



UNIVERSITAS INDONESIA

**LAJU PENGUAPAN TETESAN AQUADES DAN LARUTAN GARAM 1%
DENGAN VARIASI TEMPERATUR, LAJU ALIRAN DAN
KELEMBABAN UDARA**

SKRIPSI

HAMZAH DIPA KUSUMAH

07061985 43

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
DEPARTEMEN MESIN
DEPOK
JULI 2009**



UNIVERSITAS INDONESIA

**LAJU PENGUAPAN TETESAN AQUADES DAN LARUTAN GARAM 1%
DENGAN VARIASI TEMPERATUR, LAJU ALIRAN DAN
KELEMBABAN UDARA**

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar menjadi
Sarjana Teknik**

HAMZAH DIPA KUSUMAH

07 06 19 85 43

FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

DEPOK

JULI 2009

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : HAMZAH DIPA KUSUMAH

NPM : 0706198543

Tanda Tangan :

Tanggal : 7 Juli 2009

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Hamzah Dipa Kusumah
NPM : 0706198543
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : **LAJU PENGUAPAN TETESAN AQUADES
DAN LARUTAN GARAM 1 % DENGAN
VARIASI TEMPERATUR, LAJU ALIRAN
DAN KELEMBABAN UDARA**

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, M.T.** (.....)
Penguji : **Dr. Ir. Warjito, M.Eng.** (.....)
Penguji : **Dr-Ing. Nasrudin, M. Eng.** (.....)
Penguji : **Ir. Imansyah H, M. Eng.** (.....)

Ditetapkan di : Depok
Tanggal : 7 Juli 2009

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai 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. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

Dr. Ir. Engkos A.Kosasih, M.T.

Selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini.

Harapan penulis kiranya skripsi ini dapat memberikan pengetahuan yang bermanfaat bagi penulis khususnya dan pembaca pada umumnya. Semoga Allah SWT senantiasa melimpahkan rahmat dan hidayah pada kita semua. Amin.

Depok, 7 Juli 2009

Penulis

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

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

Nama : Hamzah Dipa Kusumah
NPM : 0706198543
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 saya yang berjudul :

**”LAJU PENGUAPAN TETESAN AQUADES DAN LARUTAN GARAM
1% DENGAN VARIASI TEMPERATUR, LAJU ALIRAN DAN
KELEMBABAN UDARA”**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), 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 : 7 Juli 2009

Yang menyatakan

(Hamzah Dipa Kusumah)

ABSTRAK

Nama : Hamzah Dipa Kusumah
Program Studi : Teknik Mesin
Judul : **LAJU PENGUAPAN TETESAN AQUADES DAN LARUTAN GARAM 1% DENGAN VARIASI TEMPERATUR, LAJU ALIRAN DAN KELEMBABAN UDARA**

Laju penguapan tetesan mempunyai peranan penting dalam proses pengeringan seperti dalam proses pengolahan industri makanan, evaporative cooling, spray drying dan pembakaran bahan bakar cair. Sehingga diperlukan penelitian tentang laju penguapan yang bertujuan untuk mengetahui perpindahan kalor dan perpindahan massa yang terjadi. Serta pengaruh temperatur, laju aliran, konsentrasi dan kelembaban udara.

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan alat berupa nosel untuk menghasilkan tetesan, pemanas, blower dan alat kontrol. Tetesan ini akan dialiri oleh udara yang berasal dari heater dimana temperatur heater dapat diatur. Sebelum masuk ke heater, udara ini telah mengalami penurunan kelembaban di dehumidifier. Pengatur laju aliran ini dilakukan melalui inverter yang mengontrol kecepatan blower. Dengan menggunakan lensa makro nikon D40, perubahan dimensi tetesan terhadap waktu dapat direkam.

Dengan melakukan analisa dan perhitungan dari hasil data pengujian akan didapatkan bilangan Reynolds (Re), Prandtl (Pr), Schmidt (Sc), Nusselt (Nu), dan Sherwood (Sh). Sehingga dapat diketahui korelasi antara data pengujian yang menggunakan model stagnan film dengan pendekatan model baru (E.A.Kosasih,2006) terhadap model analogi Ranz-Marshall.

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

Nama : Hamzah Dipa Kusumah
Program Studi : Teknik Mesin
Judul : **EVAPORATION FLOW FOR DROPS OF AQUADES AND 1 % SALT SOLUBILITY WITH VARIATION OF TEMPERATURE, VELOCITY OF FLOW AND AIR HUMIDTY.**

Rate of drop evaporation have an important part on drying up process as in food processing industry, evaporative cooling, spray drying and combustion of liquid fuel. So that, is needed a research about rate of evaporation with aim to know transfer of calor and transfer of mass that happened. Also influence of temperature, velocity of flow, concentration and air humidity.

This research did use some device. There are, a nozzle that inject a liquid to form a droplet, heater, blower and control unit. A droplet that produced by nozzle then flowed by hot air with the variation of temperature and flow velocity. By using macro lens of Nikon D40, the changes of diameter droplet per time can be recorded.

With doing some calculation and analysis from the result of experiment we can find number of Reynolds (Re), Prandtl (Pr), Schmidt (Sc), Nusselt (Nu), and Sherwood (Sh). So that we can find correlation between the result of experiment with analogy ranz-marshall model, stagnant film model, and the new model analysis of stagnant film model (E. A. Kosasih, 2006).

Keywords : *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).

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	vi
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
DAFTAR NOTASI.....	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Metodologi Penelitian	3
1.5 Sistematika Penulisan	4
BAB 2 DASAR TEORI.....	6
2.1 Garam.....	6
2.2 Prinsip Dasar Pengeringan	7
2.3 Perpindahan Panas	8
2.3.1 Konveksi	8
2.3.2 Konduksi.....	8
2.3.3 Radiasi.....	9
2.3.4 Fluks Perpindahan Panas	10
2.3.5 Laju Perpindahan Panas	10
2.4 Perpindahan Massa	10
2.4.1 Koefisien Perpindahan Massa.....	10
2.4.2 Difusi Dalam Gas.....	11
2.4.3 Fluks Perpindahan Massa	11
2.4.4 Laju Perpindahan Massa	12
2.5 Bilangan Tak Berdimensi.....	12
2.5.1 Bilangan Reynold.....	12
2.5.2 Bilangan Prandtl.....	13
2.5.3 Bilangan Schmidt.....	13

2.5.4	Bilangan Nusselt	14
2.5.5	Bilangan Sherwood	14
2.5.6	Bilangan Lewis	14
2.6	Persamaan Ranz-Marshall	14
2.7	Model Analogi Stagnan Film	15
2.7.1	Bilangan Nusselt Model Stagnan Film	15
2.8.2	Bilangan Sherwood Model Stagnan Film	16
2.8	Model Analogi Pendekatan Baru Stagnan Film	17
2.8.1	Bilangan Sherwood	18
2.8.2	Bilangan Nusselt	19
2.9	Karakteristik Udara	20
2.10	Thermodinamika Udara Basah	21
2.10.1	Kelembaban	22
2.10.1.1	Kelembaban Relatif	22
2.10.1.2	Rasio Kelembaban	22
2.11	Psychrometric Chart	24
2.12	Lapis Batas	26
2.12.1	Lapis Batas Hydrodynamics	26
2.12.2	Lapis Batas Thermal	27
2.12.3	Lapis Batas Konsentrasi	27
2.13	Termokopel	28
2.13.1	Prinsip Termokopel	28
2.13.2	Tipe-Tipe Termokopel	30
2.13.3	Penggunaan Termokopel	31
BAB 3 METODE PENELITIAN		32
3.1	Metodologi Penelitian	32
3.2	Komponen Sistem	33
3.2.1	Blower	33
3.2.2	Air Conditioner	33
3.2.3	Tabung Humidifier	34
3.2.4	Heater	35
3.2.5	Pyrex	35
3.2.6	Digital controller	36
3.2.7	Temperature display	37
3.2.8	Alat suntik	37
3.2.9	Inverter	38

