refrigerasi	7
2.3 Kandungan Kelembaban (<i>Moisture Content</i>).....	10
2.4 Kadar Air Keseimbangan (<i>Equilibrium Moisture Content (EMC)</i>)	10
2.5 Karakteristik Udara	11
2.6 Termodinamika Udara Basah	12
2.6.1 Kelembaban	13
2.6.1.1 Kelembaban relatif (<i>relative humidity</i>).....	13
2.6.1.2 Rasio kelembaban (<i>humidity ratio</i>)	14
2.7 Psychrometric Chart	15
2.8 Perpindahan Panas.....	18
2.8.1 Konveksi	18
2.8.2 Konduksi.....	18
2.8.3 Radiasi	19
2.9 Perpindahan Massa	19
2.9.1 Koefisien perpindahan massa.....	19
2.9.2 Difusi dalam gas	20

2.10 Lapis Batas.....	20
2.10.1 Lapis Batas Hidrodinamik.....	21
2.10.2 Lapis Batas Thermal.....	21
2.10.3 Lapis Batas Konsentrasi.....	22
2.11 Bilangan Tak Berdimensi	22
2.11.1 Bilangan Reynolds.....	23
2.11.2 Bilangan Prandtl.....	24
2.11.3 Bilangan Schmidt	24
2.11.4 Bilangan Nusselt.....	25
2.11.5 Bilangan Sherwood.....	25
2.11.6 Bilangan Lewis.....	25
2.12 Persamaan Ranz-Marshall	25
BAB 3 METODE PENELITIAN	27
3.1 Komponen Sistem	27
3.1.1 Blower.....	27
3.1.2 Air Conditioner.....	27
3.1.3 Tabung Humidifier	28
3.1.4 <i>Heater</i>	29
3.1.5 Pyrex	29
3.1.6 Digital controller.	30
3.1.7 Temperature display.	31
3.1.8 Alat suntik	31
3.1.9 Inverter.....	32
3.2 Prosedur Kalibrasi dan Pengambilan Data	33
3.2.1 Kalibrasi Kecepatan.....	34
3.2.2 Pengambilan Data Foto.....	34
3.2.3 Pengolahan Foto.....	36
3.3 Pengolahan Data	37
BAB IV ANALISA DATA.....	44
4.1 Analisa Grafik.....	44
4.2 Analisa Perbandingan Grafik.....	51
4.2.1 Grafik Sh dan Nu.....	51
4.2.2 Perbandingan Dengan Penelitian Sebelumnya.....	51
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	56
5.1 Kesimpulan	56

5.2 Saran.....	56
DAFTAR ACUAN	58
DAFTAR PUSTAKA.....	60
LAMPIRAN.....	62



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema Mesin Refrigerasi Siklus Kompresi Uap	8
Gambar 2.2 Diagram Tekanan–Entalpi.....	8
Gambar 2.3 Alat Pengukur Dry Bulb dan Wet Bulb.....	17
Gambar 2.4 Lapisan Batas	20
Gambar 2.5 Lapisan Batas Hidrodinamik	21
Gambar 2.6 Lapisan Batas Termal.....	22
Gambar 2.9 Lapisan Batas Konsentrasi	22
Gambar 3.1 <i>Blower</i>	27
Gambar 3.2 Air Conditioner Dan Controller-nya	28
Gambar 3.3 Tabung Humidifier.....	28
Gambar 3.4 Skema Heater	29
Gambar 3.5 Heater	29
Gambar 3.6 Pyrex.....	30
Gambar 3.7 Digital controller	30
Gambar 3.8 Skema Auto Tuning.....	31
Gambar 3.9 Temperature display	31
Gambar 3.10 Alat suntik.....	32
Gambar 3.11 Display Inverter SJ200	33
Gambar 3.12 Sistem pengujian	33
Gambar 3.13 Posisi jarum dan tetesan	35
Gambar 3.14 Panel Sistem Listrik.....	35
Gambar 3.15 Tetesan.....	36
Gambar 4.1 Grafik Sh vs R-M pada 50 °C.....	44
Gambar 4.2 Grafik Sh vs R-M pada 75 °C.....	45

Gambar 4.3 Grafik Sh vs R-M pada 100 °C.....	45
Gambar 4.4 Grafik Sh vs R-M pada 150 °C.....	46
Gambar 4.5 Grafik Sh vs R-M pada 50-150 °C.....	47
Gambar 4.6 Perbandingan Sh Ranz-Marshall dan Sh Data dari Walton (2004) .	47
Gambar 4.7 Grafik Nu vs R-M pada 50 oC.....	48
Gambar 4.8 Grafik Nu vs R-M pada 75 °C.	49
Gambar 4.9 Grafik Nu vs R-M pada 100 °C.	49
Gambar 4.10 Grafik Nu vs R-M pada 150 °C.....	50
Gambar 4.11 Grafik Nu vs R-M pada 50 – 150 °C.....	50
Gambar 4.12 Grafik Sh vs Nu.....	51
Gambar 4.13 Grafik Perbandingan Sh di temperatur 50°C	52
Gambar 4.14 Grafik Perbandingan Sh di temperatur 75°C	52
Gambar 4.15 Grafik Perbandingan Sh di temperatur 100°C	53
Gambar 4.16 Grafik Perbandingan Sh di temperatur 150°C	53
Gambar 4.17 Grafik Perbandingan Nu di temperatur 50°C	54
Gambar 4.18 Grafik Perbandingan Nu di temperatur 75°C	54
Gambar 4.19 Grafik Perbandingan Nu di temperatur 100°C.....	54
Gambar 4.20 Grafik Perbandingan Nu di temperatur 150°C.....	55

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 PSYCHROMETRIC CHART	58
Lampiran 2 TABEL SIFAT UDARA PADA TEKANAN ATMOSFER.....	59
Lampiran 3 TABEL EMISSIVITAS PERMUKAAN	60
Lampiran 4 TABEL SIFAT AIR JENUH 1	61
Lampiran 5 TABEL SIFAT AIR JENUH 2	62
Lampiran 6 HASIL DATA UJI COBA AQUADES PADA SUHU 50 ⁰	63
Lampiran 7 HASIL KALKULASI 1.....	65
Lampiran 8 HASIL KALKULASI 2.....	71



DAFTAR NOTASI

Simbol	Keterangan	Dimensi
h	Entalpi udara basah	[KJ/kg]
h_{da}	Entalpi udara kering	[KJ/kg]
h_w	Entalpi uap air	[KJ/kg]
h_f	Entalpi spesifik fasa fluida	[KJ/Kg]
h_g	Entalpi spesifik fasa uap	[KJ/Kg]
h_{fg}	Selisih entalpi spesifik fasa fluida dan uap	[KJ/Kg]
ρ	Massa jenis	[Kg/m ³]
g	Percepatan gravitasi	[m/s ²]
P	Tekanan atmosfer udara basah	[Pa]
V	Volume udara basah	[m ³]
m	Massa udara basah	[Kg]
R_a	Konstanta gas	[KJ/kg.K]
T	Temperatur udara	[K]
T_s	Temperatur permukaan	[°C]
T_∞	Temperatur ambien	[°C]
m_{da}	Massa udara kering	[Kg]
m_v	Massa uap air	[Kg]
n	Mole udara basah	[K mole]
n_{da}	Mole udara kering	[K mole]
n_v	Mole uap air	[K mole]
P_t	Tekanan atmosfer = $p_a + p_s$	[Pa]
p_{da}	Tekanan parsial udara kering	[Pa]
p_w	Tekanan parsial uap air dalam keadaan jenuh	[Pa]
R_{da}	Tetapan gas untuk udara kering = 287	[J/Kg.K]
R_v	Tetapan gas untuk uap air = 461,5	[J/Kg.K]
q	Laju perpindahan kalor	[KJ/s]
k	Konduktivitas termal	[W/m.°C]
A	Luas penampang	[m ²]

σ	Konstanta stefant boltzman	[W/m ² K ⁴]
T_u	Temperatur sumber radiasi	[K]
T_d	Temperatur <i>droplet</i>	[K]
$Q_{konveksi}$	Radiasi	[Watt]
m	Fluks massa difusi komponen A	[Kg/s]
k_c	Koefisien konveksi massa	[m/s]
ρ_s	Berat jenis uap pada permukaan	[Kg/m ³]
ρ_∞	Berat jenis invinite	[Kg/m ³]
D	Difusivitas	[m ² /s]
d	Diameter dalam lapisan air	[m]
τ	Tegangan geser	[N/m ²]
μ	Viskositas dinamik	[Ns/m ²]
u	Kecepatan fluida	[m/s]
Sh	Bilangan Sherwood	
Nu	Bilangan Nusselt	
Le	Bilangan Lewis	
Pr	Bilangan Prandtl	

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Alam raya Indonesia sangat banyak mengandung sumber daya yang sangat bermanfaat untuk digunakan bagi kebutuhan manusia, baik dari hasil pertanian, hasil perikanan dan hasil peternakan. Tidak sedikit dari hasil alam tersebut yang dapat diolah menjadi sumber bahan makanan, dan proses pengolahannya juga memiliki karakteristik yang disesuaikan dengan kemampuan industri dalam melakukan pengolahan tersebut, industri disini bukan berarti hanya dalam skala besar saja tetapi juga termasuk industri rumah tangga sebagai penyokong berkembangnya ekonomi masyarakat.

Saat ini, teknologi pengolahan bahan makanan dalam sektor industri tidak dapat lepas dari proses pengeringan, yang merupakan proses untuk mengurangi atau menghilangkan kadar air pada suatu bahan, dan pengeringan pada bahan makanan sangat diperlukan untuk menjaga kualitas makanan agar tidak cepat basi, artinya proses pengeringan ini dilakukan sebagai salah satu teknologi untuk mengawetkan bahan makanan tersebut. Pada awalnya pengeringan hanya menggunakan metode alamiah yaitu pancaran sinar matahari tetapi seiring dengan kerusakan alam karena efek rumah kaca akibat akumulasi CO₂ di atmosfer yang menyebabkan lapisan ozon menjadi berlubang sehingga terjadi perubahan iklim yang tidak menentu yang pada akhirnya matahari tidak bisa lagi menjadi harapan untuk melakukan proses pengeringan, maka dibutuhkan teknologi pengeringan untuk mengatasi masalah tersebut. Saat ini lebih dari 400 jenis pengering telah dibuat dan lebih dari 100 jenis telah dipasarkan. Fakta menunjukkan konsumsi energi nasional untuk operasi pengeringan di industri berkisar 10 – 15 % untuk Amerika Serikat, Kanada, Perancis, dan Inggris hingga 20 -25 % untuk Denmark dan Jerman, hal ini menunjukkan pengering telah menjadi bagian penting dalam sektor industri.

Penguapan tetesan (*droplet evaporation*) adalah salah satu cara yang dapat dipergunakan untuk kebutuhan tersebut. Agar dapat membuat mesin pengering

untuk pengawetan makanan yang efektif dan efisien, maka diperlukan penelitian untuk karakteristik laju penguapan air pada zat makanan dan minuman. Dengan memvariasikan temperatur dan kecepatan aliran, untuk keperluan penelitian maka diperlukan alat uji penguapan tetesan. Salah satu peneliti yang telah melakukan studi ekperimental penguapan tetesan adalah Ranz W E & Marshall W R, Jr. yang menyimpulkan bahwa proses penguapan tetesan merupakan analogi (hubungan) perpindahan kalor dan perpindahan massa. Digunakannya analogi antara proses perpindahan kalor dan perpindahan massa untuk memudahkan mencari solusi atas permasalahan perpindahan massa. Inti dari analogi ini adalah memanfaatkan hubungan similaritas antara bilangan Sherwood dan bilangan Nusselt, sehingga solusi perpindahan kalor aplikatif terhadap perpindahan massa.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuannya adalah membandingkan hasil data pengujian yang kami lakukan dengan pers. analogi Ranz-Marshall pada pengujian tetesan dengan menggunakan metode perpindahan panas (*heat transfer*) dan perpindahan massa (*mass transfer*) pada penguapan tetesan (*droplet evaporation*) serta dilakukan pada beberapa variasi kecepatan aliran dan temperatur aliran untuk mendapatkan hasil yang beragam. Pada penelitian kali ini dilakukan penambahan *Dehumidifier* dan *Air Conditioner* untuk menurunkan kelembaban udaranya. Untuk membantu analisa mengenai perpindahan panas (*heat transfer*) dan perpindahan massa (*mass transfer*) tersebut akan digunakan metode perhitungan berupa rumus model umum, *stagnant film model* dan pendekatan baru pada *stagnant film model* (E. A. Kosasih, 2006). Disamping untuk melakukan analisa, diharapkan dari keempat metode ini didapatkan korelasi yang terdekat dengan nilai eksperimen dengan cara mem-validasi ketiga metode yakni rumus model umum, *stagnant film model* dan pendekatan baru pada *stagnant film model* (E. A. Kosasih, 2006) dengan data perhitungan eksperimen.

1.3 Batasan Masalah

Dalam mendapatkan karakteristik laju penguapan tersebut, batasan masalah yang diambil adalah sebagai berikut:

1. Fluida cair yang dipakai adalah aquades (air murni)
2. Asumsi tetesan (*droplet*) yang terbentuk adalah berbentuk bola
3. Diameter tetesan (*droplet*) yang digunakan berada pada nilai 1,6 mm sampai pada 2,3 mm
4. Variasi temperaturnya berkisar pada 50 °C, 75 °C, 100 °C, 150 °C
5. Sedangkan untuk variasi dari kecepatan flow alirannya berkisar antara frekwensi 7, 10, dan 15 pada inverter

1.4 Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Seluruh faktor yang berpengaruh untuk mendapatkan karektristik laju penguapan dari tetesan (*droplet*), harus disusun dan dikelola dengan baik agar dapat didata dengan susunan yang sistematis. Format penyusunan tersebut mengacu pada literature yang sudah ada seperti buku referensi, tugas akhir, jurnal, artikel dan melalui data *download* dari internet.

2. Modifikasi sistem kontrol serta pencitraan data.

Melepaskan seluruh komponen sistem kontrol pada panel, menambahkan inverter serta merakit ulang agar dapat dipergunakan sesuai dengan tuntutan pengujian yang membutuhkan beberapa variasi dalam pengujiannya.

3. Pengambilan data

Proses pengambilan data seperti besar temperatur tetesan (*droplet*), pengurangan diameter tetesan (*droplet*), dan analisa gambar dilakukan pada semua variasi yang sudah disebutkan sebelumnya. Data ini akan berguna untuk menganalisa dengan menggunakan metode perpindahan panas (*heat transfer*) dan perpindahan massa (*mass transfer*) penguapan tetesan (*droplet evaporation*) yang akan dikorelasikan dengan perhitungan berupa rumus umum empiric, *stagnant film model* dan pendekatan baru pada *stagnant film model* (E. A. Kosasih, 2006) serta pendekatan secara eksperimental.

4. Pencitraan tetesan

Pencitraan dilakukan untuk mengetahui data tentang kecepatan penguapan tetesan (*droplet*) pada daerah pengamatan di *pyrex* dari penguapan tetesan. Untuk melakukan pencitraan tersebut akan digunakan alat bantu berupa kamera digital 7,1 Mega pixel.

5. Penyusunan Laporan

Laporan dari data yang sudah didapatkan harus tersusun dengan sistematis karena banyak variasi yang akan digunakan dalam pengujian sehingga akan banyak juga data yang akan dihasilkan. Dengan susunan yang sistematis tersebut diharapkan akan memudahkan dalam melakukan perhitungan dan analisisnya.

1.5 Sistematika Penulisan

Dalam penulisan penelitian ini, penulis membagi dalam lima bab dan beberapa subbab dengan tujuan agar laporan penulisan menjadi lebih terstruktur dan terarah. Sistematika penulisannya adalah sebagai berikut :

BAB 1

PENDAHULUAN

Bab ini membahas tentang latar belakang, perumusan masalah, tujuan penulisan, metodologi penulisan dan sistematika penulisan.

BAB 2

DASAR TEORI

Bab ini membahas tentang konsep-konsep dasar mengenai penelitian dan konsep-konsep dasar untuk perhitungan dan analisisnya.

BAB 3

METODE PENELITIAN

Bab ini membahas mengenai prosedur pengambilan data, kalibrasi alat, pencitraan tetesan, dan langkah-langkah perhitungan.

BAB 4

ANALISA DATA

Bab ini membahas mengenai grafik-grafik dari hasil perhitungan data sesuai dengan variasi pengujian yang sudah disebutkan sebelumnya dan juga menyajikan analisa terhadap hasil yang terjadi.

BAB 5 KESIMPULAN

Bab ini membahas tentang kesimpulan terhadap semua hasil penelitian sesuai dengan tujuan dari penelitian ini.



BAB 2 DASAR TEORI

2.1 Prinsip Dasar Pengeringan

Pengeringan adalah proses kompleks yang meliputi perpindahan panas dan massa secara transient serta beberapa laju proses, seperti transformasi fisik atau kimia. Perubahan fisik yang mungkin terjadi meliputi: pengkerutan, penggumpalan, *kristalisasi*, dan transisi gelas. Pada beberapa kasus, dapat terjadi reaksi kimia atau biokimia yang diinginkan atau tidak diinginkan yang menyebabkan perubahan warna, tekstur, aroma, atau sifat lain dari produk.

Pengeringan terjadi melalui penguapan uap air dengan adanya pemberian panas ke sample uji. Panas dapat diberikan melalui *konveksi* (pengering langsung), *konduksi* (pengering sentuh atau tak langsung), *radiasi* atau secara volumetric dengan menempatkan sample uji tersebut dalam medan elektromagnetik gelombang mikro atau frekuensi radio.

Proses pengeringan suatu material terjadi melalui dua proses yaitu proses pemanasan (*heating*) dan proses pengeringan (*drying*). Proses pemanasan (*heating*) dilakukan untuk memperoleh udara panas dan untuk menurunkan kelembaban relatif dari udara sekitar. Sedangkan proses pengeringan (*drying*) dilakukan untuk menurunkan temperatur udara karena terjadi perpindahan panas dari udara ke bahan yang akan dikeringkan (udara memberikan kalor laten untuk menguapkan kandungan air dari bahan yang dikeringkan).

Proses pengeringan diasumsikan secara adiabatik, yaitu : kalor yang diperlukan untuk menguapkan kandungan air dari bahan semata-mata berasal dari udara pengering saja (tidak ada kalor yang masuk dari lingkungan). Selama proses pengeringan adiabatik ini, akan terjadi penurunan temperatur bola kering dan kenaikan kelembaban, kelembaban relatif, tekanan uap air serta temperatur *dew point* sedangkan entalpi dan temperatur bola basah dapat dianggap konstan.

Pengeringan material-material biologis terutama makanan dilakukan untuk mencegah berkembangnya mikroorganisme yang menyebabkan makanan menjadi busuk dan untuk mencegah bekerjanya enzim-enzim yang menyebabkan

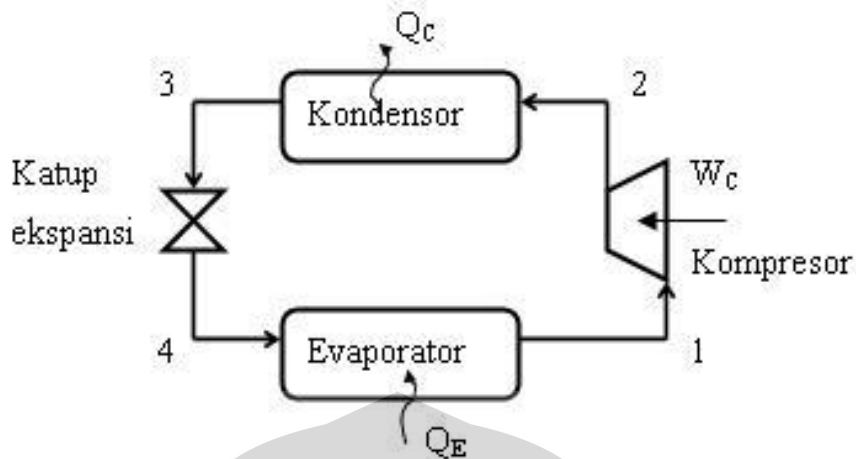
terjadinya perubahan kimiawi pada makanan. Hal ini terjadi karena *mikroorganisme* dan enzim tersebut tidak dapat berkembangbiak dan berfungsi pada lingkungan yang kurang kadar airnya.

2.2 Sistem Refrigerasi

Saat ini mesin refrigerasi yang paling banyak digunakan di dunia adalah dari jenis siklus kompresi uap. Sistem lain, seperti sistem magneto-kalorik, absorpsi, adsorpsi, dan efek Siebeck hingga saat ini masih terbatas penggunaannya. Mesin refrigerasi siklus kompresi uap memiliki fleksibilitas penggunaan, yakni bisa berfungsi sebagai mesin pendingin (AC) ataupun pompa kalor (*heat pump*) dengan mengubah arah aliran refrigerannya. Mesin refrigerasi jenis ini juga berukuran cukup kompak, sehingga tidak memerlukan ruang yang besar.

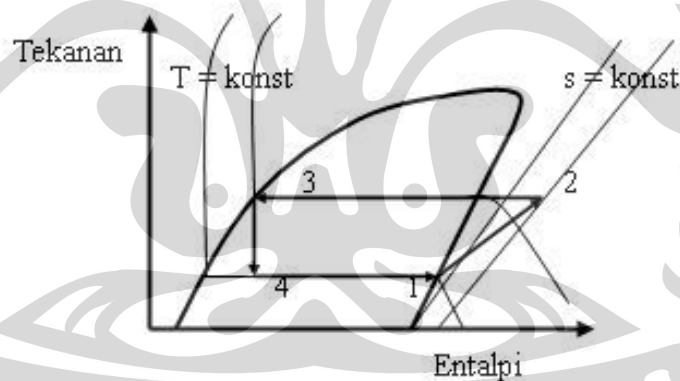
Mesin refrigerasi kompresi uap terdiri atas empat komponen utama, yakni kompresor, kondensor, katup ekspansi, dan evaporator. Kondensor dan evaporator sesungguhnya merupakan penukar kalor (*heat exchanger*) yang berfungsi mempertukarkan kalor diantara dua fluida, yakni antara refrigerant dengan fluida luar (bisa berupa air ataupun udara). Kondensor berfungsi untuk proses kondensasi yang terjadi pada temperatur dan tekanan tinggi, dimana sejumlah kalor dilepaskan oleh refrigerant ke dalam medium air sehingga refrigerant berubah fase menjadi cair. Dan evaporator berfungsi untuk proses penguapan refrigerant dimana kalor tersebut diambil dari udara yang mengalir melalui pipa dan sirip evaporator.

Sedangkan katup ekspansi berfungsi untuk menurunkan tekanan tinggi ke tekanan yang lebih rendah dimana refrigerant dalam keadaan cair bertekanan tinggi diekspansi sedemikian rupa sehingga tekanan refrigerant setelah melewati katup ekspansi sama tekanannya dengan evaporator. Skema mesin refrigerasi ini dapat dilihat pada Gambar 2.4 di bawah ini.



Gambar 2.1 Skema Mesin Refrigerasi Siklus Kompresi Uap
(sumber : ASHRAE Fundamentals Handbook, 2001)

Sedangkan diagram tekanan–entalpi yang menjelaskan proses pada mesin refrigerasi siklus kompresi uap bisa dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.2 Diagram Tekanan–Entalpi Pada Proses Refrigerasi Siklus Kompresi Uap
(sumber : ASHRAE Fundamentals Handbook, 2001)

Pada proses 1–2, kompresor menaikkan tekanan uap refrigerant. Kenaikan tekanan ini diikuti dengan kenaikan temperatur uap refrigerant. Pada tingkat keadaan (TK) 2, uap refrigerant berada pada kondisi uap panas. Pada proses 2–3, uap refrigerant memasuki kondensator dan mendapatkan pendinginan dari kondensator. Pendinginan ini terjadi akibat pertukaran panas antara uap refrigerant dengan fluida luar (misalnya udara lingkungan ataupun air pendingin). Refrigerant

keluar dari kondensor pada TK 3 dalam kondisi cair jenuh, atau bisa juga pada kondisi cair dingin kemudian memasuki katup ekspansi. Katup ekspansi ini pada prinsipnya berupa penyempitan daerah aliran yang berakibat pada penurunan tekanan fluida secara drastis.