3.3	Prosedur Kalibrasi dan Pengambilan Data.....	39
3.3.1	Kalibrasi Kecepatan	39
3.3.2	Pengambilan Data Foto	40
3.3.3	Pengolahan Foto	42
3.4	Pengolahan Data.....	43
3.4.1	Contoh Perhitungan.....	43
3.4.2	Psychrometric Chart.....	54
BAB IV ANALISA DATA.....		56
4.1	Analisa Grafik	56
4.2	Analisa Perbandingan Grafik Antar Model	56
4.2.1	Grafik Sherwood	56
4.2.2	Grafik Nusselt	59
4.3	Analisa Perbandingan Grafik Pengaruh Kelembaban.....	61
4.3.1	Grafik Sherwood	61
4.3.2	Grafik Nusselt	62
4.4	Analisa Perbandingan Grafik Pengaruh Konsentrasi.....	64
4.4.1	Grafik Sherwood	64
4.4.2	Grafik Nusselt	65
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		68
5.1	Kesimpulan	68
5.2	Saran.....	68
DAFTAR ACUAN.....		69
DAFTAR PUSTAKA.....		72
LAMPIRAN.....		74

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Model Film Stagnan	15
Gambar 2.2 Perbandingan Sh Ranz-Marshall dan Sh Data Walton(2004)	24
Gambar 2.3 Skema Pembacaan Psychrometric Chart	25
Gambar 2.4 Alat Pengukur Dry Bulb dan Wet Bulb.....	26
Gambar 2.5 Lapisan Batas.....	26
Gambar 2.6 Lapis Batas Hidrodinamik	27
Gambar 2.7 Lapisan Batas Termal	27
Gambar 2.8 Lapis Batas Konsentrasi	28
Gambar 3.1 Alat Pengujian Penguapan.....	32
Gambar 3.2 Skema Alat Uji Penguapan.....	33
Gambar 3.3 <i>Blower</i>	33
Gambar 3.4 Air Conditioner Dan Controller-nya.....	34
Gambar 3.5 Tabung Humidifier	34
Gambar 3.6 Heater.....	35
Gambar 3.7 Pyrex.....	36
Gambar 3.8 Digital controller.....	36
Gambar 3.9 Skema Auto Tuning.....	37
Gambar 3.10 Temperature display	37
Gambar 3.11 Alat suntik.....	38
Gambar 3.12 Display Inverter SJ200	38
Gambar 3.13 Posisi jarum dan tetesan	40
Gambar 3.14 Panel Sistem Listrik.....	40
Gambar 3.15 Tetesan.....	41
Gambar 3.16 Titik-titik Udara Pada Alat Uji	54

Gambar 3.16 Psychrometric Chart Kondisi Tanpa AC.....	54
Gambar 3.17 Psychrometric Chart Kondisi Dengan AC.....	55
Gambar 4.1 Grafik Sh Aquades AC.....	56
Gambar 4.2 Grafik Sh Garam 1 % AC.....	57
Gambar 4.3 Grafik Sh Aquades Non AC.....	57
Gambar 4.4 Grafik Sh Garam Non AC.....	58
Gambar 4.5 Grafik Nu Aquades AC.....	59
Gambar 4.6 Grafik Nu Garam 1% AC.....	59
Gambar 4.7 Grafik Nu Aquades Non AC.....	60
Gambar 4.8 Grafik Nu Garam 1% Non AC.....	60
Gambar 4.9 Grafik Perbandingan Sh Aquades pada AC dan Non AC.....	61
Gambar 4.10 Grafik Perbandingan Sh Garam 1% pada AC dan Non AC.....	62
Gambar 4.11 Grafik Perbandingan Nu Aquades pada AC dan Non AC.....	63
Gambar 4.12 Grafik Perbandingan Nu Garam 1% pada AC dan Non AC.....	63
Gambar 4.13 Grafik Sh Perbandingan Konsentrasi antara Aquades AC dan Garam 1 % AC.....	64
Gambar 4.14 Grafik Sh Perbandingan Konsentrasi antara Aquades AC dan Garam 1 % AC.....	65
Gambar 4.15 Grafik Nu Perbandingan Konsentrasi antara Aquades AC dan Garam 1 % AC.....	66
Gambar 4.16 Grafik Nu Perbandingan Konsentrasi antara Aquades AC dan Garam 1 % AC.....	66

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 PSYCHROMETRIC CHART	74
Lampiran 2 TABEL SIFAT UDARA PADA TEKANAN ATMOSFER.....	75
Lampiran 3 TABEL EMISSIVITAS PERMUKAAN	76
Lampiran 4 TABEL SIFAT AIR JENUH 1	77
Lampiran 5 TABEL SIFAT AIR JENUH 2	78
Lampiran 6 HASIL KALKULASI DATA GARAM 1% NON AC	79
Lampiran 7 HASIL KALKULASI DATA GARAM 1% AC	84
Lampiran 8 HASIL KALKULASI DATA AQUADES AC	89
Lampiran 9 HASIL KALKULASI DATA AQUADES NON AC	94



DAFTAR NOTASI

Simbol	Keterangan	Dimensi
A	luas penampang tetesan	$[m^2]$
C	konsentrasi total A dan B / udara	$[kmole/m^3]$
C_{pA}	panas jenis molal udara	$[J/(kmole K)]$
c_p	panas jenis udara	$[J/(kgK)]$
d	diameter tetesan	$[m]$
D_{AB}	difusivitas massa	$[m^2/s]$
h	koefisien konveksi	$[J/(m^2K)]$
h_{fg}	kalor laten penguapan air pada T_{WB}	$[J/kg]$
h_L	koefisien konveksi pada laju aliran rendah	$[W/(m^2K)]$
k	konduktivitas campuran	$[W/(mK)]$
k_c	koefisien perpindahan massa	$[kmole/(m^2s)]$
k_{cL}	koef.perpindahan massa pada laju perp.rendah	$[kmole/(m^2s)]$
Le	bilangan lewis	
Nu	bilangan Nusselt	
Pr	bilangan Prandtl	
ρ	Massa jenis	$[kg/m^3]$
q	laju perpindahan panas	$[W/m^2]$
q_0	laju perpindahan panas pada permukaan tetesan	$[W/m^2]$
Re	bilangan Reynold	
Sc	bilangan Schmidt	
Sh	bilangan Sherwood	
T_0	temperatur tetesan	$[K]$
T_∞	temperatur aliran bebas	$[K]$
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	$[K]$

m_{da}	Massa udara kering	[kg]
m_v	Massa uap air	[kg]
n	Mole udara basah	[Kmole]
n_{da}	Mole udara kering	[Kmole]
n_v	Mole uap air	[Kmole]
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_x	fluks perpindahan massa	[kmole/m ³]
R_T	fuks perpindahan panas	[kmole/m ³]
R_{da}	Tetapan gas untuk udara kering = 287	[J/kg.K]
R_v	Tetapan gas untuk uap air = 461,5	[J/kg.K]
X_0	fraksi mol di permukaan tetesan	[kmole/m ³]
X_∞	fraksi mol dalam aliran bebas	[kmole/m ³]
σ	Konstanta stefant boltzman	[W/m ² K ⁴]
$Q_{konveksi}$	Radiasi	[Watt]
ρ_s	Berat jenis uap pada permukaan	[kg/m ³]
ρ_∞	Berat jenis invinite	[kg/m ³]
μ	Viskositas dinamik	[Ns/m ²]
u	Kecepatan fluida	[m/s]

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sektor industri pengolahan bahan makanan saat ini tidak bisa lepas dari proses pengeringan. Untuk menjaga agar produk pada industri makanan dan minuman dapat tahan lama dengan tetap menjaga kualitasnya, perlu dilakukan proses pengeringan. Pengeringan 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. Dalam setiap bahan pangan selalu terdapat konsentrasi garam yang terkandung di dalamnya. Dalam ilmu kimia, garam adalah senyawa ionik yang terdiri dari ion positif (kation) dan ion negatif (anion), sehingga membentuk senyawa netral (tanpa bermuatan). Garam terbentuk dari hasil reaksi asam dan basa. Natrium klorida (NaCl), bahan utama garam dapur adalah suatu garam. Dalam proses pengeringan suatu bahan pangan diperlukan pengetahuan mengenai pengaruh konsentrasi larutan garam. Oleh karena itu diperlukan penelitian mengenai laju penguapan dengan mempunyai konsentrasi garam yang terkandung dalam air.

Prinsip pengeringan biasanya akan melibatkan dua kejadian yaitu panas harus diberikan pada bahan, dan air harus dikeluarkan dari bahan. Dua fenomena ini menyangkut pindah panas ke dalam dan pindah massa ke luar. Yang dimaksudkan dengan pindah massa adalah pemindahan air keluar dari bahan pangan. Dalam pengeringan pangan umumnya diinginkan kecepatan pengeringan yang maksimum, oleh karena itu semua usaha dibuat untuk mempercepat pindah panas dan pindah massa. Perpindahan panas dalam proses pengeringan dapat terjadi melalui dua cara yaitu pengeringan langsung dan pengeringan tidak langsung. Pengeringan langsung yaitu sumber panas berhubungan dengan bahan yang dikeringkan, sedangkan pengeringan tidak langsung yaitu panas dari sumber panas dilewatkan melalui permukaan benda padat (konverter) dan konverter tersebut yang berhubungan dengan bahan pangan. Setelah panas sampai ke bahan pangan maka air dari sel-sel bahan pangan akan bergerak ke permukaan bahan kemudian keluar.

Awalnya proses pengeringan hanya menggunakan metode alami yaitu dengan memanfaatkan sinar matahari. Namun, metode ini mempunyai beberapa keterbatasan, seperti: proses pengeringan memakan waktu yang lebih banyak, sangat tergantung pada kondisi alam (hanya dapat dilakukan pada siang hari dan pada saat cuaca cerah). Dengan keterbatasan-keterbatasan tersebut, perlu adanya pengembangan pada proses pengeringan agar lebih efisien dan efektif.

Selama 25 tahun belakangan ini, telah banyak dilakukan penelitian terhadap proses pengeringan. Salah satu metode penelitian yang digunakan adalah penguapan tetesan (*droplet evaporation*). 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 temperature, kelembaban dan kecepatan aliran, untuk keperluan penelitian maka diperlukan alat uji penguapan tetesan. Ranz W E & Marshall W R, telah melakukan studi experimental mengenai penguapan tetesan (*droplet evaporation*) dan menyimpulkan bahwa proses penguapan tetesan merupakan analogi (hubungan) perpindahan kalor dan perpindahan massa. Inti dari analogi ini adalah memanfaatkan hubungan similaritas antara bilangan Sherwood dan bilangan Nusselt, sehingga solusi perpindahan kalor aplikatif terhadap perpindahan massa.

1.1.1 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian 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, kosentrasi 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 Ranz-Marshall, *stagnant film model* dan pendekatan baru

pada *stagnant film model* (E. A. Kosasih, 2006). Disamping untuk melakukan analisa, diharapkan dari ketiga metode ini didapatkan korelasi yang terdekat antara rumus model Ranz-Marshall, *stagnant film model* dan pendekatan baru pada *stagnant film model* (E. A. Kosasih, 2006).

1.1.2 Batasan Masalah

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

1. Fluida cair yang dipakai adalah garam dengan kadar 1% dan air murni aquades.
2. Asumsi tetesan (*droplet*) yang terbentuk adalah berbentuk bola
3. Diameter tetesan (*droplet*) yang digunakan berada pada nilai 1,4 mm sampai pada 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

1.2 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 alat pengujian
Mengganti termokopel dengan jenis yang baru dan menambahkan karet pada keluaran dehumidifier untuk mengurangi getaran pada pyrex.
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).

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 lensa makro Nikon D40x dengan jarak focus 60 mm.

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.

1.3 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 I PENDAHULUAN

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

BAB II DASAR TEORI

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

BAB III METODE PENELITIAN

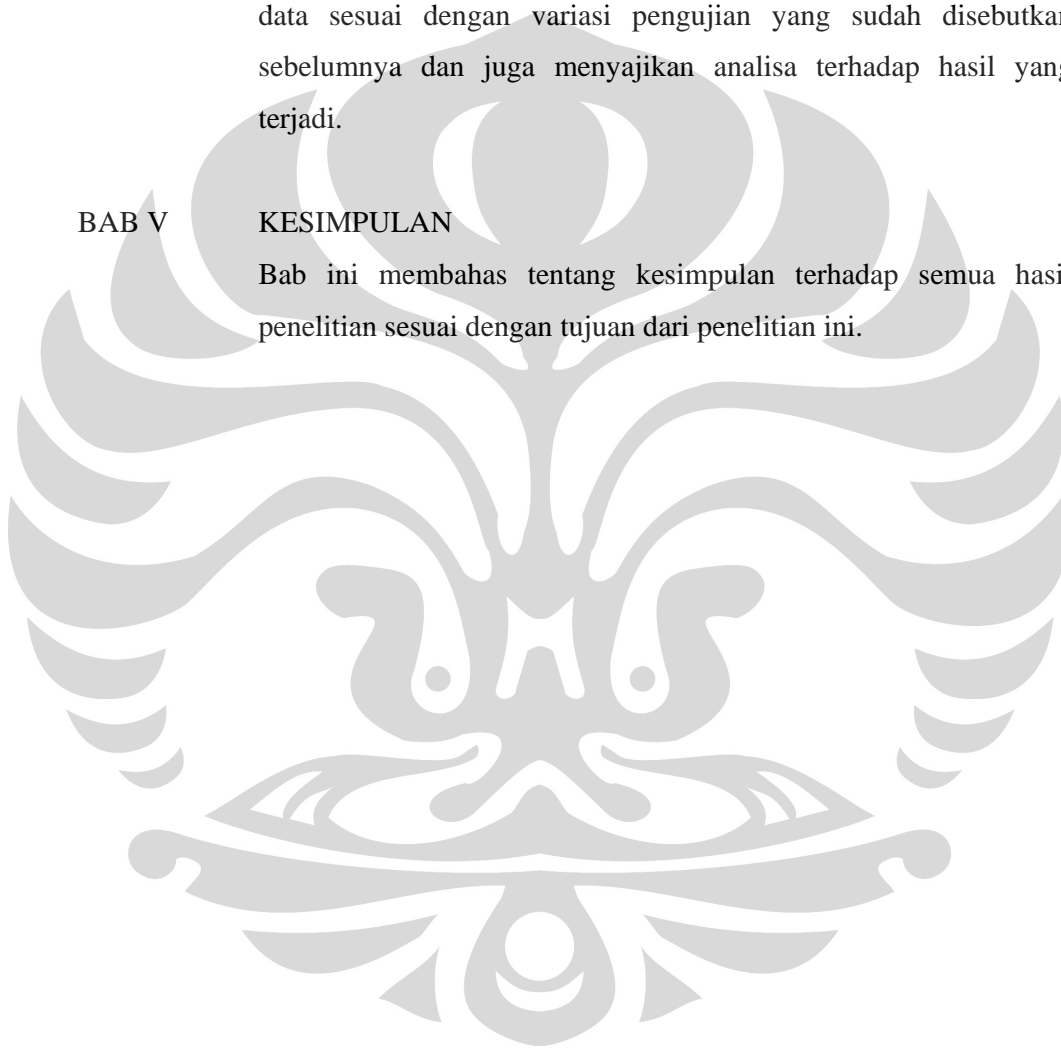
Bab ini membahas mengenai prosedur pengambilan data, kalibrasi alat, pencitraan tetesan, dan langkah-langkah perhitungan.