Idealnya, refrigerant melalui katup ekspansi (proses 3–4) secara iso-entalpi (isentalpi). Pada TK 4, refrigerant berada dalam kondisi campuran cair dan uap. Karena refrigerant berada pada tekanan jenuhnya (tekanan penguapan), maka dia akan mengalami penguapan; hukum alam menyatakan bahwa penguapan membutuhkan energi, terjadilah penyerapan energi termal dari luar evaporator yang menyebabkan efek pendinginan oleh mesin refrigerasi. Kemampuan/prestasi pendinginan dinyatakan dengan :

$$COP = \frac{Q_E}{W_c} \quad (2.1)$$

COP (tak bersatuan) singkatan dari *Coefficient of Performance*, Q_E adalah perpindahan panas pada evaporator, dan W_c adalah kerja kompresor.

Perpindahan panas pada evaporator digunakan untuk mengkondensasi uap didalam tabung vakum. Perpindahan panas yang diserap oleh refrigerant pada evaporator sama dengan perpindahan panas yang diterima uap air hasil proses *throattling* didalam tabung vakum.

Sesuai asas black maka:

$$\begin{aligned} Q_{\text{evaporator}} &= Q_{\text{kondensasi}} \\ C_p \cdot x W_{\text{komp}} &= m_{\text{uap}} \cdot x h_{\text{fg vakum}} \end{aligned} \quad (2.2)$$

Maka massa uap yang dapat dikondensasi oleh evaporator adalah

$$m_{\text{uap}} = \frac{C_p \cdot x W_{\text{komp}}}{h_{\text{fg vakum}}} \quad (2.3)$$

2.3 Kandungan Kelembaban (*Moisture Content*)

Untuk menyatakan kadar air dari suatu bahan pangan terdapat dua cara yaitu :

1. Basis berat basah (*Wet weight basis*). Basis berat basah (*w.w.b*) diperoleh dengan membagi berat air dalam bahan pangan dengan berat total bahan pangan.

$$w.w.b = \frac{M_w}{M_w + M_d} 100\% \quad (2.4)$$

2. Basis berat kering (*Dry weight basis*). Basis berat kering (*d.w.b*) diperoleh dengan membagi berat air dengan berat kering bahan pangan.

$$d.w.b = \frac{M_w}{M_d} 100\% \quad (2.5)$$

Hubungan antara *w.w.b* dengan *d.w.b* ditunjukkan oleh persamaan :

$$d.w.b = \frac{w.w.b}{100 - w.w.b} 100\% \quad (2.6)$$

2.4 Kadar Air Keseimbangan (*Equilibrium Moisture Content (EMC)*)

Jika udara tetap berhubungan dengan suatu bahan dalam waktu cukup lama maka tekanan parsial uap air di udara akan mencapai keseimbangan dengan tekanan parsial uap air dalam bahan. EMC terjadi pada saat kadar air suatu bahan higroskopik seimbang dengan kelembaban relative udara (ASHRAE Fundamentals Handbook, 2001). Kandungan air yang terkandung dalam suatu material membentuk suatu tekanan uap yang besarnya tergantung dari sifat uap air yang berada dalam material, sifat material itu sendiri dan temperatur keduanya. Sedangkan udara juga memiliki kesetimbangan uap air dengan jumlah tertentu. Kandungan uap air relatif di udara tersebut biasanya disebut sebagai *Relatif Humidity* (RH). Setiap proses yang terjadi pada udara, baik itu penyerapan ataupun pelepasan air, pada akhirnya akan menuju suatu kondisi setimbang dimana tidak terjadi lagi proses pelepasan atau penyerapan air. Nilai EMC ini sangat bergantung pada kelembaban dan temperature lingkungan tersebut. Selain itu juga bergantung pada spesies, varietas, dan kematangan dari bahan pangan, biji-bijian dan hasil pertanian lainnya.

2.5 Karakteristik Udara

Dalam laju penguapan tetesan yang sangat berperan penting adalah udara. Udara berada diatas permukaan lapisan bumi disebut dengan atmosfer, atau atmosfer udara. Pada atmosfer bertekanan rendah (*lower atmosfer*) atau homosphere, terdiri dari udara basah (*moist air*), dimana terdiri dari campuran uap air dan udara kering.

Komposisi udara kering diperkirakan berdasarkan volumenya terdiri dari : 79.08 % Nitrogen, 20.95 % Oksigen, 0.93 % Argon, 0.03 % Karbon Dioksida, 0.01 % lain-lain gas (seperti neon, sulfur dioksida)^[1].

Kandungan uap air pada udara basah antara temperatur 0 – 100 °F tidak lebih dari 0.05 – 3 %. Variasi uap air pada udara basah besar pengaruhnya terhadap karakteristik dari udara basah tersebut.

Faktor yang sangat berperan dalam laju penguapan tetesan (*droplet*) adalah udara, dalam bentuk udara kering (*dry air*) yang berada dalam campuran biner dengan uap air (*water vapor*).

Tetapan gas universal (\mathfrak{R}) berdasarkan skala karbon-12 adalah:

$$\mathfrak{R} = 8.314,5 \text{ [J/(kmol.K)]} \quad (2.7)$$

Tetapan gas tertentu (R_i) dengan massa molekul relatif M_i digunakan rumus ^[1]:

$$R_i = \frac{\mathfrak{R}}{M_i} \quad (2.8)$$

Maka tetapan gas untuk udara kering (R_{da}) berdasarkan skala karbon-12 adalah

$$R_{da} = \frac{8314,41}{28,9} = 287,7 \text{ [J/kg.K]} \quad (2.9)$$

dan tetapan gas untuk uap air (R_v) berdasarkan skala karbon-12 adalah:

$$R_v = \frac{8314,41}{18} = 461,9 \text{ [J/kg.K]} \quad (2.10)$$

Udara dianggap sebagai gas ideal, sehingga hukum-hukum yang berlaku untuk gas ideal akan berlaku juga pada udara yaitu^[2]:

$$PV = mR_a T \quad (2.11)$$

P = tekanan atmosfer udara basah [Pa]

V = volume udara basah [m³]

m = massa udara basah [kg]

R_a = konstanta gas [kJ/kg.K]

T = temperatur udara basah [K]

2.6 Termodinamika Udara Basah

Kelembaban, temperatur, tekanan, entalpi dan volume jenis adalah sifat termodinamika dari udara basah. Udara basah merupakan campuran biner antara udara kering dengan uap air, sehingga:

$$m = m_{da} + m_v \quad (2.12)$$

m_{da} = massa udara kering [kg]

m_v = massa uap air [kg]

Persamaan mol yang setara dengan pers.(2-12) adalah:

$$n = n_{da} + n_v \quad (2.13)$$

n = mole udara basah [kmole]

n_{da} = mole udara kering [kmole]

n_v = mole uap air [kmole]

Jika pers.(2.13) dibagi dengan jumlah mole udara basah (n) maka didapat:

$$\frac{n_{da}}{n} + \frac{n_v}{n} = 1 \quad (2.14)$$

$$x_{da} + x_v = 1 \quad (2.15)$$

$$x_o = \frac{P_v}{101325} \quad (2.16)$$

$$X = \frac{n_v}{n_a} = \frac{n_v}{n_{da}} \times \frac{n_{da}}{n_a} \quad (2.17)$$

$$pv = nRT = \frac{n}{M} RT \quad (2.18)$$

$$\frac{n}{v} = \frac{p}{RT} = \frac{101325}{8314.5 \cdot T_\infty} = C \quad (2.19)$$

$$x_o = \frac{\omega_o}{0.622(1 + \omega_o)} \quad (2.20)$$

x_{da} = fraksi mole udara kering

x_v = fraksi mole uap air

2.6.1 Kelembaban

Kelembaban adalah konsentrasi uap air di udara. Angka konsentrasi ini dapat diekspresikan dalam kelembaban relatif (kelembaban spesifik).

2.6.1.1 Kelembaban relatif (*relative humidity*)

Kelembaban relatif (RH) adalah perbandingan fraksi mol uap air dalam udara basah terhadap fraksi mol uap air yang berada dalam keadaan jenuh pada temperatur dan tekanan yang sama. Kelembaban relatif dinyatakan dalam persamaan berikut^[3]:

$$RH = \frac{x_v}{x_{ws}} \quad (2.21)$$

x_{ws} = fraksi mol uap air jenuh pada suhu dan tekanan udara.

Pada diagram psikometrik, garis kelembaban relatif ditunjukkan dengan garis lengkung parabolik yang merapat dari kiri bawah dan semakin melebar ke kanan atas dimana nilainya akan terus bertambah apabila garis kelembaban relatif mendekati garis saturasi.

2.6.1.2 Rasio kelembaban (*humidity ratio*)

Rasio kelembaban (ω) disebut juga *moisture content* atau *mixing ratio*, adalah perbandingan massa uap air terhadap massa udara kering yang terkandung dalam udara basah pada tekanan dan temperatur tertentu. Persamaan dasarnya adalah:

$$\omega = \frac{m_v}{m_{da}} \quad (2.22)$$

Dari pers.(2-12) dan pers.(2-17) didapat:

$$m = m_{da} + \omega m_{da} \quad (2.23)$$

ω = rasio kelembaban (*humidity ratio*)

m_v = massa uap air [kg]

m_{da} = massa udara kering [kg]

Uap air dan udara dianggap juga sebagai gas ideal, maka untuk menghitung perbandingan kelembaban memakai persamaan $p_v = R_v T$, serta kalor spesifik tetap. Udara dianggap sebagai gas ideal karena suhunya cukup tinggi dibandingkan suhu jenuhnya, dan uap air dianggap ideal karena tekanannya cukup rendah dibandingkan dengan tekanan jenuhnya (Stoecker, 1994).

$$\omega = \frac{m_v}{m_{da}} = \frac{p_v \cdot V / R_v \cdot T}{p_{da} \cdot V / R_{da} \cdot T} = \frac{p_v / R_v}{(p_t - p_v) / R_{da}} \quad (2.24)$$

ω = rasio kelembaban [kg uap air/kg udara kering]

V = volume campuran udara-uap air [m^3]

P_t = tekanan atmosfer = $p_a + p_s$ [Pa]

p_{da} = tekanan parsial udara kering [Pa]

p_w = tekanan parsial uap air dalam keadaan jenuh [Pa]

R_{da} = tetapan gas untuk udara kering = 287 [J/kg.K]

R_v = tetapan gas untuk uap air = 461,5 [J/kg.K]

T = temperatur campuran udara-uap air [K]

dengan mensubstitusi nilai R_a dan R_s ke dalam persamaan (2.24) maka diperoleh

$$\omega = \left(\frac{287}{461,5} \right) \left(\frac{p_v}{p - p_v} \right) = 0,622 \left(\frac{p_v}{p - p_v} \right) = 0,622 \frac{p_v}{p_{da}} \quad (2.25)$$

$$\rho_v = \rho \cdot \omega_v \quad (2.26)$$

$$\rho_o = \frac{m_v}{v} = \frac{m_v}{m} \cdot \frac{m}{v} \quad (2.27)$$

$$\rho_o = \omega_v \cdot \rho \quad (2.28)$$

$$C = \frac{n}{v} = \frac{m/M}{v} = \frac{\rho}{M} \quad (2.29)$$

$$n = \frac{m}{M} \quad (2.30)$$

$$\frac{p_v}{p_{da}} = \frac{n_v}{n_{da}} = \frac{m_v/18}{m_{da}/28,9} = \frac{\omega}{0,622} \quad (2.31)$$

$$\gamma = \omega = 0,622 \frac{p_v}{p_a - p_v} \quad (2.32)$$

$$\gamma p_a - \gamma p_v = 0,622 \cdot p_v \quad (2.33)$$

$$p_v = \frac{\gamma}{\gamma + 0,622} p_a \quad (2.34)$$

$$\omega_o = \frac{0,622 \cdot x_o}{1 + 0,378 \cdot x_o} \quad (2.35)$$

ω_o : Td = tabel uap P_v

Pada diagram psikometrik, garis rasio kelembaban ditunjukkan dengan garis horizontal yang semakin bertambah besar dari bawah ke atas.

2.7 Psychrometric Chart

Psychrometric chart digunakan untuk menentukan property udara. *Psychrometric chart* pada umumnya digambar pada tekanan 760 mmHg.

Beberapa istilah yang berhubungan dengan psychrometric chart:

1. Udara kering. Udara kering murni merupakan campuran sejumlah gas seperti Nitrogen, Oksigen, Hidrogen, Argon, dan lain-lain. Nitrogen dan Oksigen menduduki porsi terbesar yaitu 78 % dan 21 %.

$$m = m_{da} + m_v \quad (2.36)$$

m_{da} = massa udara kering [kg]

m_v = massa uap air [kg]

2. Udara lembab (*moist air*). Merupakan campuran udara kering dengan uap air. Jumlah uap air yang terkandung di dalam udara sangat bergantung pada tekanan absolute dan temperature campuran.
3. Udara saturasi. Merupakan campuran udara kering dengan uap air dimana jumlah uap air di dalam udara sudah maksimum (udara berada dalam keadaan jenuh).
4. Kelembaban (*Humidity/Specific humidity/Humidity ratio*). Didefinisikan sebagai massa uap air dalam satu massa udara kering.

$$\omega = \frac{m_v}{m_{da}} \quad (2.37)$$

ω = rasio kelembaban (*humidity ratio*)

m_v = massa uap air [kg]

m_{da} = massa udara kering [kg]

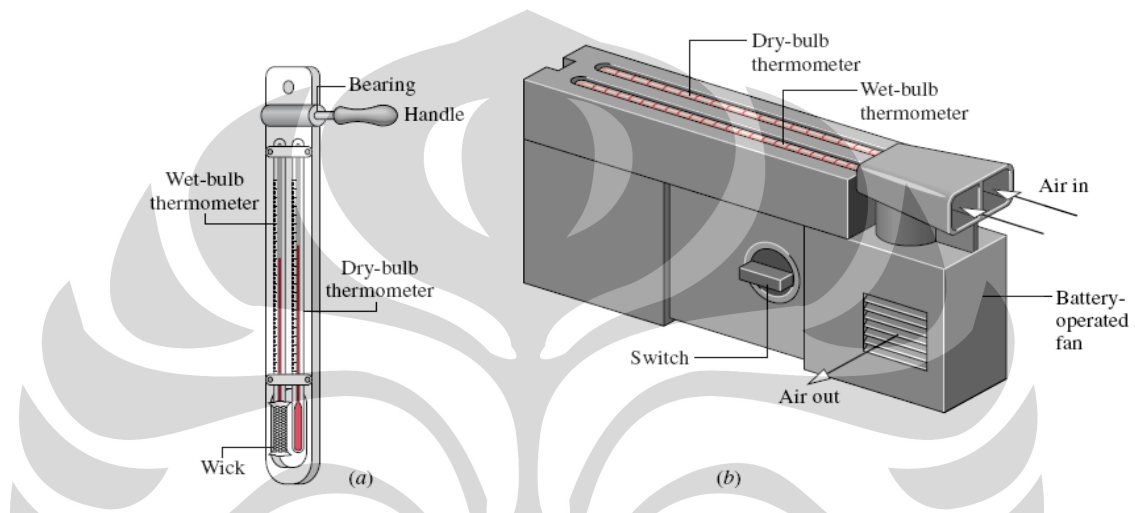
5. Kelembaban relatif (*Relative humidity*). Merupakan kebasahan dari atmosfer yang dinyatakan dalam perbandingan antara tekanan parsial uap air udara basah dan tekanan uap air udara lembab yang jenuh pada suhu bola kering yang sama.

$$RH \ \phi = \frac{x_v}{x_{ws}} \quad (2.38)$$

x_{ws} = fraksi mol uap air jenuh pada suhu dan tekanan udara.

x_v = fraksi mole uap air

6. Temperatur bola kering (*Dry bulb temperature*). Merupakan temperature udara yang terbaca pada termometer, ketika ia tidak dipengaruhi oleh kelembaban yang ada dalam udara.
7. Temperatur bola basah (*Wet bulb temperature*). Merupakan temperature udara yang terbaca pada termometer yang bola pengukur suhunya dibungkus dengan kain basah ketika dialiri kecepatan lebih dari 3-5 m/s.



Gambar 2.3 Alat Pengukur Dry Bulb dan Wet Bulb
(sumber : wikipedia)

8. Temperatur pengembunan. Merupakan temperature dimana bagian uap air yang ada di udara mulai mengembun. Dilihat dari sisi tekanan parsial uap air dalam udara, temperature tersebut adalah suhu jenuh (*saturasi*).
9. *Enthalpy*. Merupakan kalor yang dimiliki oleh udara setiap kg udara kering. Dinyatakan dengan^[4]:

$$h = h_{da} + h_w \quad (2.39)$$

h = entalpi udara basah [kJ/kg]

h_{da} = entalpi udara kering [kJ/kg]

h_w = entalpi uap air [kJ/kg]

2.8 Perpindahan Panas

2.8.1 Konveksi

Konveksi adalah perpindahan panas karena adanya pergerakan fluida, fluida yang bergerak adalah udara yang dihembuskan melalui blower yang mengalirkan panas dari heater menuju obyek. Persamaan konveksi adalah sebagai berikut^[5] :

$$q = hA(T_s - T_\infty) \quad (2.40)$$

h = koefisien konveksi [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$]

A = luas permukaan [m^2]

T_s = temperatur permukaan [$^\circ\text{C}$]

T_∞ = temperatur ambient [$^\circ\text{C}$]

2.8.2 Konduksi

Bila suatu benda terdapat perbedaan temperatur dengan panjang x , maka energi (kalor) akan berpindah dari bagian yang bersuhu tinggi ke arah bagian yang bersuhu rendah dengan cara konduksi. Laju perpindahan ini berbanding dengan gradien suhu normal.

$$\frac{q}{A} \sim \frac{\partial T}{\partial x}$$

Jika dimasukkan konstanta proporsionalitas maka persamaannya menjadi :

$$q = -kA \frac{\partial T}{\partial x} \quad (2.41)$$

q = laju perpindahan kalor [kJ/s]

k = konduktivitas termal [$\text{W}/\text{m} \cdot ^\circ\text{C}$]

A = luas penampang [m^2]

T = temperatur [$^\circ\text{C}$]

x = jarak (panjang) perpindahan kalor

Persamaan ini disebut hukum Fourier tentang konduksi kalor (ahli matematika fisika bangsa Prancis, Joseph Fourier)

2.8.3 Radiasi

Radiasi berarti transmisi gelombang, objek atau informasi dari sebuah sumber ke medium atau tujuan sekitarnya. Radiasi termal adalah radiasi elektromagnetik yang dipancarkan suatu benda karena suhu benda tersebut. Rumus radiasi yang digunakan^[6] :

$$\frac{Q}{A} = \alpha \sigma (T_u^4 - T_d^4) \quad (2.42)$$

Q	= radiasi
A	= luas permukaan [m^2]
α	= absorptivitas
σ	= konstanta stefant boltzman [$W/m^2 K^4$]
T_u	= temperatur sumber radiasi [K]
T_d	= temperatur <i>droplet</i> [K]

2.9 Perpindahan Massa

2.9.1 Koefisien perpindahan massa

Koefisien perpindahan massa (*mass transfer coefficient*) dapat kita definisikan seperti halnya dengan koefisien perpindahan-kalor^[7], jadi:

$$m = k_c A (\rho_s - \rho_\infty) \quad (2.43)$$

$$k_c = \frac{Sh \cdot D}{d}$$

m	= fluks massa difusi komponen A [kg/s]
k_c	= koefisien konveksi massa [m/s]
ρ_s	= berat jenis uap pada permukaan [kg/m^3]
ρ_∞	= berat jenis invinite [kg/m^3]
Sh	= bilangan Sherwood
D	= difusivitas [m^2/s]
d	= diameter dalam lapisan air [m]
A	= luas permukaan yang dibasahi air (πdL) [m^2]

2.9.2 Difusi dalam gas

Gilliland mengusulkan rumus semi empiris untuk koefisien difusi dalam gas^[8]:

$$D_{VAA} = 1.166e - 9 \exp \left[1,75 \ln \left(273 + \frac{(T_{in} + T_{out})}{2} \right)^{0.0555} \right] \quad (2.44)$$

Laju difusi molal :

$$N = \frac{\dot{m}}{M}$$

$$N = \frac{-dm/dt}{18.A} \quad (2.46)$$

Dimana $\frac{-dm}{dt} = \rho \frac{-dV}{dt}$

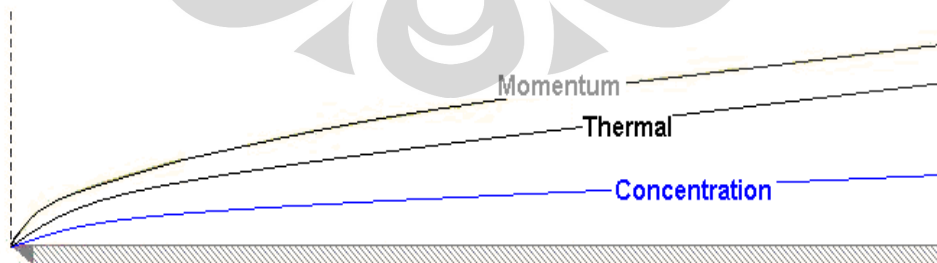
Dan $\frac{-dv}{dt} = Ax \frac{-dr}{dt}$

N = laju difusi molal [mol/s]

M = berat molekul [kg]

m = laju massa aliran (kg/s)

2.10 Lapis Batas

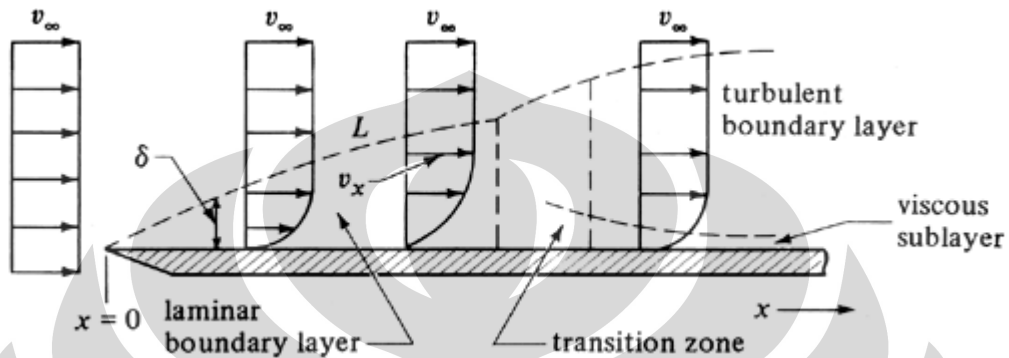


Gambar 2.4 Lapis Batas

(Sumber : Niall McMahon, The Mechanics of Drug Dissolution - An adventure in fluid mechanics, Dublin)

Lapis batas (*boundary layer*) merupakan daerah (batasan) dimana masih terdapat gradien yang disebabkan pengaruh viskositas. Lapis batas terbagi menjadi tiga, yaitu lapis batas hidrodinamik, termal dan konsentrasi.