BAB IV 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 V KESIMPULAN

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

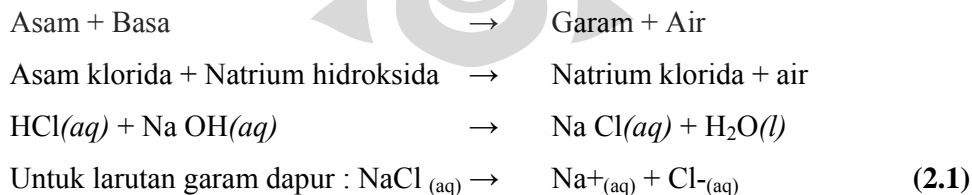


BAB II DASAR TEORI

2.1 Garam

Dalam ilmu kimia, garam adalah senyawa ionik yang terdiri dari ion positif (kation) dan ion negatif (anion), sehingga membentuk senyawa netral (tanpa bermuatan). Garam terbentuk dari hasil reaksi asam dan basa. Istilah asam (*acid*) berasal dari bahasa Latin *acetum* yang berarti cuka. Seperti diketahui, zat utama dalam cuka adalah asam asetat. Asam adalah zat yang dalam air akan melepaskan ion H^+ . Pembawa sifat asam adalah ion H^+ (ion hidrogen), sehingga rumus kimia asam selalu mengandung atom hidrogen. Ion adalah atom atau sekelompok atom yang bermuatan listrik. Kation adalah ion yang bermuatan listrik positif. Adapun anion adalah ion yang bermuatan listrik negatif. Sifat khas lain dari asam adalah dapat bereaksi dengan berbagai bahan seperti logam, marmer, dan keramik. Reaksi antara asam dengan logam bersifat korosif. Contohnya, logam besi dapat bereaksi cepat dengan asam klorida (HCl) membentuk Besi (II) klorida ($FeCl_2$). Basa (alkali) berasal dari bahasa Arab yang berarti abu. Basa adalah suatu senyawa yang jika dilarutkan dalam air (larutan) dapat melepaskan ion hidroksida (OH^-). Oleh karena itu, semua rumus kimia basa umumnya mengandung gugus OH. Natrium klorida (NaCl), bahan utama garam dapur adalah suatu garam.

Larutan garam dalam air merupakan larutan elektrolit, yaitu larutan yang dapat menghantarkan arus listrik. Cairan dalam tubuh makhluk hidup mengandung larutan garam, misalnya sitoplasma dan darah. Reaksi kimia untuk menghasilkan garam antara lain. Reaksi antara asam dan basa, misalnya



Dari persamaan diatas terlihat bahwa garam dapur terurai menjadi 2 ion yaitu Na^+ dan Cl^- maka konsentrasi partikelnya menjadi 2 kali semula. Yang menjadi ukuran langsung dari keadaan (kemampuannya) untuk mengion adalah

derajat ionisasi. Walaupun reaksi asam dengan basa disebut reaksi penetralan, tetapi hasil reaksi (garam) tidak selalu bersifat netral. Sifat asam basa dari larutan garam bergantung pada kekuatan asam dan basa penyusunnya. Garam yang berasal dari asam kuat dan basa kuat bersifat netral, disebut garam normal, contohnya NaCl dan KNO₃. Garam yang berasal dari asam kuat dan basa lemah bersifat asam dan disebut garam asam, contohnya adalah NH₄ Cl. Garam yang berasal dari asam lemah dan basa kuat bersifat basa dan disebut garam basa, contohnya adalah CH₃COONa. Contoh asam kuat adalah HCl, HNO₃, H₂SO₄. Adapun KOH, NaOH, Ca(OH)₂ termasuk basa kuat.^[1]

2.2 Prinsip Dasar Pengeringan

Pengeringan adalah suatu proses kompleks yang bertujuan untuk mengurangi kandungan air dalam bahan sampai batas tertentu. Proses pengeringan meliputi perpindahan panas dan massa secara transien 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.

Prinsip pengeringan biasanya akan melibatkan dua kejadian yaitu panas harus diberikan pada bahan, dan air harus dikeluarkan dari bahan. Dua fenomena ini menyangkut pindah panas ke dalam dan pindah massa ke luar. Yang dimaksudkan dengan pindah massa adalah pemindahan air keluar dari bahan pangan. Dalam pengeringan pangan umumnya diinginkan kecepatan pengeringan yang maksimum, oleh karena itu semua usaha dibuat untuk mempercepat pindah panas dan pindah massa. Perpindahan panas dalam proses pengeringan dapat terjadi melalui dua cara yaitu pengeringan langsung dan pengeringan tidak langsung. Pengeringan langsung yaitu sumber panas berhubungan dengan bahan yang dikeringkan melalui *konveksi*, sedangkan pengeringan tidak langsung yaitu panas dari sumber panas dilewatkan secara *konduksi* melalui permukaan benda padat, *radiasi* atau secara volumetric dengan menempatkan sample uji tersebut dalam medan elektromagnetik gelombang mikro atau frekuensi radio.^[2]

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.

2.3 Perpindahan Panas

2.3.1 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^[3] :

$$q = hA(T_s - T_\infty) \quad (2.2)$$

q = laju perpindahan kalor [kJ/s]

k = konduktivitas termal [W/m.°C]

h = koefisien konveksi [W/m².°C]

T_s = temperatur permukaan [°C]

T_∞ = temperatur ambien [°C]

2.3.2 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.

$$\frac{q}{A} \sim \frac{\partial T}{\partial x} \quad (2.3)$$

Jika dimasukkan konstanta proporsionalitas maka persamaannya menjadi :

$$q = -kA \frac{\partial T}{\partial x} \quad (2.4)$$

$$k = \rho \times cp \times \alpha \quad (2.5)$$

q = laju perpindahan kalor [kJ/s]

k = konduktivitas termal [W/m.°C]

ρ = rapat massa udara [kg/m³]

cp = panas jenis udara [kJ/kg.°C]

α = difusivitas termal [m²/s]

A = luas penampang [m²]

T = temperatur [°C]

x = jarak (panjang) perpindahan kalor [m]

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

2.3.3 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^[4] :

$$\frac{Q}{A} = \alpha \sigma (Tu^4 - Td^4) \quad (2.6)$$

Q = radiasi [W]

A = luas permukaan [m²]

α = absorptivitas [m²/s.10⁴]

σ = konstanta stefant boltzman [W/m² K⁴]

Tu = temperatur sumber radiasi [K]

Td = temperatur *droplet* [K]

2.3.4 Fluks perpindahan panas

Fluks perpindahan panas dipakai dalam model stagnan film dan pendekatan baru model stagnan film dengan rumus sebagai berikut^[5]:

$$R_T = e^\phi - 1 \quad (2.7)$$

$$\phi = \frac{-N \times C_{pA}}{h_L} \quad (2.8)$$

$$C_{pA} = cp \times 28,9 \quad (2.9)$$

- R_T = fluks perpindahan panas
- Φ = factor kecepatan perpindahan panas
- N = laju difusi molal [mol/s]
- h_L = koefisien perpindahan panas menuju nol [W/(m²K)]
- C_{pA} = panas jenis molal udara [j/(kmole.K)]
- cp = panas jenis udara [kj/kg.°C]

2.3.5 Laju Perpindahan Panas

$$q_0 = \frac{N_{AO} \cdot C_{pA} \cdot (T_\infty - T_0)}{\left[\exp\left(-\frac{N_{AO} \cdot C_{pA}}{h_L} - \frac{C_{pA}}{k} \cdot C_2 \right) - 1 \right]} \quad (2.10)$$