2.10.1 Lapis Batas Hidrodinamik



Gambar 2.5 Lapis Batas Hidrodinamik

(Sumber : Christie J Geankoplis, Principles of Momentum Transfer and Applications, Indiana)

Lapis batas pada plat rata terlihat membentuk suatu lapis batas yang dimulai dari tepi depan, yang dipengaruhi oleh gaya viskos, yang akan semakin meningkat ke arah tengah dari plat rata. Gaya viskos ini dapat diterangkan dengan tegangan geser (*shear stress*) τ antara lapisan-lapisan fluida yang dianggap berbanding dengan gradien kecepatan normal, maka didapat persamaan^[9] :

$$\tau = \mu \frac{\partial u}{\partial y} \quad (2.47)$$

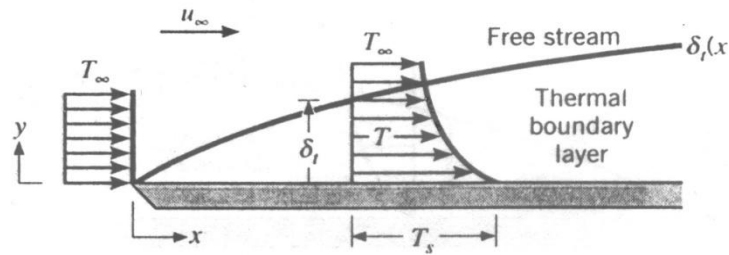
τ = tegangan geser [N/m^2]

μ = viskositas dinamik [Ns/m^2]

u = kecepatan fluida [m/s]

2.10.2 Lapis Batas *Thermal*

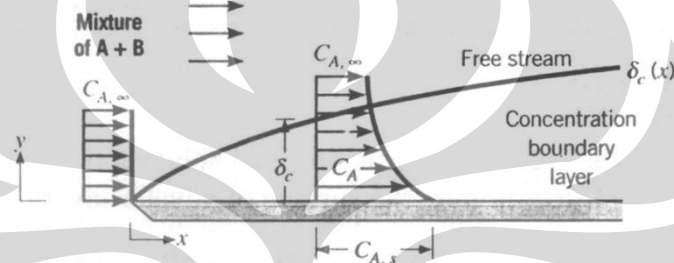
Seperti halnya lapis batas *hidrodinamik*, lapis batas termal didefinisikan sebagai daerah dimana terdapat gradien suhu dalam aliran. Gradien suhu tersebut akibat proses pertukaran kalor antara fluida dan dinding.



Gambar 2.6 Lapisan Batas Thermal

(Sumber : Christie J Geankoplis, Principles of Momentum Transfer and Applications, Indiana)

2.10.3 Lapis Batas Konsentrasi



Gambar 2.7 Lapisan Batas Konsentrasi

(Sumber : Christie J Geankoplis, Principles of Momentum Transfer and Applications, Indiana)

Lapis batas konsentrasi terbentuk akibat adanya perbedaan konsentrasi pada zat yang bertumbukan, yang akhirnya menyebabkan perpindahan massa.

2.11 Bilangan Tak Berdimensi

Bilangan tak berdimensi (*dimensionless number*) merupakan suatu parameter yang tak memiliki satuan. Berguna untuk mengetahui kondisi atau karakteristik aliran fluida. Bilangan tak berdimensi bermanfaat pada metode eksperimen suatu sistem yang sama dengan sistem lain namun dalam dimensi yang berbeda seperti pada model pesawat terbang, mobil, kapal laut, dan sebagainya.

Berikut ini adalah beberapa bilangan tak berdimensi yang lazim digunakan pada bidang perpindahan kalor;

2.11.1 Bilangan Reynolds

Diperkenalkan pertama kali oleh Osbourne Reynolds (1842-1912) pada tahun 1883. Merupakan perbandingan atau rasio antara gaya inersia dan gaya viskos dan dipakai untuk menentukan apakah suatu aliran laminar atau turbulen atau transisi, tetapi tekstur permukaan dan sifat fluida yang mengalir juga menentukan aliran fluida Bentuk persamaan^[10] tersebut adalah :

$$Re = \frac{ux}{\nu} \quad (2.48)$$

u = kecepatan [m/s]

x = jarak [m]

ν = viskositas kinematik [m^2/s]

$$Re = \frac{\text{gaya inersia}}{\text{gaya viskos}} = \frac{\rho V^2 / L}{\mu V / L^2} = \frac{\rho V L}{\mu} \quad (2.49)$$

ρ = massa jenis fluida

V = kecepatan alir fluida

L = panjang karakteristik, berupa diameter pipa

μ = viskositas dinamik.

Untuk nilai Re yang kecil, gaya viskos lebih dominan sehingga menciptakan jenis aliran laminar yang stabil, beraturan, dan profil kecepatan konstan. Sementara untuk nilai Re yang besar, timbul aliran turbulen yang fluktuatif, *eddies* acak, dan tak beraturan. Sedangkan aliran transisi merupakan suatu kondisi aliran peralihan yang membentuk laminar dan turbulen sehingga sulit untuk mendapatkan sifat-sifat aliran fluida.

Tabel 2.1 Kondisi Aliran Fluida

Kondisi aliran fluida	Bidang datar (plat)	Dalam pipa
Laminar	$Re < 10^5$	$Re < 2300$
Transisi	$10^5 < Re < 3 \times 10^6$	$2300 < Re < 4000$
Turbulen	$Re > 3 \times 10^6$	$Re > 4000$

Hal lain yang perlu diperhatikan mengenai kondisi fluida terhadap bilangan Reynolds adalah ketebalan lapisan batas. Semakin besar nilai Re , maka tebal lapisan kecepatan δ semakin kecil terhadap permukaan.

2.11.2 Bilangan Prandtl

Ludwig Prandtl mendefinisikan bilangan Prandtl sebagai bilangan tak berdimensi yang merupakan perbandingan antara viskositas kinematik dengan difusivitas termal. Dalam kasus perpindahan kalor, Pr menentukan ketebalan relatif dari lapisan batas *hidrodinamik* dan *thermal boundary layer*.

Persamaannya yaitu :

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} \quad (2.50)$$

ν = viskositas kinematik

α = difusivitas termal

Nilai tipikal dari Pr adalah sebagai berikut :

1. 0,7 untuk udara dan gas
2. 100 dan 40000 untuk oli mesin
3. 4 dan 5 untuk R-12

2.11.3 Bilangan Schmidt

Bilangan Schmidt adalah bilangan tak berdimensi yang merupakan perbandingan antara viskositas kinematik dengan difusivitas massa. Digunakan untuk menentukan karakter aliran fluida bila ada momentum secara simultan dan difusi massa selama proses konveksi.

Persamaannya yaitu :

$$Sc = \frac{\nu}{D} \quad (2.51)$$

ν = viskositas kinematik

D = difusivitas massa

2.11.4 Bilangan Nusselt

Bilangan Nusselt merupakan bilangan yang menggambarkan karakteristik proses perpindahan panas^[11]

$$Nu_x = \frac{hx}{k} \quad (2.52)$$

$$Nu_d = 0.023Re_d^{0.8} Pr^n \quad \text{Untuk aliran berkembang penuh}$$

h = koefisien perpindahan panas [W/(m² C)]

k = konduktivitas panas udara [W/(m C)]

2.11.5 Bilangan Sherwood

Bilangan Sherwood merupakan bilangan yang menggambarkan gradien konsentrasi yang terjadi pada permukaan^[12].

$$Sh = \frac{k_c \cdot L}{D_{AB}} \quad (2.53)$$

2.11.6 Bilangan Lewis

Bilangan Lewis merupakan perbandingan antara difusivitas termal dan difusivitas massa, bermanfaat untuk menentukan karakteristik aliran fluida dimana terjadi perpindahan kalor dan perpindahan massa secara simultan yang disebabkan oleh konveksi.

$$Le = \frac{\alpha}{D_{AB}} \quad (2.54)$$

$$Le = \frac{Sc}{Pr} \quad (2.55)$$

2.12 Persamaan Ranz-Marshall

Persamaan Ranz-Marshall diperkenalkan pertama kali oleh Ranz W E & Marshall W R, Jr. pada tahun 1953, merupakan analogi (hubungan) perpindahan massa dengan perpindahan kalor. Analogi ini mempunyai persyaratan bilangan Lewis $Le \left(\frac{Sc}{Pr} \right)$ bernilai satu^[13] dan nilai $Re \leq 200$.

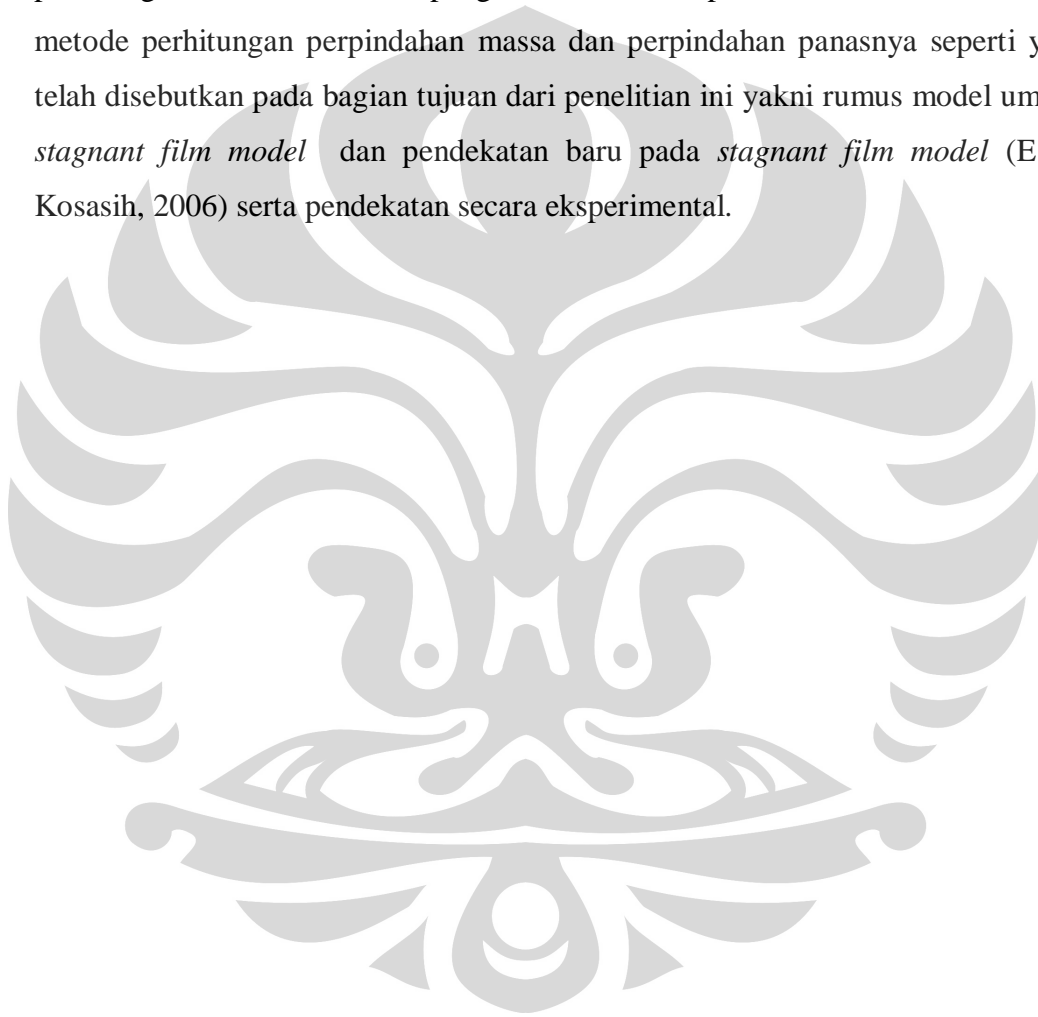
Berikut adalah pers. Ranz-Marshall :

$$Nu = 2 + 0,6 Re^{1/2} Pr^{1/3} \quad (2.56)$$

Sehingga dengan analogi untuk perpindahan massa berlaku :

$$Sh = 2 + 0,6 Re^{1/2} Sc^{1/3} \quad (2.57)$$

Kedua persamaan ini akan digunakan sebagai dasar dalam menyelesaikan perhitungan untuk melakukan pengolahan data dan proses analisa untuk keempat metode perhitungan perpindahan massa dan perpindahan panasnya seperti yang telah disebutkan pada bagian tujuan dari penelitian ini yakni rumus model umum, *stagnant film model* dan pendekatan baru pada *stagnant film model* (E. A. Kosasih, 2006) serta pendekatan secara eksperimental.



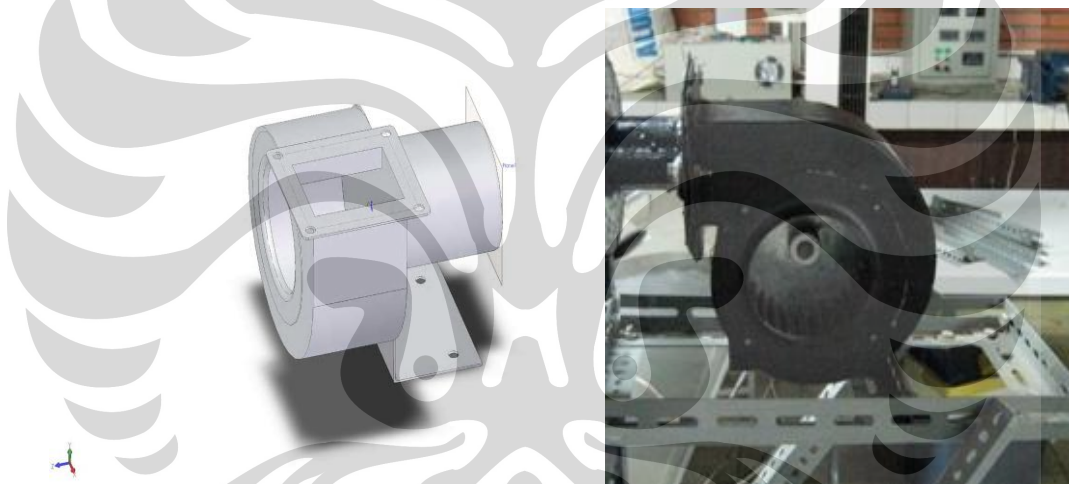
BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Komponen Sistem

3.1.1 Blower

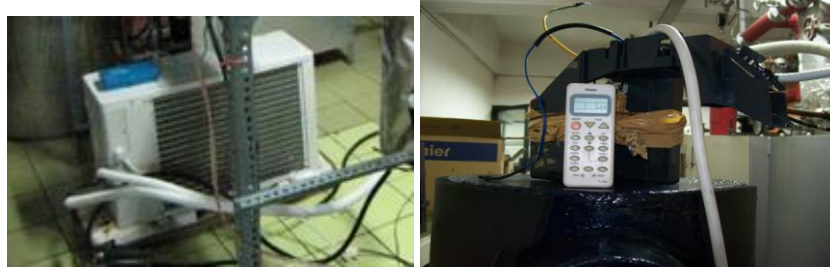
Digunakan untuk mendorong udara agar dapat masuk ke sistem. Tipe yang dipakai adalah *blower* sentrifugal, dengan debit $400 \text{ m}^3/\text{jam}$. Blower ini dipasang sebagai penghasil kecepatan aliran pada sistem, sedangkan untuk mengatur kecepatan aliran tersebut akan digunakan inverter yang akan dijelaskan di sub-bab berikutnya. Dibawah ini adalah gambaran bentuk dari blower yang akan digunakan pada sistem



Gambar 3.1 *Blower*

3.1.2 Air Conditioner

Air Conditioner berfungsi untuk mengkondensasikan uap yang terbentuk pada tabung reaktor selama proses throttling berlangsung. Bagian evaporator AC ini diletakkan pada tabung 2, sedangkan bagian kondensornya tetap diletakkan diluar untuk melepaskan panas ke udara luar. Kontrol temperatur untuk AC ini tetap dipasang, sehingga tetap dapat dilakukan perubahan setting suhu.



Gambar 3.2 Air Conditioner Dan Controller-nya

3.1.3 Tabung Dehumidifier

Tabung Dehumidifier berfungsi sebagai tempat pengkondensasian uap yang terbentuk selama proses ekspansi berlangsung. Sebuah evaporator AC dimasukkan pada tabung kedua dengan diberikan dudukan agar tidak bergerak sekaligus mengarahkan uap yang mengalir agar hanya melalui evaporator itu saja. Lubang masuk yang dihubungkan dengan pompa vakum sengaja diletakan dibagian bawah evaporator dengan alasan agar fluida uap tidak terhisap keluar tabung, selain itu juga menjadi catatan disini bahwa diharapkan tekanan pada tabung kedua menjadi sedikit lebih rendah dari tabung pertama agar uap pada tabung pertama dapat mengalir ke tabung kedua.

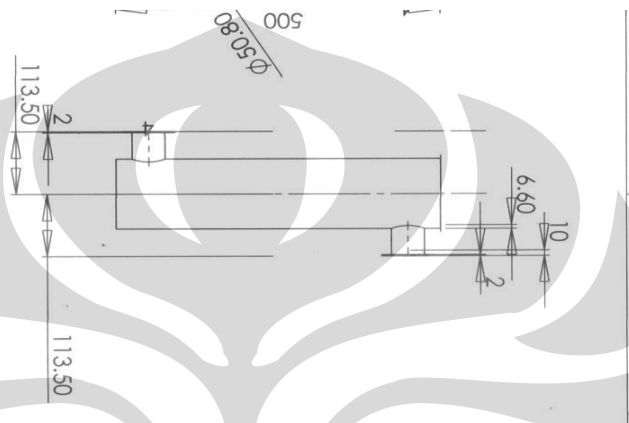
Kedua tabung dibuat dari pelat baja setebal 2 mm yang dibentuk menyerupai tabung kemudian bagian luarnya dibungkus dengan bahan "thermafleks" (biasa digunakan pada pembungkus pipa AC) agar temperatur lingkungan tidak mempengaruhi temperatur dalam tabung.



Gambar 3.3 Tabung Dehumidifier

3.1.4 Heater

Untuk memberikan panas ke udara yang dialirkan ke tetesan maka dipasang *heater*. Daya maksimal yang dapat dicapai oleh heater adalah 3 kW, pada tegangan 220 VAC. Pada outlet *heater* dipasang termokopel sebagai *feedback* ke *Digital Controller* agar temperatur yang dihasilkan oleh heater dapat terukur dan dapat dilakukan penyesuaian dengan temperature yang diinginkan.



Gambar 3.4 Skema *Heater*

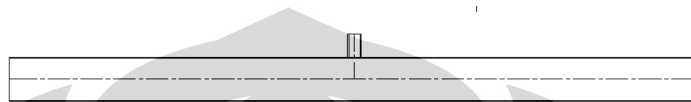


Gambar 3.5 *Heater*

3.1.5 Pyrex

Test Section berupa pipa pyrex. Pyrex memiliki diameter dalam 98 mm dan panjang 1500 mm. Pipa pyrex ini dipilih karena kemampuan menahan

panasnya cukup tinggi sehingga pada saat dialirkan udara panas sebagai media penguapan pada pipa pyrex tersebut diharapkan tidak menimbulkan kerusakan serta tidak menimbulkan gangguan pada saat melakukan pengambilan data uji. Untuk skema pada pipa pyrex dapat terlihat pada gambar dibawah ini, pada skema tersebut terlihat di tengah – tengah pyrex dibentuk lubang yang berfungsi untuk memasukkan suntikan dan *wire-probe thermocouple*. Pada lubang inilah yang dijadikan tempat untuk meletakkan sampel uji yang akan diuapkan.



Gambar 3.6 Pyrex

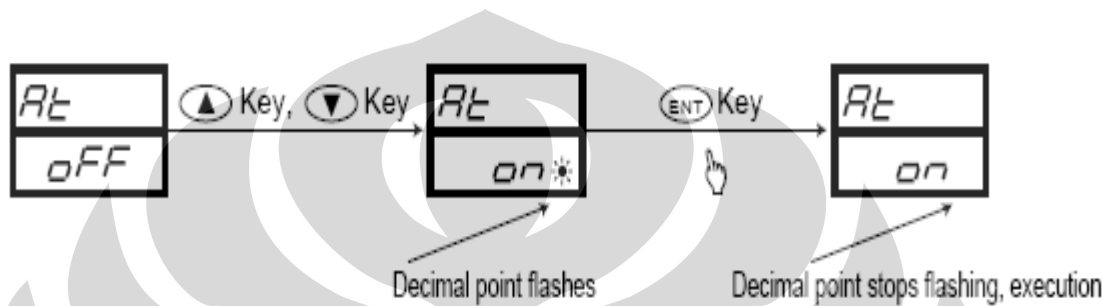
3.1.6 Digital controller.

Komponen ini akan digunakan untuk mempermudah proses menstabilkan kondisi *heater* pada kondisi temperatur yang diinginkan dengan proses *auto-tuning* yang terintegrasi. Selain untuk membantu *heater* mencapai kondisi stabil, komponen ini juga digunakan untuk mengatur kerja dari heater agar tidak *over heat* pada saat melakukan proses pengujian, sehingga heater dapat bekerja dalam jangka waktu yang lama. Dibawah ini adalah skema dari digital Controller yang digunakan dengan merk SHIMADEN SR94



Gambar 3.7 Digital controller

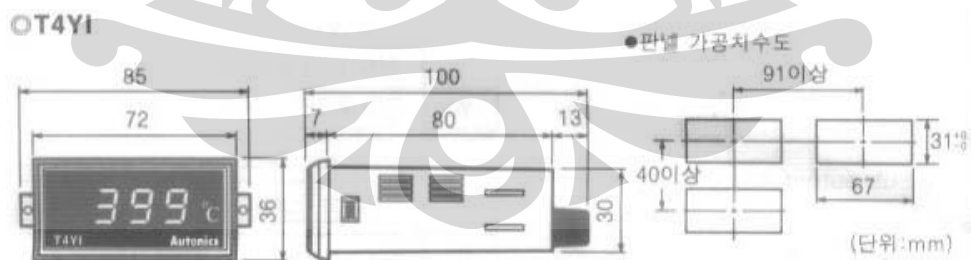
Proses penyesuaian dengan menggunakan digital controller ini dilakukan secara otomatis pada mode *auto tuning*, yakni controller itu akan bekerja menstabilkan temperature sesuai dengan kondisi yang diinginkan, dengan menyesuaikan input tegangan yang diatur menggunakan sistem PID controller sehingga penyesuaian akan dilakukan secara perlahan. Oleh karena itu, prosesnya akan membutuhkan waktu yang lebih lama karena harus menyesuaikan dengan suhu yang diinginkan. Berikut ini skema pengaturan dengan mode *auto tuning*



Gambar 3.8 Skema Auto Tuning

3.1.7 Temperature display.

Komponen ini akan dihubungkan dengan *Wire probe thermocouple*, sehingga temperatur tetesan pada setiap aliran panas yang melaluinya dapat terukur. Untuk komponen ini akan menggunakan merk Autonics T4YI 220 VAC. *Display* ini hanya menampilkan pembacaan suhu dari *wire probe thermocouple*, tidak bisa mengatur suhu seperti *digital controller*.