- q_0 = laju perpindahan panas [W/m²]
- N_{AO} = laju perpindahan massa [kmole/(m²s)]
- h_L = koefisien perpindahan panas [W/(m²K)]
- k = konduktivitas campuran [W/(mK)]
- C_2 = parameter perpindahan panas

2.4 Perpindahan Massa

2.4.1 Koefisien Perpindahan Massa

Koefisien perpindahan massa (*mass transfer coefficient*) dapat kita definisikan seperti halnya dengan koefisien perpindahan-kalor^[6], jadi:

$$m = k_c A (\rho_s - \rho_\infty) \quad (2.11)$$

$$k_c = \frac{Sh \cdot D}{d} \quad (2.12)$$

$$k_c = \frac{N(1 - x_0)}{C(x_0 - x_{A0})} \quad (2.13)$$

m = fluks massa difusi komponen A [kg/s]

k_c = koefisien konveksi massa [m/s]

ρ_s = berat jenis uap pada permukaan [kg/m³]

ρ_∞ = berat jenis *infinite* [kg/m³]

Sh = bilangan Sherwood

D = difusivitas [m²/s]

d = diameter dalam lapisan air [m]

A = luas permukaan yang dibasahi air (πdL) [m²]

N = laju difusi molal [mol/s]

C = konsentrasi total udara [kmol/m³]

2.4.2 Difusi Dalam Gas

Gilliland mengusulkan rumus semi empiris untuk koefisien difusi dalam gas^[7]:

$$D_{AB} = 0,1166 E^{-08} \times e^{1,75 \times \ln T_F} \quad (2.14)$$

Laju difusi molal :

$$N = \frac{-dm/dt}{18.A} \quad (2.15)$$

$$\text{Dimana } \frac{-dm}{dt} = \rho \frac{-dV}{dt} \quad (2.16)$$

$$\text{Dan } \frac{-dV}{dt} = Ax \frac{-dr}{dt} \quad (2.17)$$

D_{AB} = difusivitas massa [m²/s]

N = laju difusi molal [mol/s]

m = laju massa aliran (kg/s)

2.4.3 Fluks Perpindahan Massa (Rx)

Fluks perpindahan massa digunakan dalam perhitungan model stagnan film dan pendekatan baru model stagnan film dengan rumus sebagai berikut^[5]:

$$R_x = \frac{x_0 - x_{A\infty}}{1 - x_{A\infty}} \quad (2.18)$$

R_X = fluks perpindahan massa

x_0 = fraksi mol uap pada permukaan droplet [kmole/m³]

x_{A0} = fraksi mol uap pada lingkungan [kmole/m³]

2.4.4 Laju Perpindahan Massa

$$N_{AO} = k_{cL} \left[\ln \left(\frac{1 - X_{\infty}}{1 - X_0} \right) - C_1 \right] \quad (2.19)$$

N_{AO} = laju perpindahan massa [kmole/(m²s)]

K_{cL} = koefisien perpindahan massa [kmole/(m²s)]

C_1 = parameter perpindahan massa

2.5 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.

2.5.1 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. Bentuk persamaan^[8] tersebut adalah :

$$Re = \frac{uX}{\nu} \quad (2.20)$$

u = kecepatan [m/s]

x = jarak [m]

ν = viskositas kinematik [m²/s]

$$Re = \frac{\text{gaya inersia}}{\text{gaya viskos}} = \frac{\rho V^2 / L}{\mu V / L^2} = \frac{\rho V L}{\mu} \quad (2.21)$$

ρ = massa jenis fluida (kg/m^3)

V = kecepatan alir fluida (m/s)

L = panjang karakteristik, berupa diameter pipa (m)

Untuk nilai Re yang kecil, gaya viskos lebih dominan sehingga menciptakan jenis aliran laminar yang stabil < 2300 , beraturan, dan profil kecepatan konstan. Sementara untuk nilai Re yang besar > 4000 , timbul aliran turbulen yang fluktuatif, *eddies* acak, dan tak beraturan. Sedangkan aliran transisi $2300 < Re < 4000$ merupakan suatu kondisi aliran peralihan yang membentuk laminar dan turbulen sehingga sulit untuk mendapatkan sifat-sifat aliran fluida.

Semakin besar nilai Re , maka tebal lapisan kecepatan δ semakin kecil terhadap permukaan.

2.5.2 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 hidro dinamik dan termal *boundary layer*.

Persamaannya yaitu :

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} \quad (2.22)$$

ν = viskositas kinematik [m^2/s]

α = difusivitas termal [m^2/s]

2.5.3 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 :

$$Sc = \frac{\nu}{D} \quad (2.23)$$

ν = viskositas kinematik [m^2/s]

D = difusivitas massa [m^2/s]

2.5.4 Bilangan Nusselt

Bilangan Nusselt merupakan bilangan yang menggambarkan karakteristik proses perpindahan panas^[9]

$$Nu_x = \frac{hx}{k} \quad (2.24)$$

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

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

2.5.5 Bilangan Sherwood

Bilangan Sherwood merupakan bilangan yang menggambarkan gradien konsentrasi yang terjadi pada permukaan.^[10]

$$Sh = \frac{k_c \cdot L}{D_{AB}} \quad (2.25)$$

k_{cL} = koefisien perpindahan massa [kmole/(m²s)]

D_{AB} = difusivitas massa [m²s]

2.5.6 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.

$$Le = \frac{\alpha}{D_{AB}} \quad (2.26)$$

$$Le = \frac{Sc}{Pr} \quad (2.27)$$

2.6 Perasamaan Ranz-Marshall

Pers. 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^[11] dan nilai $Re \leq 200$. Berikut adalah pers. Ranz-Marshall :

$$Nu = 2 + 0,55 Re^{1/2} Pr^{1/3} \quad (2.28)$$

Sehingga dengan analogi untuk perpindahan massa berlaku :

$$Sh = 2 + 0,55 Re^{1/2} Sc^{1/3} \quad (2.29)$$

Nu = bilangan nusselt

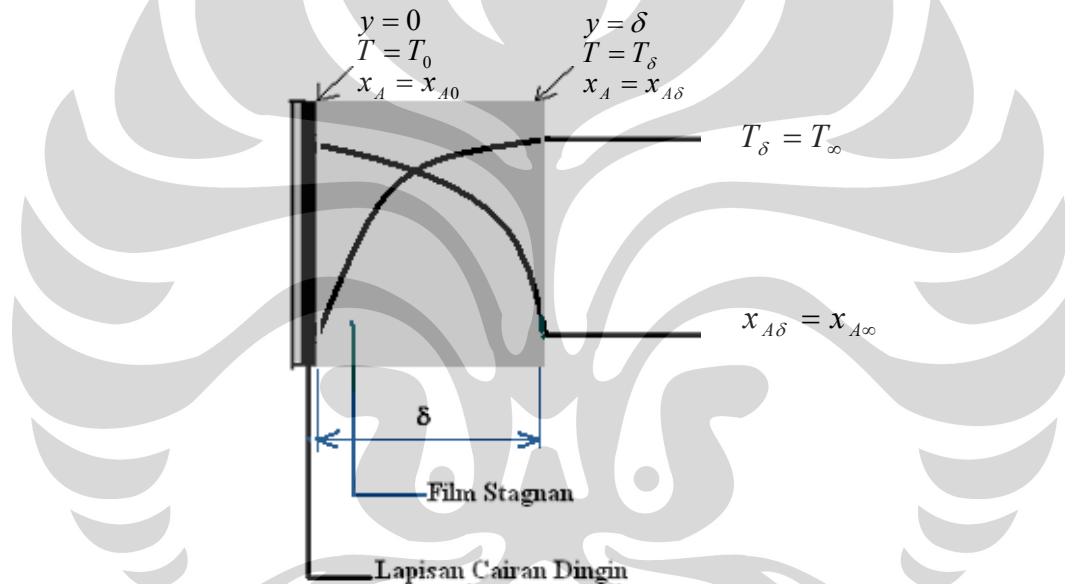
Re = bilangan reynold

Sc = bilangan schumidt

Pr = bilangan prandtl

2.7 Model Analogi Stagnan Film

Model analitis ini diturunkan untuk perpindahan panas dan massa yang tinggi disekitar plat datar (koordinat Cartesius). Walaupun demikian model ini digunakan pula untuk menghitung perpindahan disekitar bola sferik.