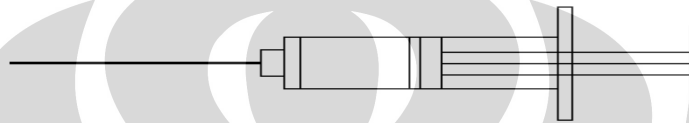


Gambar 3.9 Temperature display

3.1.8 Alat suntik

Untuk membentuk tetesan maka diperlukan alat bantu berupa suntikan dan *wire-probe thermocouple*. Suntikan yang digunakan adalah jenis *spinal needle 23*,

yang memiliki dimensi dengan panjang 90 mm dan diameter suntikan 0.6 mm. Jenis suntikan ini dipilih karena mempunyai panjang yang mencukupi untuk diletakan di pyrex yang mempunyai diameter 98 mm. Alat suntikan ini berfungsi untuk memasukkan fluida cair yang akan diukur dimensi dan suhunya. Saat suntikan yang sudah diisi fluida cair ditekan, maka pada ujung jarum akan membentuk tetesan, sehingga tetesan ini akan jatuh pada *wire-probe thermocouple* kemudian temperature tetesan dapat terukur dan bentuk tetesan dapat terlihat.

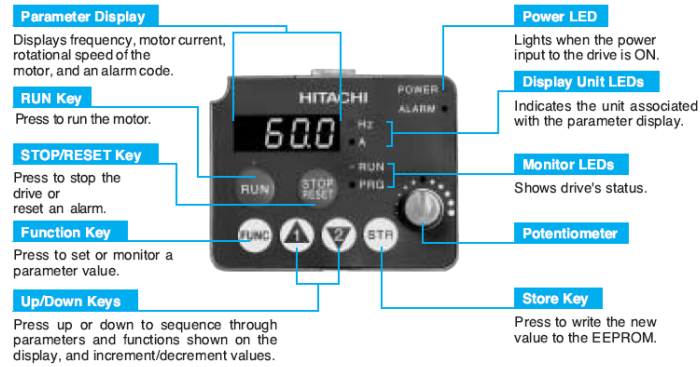


Gambar 3.10 Alat suntik

3.1.9 Inverter

Komponen inverter ini digunakan untuk mendapatkan variasi kecepatan udara dari blower. Proses untuk mendapatkan variasinya adalah dengan cara mengatur frekuensi listrik yang masuk ke *blower* dari frekuensi tegangan rendah sampai batas frekuensi tegangan PLN yang ditampilkan dengan pengaturan frekuensi (hertz), sehingga putaran *blower* bisa diatur. Sebagai batas pengaturan dari inverter ini berkisar antara nilai 0 s/d 50 Hz. Tetapi yang harus diperhatikan pada saat melakukan pengaturan adalah *inverter* ini membutuhkan waktu pada saat menetapkan suatu frekuensi pengaturan, jadi setelah menetapkan frekuensi pengaturan jangan langsung digunakan untuk melakukan pengujian tapi harus ditunggu beberapa saat agar kondisinya mencapai stabil.

Untuk lebih jelasnya mengenai inverter ini, dapat terlihat pada gambar berikut ini



Gambar 3.11 Display *Inverter* SJ200

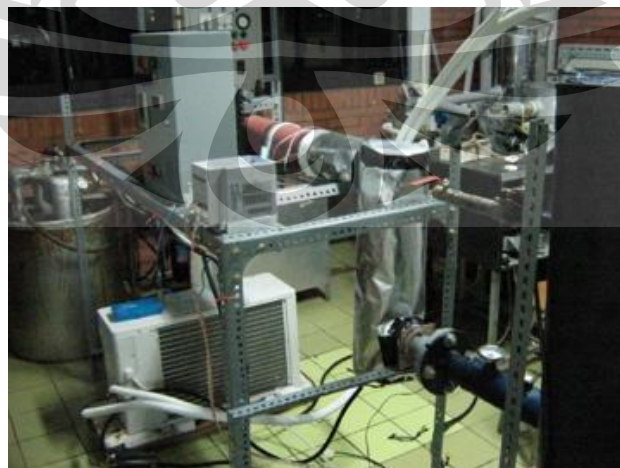
Spesifikasi Inverter :

- Tipe : AC Drivers
- Merk : Hitachi, SJ200
- Range : 0.75 kW (220 VAC)

Inverter tersebut bisa mengatur frekwensi tegangan input ke *blower* dengan ketelitian 0.1 Hz pada temperatur kerja ($25^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$).

3.2 Prosedur Kalibrasi Dan Pengambilan Data

Data yang diperoleh adalah dimensi tetesan yang dimasukkan ke *pyrex* melalui suntikan. Ada beberapa tahapan sebelum akhirnya memperoleh dimensi tetesan. Penjelasannya dapat dilihat pada sub-bab berikut.



Gambar 3.12 Sistem pengujian

3.2.1 Kalibrasi Kecepatan

Langkah awal sebelum melakukan pengambilan data adalah melakukan kalibrasi kecepatan pada posisi tetesan. Tahapan - tahapannya sebagai berikut :

1. Mengukur diameter dalam *pyrex*, dari pengukuran tersebut didapat diameter *pyrex* sebesar 98 mm, kemudian ditentukan titik tengah dari *pyrex* tersebut (pada posisi tetesan / lubang pada *pyrex*).
2. *Blower* dihidupkan dengan mengatur frekuensi pada *inverter*.
3. *Heater* dihidupkan dan diatur pada temperatur 30°C ditunggu sampai keadaan menjadi tunak.
4. Meletakkan *hot wire anemometer* di posisi tetesan (lubang pada *pyrex*).
5. Frekuensi pada *inverter* diatur dengan variasi 7 Hz; 10 Hz; 15 Hz. Harus ditunggu sampai 3 menit untuk memberikan waktu pada *blower* agar dapat berputar dengan stabil.
6. Pada posisi tetesan dan variasi diatas, didapatkan pembacaan kecepatan pada *hot wire anemometer*.
7. Lakukan langkah 3 sampai 6 dengan temperatur 40°C, dan 50°C.

3.2.2 Pengambilan Data Foto

Pengambilan data dimensi tetesan dengan melakukan mengambil foto tetesan pada selang waktu tertentu. Langkah – langkahnya sebagai berikut :

1. Temperatur bola basah (*twb*) dan bola kering (*tdb*) dicatat sebelum melakukan penelitian.
2. Meletakkan kamera digital berikut *tripod* di depan *test section*, lalu posisi kamera diatur dengan sudut pencahayaan lampu dan menetapkan agar didapatkan gambar yang lebih jelas, kemudian mengatur *zoom* dan fokus yang diupayakan sampai pada kemampuan maksimalnya agar gambar tersebut dapat terlihat pada pixel yang besar sehingga diharapkan kesalahan pada pixelnya lebih kecil. Kemudian layar kamera digital dihidupkan, sehingga terlihat gambar ujung jarum dan *wire probe thermocouple*.



Gambar 3.13 Posisi jarum dan tetesan

3. Menghidupkan *blower* yang langsung dihubungkan dengan *inverter* dan mengatur kecepatan putarannya melalui frekuensi pada *inverter*, kecepatan *blower* yang menghasilkan aliran diatur dengan menetapkan frekuensi pada *inverter*.



Gambar 3.14 Panel Sistem Listrik

4. *Heater* dihidupkan dan dengan mode *auto tuning setup* melalui *digital controller* temperatur *heater* akan diatur mencapai kondisi yang diinginkan. Range temperatur yang akan dicapai untuk proses pengambilan data adalah : 50, 75, 100 dan 150°C.

5. Setelah temperatur *digital controller* menunjukkan angka yang relatif konstan sesuai dengan temperatur yang diinginkan, maka suntikan ditekan sampai terbentuk tetesan yang baik.



Gambar 3.15 Tetesan

6. Menekan *shutter* kamera digital dengan interval 3 kali pada interval waktu 0 sekon, 10 sekon dan 20 sekon untuk mengamati saat tetesan mulai mengecil, catat penunjukan suhu pada *wire probe-thermocouple display* sebagai temperatur tetesan pada saat pengujian dan kemudian catat juga waktu pengambilan foto yang ada di kamera digital.
7. Mengulangi langkah nomor 2 sampai dengan 6 untuk variasi frekuensi 7; 10; dan 15 Hz.
8. Mengulangi langkah nomor 2 sampai dengan 7 untuk variasi temperatur 50, 75, 100 dan 150 °C.

3.2.3 Pengolahan Foto

Setelah diperoleh data dalam bentuk foto digital, maka selanjutnya dilakukan pengolahan data untuk memperoleh dimensi tetesan. Pengolahan data menggunakan *software paint* untuk mengukur panjang, lebar dan diameter dari tetesan (*droplet*). Langkah kerja sebagai berikut :

- Tahapan kalibrasi
 1. Melakukan proses foto pada "mata bor" dengan ukuran 2 mm
 2. Proses foto dilakukan dengan memaksimalkan kemampuan dari kamera digital (pada kondisi *zoom* maksimal)

3. Setelah mendapatkan gambar, kemudian dilakukan *image processing* dengan *software paint* untuk mendapatkan besaran *pixel* dari gambar "mata bor" tersebut.
4. Setelah didapatkan besaran *pixel*, selanjutnya tinggal membagi ukuran nyata dari "mata bor" dalam satuan milimeter (mm) dengan besaran *pixel* dari hasil *image processing* dan dicari nilai rata – ratanya dari keempat variasi tersebut. Sehingga akan didapatkan konversi $1 \text{ pixel} = 0.01667535 \text{ mm}$
 - Tahapan pengolahan foto tetesan (*droplet*)
 1. Membuka file gambar dengan menggunakan *software Paint*.
 2. Setelah file terbuka, dilakukan pembesaran bidang *droplet*. Kemudian dilakukan pengaturan skala untuk memperjelas batas yang akan dipilih.
 3. Setelah ditentukan batasnya, pada *software* tersebut akan dapat terlihat besaran *pixel* dari gambar tetesan (*droplet*) yang sedang diolah
 4. Kemudian tinggal mencatat besaran *pixel* untuk lebar dan panjang dari gambar tetesan (*droplet*) tersebut dan langsung dikonversikan dengan hasil kalibrasi dari "mata bor" untuk mendapatkan ukurannya dalam satuan millimeter (mm).
 5. Menyimpan hasil pencatatan data dalam bentuk tabel excel agar dapat diolah dengan sistematis.

3.3 Pengolahan Data

Dalam melakukan proses analisa tentang fenomena yang terjadi untuk perpindahan massa (*mass transfer*) dan perpindahan panas (*heat transfer*) pada data yang telah diambil akan menggunakan empat metode perhitungan yakni rumus model umum, *stagnant film model* dan pendekatan baru pada *stagnant film model* (E. A. Kosasih, 2006) serta pendekatan secara eksperimental. Dari keempat metode diatas mempunyai ciri khasnya masing – masing sesuai dengan faktor – faktor apa saja yang dapat berpeengaruh pada masing – masing metode perhitungan. Untuk lebih jelasnya dapat terlihat pada penjelasan berikut ini:

Mengambil satu contoh perhitungan data :

1. Frekuensi *inverter* = 7 Hz

2. Waktu pengambilan foto pada = 20 detik., $T_{udara} = T_{db'} = 50.5$, $T_{tetesan} = 32.5$ °C.
3. Dari hasil pengukuran diperoleh dimensi droplet :
 - Lebar = 1.75mm
 - Tinggi = 2.16mm

Selanjutnya bisa dilakukan langkah-langkah analisa perhitungan sebagai berikut :

1. Menghitung r (jari-jari rata-rata tetesan)

$$r = \frac{\left(\frac{d_{Lebar}^3 + d_{Tinggi}^3}{2} \right)^{1/3}}{2000}$$

$$r = \frac{\left(\frac{1.75^3 + 2.16^3}{2} \right)^{1/3}}{2000}$$

$$r = 9,9 \times 10^{-4} m$$

2. Menghitung jari – jari tengah tetesan.

$$r_t = \frac{r_1 + r_2}{2}$$

$$r_t = \frac{0,00105 + 0,00101}{2}$$

$$r_t = 0,00103 m$$

3. Menghitung A_{bola} tetesan.

$$A = 4\pi r^2$$

$$A = 4\pi(10,3 \times 10^{-4})^2$$

$$A = 1,33 E^{-5} m^2$$

4. Menghitung $Vol_{tetesan}$

$$V = 4/3\pi r^3$$

$$V = 4/3\pi(10,3 \times 10^{-4})^3$$

$$V = 4 E^{-9} m^3$$

5. Menghitung $-\frac{dr}{dt}$ dan $-\frac{dV}{dt}$

Menggunakan data pengambilan pada waktu 20 detik, pada suhu heater dan ketinggian manometer yang sama yaitu : (dari lampiran 6)

$$\begin{aligned} r_1 &= 10,5 E^{-4} \text{ m}, & r_2 &= 10,1 E^{-4} \text{ m} & \text{Vol}_{\text{tetesan2}} &= 4,03 E^{-9} \text{ m}^3 \\ s_1 &= 20 \text{ detik}, & s_2 &= 40 \text{ detik} & \text{Vol}_{\text{tetesan1}} &= 4,514 E^{-9} \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\frac{-dr}{dt} = \frac{r_2 - r_1}{t_2 - t_1}$$

$$\frac{-dr}{dt} = \frac{10,1E^{-4} - 10,5E^{-4}}{40 - 20}$$

$$\frac{-dr}{dt} = 1,9E^{-6} \text{ m/s}$$

$$\frac{-dV}{dt} = \frac{V_2 - V_1}{t_2 - t_1}$$

$$\frac{-dV}{dt} = \frac{4,03E^{-9} - 4,514E^{-9}}{40 - 20}$$

$$\frac{-dV}{dt} = 2,42E^{-11} \text{ m}^3/\text{s}$$

6. Menghitung $-\frac{dm}{dt}$ (laju aliran massa terhadap waktu)

ρ_{air} pada suhu $32,5^\circ\text{C} = 967,56 \text{ kg/m}^3$ hasil interpolasi dengan menggunakan tabel pada lampiran 5.

$$\frac{-dm}{dt} = \rho \cdot \frac{-dV}{dt}$$

$$\frac{-dm}{dt} = 967,56 \times 2,42E^{-11}$$

$$\frac{-dm}{dt} = 2,34E^{-08} \text{ kg/s}$$

7. Menghitung N

$$N = \frac{-dm/dt}{18.A}$$

$$N = \frac{2,34E^{-08}}{18 \times 1,15E^{-05}}$$

$$N = 10,21E^{-05} \text{ kmole/s.m}^2$$

8. Menghitung Q konveksi

$$Q_{konveksi} = \rho \frac{V_1 - V_2}{\Delta t} hfg$$

$$Q_{konveksi} = 967,56 \frac{(4,514E^{-09} - 4,03E^{-09})}{20} 2424,5998$$

$$Q_{konveksi} = 5,68E^{-05} \text{ watt}$$

9. Menghitung h :

$$h = \frac{Q_{konveksi}}{A.(T_u - T_d)}$$

$$h = \frac{5,68E^{-05}}{1,33E^{-05} \times (323,5 - 305,5)}$$

$$h = 247,765 \text{ W/m}^2 \cdot K$$

10. Menghitung bilangan Reynolds :

Untuk nilai ν (nu) didapat dari tabel pada lampiran 2, dengan interpolasi.

Untuk nilai kecepatan U (pada hotwire) pada posisi tetesan, didapat dari kalibrasi

$$Re = \frac{u.d}{\nu}$$

$$Re = \frac{1 \times 10,3E^{-04} \times 2}{1,71535E^{-05}}$$

$$Re = 118,36$$

11. Menghitung bilangan Schmidt

$$Sc = \frac{v}{D_{AB}}$$

$$Sc = \frac{1,7153E^{-05}}{2,94453E^{-05}}$$

$$Sc = 5,825E^{-01}$$

12. Menghitung $Re^{1/2}Sc^{1/3}$:

$$= Re^{1/2} Sc^{1/3}$$

$$= 118,36^{1/2} \times 0,5825^{1/3}$$

$$= 9,09$$

13. Menghitung $Re^{1/2}Pr^{1/3}$:

Diperoleh $Pr = 0.7$ dari lampiran 2.

$$= Re^{1/2} \cdot Pr^{1/3}$$

$$= 118,36^{1/2} \times 0,7^{1/3}$$

$$= 9,68$$

14. Menghitung bilangan Nusselt.

$$Nu = \frac{hd}{k}$$

$$Nu = \frac{247,765 \times 10,3E^{-04} \times 2}{0,0274}$$

$$Nu = 18,23$$

15. Menghitung kc , sebagai salah satu syarat menghitung bilangan Sherwood.

Rumus untuk menghitung kc adalah :

$$k_c = \frac{Nx(1-x_0)}{Cx(x_0-x_{inf})}$$

Langkah pertama mencari x_0 :

Tekanan uap (P_v) pada temperatur droplet 32.5°C adalah $4,868\text{E}^{03}$ Pa (interpolasi) dari tabel H_2O jenuh pada lampiran 4.

Pudara = 1 atm = 101325

Sehingga :

$$x_0 = \frac{P_v}{P_{udara}}$$

$$x_0 = \frac{4,868\text{E}^{03}}{101325}$$

$$x_0 = 4,83\text{E}^{-02}$$

Langkah kedua mencari x_∞

Pada saat pengambilan data, penggunaan ac telah membuat RH menjadi 100%.

$T_{ac} = 287.4^\circ\text{K}$

Dari software psikometrik diperoleh $\omega = 0.01$

$$x_\infty = \frac{\omega}{0,622 + \omega}$$

$$x_\infty = \frac{0,01}{0,622 + 0,01}$$

$$x_\infty = 0,0158227$$

Langkah ketiga menghitung C

$T_{infinite}$ adalah : 323°K

C diperoleh dari :

$$C = \frac{n}{V} = \frac{P}{RT}$$

$$C = \frac{101325}{8314,5 \times 323}$$

$$C = 3,77\text{E}^{-02} \text{ kmol/m}^3$$

Setelah diketahui nilai semuanya maka nilai k_c bisa dihitung:

$$k_c = \frac{Nx(1 - x_0)}{Cx(x_0 - x_\infty)}$$

$$k_c = \frac{1,02E^{-05}x(1 - 4,83E^{-02})}{3,77E^{-02}x(4,83E^{-02} - 1,16E^{-02})}$$

$$k_c = 0,0801 [m/s]$$

16. Menghitung bilangan Sherwood.

dengan data $r_d = 9,9 E^{-04} [m]$

$k_c = 0,0801 [m/s]$

$Diffusivity = 2,94453E^{-05} [m^2/s]$

$$Sh = \frac{k_c \cdot d}{D}$$

$$Sh = \frac{0,0801x(9,9E^{-4}x2)}{2,94453E^{-05}}$$

$$Sh = 5,48$$

17. Menghitung bilangan Nusselt (pers. Ranz - Marshall) :

$$Nu = 2 + (0,6x Re^{1/2} \cdot Pr^{1/3})$$

$$Nu = 2 + (0,6x9,68)$$

$$Nu = 7,808$$

18. Menghitung bilangan Sherwood (pers. Ranz - Marshall) :

$$Sh = 2 + (0,6x Re^{1/2} \cdot Sc^{1/3})$$

$$Sh = 2 + (0,6x9,68)$$

$$Sh = 7,452$$

Dari langkah langkah diatas, maka dapat dibuat tabel dan grafik pada lampiran 7.

BAB 4

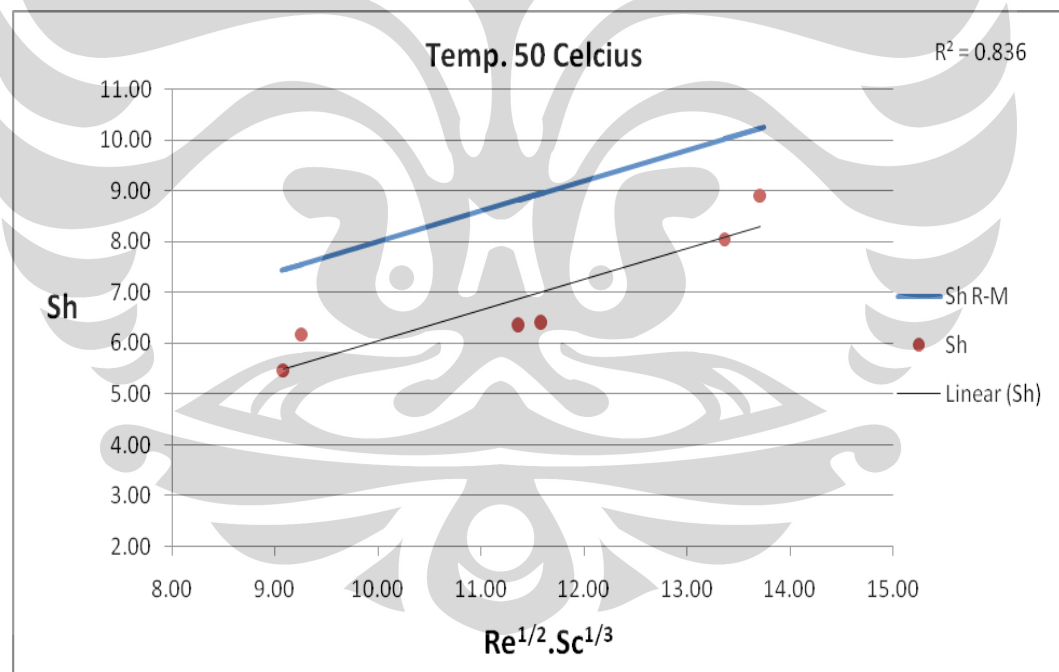
ANALISA DATA

4.1 Analisa Grafik

Setelah perhitungan diselesaikan sesuai langkah perhitungan pada bab 3, maka didapatkan hasil pada tabel lampiran 7 sehingga dapat dibuat grafik hubungan antara bilangan Sherwood hasil data penelitian dengan bilangan Sherwood analogi Ranz-Marshall dan grafik hubungan bilangan Nusselt hasil data penelitian dengan bilangan Nusselt analogi Ranz-Marshall dari cairan aquades murni.

Berikut adalah hasil grafik untuk bilangan Sherwood untuk aquades :

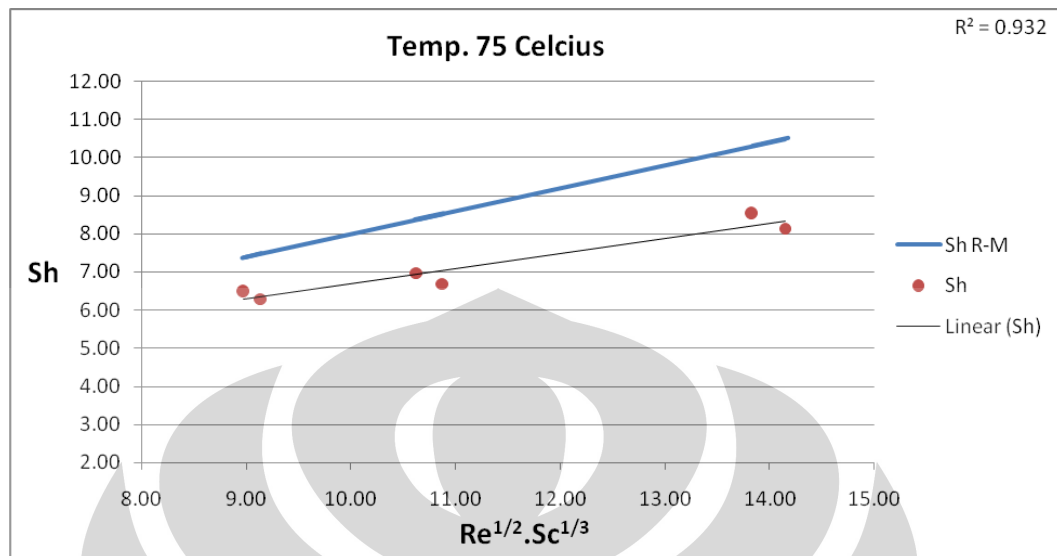
1. Untuk Temperatur 50 °C



Gambar 4.1 Grafik Sh vs R - M pada 50 °C

Diatas adalah grafik dari perhitungan pada bab 3, terlihat bahwa Sherwood data berada dibawah garis pers. Ranz-Marshall. Nilai yang didapat menyatakan bahwa perpindahan massa yang terjadi cukup besar. Nilai $Re^{1/2} \cdot Sc^{1/3}$ memiliki rentang antara 9 sampai dengan 13,7.

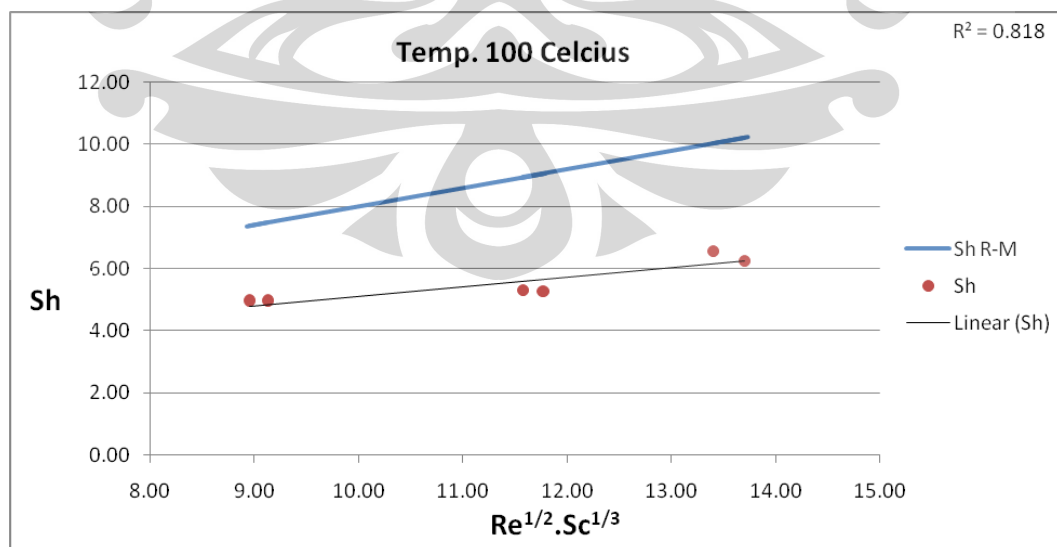
2. Untuk Temperatur 75 °C



Gambar 4.2 Grafik Sh vs RM pada 75 °C

Pada rentang suhu diatas terlihat posisi bilangan Sherwood, titik datanya masih dibawah garis bilangan Sherwood analogi Ranz Marshall. Dari data menyatakan perpindahan massa yang terjadi cukup besar , tetapi masih dibawah temperatur 50 °C. Nilai $Re^{1/2}.Sc^{1/3}$ antara 9.1 sampai dengan 14,1.

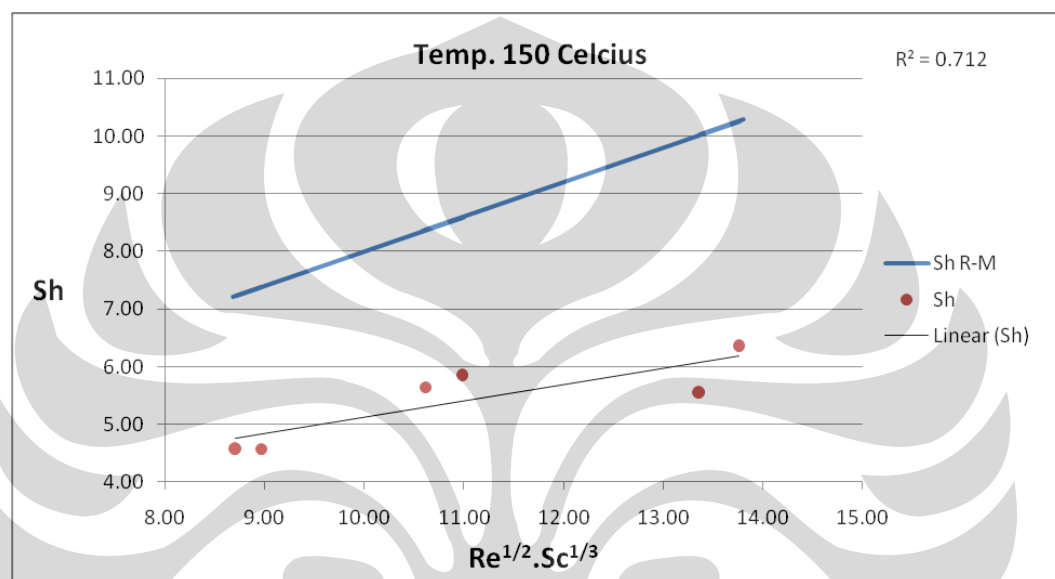
3. Untuk Temperatur 100 °C



Gambar 4.3 Grafik Sh vs RM pada 100 °C

Pada rentang suhu diatas terlihat bahwa dari nilai data pengujian range nilai sherwood –nya lebih rapat, dibanding temperatur yang lainnya , dan penyebaran data terlihat lebih merata, sehingga korelasinya kecil. Semua data berada dibawah garis analogi Ranz Marshall. Nilai $Re^{1/2}.Sc^{1/3}$ memiliki rentang antara 8,9 sampai dengan 13,7.

4. Untuk Temperatur 150 °C

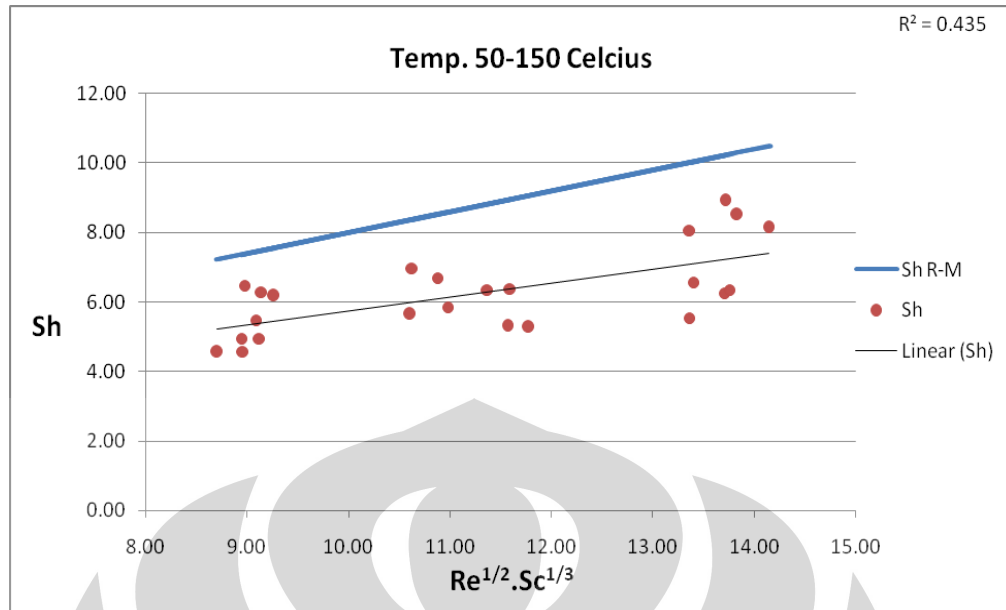


Gambar 4.4 Grafik Sh vs RM pada 150 °C

Terlihat pada grafik diatas titik-titik data menyebar lebih merata dan cukup rapat diatas bilangan Sherwood analogi Rantz Marshall. Perpindahan massa yang terjadi cukup merata dan cenderung naik. Nilai $Re^{1/2}.Sc^{1/3}$ memiliki rentang antara 8,7 sampai dengan 13,7.

5. Grafik gabungan dari temperatur 50 – 150 °C

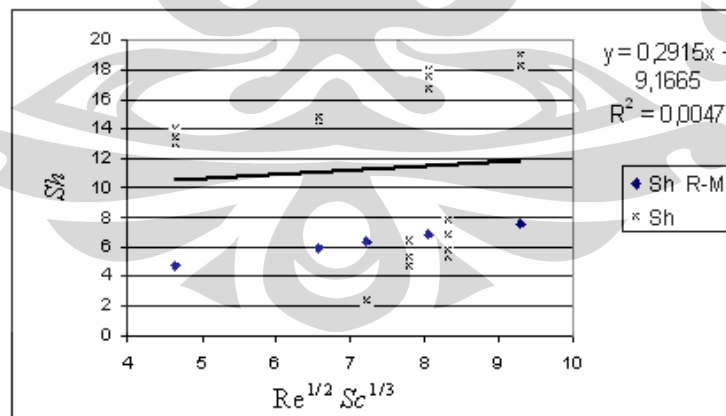
Pada rentang suhu diatas terlihat sebaran titik-titik data Sherwood lebih banyak berada dibawah garis bilangan Sherwood analogi Rantz Marshall dari 2 – 6.



Gambar 4.5 Grafik Sh vs RM pada 50 - 150 °C

Dapat dilihat bahwa tidak ada data yang mencolok, yang menyebar lebih tinggi dari yang lain. Seharusnya bila ada data yang tinggi ini terjadi pada temperatur rendah yaitu 50 °C dan 75°C, disebabkan karena pada temperatur ini laju perpindahan panasnya lebih kecil dari massanya.

Mengacu pada (Kosasih.EA, 2006)



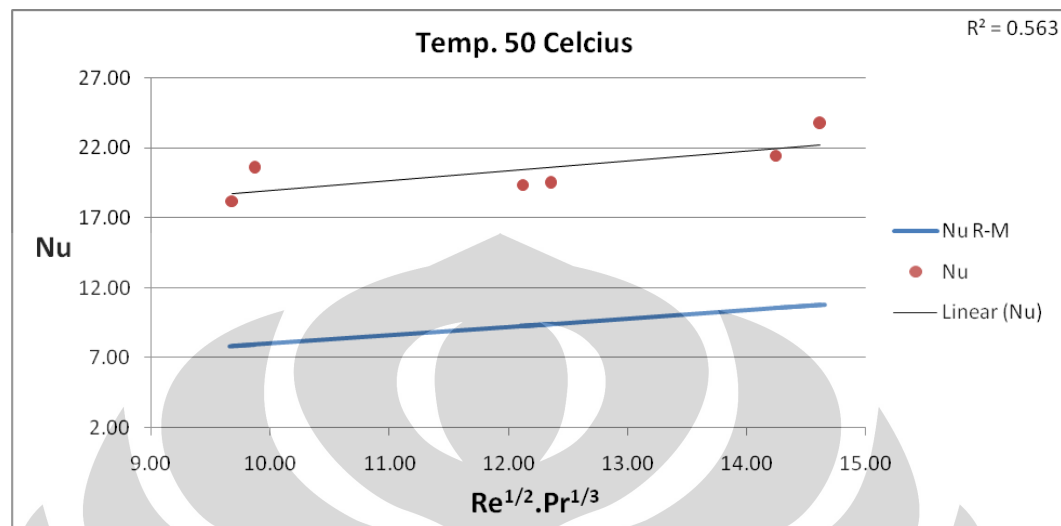
Gambar 4.6 Perbandingan *Sh* Ranz-Marshall dan *Sh* Data dari Walton (2004)

Terlihat juga bahwa data dari Walton juga berada di bawah garis, dan juga memperlihatkan korelasi yang sangat lemah.

Untuk bilangan Nusselt :

Berikut adalah grafik yang diperoleh :

1. Untuk Temperatur 50 °C

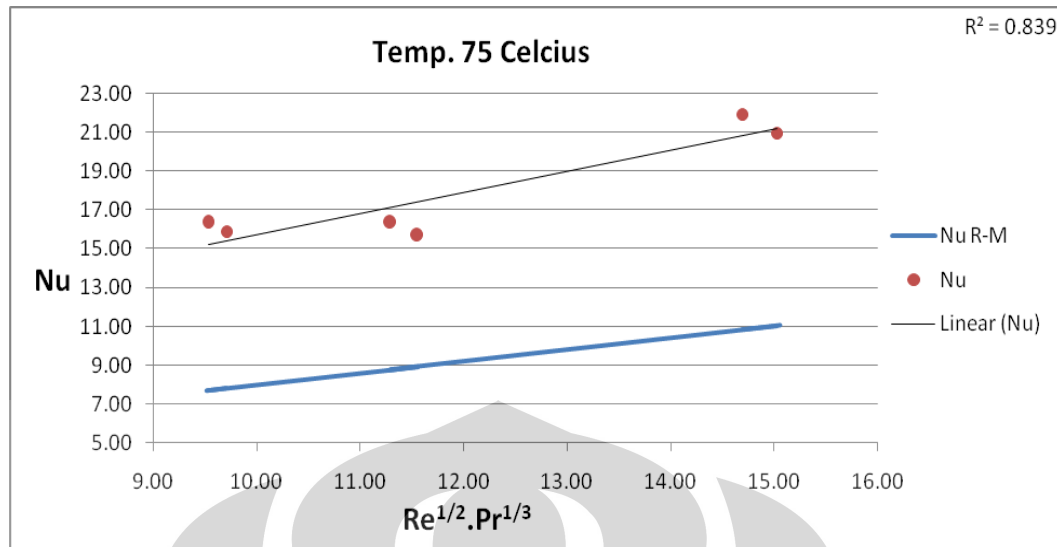


Gambar 4.7 Grafik Nu vs R-M pada 50 °C

Terlihat pada grafik Nusselt hasil data berada diatas garis bilangan Nusselt analogi Ranz Marshall. Dan garis regresinya hampir sejajar dengan garis analogi R – M, tetapi nilainya lebih tinggi dari nilai Sherwood nya. Nilai data Nu berada pada kisaran 18,2 – 23,7. Nilainya lebih rendah dari kisaran nilai Sherwood pada temperatur yang sama, sehingga laju perpindahan panasnya lebih rendah, karena laju perpindahan massa yang terjadi bukan hanya karena adanya aliran udara panas saja. Nilai $Re^{1/2}.Pr^{1/3}$ memiliki range antara 9,6 sampai dengan 14,6,.

2. Untuk Temperatur 75 °C

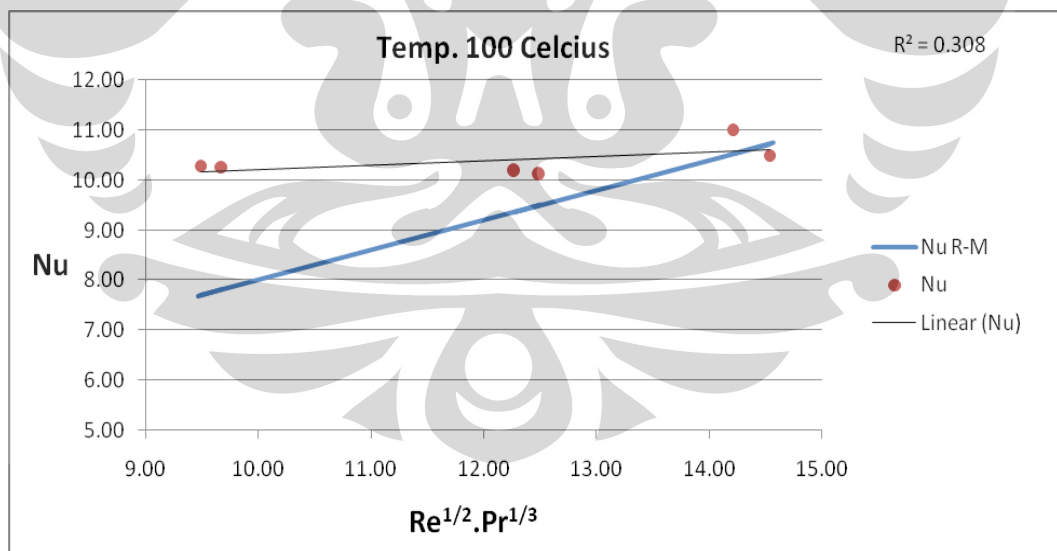
Terlihat pada grafik titik-titik data penyebarannya merata berada diatas garis bilangan Nusselt analogi Ranz Marshall. Nilai data Nu berada pada kisaran 15,3 – 21,9.



Gambar 4.8 Grafik Nu vs R-M pada 75 °C.

Pada temperatur ini energi yang dibutuhkan untuk menguapkan dan untuk memanaskan hampir sama. Nilai $Re^{1/2}.Pr^{1/3}$ memiliki rentang antara 9,5 sampai dengan 15.

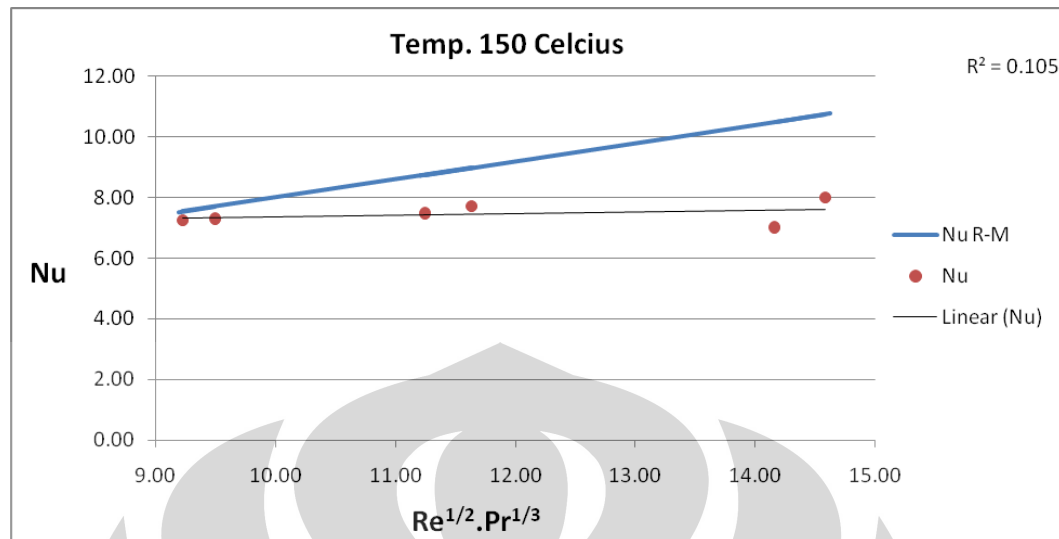
3. Untuk Temperatur 100 °C



Gambar 4.9 Grafik Nu vs R-M pada 100 °C

Terlihat pada grafik diatas data berada diatas garis bilangan Nusselt analogi Rantz Marshall dan penyebarannya lebih merata serta korelasinya cukup kecil. Nilai $Re^{1/2}.Pr^{1/3}$ memiliki rentang antara 9,4 sampai dengan 14,5.

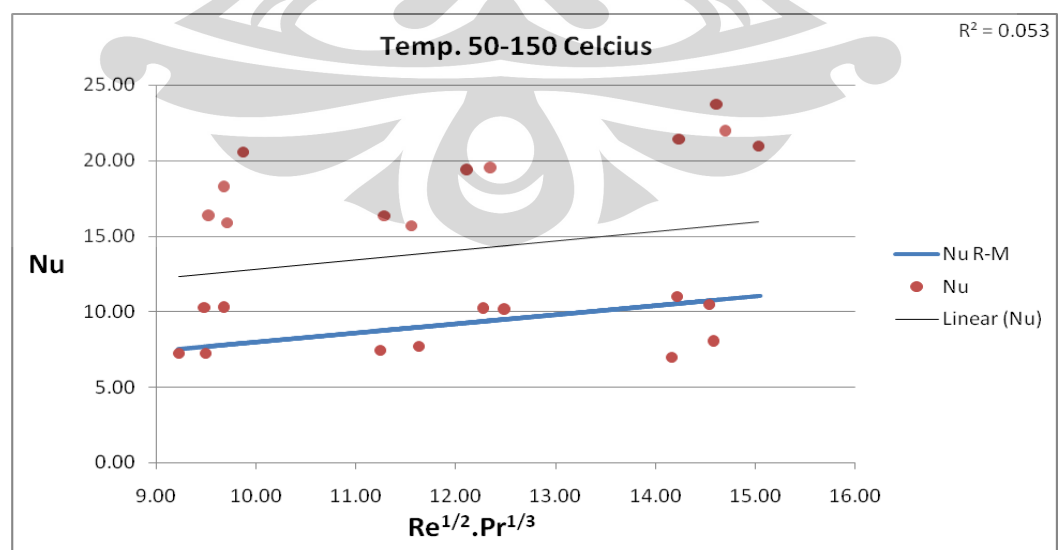
4. Untuk Temperatur 150 °C



Gambar 4.10 Grafik Nu vs R-M pada 150 °C.

Terlihat pada grafik diatas, titik-titik data Nu menyebar merata dan turun dibawah garis bilangan Nusselt analogi Rantz Marshall. Yang disebabkan oleh temperatur tinggi. Dari nilai data Nu berkisar antara 6,9 – 8, dengan rentang Reynolds yang hampir sama dengan Sherwood. Sehingga Perpindahan massa hampir sebanding dengan panasnya. Nilai $Re^{1/2}.Pr^{1/3}$ memiliki rentang antara 9,2 sampai dengan 14,5.

1. Untuk Temperatur 50 – 150 °C

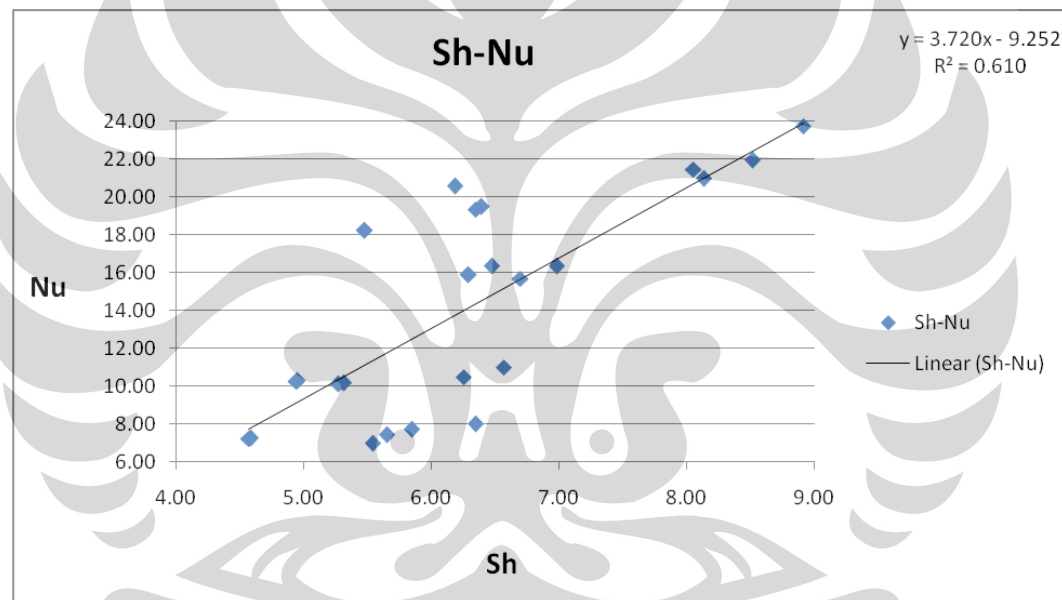


Gambar 4.11 Grafik Nu vs R-M pada 50 – 150 °C.

Pada rentang suhu diatas terlihat sebaran titik-titik data lebih banyak berkumpul diatas garis bilangan Nusselt analogi Rantz Marshall dengan cukup merata, sehingga peyebaran perpindahan panasnya juga cukup merata dari temperatur 50 sampai 100 °C, kecuali pada suhu 150°C. Pada suhu 150°C ada beberapa data yang terlihat berada dibawah garis bilangan Nusselt analogi Rantz Marshall. Korelasi tidak ditampilkan karena memiliki nilai yang cukup rendah, sama seperti grafik gabungan data Sherwood sebelumnya.