Gambar 2.1. Model Film Stagnan

Pada gambar memperlihatkan lapisan cairan dingin yang menguap disekitar udara panas. Film stagnan adalah film khayal yang diasumsikan bahwa di luar film tersebut tidak terdapat beda potensial perpindahan^[12].

2.7.1 Bilangan Nusselt model analogi stagnan film

Karakteristik proses perpindahan panas model analogi stagnan film mempunyai rumus sebagai berikut^[5]:

$$Nu_{SF} = \frac{h_{L-SF} \times d}{k} \quad (2.30)$$

$$h_{LSiF} = \frac{h}{\theta_{T_SiF}} \quad (2.31)$$

$$\theta_{T_SiF} = \frac{h}{h_L} \quad (2.32)$$

$$h_L = \frac{(2 + 0,6 \times Re^{1/2} \times Pr^{0,333}) \times k}{diameter} \quad (2.33)$$

$$\theta_{T_SiF} = \frac{Ln(1 + R_T)}{R_T} \quad (2.34)$$

Nu_{SiF} = bilangan nusselt stagnan film

h_{L_SiF} = koefisien perpindahan panas menuju nol [W/m².°C]

d = diameter droplet [m]

k = konduktivitas panas udara [W/m.°C]

h_L = koefisien perpindahan panas menuju nol [W/m².°C]

Re = reynold

Pr = prandtl

h = koefisien perpindahan panas [W/m².°C]

θ_{T_SiF} = faktor koreksi perpindahan panas

R_T = fluks perpindahan panas

2.7.2 Sherwood model stagnan film (Sh_{SiF})

Karakteristik proses perpindahan massa model stagnan film mempunyai rumus sebagai berikut^[5]:

$$Sh_{SiF} = \frac{k_{eLSiF} \times diameter}{D_{AB}} \quad (2.35)$$

$$k_{cL_SiF} = \frac{k_c}{\theta_{SiF}} \quad (2.36)$$

$$\theta_{X_SiF} = \frac{k_c}{k_{cL}} \quad (2.37)$$

$$\theta_{X_StF} = \frac{\ln(1 + R_x)}{R_x} \quad (2.38)$$

Sh_{StF} = bilangan *sherwood* stagnan film

k_{CL_StF} = koefisien perpindahan massa menuju nol [$W/m^2 \cdot ^\circ C$]

d = diameter droplet [m]

D_{AB} = Difusivitas massa [m^2/s]

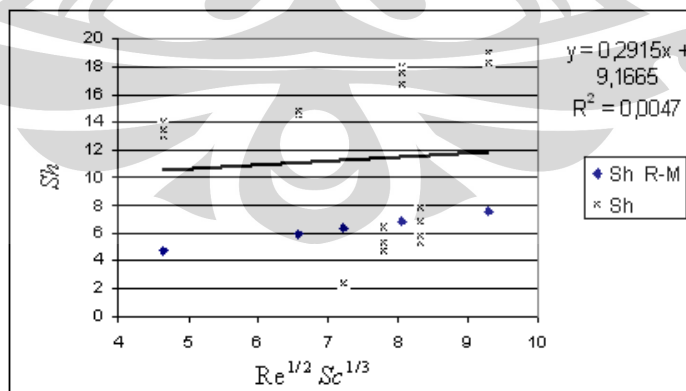
kc = koefisien perpindahan massa [$W/m^2 \cdot ^\circ C$]

θ_{X_StF} = faktor koreksi perpindahan massa

R_X = fluks perpindahan massa

2.8 Model Analogi Pendekatan Baru Stagnan Film

Konfirmasi analogi perpindahan panas dan massa (Ranz-Marshall) menunjukkan hasil yang negatif dan hal ini sesuai dengan hasil simulasi yang dilakukan oleh Chen et. al. (2002). Korelasi yang lemah untuk bilangan Nusselt dan bilangan Sherwood pada data Walton (2004) membuka peluang untuk membuat model ataupun pendekatan yang lain sedemikian hingga memberikan korelasi yang baik. Pengujian tetesan iso-propanol yang dijatuhkan melawan aliran udara panas menunjukkan bahwa laju penguapan yang menggunakan persamaan analogi Ranz-Marshall lebih kecil dari hasil pengujian. Keadaan ini sesuai dengan pengujian Walton (2004).



Gambar 2.2 Perbandingan Sh Ranz-Marshall dan Sh Data dari Walton (2004)

Model film stagnan perpindahan massa yang diterapkan pada model analogi Ranz-Marshall untuk tetesan air menghasilkan penyimpangan yang cukup

besar dari data Walton (2004). Tetapi dengan model pendekatan baru yang diterapkan pada model analogi Ranz-Marshall, data Walton tersebut menghasilkan persamaan dengan korelasi yang baik. Berbeda dengan model film stagnan, pada model pendekatan baru, perpindahan massa bisa terjadi pada permukaan antar-fasa selama terjadi beda temperatur (terjadi perpindahan panas) meskipun tidak terjadi beda konsentrasi. Perpindahan massa pada permukaan antar-fasa ini disebabkan oleh perpindahan panas yang menimbulkan perubahan fasa (perpindahan massa penguapan / pengembunan) pada permukaan tersebut. Demikian juga perbedaan konsentrasi akan menimbulkan perubahan fasa (sebagai akibat perpindahan massa) pada permukaan antar-fasa sehingga di sini terjadi perpindahan panas, meskipun tidak terjadi perbedaan temperatur. Kedua fenomena ini tidak terjadi pada model film stagnan.^[13]

2.8.1 Sherwood model pendekatan baru (Sh_{Mod})

Karakteristik proses perpindahan massa model pendekatan baru terdapat nilai C_1 yaitu parameter perpindahan massa dengan rumus sebagai berikut.^[14]

$$Sh_{Mod} = \frac{k_{cLMod} \times d}{D_{AB}} \quad (2.39)$$

$$k_{cLMod} = \frac{k_c}{\theta_{Mod}} \quad (2.340)$$

$$\theta_{X_{Mod}} = \frac{k_c}{k_{cL}} \quad (241)$$

$$\theta_{X_{Mod}} = \frac{Ln(1 + R_x) - C_1}{R_x} \quad (2.42)$$

$$C_1 = -0,0011 \times (Tudara - Tdroplet) - 1,0082 \times (x_{A\infty} - x_0) \quad (2.43)$$

Sh_{Mod} = bilangan *sherwood* stagnan film

$k_{cL_{Mod}}$ = koefisien perpindahan massa menuju nol [$W/m^2 \cdot ^\circ C$]

d = diameter droplet [m]

D_{AB} = Difusivitas massa [m^2/s]

- kc = koefisien perpindahan massa [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$]
 θ_{X_Mod} = faktor koreksi perpindahan massa
 R_X = fluks perpindahan massa
 C_1 = parameter perpindahan massa