4.2 Analisa Perbandingan Grafik

4.2.1 Grafik Sh dan Nu



Gambar 4.12 Grafik Sh vs Nu.

Dapat dilihat perbedaannya pada grafik gabungan bilangan Sherwood vs Nusselt, nilai bilangan $Sh < Nu$, ini disebabkan karena perbedaan bilangan Lewis antara data yang didapat dengan bilangan Lewis analogi Rantz Marshall ($Le < 1$) yaitu 0,82 – 0,84. Korelasi tidak ditampilkan karena memiliki nilai yang rendah.

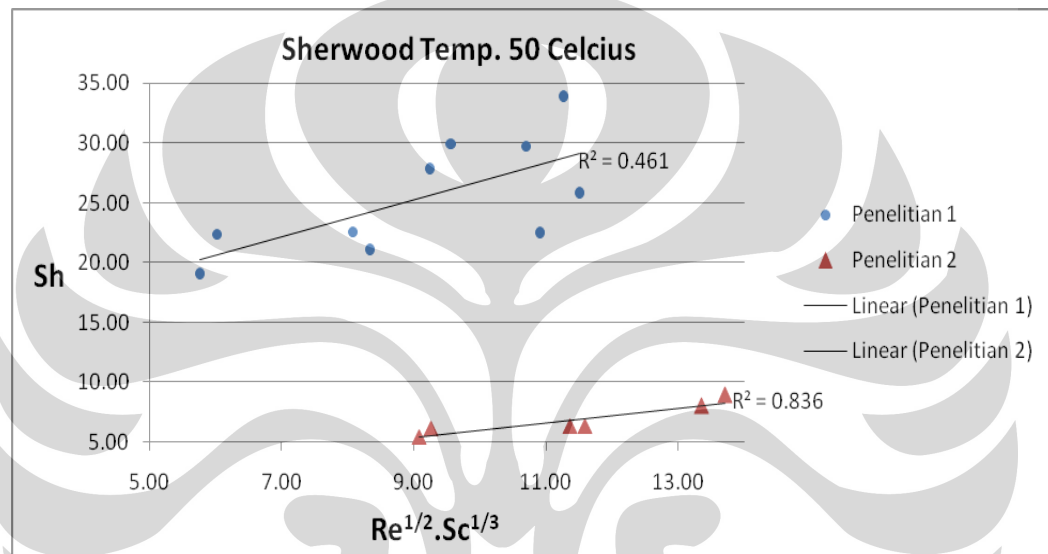
4.2.2 Perbandingan Dengan Penelitian Sebelumnya

Setelah didapatkan grafik yang dibutuhkan untuk data bilangan Sherwood dan Nusselt, maka dapat dibandingkan dengan grafik pada penelitian sebelumnya.

Perbandingan ini dilakukan untuk mengetahui perbedaan penelitian kali ini yang menggunakan penambahan *dehumidifier* dan *air conditioner* (penelitian 2) untuk menurunkan kelembabannya, dengan penelitian sebelumnya yang tanpa menggunakan *dehumidifier* dan *air conditioner* (penelitian 1).

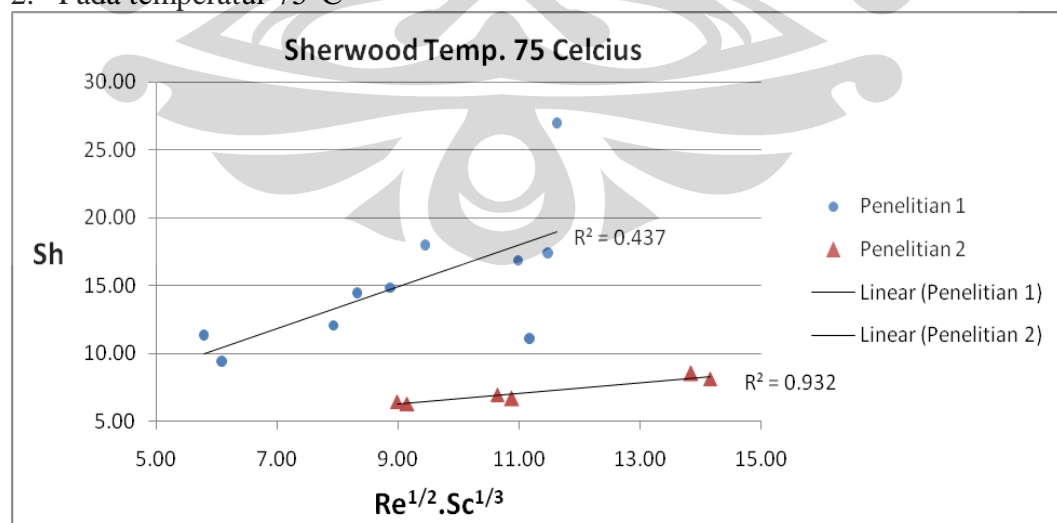
Berikut adalah grafik perbandingan nilai bilangan Sherwood di temperatur yang sama:

1. Pada temperatur 50°C



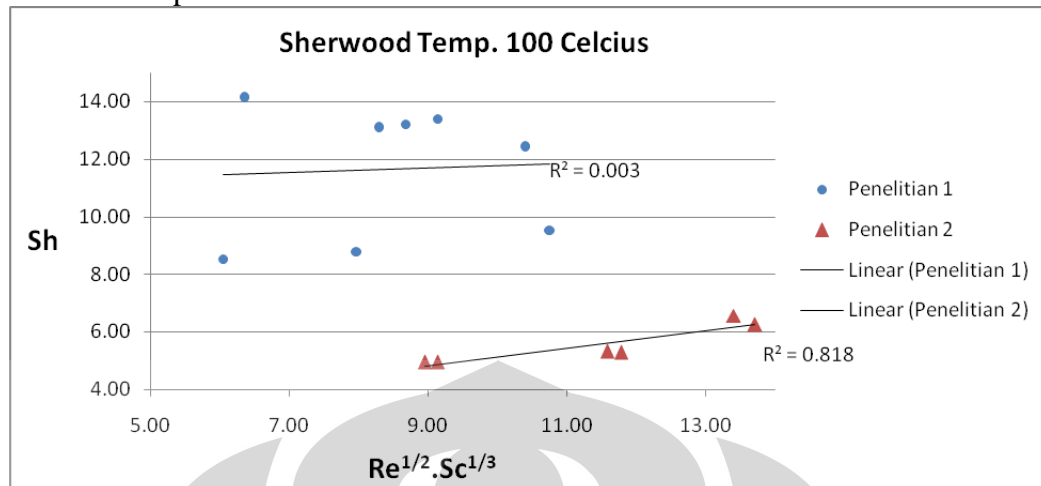
Gambar 4.13 Grafik Perbandingan Sh di temperatur 50°C

2. Pada temperatur 75°C



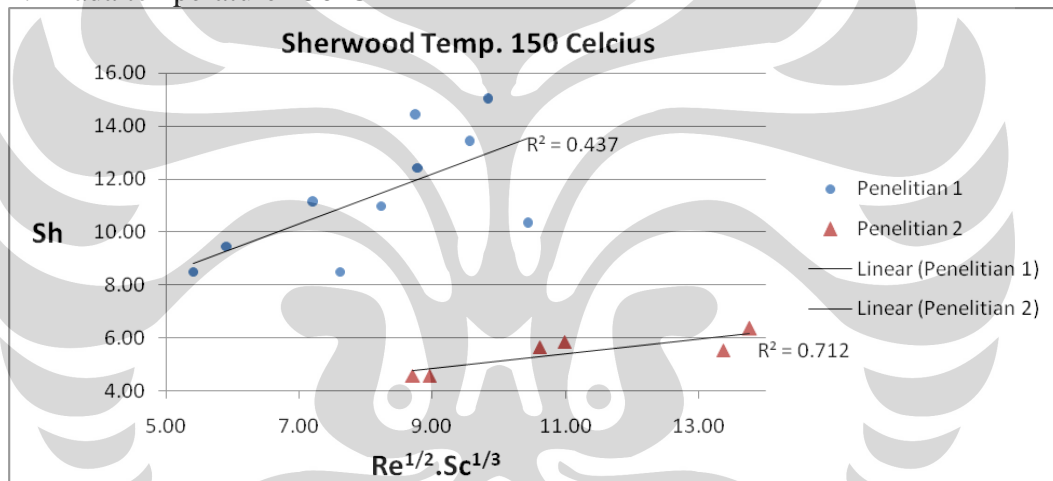
Gambar 4.14 Grafik Perbandingan Sh di temperatur 75°C

3. Pada temperature 100°C



Gambar 4.15 Grafik Perbandingan Sh di temperatur 100°C

4. Pada temperature 150°C

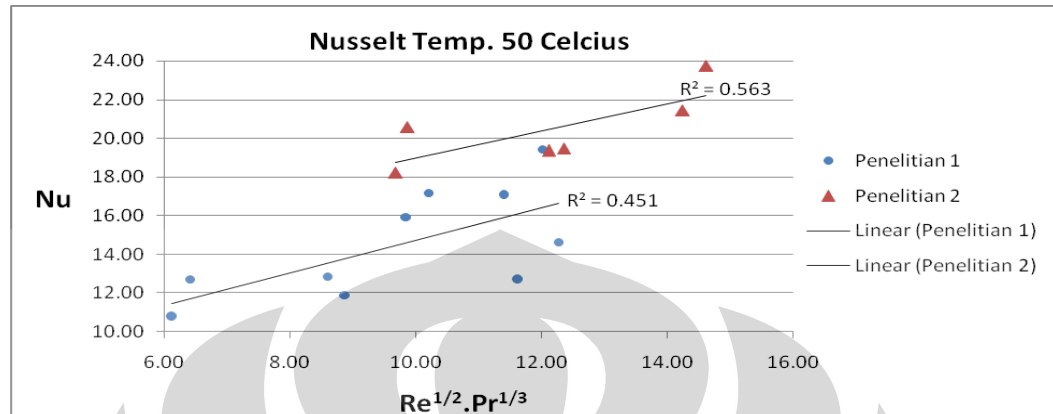


Gambar 4.16 Grafik Perbandingan Sh di temperatur 150°C

Dari keempat grafik perbandingan nilai Sherwood dengan temperature tetap, akan terlihat bahwa nilai Sherwood pada penelitian 1 dan 2 berbeda. Nilai bilangan Sherwood pada penelitian 1 lebih tinggi bila dibandingkan dengan penelitian 2. Pengaruh dari penurunan kelembaban udaranya pada penelitian 2 maka akan berpengaruh kepada penurunan nilai perpindahan massanya (x_∞). Nilai x_∞ ini akan berpengaruh untuk menghitung nilai koefisien konveksi massa (K_c). Hubungan korelasinya adalah sebagai berikut, makin tinggi nilai K_c maka nilai Sherwood nya akan meningkat pula, sebagaimana dijelaskan pada persamaan (2.43).

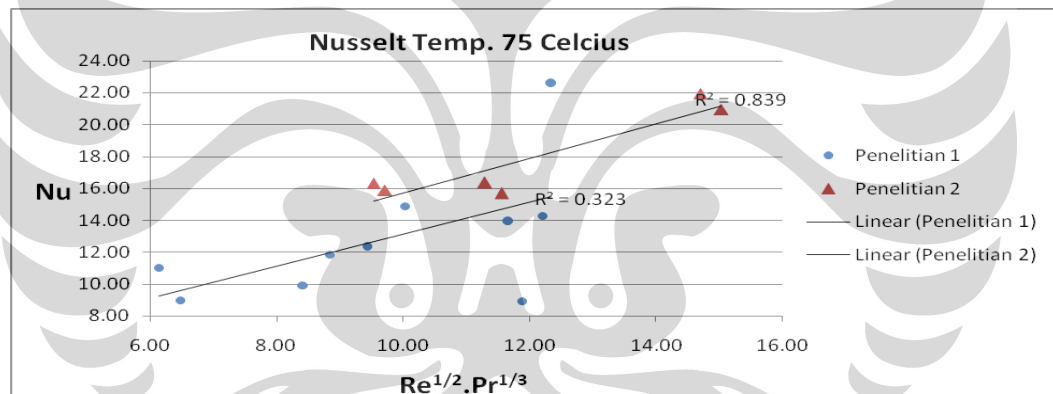
Berikut adalah grafik perbandingan nilai bilangan Nusselt di temperatur yang sama:

1. Pada temperatur 50°C



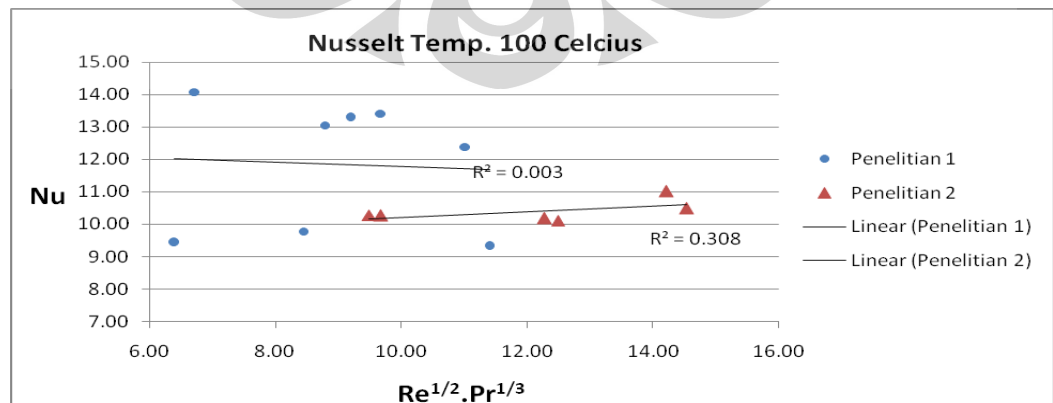
Gambar 4.17 Grafik Perbandingan Nu di temperatur 50°C

2. Pada temperatur 75°C



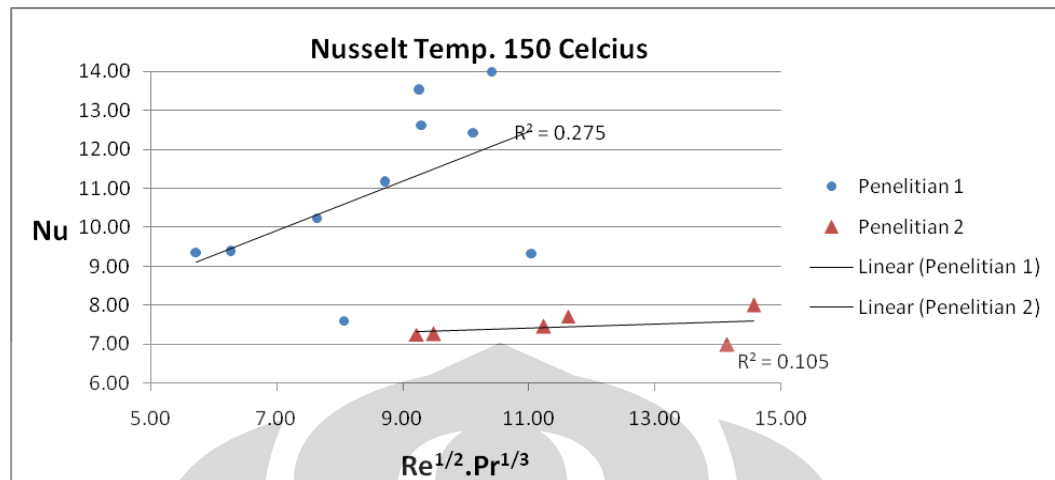
Gambar 4.18 Grafik Perbandingan Nu di temperatur 75°C

3. Pada temperatur 100°C



Gambar 4.19 Grafik Perbandingan Nu di temperatur 100°C

4. Pada temperatur 150°C



Gambar 4.20 Grafik Perbandingan Nu di temperatur 150°C

Dari keempat grafik perbandingan nilai Nusselt dengan temperature tetap, akan terlihat bahwa nilai Nusselt pada penelitian 1 dan 2 berbeda. Nilai bilangan Nusselt pada penelitian 1 berada dibawah penelitian 2 pada temperature 50°C dan 75°C, lalu berkebalikan pada temperatur 100°C dan 150°C nilai Nusselt penelitian 1 berada diatas penelitian 2. Hal ini dapat dianalisa dengan menggunakan korelasi antara nilai *reynold* dengan nilai kecepatan. Nilai *reynold* ini akan berpengaruh untuk menghitung nilai koefisien konveksi (h). Hubungan korelasinya adalah sebagai berikut, makin tinggi kecepatan maka nilai *reynold* akan meningkat pula, sebagaimana yang dijelaskan pada persamaan (2.48). Jika nilai *reynold* meningkat maka nilai *Nusslet* juga akan meningkat, sebagaimana yang dijelaskan pada persamaan *Ranz-Marshall* (pers. 2.56), sehingga dengan adanya peningkatan nilai *Nusslet* akan meningkatkan nilai koefisien konveksi (h) yang akan digunakan pada setiap metode perhitungan. Dan korelasi yang terakhir adalah dengan adanya peningkatan nilai koefisien konveksi (h) maka nilai perpindahan panasnya juga akan meningkat. Korelasi - korelasi ini berlaku untuk semua metode perhitungan, baik untuk rumus umum, *stagnant film model* dan juga metode pendekatan stagnan model (E.A. Kosasih, 2006) karena semua metode pasti akan menggunakan nilai koefisien konveksi (h) yang sama.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Nilai bilangan Le (Lewis) mempunyai persyaratan = 1, tetapi dari perhitungan yang didapat ternyata < 1 yaitu $Le = 0,82 - 0,84$.
2. Data yang diperoleh dari perhitungan nilai Sherwood berada dibawah nilai analogi Ranz-Marshall pada rentan suhu 50-150°C.
3. Data yang diperoleh dari perhitungan nilai Nusselt berada diatas nilai analogi Ranz-Marshall pada rentan suhu 75-150°C, kecuali pada suhu 50°C.
4. Penambahan *Humidifier* dan *Air Conditioner* pada penelitian ini digunakan untuk menurunkan kelembaban udara yang masuk dari *blower* ke *heater*.
5. Pada penelitian ini dapat terlihat kecenderungan perpindahan massa mempengaruhi perpindahan panas dikarenakan nilai data Nusselt masih berada diatas Sherwood.
6. Dari hasil pengujian dapat diketahui bahwa perpindahan panas dan perpindahan massa hampir merata pada temperatur tinggi dan kondisi laju aliran yang cepat.
7. Semakin tinggi frekwensi laju aliran pada penelitian ini, nilai bilangan Reynolds semakin meningkat.

5.2 Saran

1. Proses pengambilan gambar tetesan sebaiknya dilakukan dengan menggunakan *high speed digital camera* agar didapat gambar yang akurat, jelas dan tidak bergetar.

2. Pengambilan data sebaiknya menggunakan data akuisisi dan komputer yang mendukung, sehingga data yang diperoleh lebih akurat seperti rentang waktu terhadap temperatur dapat tercatat dengan sangat detail.
3. Menggunakan metode yang tepat dalam proses pengukuran tetesan, seperti pengukuran menggunakan *pixel* dan acuan kalibrasi skala yang tepat.
4. Dalam menentukan kecepatan aliran sangat berpengaruh pada alat ukurnya sehingga dibutuhkan alat ukur yang sangat mendukung, apalagi alat ukur tersebut mampu bekerja pada temperature tinggi.



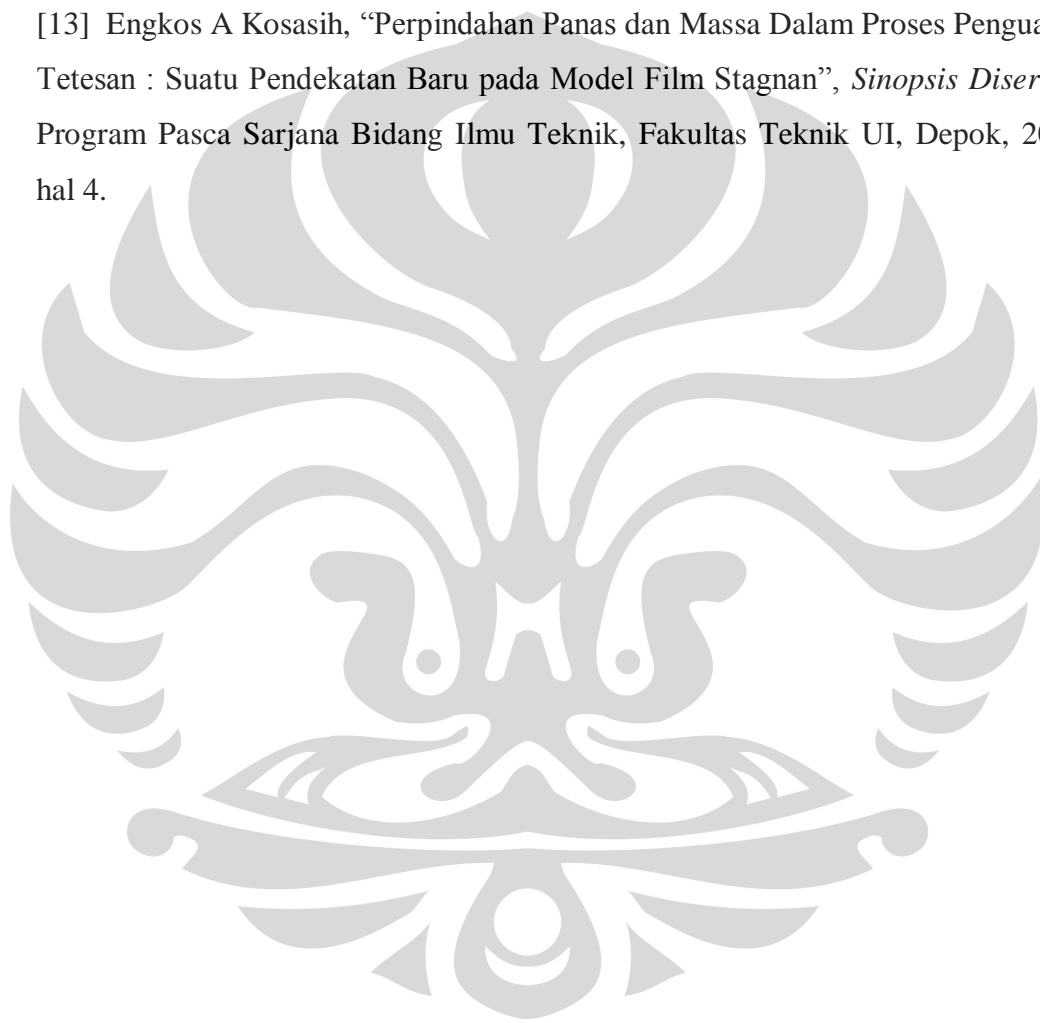
DAFTAR ACUAN

- [1] Henry Nasution, *Bab II Psikometrik*, hal 1. Diakses 21 Mei 2007, dari www.he4si.com/Pendingin/BAB2.pdf.
- [2] William C. Reynolds, Henry Perkins, *Termodinamika Teknik*, terj.Filino Harahap (Jakarta: Erlangga, 1991) hal 40.
- [3] William C. Reynolds, Henry Perkins, *Termodinamika Teknik*, terj.Filino Harahap (Jakarta: Erlangga, 1991) hal 356.
- [4] William C. Reynolds, Henry Perkins, *Termodinamika Teknik*, terj.Filino Harahap (Jakarta: Erlangga, 1991) hal 86.
- [5] J.P.Holman, *Perpindahan Kalor*, terj.E.Jasjfi (Jakarta: Erlangga, 1991) hal 11.
- [6] J.P.Holman, *Perpindahan Kalor*, terj.E.Jasjfi (Jakarta: Erlangga, 1991) hal 13.
- [7] J.P.Holman, *Perpindahan Kalor*, terj.E.Jasjfi (Jakarta: Erlangga, 1991) hal 539.
- [8] J.P.Holman, *Perpindahan Kalor*, terj.E.Jasjfi (Jakarta: Erlangga, 1991) hal 534.
- [9] J.P.Holman, *Perpindahan Kalor*, terj.E.Jasjfi (Jakarta: Erlangga, 1991) hal 201.
- [10] J.P.Holman, *Perpindahan Kalor*, terj.E.Jasjfi (Jakarta: Erlangga, 1991) hal 194.

[11] J.P.Holman, *Perpindahan Kalor*, terj.E.Jasjfi (Jakarta: Erlangga, 1991) hal 213.

[12] J.P.Holman, *Perpindahan Kalor*, terj.E.Jasjfi (Jakarta: Erlangga, 1991) hal 541.

[13] Engkos A Kosasih, “Perpindahan Panas dan Massa Dalam Proses Penguapan Tetesan : Suatu Pendekatan Baru pada Model Film Stagnan”, *Sinopsis Disertasi*, Program Pasca Sarjana Bidang Ilmu Teknik, Fakultas Teknik UI, Depok, 2006, hal 4.



DAFTAR PUSTAKA

- Bennett C.O., Myers J.E. *Momentum, Heat and Mass Transfer*, (New York: McGraw Hill, 1982)
- Cengel, Yunus A., Michael A.Boles, *Thermodynamics An Engineering Approach*, (New York : McGraw Hill, 1994)
- Fox, Robert W., Alan T.Mc Donald, *Introduction to Fluid Mechanics*, (New York: John Wiley & Sons, 1978).
- Geankoplis, Christie J. (2005), 8 April. "Principles of Momentum Transfer and Applications". Diakses tanggal 21 Mei 2007 dari Pearson Education, Prentice Hall PTR.
<http://www.phptr.com/articles/article.asp?p=349046&rl=1>
- Holman, J.P., *Experimental Methods for Engineers*, (Singapore : McGraw Hill, 2001)
- Holman , J.P., *Perpindahan Kalor*, terj.E.Jasjfi (Jakarta: Erlangga, 1991).
- Incropera, Frank P., David P. De Witt, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, (New York: John Wiley & Sons, 1996).
- Kosasih, EA., "Perpindahan Panas dan Massa Dalam Proses Penguapan Tetesan : Suatu Pendekatan Baru pada Model Film Stagnan", Sinopsis Disertasi, Program Pasca Sarjana Bidang Ilmu Teknik, Fakultas Teknik UI, Depok, 2006.
- M. J. Lee, et al., 2001. "Effects of watery vapor concentration on dropletEvaporation in hot environment". *International Journal of*

Automotive Technology, Vol. 2, No. 3, pp. 109-115. Diakses 21 Mei 2007, dari Korea Institute of Science and Technology.

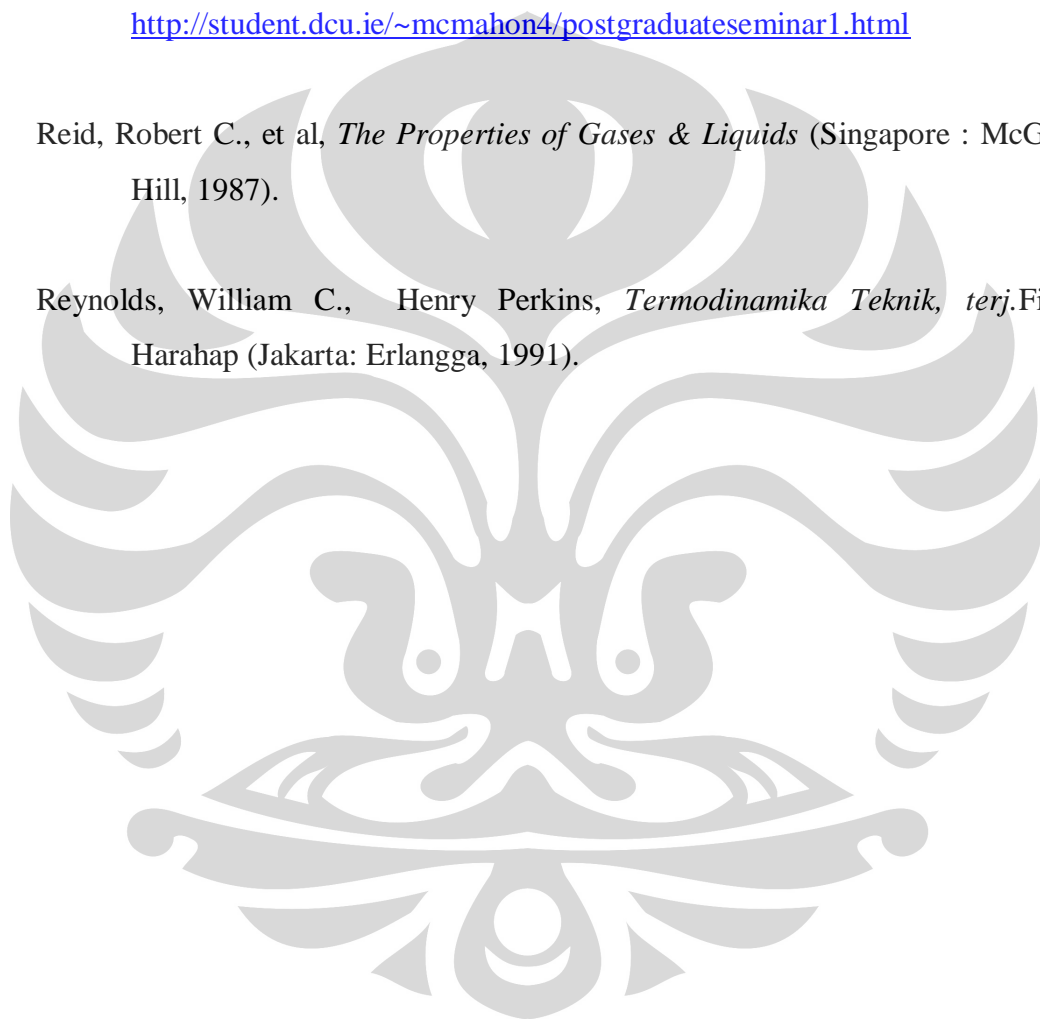
http://society.kisti.re.kr/~Eksae/notes/data/pdf/v2n3_4.pdf

McMahon, Niall. (2003), 8 Agustus. "The Mechanics of Drug Dissolution - An adventure in fluid mechanics". Diakses tanggal 21 Mei 2007 dari School of Computer Applications, Dublin City University.

<http://student.dcu.ie/~mcmahon4/postgraduateseminar1.html>

Reid, Robert C., et al, *The Properties of Gases & Liquids* (Singapore : McGraw Hill, 1987).

Reynolds, William C., Henry Perkins, *Termodinamika Teknik*, terj.Filino Harahap (Jakarta: Erlangga, 1991).



LAMPIRAN 1 PSYCHROMETRIC CHART

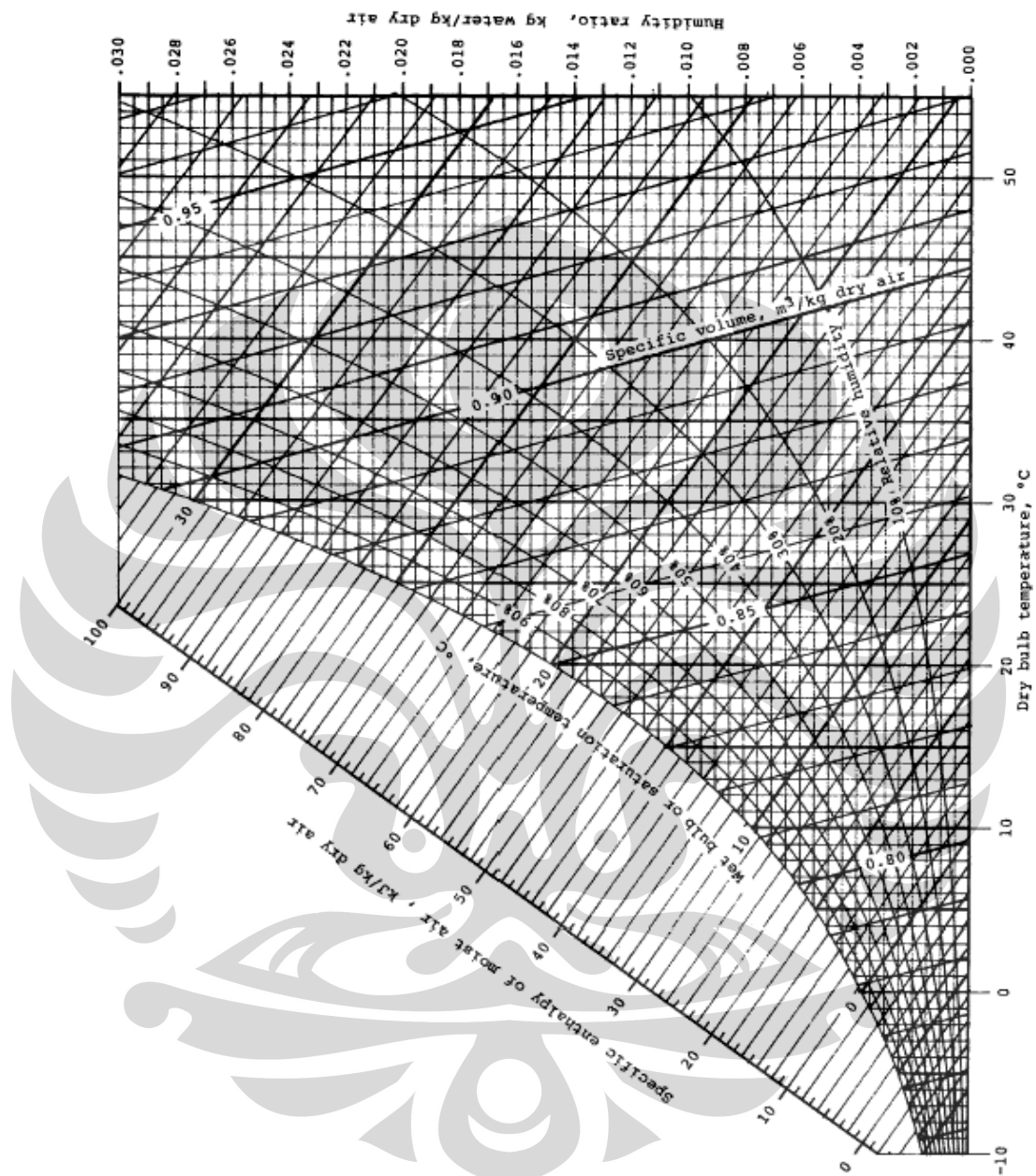


Figure A-9 Psychrometric chart for 1 atm (SI units). Source: Z. Zhang and M. B. Pate, "A Methodology for Implementing a Psychrometric Chart in a Computer Graphics System," *ASHRAE Transactions*, Vol. 94, Pt. 1, 1988.

LAMPIRAN 2

TABEL SIFAT UDARA PADA TEKANAN ATMOSFER

Sifat-sifat Udara pada Tekanan Atmosfer†
 Nilai μ , k , c_p , dan Pr tidak terlalu bergantung pada tekanan dan dapat digunakan untuk rentang tekanan yang cukup luas.

T , K	ρ kg/m ³	c_p , kJ/kg · °C	μ , kg/m · s × 10 ⁵	ν , m ² /s × 10 ⁶	k , W/m · °C	α , m ² /s × 10 ⁴	Pr
100	3.6010	1.0266	0.6924	1.923	0.009246	0.02501	0.770
150	2.3675	1.0099	1.0283	4.343	0.013735	0.05745	0.753
200	1.7684	1.0061	1.3289	7.490	0.01809	0.10165	0.739
250	1.4128	1.0053	1.5990	11.31	0.02227	0.15675	0.722
300	1.1774	1.0057	1.8462	15.69	0.02624	0.22160	0.708
350	0.9980	1.0090	2.075	20.76	0.03003	0.2983	0.697
400	0.8826	1.0140	2.286	25.90	0.03365	0.3760	0.689
450	0.7833	1.0207	2.484	31.71	0.03707	0.4222	0.683
500	0.7048	1.0295	2.671	37.90	0.04038	0.5564	0.680
550	0.6423	1.0392	2.848	44.34	0.04360	0.6532	0.680
600	0.5879	1.0551	3.018	51.34	0.04659	0.7512	0.680
650	0.5430	1.0635	3.177	58.51	0.04953	0.8578	0.682
700	0.5030	1.0752	3.332	66.25	0.05230	0.9672	0.684
750	0.4709	1.0856	3.481	73.91	0.05509	1.0774	0.686
800	0.4405	1.0978	3.625	82.29	0.05779	1.1951	0.689
850	0.4149	1.1095	3.765	90.75	0.06028	1.3097	0.692
900	0.3925	1.1212	3.899	99.3	0.06279	1.4271	0.696
950	0.3716	1.1321	4.023	108.2	0.06525	1.5510	0.699
1000	0.3524	1.1417	4.152	117.8	0.06752	1.6779	0.702
1100	0.3204	1.160	4.44	138.6	0.0732	1.969	0.704
1200	0.2947	1.179	4.69	159.1	0.0782	2.251	0.707
1300	0.2707	1.197	4.93	182.1	0.0837	2.583	0.705
1400	0.2515	1.214	5.17	205.5	0.0891	2.920	0.705
1500	0.2355	1.230	5.40	229.1	0.0946	3.262	0.705
1600	0.2211	1.248	5.63	254.5	0.100	3.609	0.705
1700	0.2082	1.267	5.85	280.5	0.105	3.977	0.705
1800	0.1970	1.287	6.07	308.1	0.111	4.379	0.704
1900	0.1858	1.309	6.29	338.5	0.117	4.811	0.704
2000	0.1762	1.338	6.50	369.0	0.124	5.260	0.702
2100	0.1682	1.372	6.72	399.6	0.131	5.715	0.700
2200	0.1602	1.419	6.93	432.6	0.139	6.120	0.707
2300	0.1538	1.482	7.14	464.0	0.149	6.540	0.710
2400	0.1458	1.574	7.35	504.0	0.161	7.020	0.718
2500	0.1394	1.688	7.57	543.5	0.175	7.441	0.730

† Dari *Natl. Bur. Stand (U. S.) Circ. 564, 1965*

LAMPIRAN 3
TABEL EMISSIVITAS PERMUKAAN

Surface	Temperature, °F	Emissivity
Polished aluminum	73	0.040
Polished copper	242	0.023
Polished iron	800-1800	0.144-0.377
Cast iron, newly turned	72	0.435
Oxidized iron	212	0.736
Asbestos board	74	0.96
Red brick	70	0.93
Sixteen different oil paints, all colors	212	0.92-0.96
Water	32-212	0.95-0.963

LAMPIRAN 4
TABEL SIFAT AIR JENUH - 1

TABLE A-4
Saturated water—Temperature table

Temp. °C T	Sat. press. kPa P _{sat}	Specific volume m ³ /kg		Internal energy kJ/kg			Enthalpy kJ/kg			Entropy kJ/(kg · K)		
		Sat. liquid v _f	Sat. vapor v _g	Sat. liquid u _f	Evap. u _{fg}	Sat. vapor u _g	Sat. liquid h _f	Evap. h _{fg}	Sat. vapor h _g	Sat. liquid s _f	Evap. s _{fg}	Sat. vapor s _g
0.01	0.6113	0.001 000	205.14	0.0	2375.3	2375.3	0.01	2501.3	2501.4	0.000	9.1562	9.1562
5	0.8721	0.001 000	147.12	20.97	2361.3	2382.3	20.98	2489.6	2510.6	0.0761	8.9496	9.0257
10	1.2276	0.001 000	106.30	42.00	2347.2	2389.2	42.01	2477.7	2510.8	0.1510	8.7498	8.9008
15	1.7051	0.001 001	77.93	62.99	2333.1	2396.1	62.99	2465.9	2528.9	0.2245	8.5509	8.7814
20	2.339	0.001 002	57.79	83.95	2319.0	2402.9	83.95	2454.1	2538.1	0.2966	8.3706	8.6672
25	3.103	0.001 003	43.36	104.85	2304.9	2409.0	104.89	2442.3	2547.2	0.3674	8.1905	8.5580
30	4.246	0.001 004	32.89	125.70	2290.8	2416.6	125.79	2430.5	2556.3	0.4369	8.0164	8.4533
35	5.626	0.001 006	25.22	146.67	2276.7	2423.1	146.68	2418.6	2565.3	0.5053	7.8478	8.3531
40	7.384	0.001 008	19.52	167.56	2262.6	2430.1	167.57	2406.7	2574.3	0.5725	7.6845	8.2570
45	9.593	0.001 010	15.26	188.44	2248.4	2436.8	188.45	2394.6	2583.2	0.6387	7.5261	8.1648
50	12.349	0.001 012	12.03	209.32	2234.2	2443.5	209.33	2382.7	2592.1	0.7039	7.3725	8.0763
55	15.755	0.001 015	9.568	230.21	2219.9	2450.1	230.23	2370.7	2600.9	0.7679	7.2234	7.9913
60	19.946	0.001 017	7.671	251.11	2205.5	2456.6	251.13	2358.5	2609.6	0.8312	7.0784	7.9090
65	25.03	0.001 020	6.197	272.02	2191.1	2463.1	272.06	2346.2	2618.3	0.8935	6.9375	7.8310
70	31.10	0.001 023	5.042	292.95	2176.6	2469.6	292.98	2333.8	2626.8	0.9549	6.8004	7.7553
75	38.58	0.001 026	4.131	313.90	2162.0	2475.9	313.93	2321.4	2635.3	1.0155	6.6669	7.6824
80	47.39	0.001 029	3.407	334.86	2147.4	2482.2	334.91	2308.8	2643.7	1.0753	6.5369	7.6122
85	57.63	0.001 033	2.825	355.84	2132.6	2488.4	355.90	2296.0	2651.9	1.1343	6.4102	7.5445
90	70.14	0.001 036	2.361	376.85	2117.7	2494.6	376.92	2283.2	2660.1	1.1925	6.2865	7.4791
95	84.55	0.001 040	1.982	397.88	2102.7	2500.8	397.95	2270.2	2668.1	1.2500	6.1659	7.4159
100	0.101 35	0.001 044	1.6729	418.94	2087.6	2506.6	419.04	2257.0	2676.1	1.3069	6.0480	7.3549
105	0.120 82	0.001 048	1.4194	440.02	2072.3	2512.4	440.15	2243.7	2683.8	1.3630	5.9326	7.2950
110	0.143 27	0.001 052	1.2102	461.14	2057.0	2518.1	461.30	2230.2	2691.5	1.4185	5.8202	7.2387
115	0.169 06	0.001 056	1.0360	482.30	2041.4	2523.7	482.48	2216.5	2699.0	1.4734	5.7100	7.1838
120	0.198 53	0.001 060	0.8919	503.50	2025.8	2529.3	503.71	2202.6	2706.3	1.5276	5.6020	7.1296
125	0.2321	0.001 065	0.7706	524.74	2009.9	2534.6	524.99	2188.5	2713.5	1.5813	5.4962	7.0775
130	0.2701	0.001 070	0.6695	546.02	1993.9	2539.9	546.31	2174.2	2720.5	1.6344	5.3925	7.0269
135	0.3130	0.001 075	0.5822	567.35	1977.7	2545.0	567.69	2159.6	2727.3	1.6870	5.2907	6.9777
140	0.3613	0.001 080	0.5089	588.74	1961.3	2550.0	589.13	2144.7	2733.9	1.7391	5.1908	6.9299
145	0.4154	0.001 085	0.4463	610.18	1944.7	2554.9	610.63	2129.6	2740.3	1.7907	5.0926	6.8833
150	0.4759	0.001 091	0.3928	631.68	1927.9	2559.5	632.20	2114.3	2746.5	1.8418	4.9960	6.8379
155	0.5431	0.001 096	0.3465	653.24	1910.5	2564.1	653.84	2098.6	2752.4	1.8925	4.9010	6.7935
160	0.6178	0.001 102	0.3071	674.87	1893.5	2568.4	675.55	2082.6	2758.1	1.9427	4.8075	6.7502
165	0.7005	0.001 108	0.2727	695.56	1876.0	2572.5	697.34	2066.2	2763.5	1.9925	4.7153	6.7078
170	0.7917	0.001 114	0.2428	716.33	1858.1	2576.5	719.21	2049.5	2768.7	2.0419	4.6244	6.6663
175	0.8920	0.001 121	0.2168	740.17	1840.0	2580.2	741.17	2032.4	2773.6	2.0909	4.5347	6.6256
180	1.0021	0.001 127	0.19405	762.03	1821.6	2583.7	763.22	2015.0	2778.2	2.1395	4.4461	6.5857
185	1.1227	0.001 134	0.17409	784.10	1802.9	2587.0	785.37	1997.1	2782.4	2.1879	4.3585	6.5465
190	1.2544	0.001 141	0.15654	806.19	1783.8	2590.0	807.62	1978.6	2786.4	2.2359	4.2720	6.5079
195	1.3978	0.001 149	0.14108	828.37	1764.4	2592.8	829.98	1960.0	2790.0	2.2835	4.1863	6.4698

LAMPIRAN 5
TABEL SIFAT AIR JENUH - 2

Table A.8 Properties of water [saturated liquid] [SI units][†]

°F	°C	c_p , kJ/kg · °C	ρ , kg/m ³	μ , kg/m · s	k , W/m · °C	Pr	$g\beta\rho^2c_p/\mu k$ 1/m ³ · °C
32	0	4.225	999.8	1.79×10^{-3}	0.566	13.25	
40	4.44	4.208	999.8	1.55	0.575	11.35	1.91×10^9
50	10	4.195	999.2	1.31	0.585	9.40	6.34×10^9
60	15.56	4.186	998.6	1.12	0.595	7.88	1.08×10^{10}
70	21.11	4.179	997.4	9.8×10^{-4}	0.604	6.78	1.46×10^{10}
80	26.67	4.179	995.8	8.6	0.614	5.85	1.91×10^{10}
90	32.22	4.174	994.9	7.65	0.623	5.12	2.48×10^{10}
100	37.78	4.174	993.0	6.82	0.630	4.53	3.3×10^{10}
110	43.33	4.174	990.6	6.16	0.637	4.04	4.19×10^{10}
120	48.89	4.174	988.8	5.62	0.644	3.64	4.89×10^{10}
130	54.44	4.179	985.7	5.13	0.649	3.30	5.66×10^{10}
140	60	4.179	983.3	4.71	0.654	3.01	6.48×10^{10}
150	65.55	4.183	980.3	4.3	0.659	2.73	7.62×10^{10}
160	71.11	4.186	977.3	4.01	0.665	2.53	8.84×10^{10}
170	76.67	4.191	973.7	3.72	0.668	2.33	9.85×10^{10}
180	82.22	4.195	970.2	3.47	0.673	2.16	1.09×10^{11}
190	87.78	4.199	966.7	3.27	0.675	2.03	
200	93.33	4.204	963.2	3.06	0.678	1.90	
220	104.4	4.216	955.1	2.67	0.684	1.66	
240	115.6	4.229	946.7	2.44	0.685	1.51	
260	126.7	4.250	937.2	2.19	0.685	1.36	
280	137.8	4.271	928.1	1.98	0.685	1.24	
300	148.9	4.296	918.0	1.86	0.684	1.17	
350	176.7	4.371	890.4	1.57	0.677	1.02	
400	204.4	4.467	859.4	1.36	0.665	1.00	
450	232.2	4.585	825.7	1.20	0.646	0.85	
500	260	4.731	785.2	1.07	0.616	0.83	
550	287.7	5.024	735.5	9.51×10^{-4}			
600	315.6	5.703	678.7	8.68			

[†]Converted from A. I. Brown and S. M. Marco, *Introduction to Heat Transfer*, 3d ed., McGraw-Hill, New York, 1958.