2.8.2 Bilangan Nusselt model pendekatan baru

Karakteristik proses perpindahan panas model pendekatan baru terdapat nilai C_2 yaitu parameter perpindahan panas dengan rumus sebagai berikut.^[14]

$$Nu_{Mod} = \frac{h_{LMod} \times diameter}{k} \quad (2.44)$$

$$h_{LMod} = \frac{h}{\theta_{T_Mod}} \quad (2.45)$$

$$\theta_{T_Mod} = \frac{h}{h_L} \quad (2.46)$$

$$h_L = \frac{(2 + 0,6 \times Re^{\frac{1}{2}} \times Pr^{0.333}) \times k}{diameter} \quad (2.47)$$

$$\theta_{T_Mod} = \frac{\ln(1 + R_T)}{R_T} + \frac{C_{pA}}{k \times R_T} \cdot C_2 \quad (2.48)$$

$$C_2 = 0,4633E^{-09} \times (Tudara - Tdroplet) + 0,16E^{-06} \times (x_{A\infty} - x_0) \quad (2.49)$$

- Nu_{Mod} = bilangan nusselt stagnan film
 h_{L_Mod} = koefisien perpindahan panas menuju nol [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$]
 d = diameter droplet [m]
 k = konduktivitas panas udara [$\text{W}/\text{m} \cdot ^\circ\text{C}$]
 h = koefisien perpindahan panas [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$]

h_L	= koefisien perpindahan panas menuju nol [$W/m^2 \cdot ^\circ C$]
Re	= bilangan reynold
Pr	= prandtl
θ_{T_Mod}	= faktor koreksi perpindahan panas
R_T	= fluks perpindahan panas
C_2	= parameter perpindahan massa

2.9 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)^[15]. 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. Udara dianggap sebagai gas ideal, sehingga hukum-hukum yang berlaku untuk gas ideal akan berlaku juga pada udara yaitu^[16]:

$$PV = mR_a T \quad (2.50)$$

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 basah [K]

2.10 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:

$$m = m_{da} + m_v \quad (2.51)$$

$$m_{da} = \text{massa udara kering [kg]}$$

$$m_v = \text{massa uap air [kg]}$$

Persamaan mol yang setara dengan pers.(2.51) adalah:

$$n = n_{da} + n_v \quad (2.52)$$

$$n = \text{mole udara basah [kmole]}$$

$$n_{da} = \text{mole udara kering [kmole]}$$

$$n_v = \text{mole uap air [kmole]}$$

Jika pers.(2.52) dibagi dengan jumlah mole udara basah (n) maka didapat:

$$\frac{n_{da}}{n} + \frac{n_v}{n} = 1 \quad (2.53)$$

$$x_{da} + x_v = 1 \quad (2.54)$$

$$x_o = \frac{P_v}{101325} \quad (2.55)$$

$$X = \frac{n_v}{n_a} = \frac{n_v}{n_{da}} \times \frac{n_{da}}{n_a} \quad (2.56)$$

$$pv = nRT = \frac{n}{M} RT \quad (2.57)$$

$$\frac{n}{v} = \frac{p}{RT} = \frac{101325}{8314.5 \cdot T_\infty} = C \quad (2.58)$$

$$x_o = \frac{\omega}{0.622(1 + \omega)} \quad (2.59)$$

$$x_{da} = \text{fraksi mole udara kering [kmole/m}^3\text{]}$$

$$x_v = \text{fraksi mole uap air [kmole/m}^3\text{]}$$

2.10.1 Kelembaban

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

2.10.1.1 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^[17]:

$$RH(\phi) = \frac{x_v}{x_{ws}} \quad (2.60)$$

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.

2.10.1.2 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:

$$\omega = \frac{m_v}{m_{da}} \quad (2.61)$$

$$m = (1 + \omega)m_{da} \quad (2.62)$$

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 $p_v = RT$, 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).

$$\omega = \frac{m_v}{m_{da}} = \frac{p_v \cdot V / R_v \cdot T}{p_{da} \cdot V / R_{da} \cdot T} = \frac{p_v / R_v}{(p_t - p_v) / R_{da}} \quad (2.63)$$

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

V = volume campuran udara-uap air [m³]

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 (2.61) maka diperoleh

$$\omega = \left(\frac{287}{461,5} \right) \left(\frac{p_v}{p - p_v} \right) = 0,622 \left(\frac{p_v}{p - p_v} \right) = 0,622 \frac{p_v}{p_{da}} \quad (2.64)$$

$$\rho_v = \rho \cdot \omega_v \quad (2.65)$$

$$\rho_o = \frac{m_v}{v} = \frac{m_v}{m} \cdot \frac{m}{v} \quad (2.66)$$

$$\rho_o = \omega_v \cdot \rho \quad (2.67)$$

$$C = \frac{n}{v} = \frac{m/M}{v} = \frac{\rho}{M} \quad (2.68)$$

$$n = \frac{m}{M} \quad (2.69)$$

$$\frac{P_v}{P_{da}} = \frac{n_v}{n_{da}} = \frac{m_v/18}{m_{da}/28,9} = \frac{\omega}{0,622} \quad (2.70)$$

$$\gamma = \omega = 0,622 \frac{P_v}{p_a - P_v} \quad (2.71)$$

$$\gamma p_a - \gamma p_v = 0,622 \cdot p_v \quad (2.72)$$

$$p_v = \frac{\gamma}{\gamma + 0,622} p_a \quad (2.73)$$

$$\omega_o = \frac{0.622 \cdot x_o}{1 + 0.378 \cdot x_o} \quad (2.74)$$

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

2.11 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 %.

$$m = m_{da} + m_v \quad (2.75)$$

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.

$$\omega = \frac{m_v}{m_{da}} \quad (2.76)$$

ω = rasio kelembaban (*humidity ratio*)

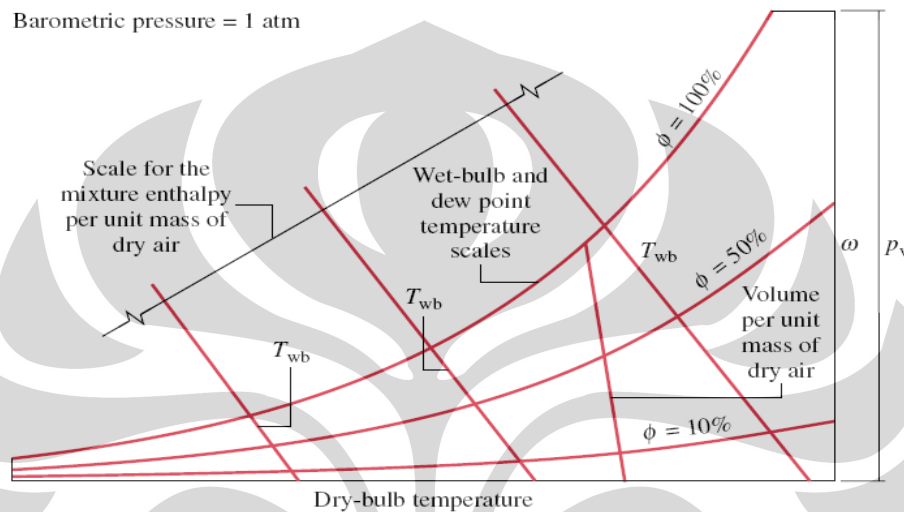
m_v = massa uap air [kg]

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.