LAMPIRAN 6

Hasil Data Uji Coba Aquades Pada Suhu 50°C**Tdb : Temperature Ambient****Twb : Temperaure Ambient - wet****Tdb' : Temperature Wire Probe Kering (sebelum droplet)**

T heater [°C]	Freq [Hz]	Tdb [°C]	Twb [°C]	Tdb' [°C]	T Droplet [°C]	Waktu [detik]	Width [mm]	Height [mm]
50	7	29.2	28	50.5	32.5	0	1.908397	2.318841
				50.5	32.5	20	1.82313	2.236667
				50.5	32.5	40	1.749695	2.157536
50	10	29.2	28	49.5	31.5	0	2.038168	2.173913
				49.5	31.5	20	1.958397	2.097971
				49.5	31.5	40	1.877863	2.017971
50	15	29.2	28	49.3	30.5	0	1.948931	2.104203
				49.3	30.5	20	1.845496	2.001739
				49.3	30.5	40	1.737939	1.911783

Hasil Data Uji Coba Aquades Pada Suhu 75°C**Tdb : Temperature Ambient****Twb : Temperaure Ambient - wet****Tdb' : Temperature Wire Probe Kering (sebelum droplet)**

T heater [°C]	Freq [Hz]	Tdb [°C]	Twb [°C]	Tdb' [°C]	T Droplet [°C]	Waktu [detik]	Width [mm]	Height [mm]
75	7	29.2	28	75.5	38.5	0	1.977099	2.202899
				75.5	38.5	10	1.908931	2.126667
				75.5	38.5	20	1.838397	2.043478
75	10	29.2	28	74.5	37.5	0	1.80916	1.947826
				74.5	37.5	10	1.730992	1.868116
				74.5	37.5	20	1.655191	1.772899
75	15	29.2	28	74.8	38.5	0	2.10687	2.26087
				74.8	38.5	10	2.018702	2.170145
				74.8	38.5	20	1.929008	2.064928

Hasil Data Uji Coba Aquades Pada Suhu 100°C

Tdb : Temperature Ambient

Twb : Temperaure Ambient - wet

Tdb' : Temperature Wire Probe Kering (sebelum droplet)

T heater [°C]	Freq [Hz]	Tdb [°C]	Twb [°C]	Tdb' [°C]	T Droplet [°C]	Waktu [detik]	Width [mm]	Height [mm]
100	7	29.5	28	100.4	42.5	0	1.992366	2.202899
				100.4	42.5	10	1.914198	2.123913
				100.4	42.5	20	1.838397	2.036957
100	10	29.5	28	100	41.5	0	2.137405	2.282609
				100	41.5	10	2.068702	2.204638
				100	41.5	20	1.988168	2.131159
100	15	29.5	28	100	40	0	1.967099	2.132174
				100	40	10	1.881298	2.048696
				100	40	20	1.791229	1.953478

Hasil Data Uji Coba Aquades Pada Suhu 150°C

Tdb : Temperature Ambient

Twb : Temperaure Ambient - wet

Tdb' : Temperature Wire Probe Kering (sebelum droplet)

T heater [°C]	Freq [Hz]	Tdb [°C]	Twb [°C]	Tdb' [°C]	T Droplet [°C]	Waktu [detik]	Width [mm]	Height [mm]
150	7	29.8	28.3	151	48	0	1.984733	2.137681
				151	48	10	1.931298	1.978261
				151	48	20	1.832061	1.847826
150	10	29.8	28.3	150.5	45.5	0	1.870229	2.050725
				150.5	45.5	10	1.782824	1.896087
				150.5	45.5	20	1.656718	1.766667
150	15	29.8	28.3	151.2	45	0	2.015267	2.195652
				151.2	45	10	1.883969	2.083188
				151.2	45	20	1.789695	1.956522

LAMPIRAN 7
HASIL KALKULASI 1

T heater [°C]	<i>r</i>	<i>r</i> tengah	<i>-dr/dt</i>	<i>T</i> _{film}	<i>T</i> _{udara}	<i>T</i> _{droplet}	<i>Diffusivity</i>	<i>nu</i> (<i>ν</i>)	<i>Sc</i>	<i>k</i>	<i>Pr</i>
	[m]	[m]	[^m /detik]	[K]	(K)	(K)	[m ² /s]	[m ² /s]		[W/m.K]	
50	0.00107			314.5	323.5	305.5	2.94453E-05	1.7153E-05	0.58254	0.027357	0.704501
	0.00103	0.001046026	2.06537E-06	314.5	323.5	305.5	2.94453E-05	1.7153E-05	0.58254	0.027357	0.704501
	0.00099	0.001006355	1.9018E-06	314.5	323.5	305.5	2.94453E-05	1.7153E-05	0.58254	0.027357	0.704501
50	0.00105			313.5	322.5	304.5	2.92817E-05	1.7052E-05	0.582344	0.02728	0.704734
	0.00102	0.001034702	1.94108E-06	313.5	322.5	304.5	2.92817E-05	1.7052E-05	0.582344	0.02728	0.704734
	0.00098	0.000995254	2.00374E-06	313.5	322.5	304.5	2.92817E-05	1.7052E-05	0.582344	0.02728	0.704734
50	0.00101			312.9	322.3	303.5	2.91837E-05	1.6991E-05	0.582221	0.027234	0.704875
	0.00096	0.00098908	2.5688E-06	312.9	322.3	303.5	2.91837E-05	1.6991E-05	0.582221	0.027234	0.704875
	0.00091	0.000938944	2.44484E-06	312.9	322.3	303.5	2.91837E-05	1.6991E-05	0.582221	0.027234	0.704875

T heater [°C]	<i>r</i>	<i>r</i> tengah	<i>-dr/dt</i>	<i>T</i> _{film}	<i>T</i> _{udara}	<i>T</i> _{droplet}	<i>Diffusivity</i>	<i>nu</i> (<i>ν</i>)	<i>Sc</i>	<i>k</i>	<i>Pr</i>
	[m]	[m]	[^m /detik]	[K]	(K)	(K)	[m ² /s]	[m ² /s]		[W/m.K]	
75	0.00105			330	348.5	311.5	3.20317E-05	1.8724E-05	0.584534	0.028534	0.70104
	0.00101	0.001029934	3.62121E-06	330	348.5	311.5	3.20317E-05	1.8724E-05	0.584534	0.028534	0.70104
	0.00097	0.000992499	3.8658E-06	330	348.5	311.5	3.20317E-05	1.8724E-05	0.584534	0.028534	0.70104
75	0.00094			329	347.5	310.5	3.1862E-05	1.8622E-05	0.58446	0.028459	0.701255
	0.00090	0.000920803	3.94431E-06	329	347.5	310.5	3.1862E-05	1.8622E-05	0.58446	0.028459	0.701255
	0.00086	0.000879556	4.30497E-06	329	347.5	310.5	3.1862E-05	1.8622E-05	0.58446	0.028459	0.701255
75	0.00109			329.65	347.8	311.5	3.19722E-05	1.8688E-05	0.584509	0.028508	0.701115
	0.00105	0.001070935	4.47119E-06	329.65	347.8	311.5	3.19722E-05	1.8688E-05	0.584509	0.028508	0.701115
	0.00100	0.001024109	4.894E-06	329.65	347.8	311.5	3.19722E-05	1.8688E-05	0.584509	0.028508	0.701115

Le	hfg	ρ_{udara}	ρ_{air}	$A_{tetesan}$	$V_{tetesan}$	- dv/dt	- dm/dt	N	$Q_{konveksi}$	h	V
	[kJ/kg]	[kg/m ³]	[kg/m ³]	[m ²]	[m ³]	[m ³ /s]	[kg/s]	[kmol/m ² s]	[watt]	[W/m ² .K]	[m/s]
0.826884	2424.5998	1.092	967.56		5.0813E-09						
0.826884	2424.5998	1.092	967.56	1.37498E-05	4.5135E-09	2.83876E-11	2.74667E-08	0.000110978	6.65957E-05	269.07785	1.008704
0.826884	2424.5998	1.092	967.56	1.27266E-05	4.0296E-09	2.4194E-11	2.34092E-08	0.000102188	5.67579E-05	247.76539	1.008704
0.826331	2426.9962	1.095	981.97		4.9038E-09						
0.826331	2426.9962	1.095	981.97	1.34537E-05	4.3817E-09	2.61044E-11	2.56338E-08	0.000105852	6.22131E-05	256.90218	1.588173
0.826331	2426.9962	1.095	981.97	1.24474E-05	3.883E-09	2.4932E-11	2.44824E-08	0.000109271	5.94188E-05	265.1996	1.588173
0.825993	2429.3926	1.096	984.91		4.3749E-09						
0.825993	2429.3926	1.096	984.91	1.22935E-05	3.7435E-09	3.15704E-11	3.1094E-08	0.000140517	7.55395E-05	326.84532	2.317874
0.825993	2429.3926	1.096	984.91	1.10787E-05	3.2019E-09	2.7078E-11	2.66694E-08	0.000133737	6.47905E-05	311.07342	2.317874
0.83381	2410.2214	1.002	932.79		4.8195E-09						
0.83381	2410.2214	1.002	932.79	1.333E-05	4.337E-09	4.8251E-11	4.50081E-08	0.000187581	0.000108479	219.94591	1.086777
0.83381	2410.2214	1.002	932.79	1.23786E-05	3.8586E-09	4.78348E-11	4.46198E-08	0.000200255	0.000107544	234.80745	1.086777
0.833449	2412.6178	1.005	942.92		3.4832E-09						
0.833449	2412.6178	1.005	942.92	1.06548E-05	3.0631E-09	4.20107E-11	3.96128E-08	0.000206547	9.55704E-05	242.42519	1.711096
0.833449	2412.6178	1.005	942.92	9.72161E-06	2.6447E-09	4.18383E-11	3.94502E-08	0.000225444	9.51781E-05	264.60448	1.711096
0.833685	2410.2214	1.004	939.86		5.4711E-09						
0.833685	2410.2214	1.004	939.86	1.44124E-05	4.8269E-09	6.44172E-11	6.05431E-08	0.000233376	0.000145922	278.9191	2.497276
0.833685	2410.2214	1.004	939.86	1.31796E-05	4.1821E-09	6.44805E-11	6.06026E-08	0.000255456	0.000146066	305.30832	2.497276

Re	Nusselt	h	Re ^{0,5} Sc ^{0,33}	Re ^{0,5} Pr ^{0,33}	Nu = 2+(0.6Re ^{0,5} Pr ^{0,33})	Sh = 2+(0.6Re ^{0,5} Sc ^{0,33})	P _v	X ₀	X _∞	C	K _c	Sh
[W/m ² .K]						[Pa]			[kmol/m ³]		[m/s]	
123.0252 118.3593	20.5773 18.22886	269.0778505 247.7653857	9.263608115 9.086244044	9.869518659 9.680553626	7.921711195 7.808332176	7.558164869 7.451746426	4868.95937 4868.95937 4868.95937	0.04805289 0.04805289 0.04805289	0.0158227 0.0158227 0.0158227	0.03767092 0.03767092 0.03767092	0.08701249 0.08012062	6.182125041 5.476573408
192.7381 185.39	19.48803 19.35047	256.9021783 265.1995956	11.59359502 11.37044372	12.35465755 12.11685746	9.412794527 9.270114477	8.956157011 8.822266232	4599.72168 4599.72168 4599.72168	0.04539572 0.04539572 0.04539572	0.0158227 0.0158227 0.0158227	0.03778773 0.03778773 0.03778773	0.09042231 0.09334276	6.3903538 6.345247235
269.8505 256.1719	23.74056 21.44963	326.8453243 311.073421	13.71720139 13.36501916	14.61966335 14.24431086	10.77179801 10.54658652	10.23032084 10.0190115	4343.45265 4343.45265 4343.45265	0.04286654 0.04286654 0.04286654	0.0158227 0.0158227 0.0158227	0.03781117 0.03781117 0.03781117	0.13152667 0.12517985	8.915289419 8.054975368

Re	Nusselt	h	Re ^{0,5} Sc ^{0,33}	Re ^{0,5} Pr ^{0,33}	Nu = 2+(0.6Re ^{0,5} Pr ^{0,33})	Sh = 2+(0.6Re ^{0,5} Sc ^{0,33})	P _v	X ₀	X _∞	C	K _c	Sh
[W/m ² .K]						[Pa]			[kmol/m ³]		[m/s]	
119.5613 115.2156	15.87766 16.3344	219.9459123 234.807452	9.142668548 8.974976322	9.71362599 9.535461425	7.828175594 7.721276855	7.485601129 7.384985793	6788.2207 6788.2207 6788.2207	0.06699453 0.06699453 0.06699453	0.0158227 0.0158227 0.0158227	0.03496856 0.03496856 0.03496856	0.0978056 0.10441423	6.289605868 6.470533419
169.2166 161.6368	15.68759 16.35583	242.4251931 264.6044768	10.87629438 10.62990753	11.55718066 11.2953693	8.934308395 8.777221582	8.525776628 8.377944516	6429.20558 6429.20558 6429.20558	0.06345133 0.06345133 0.06345133	0.0158227 0.0158227 0.0158227	0.03506918 0.03506918 0.03506918	0.1158124 0.12640799	6.693890873 6.979031055
286.2169 273.7022	20.95582 21.93554	278.9191009 305.3083218	14.14552592 13.8328175	15.02966045 14.69740688	11.01779627 10.81844413	10.48731555 10.2996905	6788.2207 6788.2207 6788.2207	0.06699453 0.06699453 0.06699453	0.0158227 0.0158227 0.0158227	0.03503893 0.03503893 0.03503893	0.12143889 0.13292852	8.135376354 8.515715242

LAMPIRAN 8
HASIL KALKULASI 2

T heater [°C]	<i>r</i>	<i>r</i> tengah	<i>-dr/dt</i>	<i>T</i> film	<i>T</i> udara	<i>T</i> droplet	<i>Diffusivity</i>	<i>nu</i> (<i>ν</i>)	<i>Sc</i>	<i>k</i>	<i>Pr</i>
	[m]	[m]	[^m /detik]	[K]	(K)	(k)	[m ² /s]	[m ² /s]		[W/m.K]	
100	0.00105			344.45	373.4	315.5	3.45264E-05	2.0194E-05	0.58488	0.029618	0.698073
	0.00101	0.001031847	3.92075E-06	344.45	373.4	315.5	3.45264E-05	2.0194E-05	0.58488	0.029618	0.698073
	0.00097	0.000991809	4.08683E-06	344.45	373.4	315.5	3.45264E-05	2.0194E-05	0.58488	0.029618	0.698073
100	0.00111			343.75	373	314.5	3.44037E-05	2.0122E-05	0.584891	0.029566	0.698211
	0.00107	0.001087805	3.67796E-06	343.75	373	314.5	3.44037E-05	2.0122E-05	0.584891	0.029566	0.698211
	0.00103	0.001050243	3.83437E-06	343.75	373	314.5	3.44037E-05	2.0122E-05	0.584891	0.029566	0.698211
100	0.00103			343	373	313	3.42724E-05	2.0046E-05	0.584901	0.02951	0.698359
	0.00098	0.001005378	4.21998E-06	343	373	313	3.42724E-05	2.0046E-05	0.584901	0.02951	0.698359
	0.00094	0.000961104	4.63467E-06	343	373	313	3.42724E-05	2.0046E-05	0.584901	0.02951	0.698359

T heater [°C]	<i>r</i>	<i>r</i> tengah	<i>-dr/dt</i>	<i>T</i> film	<i>T</i> udara	<i>T</i> droplet	<i>Diffusivity</i>	<i>nu</i> (<i>ν</i>)	<i>Sc</i>	<i>k</i>	<i>Pr</i>
	[m]	[m]	[^m /detik]	[K]	(K)	(k)	[m ² /s]	[m ² /s]		[W/m.K]	
150	0.00103			372.5	424	321	3.9596E-05	2.3064E-05	0.582492	0.03168	0.693029
	0.00098	0.001004775	5.44895E-06	372.5	424	321	3.9596E-05	2.3064E-05	0.582492	0.03168	0.693029
	0.00092	0.00094876	5.7542E-06	372.5	424	321	3.9596E-05	2.3064E-05	0.582492	0.03168	0.693029
150	0.00098			371	423.5	318.5	3.93174E-05	2.291E-05	0.582701	0.031571	0.693275
	0.00092	0.000951455	6.17125E-06	371	423.5	318.5	3.93174E-05	2.291E-05	0.582701	0.031571	0.693275
	0.00086	0.000888663	6.38708E-06	371	423.5	318.5	3.93174E-05	2.291E-05	0.582701	0.031571	0.693275
150	0.00105			371.1	424.2	318	3.93359E-05	2.2921E-05	0.582687	0.031578	0.693258
	0.00099	0.001024471	6.03739E-06	371.1	424.2	318	3.93359E-05	2.2921E-05	0.582687	0.031578	0.693258
	0.00094	0.000966346	5.58765E-06	371.1	424.2	318	3.93359E-05	2.2921E-05	0.582687	0.031578	0.693258

Le	hfg	ρ_{udara}	ρ_{air}	A _{tetesan}	V _{tetesan}	- dv/dt	- dm/dt	N	Q _{konveksi} (AK-AJ)	h	V
	[kJ/kg]	[kg/m ³]	[kg/m ³]	[m ²]	[m ³]	[m ³ /s]	[kg/s]	[kmol/m ² s]	[watt]	[W/m ² .K]	[m/s]
0.837849	2400.6358	0.935	906.74		4.8667E-09						1.16485
0.837849	2400.6358	0.935	906.74	1.33796E-05	4.3423E-09	5.24375E-11	4.75472E-08	0.000197429	0.000114143	147.34349	1.16485
0.837849	2400.6358	0.935	906.74	1.23614E-05	3.8373E-09	5.05003E-11	4.57906E-08	0.000205796	0.000109927	153.58797	1.16485
0.8377	2403.0322	0.936	909.82		5.6671E-09						1.83402
0.8377	2403.0322	0.936	909.82	1.48701E-05	5.1204E-09	5.46689E-11	4.97389E-08	0.000185828	0.000119524	137.40005	1.83402
0.8377	2403.0322	0.936	909.82	1.38609E-05	4.5892E-09	5.31265E-11	4.83356E-08	0.000193733	0.000116152	143.24521	1.83402
0.837536	2406.6268	0.936	909.82		4.5281E-09						2.676678
0.837536	2406.6268	0.936	909.82	1.27019E-05	3.9923E-09	5.35824E-11	4.87503E-08	0.000213224	0.000117324	153.94498	2.676678
0.837536	2406.6268	0.936	909.82	1.16079E-05	3.4545E-09	5.37816E-11	4.89316E-08	0.000234188	0.00011776	169.08095	2.676678

Le	hfg	ρ_{udara}	ρ_{air}	A _{tetesan}	V _{tetesan}	- dv/dt	- dm/dt	N	Q _{konveksi} (AK-AJ)	h	V
	[kJ/kg]	[kg/m ³]	[kg/m ³]	[m ²]	[m ³]	[m ³ /s]	[kg/s]	[kmol/m ² s]	[watt]	[W/m ² .K]	[m/s]
0.840501	2387.4556	0.833	907.31		4.6019E-09						1.320997
0.840501	2387.4556	0.833	907.31	1.26867E-05	3.9107E-09	6.9111E-11	6.27051E-08	0.000274588	0.000149706	114.56505	1.320997
0.840501	2387.4556	0.833	907.31	1.13116E-05	3.26E-09	6.50759E-11	5.9044E-08	0.000289988	0.000140965	120.99028	1.320997
0.840505	2393.4466	0.834	910.01		3.9684E-09						2.079867
0.840505	2393.4466	0.834	910.01	1.13759E-05	3.2665E-09	7.01926E-11	6.3876E-08	0.000311945	0.000152884	127.9925	2.079867
0.840505	2393.4466	0.834	910.01	9.92397E-06	2.6327E-09	6.33802E-11	5.76766E-08	0.00032288	0.000138046	132.47952	2.079867
0.840505	2394.6448	0.832	906.24		4.9114E-09						3.035482
0.840505	2394.6448	0.832	906.24	1.3189E-05	4.1153E-09	7.96093E-11	7.21451E-08	0.000303895	0.000172762	123.34266	3.035482
0.840505	2394.6448	0.832	906.24	1.17348E-05	3.4597E-09	6.55549E-11	5.94085E-08	0.000281255	0.000142262	114.1534	3.035482

Re	Nusselt	h	$Re^{0,5}Sc^{0,33}$	$Re^{0,5}Pr^{0,33}$	$Nu = 2+(0.6Re^{0,5}Pr^{0,33})$	$Sh = 2+(0.6Re^{0,5}Sc^{0,33})$	P_v	X_o	X_{∞}	C	K_c	Sh
[W/m ² .K]							[Pa]			[kmol/m ³]	[m/s]	
119.0414	10.26656	147.343488	9.124566798	9.678791939	7.807275164	7.474740079	8402.32272	0.08292448	0.0158227	0.03263669	0.08267527	4.941626461
114.4223	10.28642	153.5879712	8.945788893	9.489155086	7.693493051	7.367473336	8402.32272	0.08292448	0.0158227	0.03263669	0.08617909	4.951182697
198.2918	10.11072	137.4000515	11.77656291	12.49260835	9.495565007	9.065937748	7970.71477	0.07866484	0.0158227	0.03267169	0.08338841	5.273290093
191.4448	10.17687	143.2452122	11.57145566	12.27503004	9.365018027	8.942873398	7970.71477	0.07866484	0.0158227	0.03267169	0.08693586	5.307790356
268.4898	10.48965	153.9449778	13.70353169	14.53769163	10.72261498	10.22211902	7359.06263	0.0726283	0.0158227	0.03267169	0.1065434	6.250874434
256.6665	11.01365	169.0809488	13.39840748	14.21399393	10.52839636	10.03904449	7359.06263	0.0726283	0.0158227	0.03267169	0.11701882	6.563134012
Re	Nusselt	h	$Re^{0,5}Sc^{0,33}$	$Re^{0,5}Pr^{0,33}$	$Nu = 2+(0.6Re^{0,5}Pr^{0,33})$	$Sh = 2+(0.6Re^{0,5}Sc^{0,33})$	P_v	X_o	X_{∞}	C	K_c	Sh
[W/m ² .K]							[Pa]			[kmol/m ³]	[m/s]	
115.0959	7.267173	114.5650517	8.959854191	9.494066391	7.696439835	7.375912514	11152.797	0.11006955	0.0158227	0.02874184	0.09021031	4.578296786
108.6793	7.246879	120.9902821	8.70651886	9.225626481	7.535375889	7.223911316	11152.797	0.11006955	0.0158227	0.02874184	0.09526964	4.565511934
172.7522	7.714592	127.9924961	10.97829314	11.63283346	8.979700076	8.586975886	9819.67624	0.09691267	0.0158227	0.02877578	0.12072942	5.843146318
161.3513	7.458066	132.4795188	10.60985219	11.24242557	8.745455345	8.365911316	9819.67624	0.09691267	0.0158227	0.02877578	0.12496182	5.648849654
271.3516	8.003009	123.3426609	13.75896837	14.57929498	10.74757699	10.25538102	9570.13131	0.09444985	0.0158227	0.02872829	0.12183003	6.345921206
255.956	6.986534	114.1534025	13.36294936	14.15966483	10.4957989	10.01776961	9570.13131	0.09444985	0.0158227	0.02872829	0.11275347	5.539915286