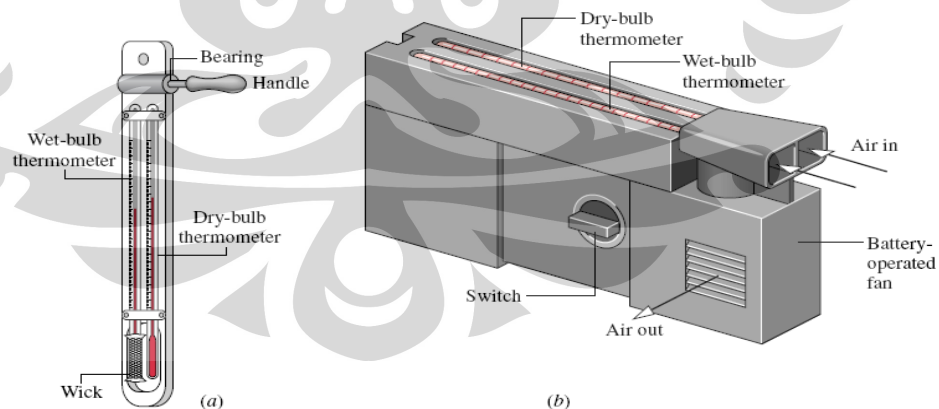
6. **Temperatur bola kering (*Dry bulb temperature*)**. Merupakan temperature udara yang terbaca pada termometer, ketika ia tidak dipengaruhi oleh kelembaban yang ada dalam udara.
7. **Temperatur bola basah (*Wet bulb temperature*)**. Merupakan temperature udara yang terbaca pada termometer yang bola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

Barometric pressure = 1 atm



Gambar 2.3 Skema Pembacaan Psychrometric Chart

(sumber : wikipedia)



Gambar 2.4 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^[18]:

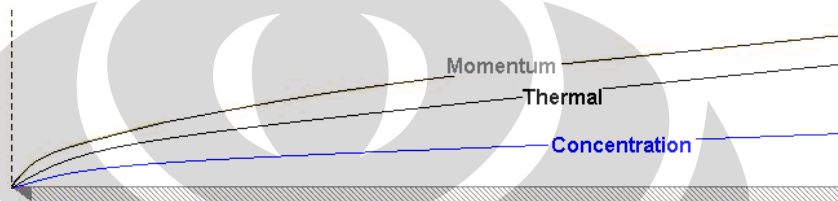
$$h = h_{da} + h_w \quad (2.77)$$

h = entalpi udara basah [kJ/kg]

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

h_w = entalpi uap air [kJ/kg]

2.12 Lapis Batas

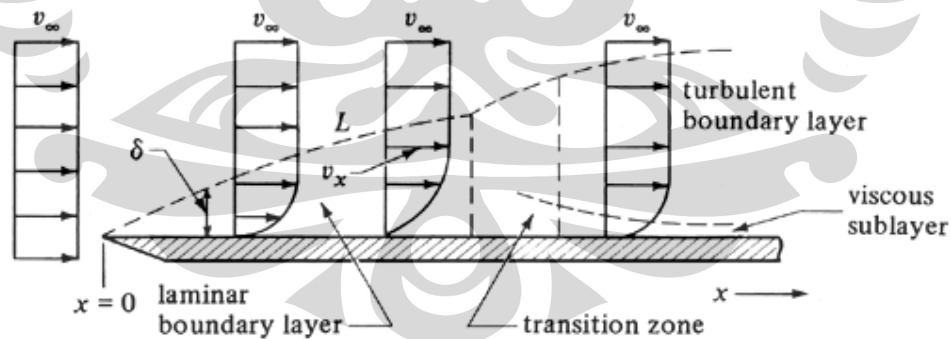


Gambar 2.5 Lapisan batas

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

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

2.12.1 Lapisan Batas Hidrodinamik



Gambar 2.6 Lapisan batas hidrodinamik

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

Lapisan batas pada plat rata terlihat membentuk suatu lapisan 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^[19] :

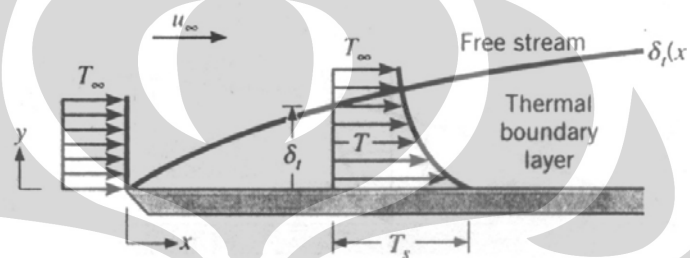
$$\tau = \mu \frac{\partial u}{\partial y} \quad (2.78)$$

τ = tegangan geser [N/m^2]

μ = viskositas dinamik [Ns/m^2]

u = kecepatan fluida [m/s]

2.12.2 Lapis Batas Termal

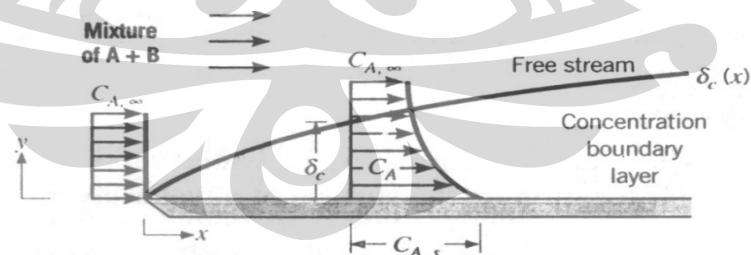


Gambar 2.7 Lapisan batas termal

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

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

2.12.3 Lapis Batas Konsentrasi



Gambar 2.8 Lapis batas konsentrasi

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

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

2.13 Termokopel

Termokopel adalah sensor suhu yang banyak digunakan untuk mengubah perbedaan suhu dalam benda menjadi perubahan tegangan listrik (voltase). Termokopel yang sederhana dapat dipasang, dan memiliki jenis konektor standar yang sama, serta dapat mengukur temperatur dalam jangkauan suhu yang cukup besar dengan batas kesalahan pengukuran kurang dari 1 °C.

2.13.1 Prinsip Termokopel

Pada tahun 1821, seorang fisikawan Estonia bernama Thomas Johann Seebeck menemukan bahwa sebuah konduktor (semacam logam) yang diberi perbedaan panas secara gradien akan menghasilkan tegangan listrik. Hal ini disebut sebagai efek termoelektrik. Untuk mengukur perubahan panas ini gabungan dua macam konduktor sekaligus sering dipakai pada ujung benda panas yang diukur. Konduktor tambahan ini kemudian akan mengalami gradiasi suhu, dan mengalami perubahan tegangan secara berkebalikan dengan perbedaan temperatur benda. Menggunakan logam yang berbeda untuk melengkapi sirkuit akan menghasilkan tegangan yang berbeda, meninggalkan perbedaan kecil tegangan memungkinkan kita melakukan pengukuran, yang bertambah sesuai temperatur. Perbedaan ini umumnya berkisar antara 1 hingga 70 microvolt tiap derajat celcius untuk kisaran yang dihasilkan kombinasi logam modern. Beberapa kombinasi menjadi populer sebagai standar industri, dilihat dari biaya, ketersediaanya, kemudahan, titik lebur, kemampuan kimia, stabilitas, dan hasil. Sangat penting diingat bahwa termokopel mengukur perbedaan temperatur di antara 2 titik, bukan temperatur absolut.

Pada banyak aplikasi, salah satu sambungan (sambungan yang dingin) dijaga sebagai temperatur referensi, sedang yang lain dihubungkan pada objek pengukuran. contoh, pada gambar di atas, hubungan dingin akan ditempatkan pada tembaga pada papan sirkuit. Sensor suhu yang lain akan mengukur suhu pada titik ini, sehingga suhu pada ujung benda yang diperiksa dapat dihitung. Termokopel dapat dihubungkan secara seri satu sama lain untuk membuat termopile, dimana tiap sambungan yang panas diarahkan ke suhu yang lebih tinggi dan semua sambungan dingin ke suhu yang lebih rendah. Dengan begitu,

tegangan pada setiap termokopel menjadi naik, yang memungkinkan untuk digunakan pada tegangan yang lebih tinggi. Dengan adanya suhu tetapan pada sambungan dingin, yang berguna untuk pengukuran di laboratorium, secara sederhana termokopel tidak mudah dipakai untuk kebanyakan indikasi sambungan langsung dan instrumen kontrol. Mereka menambahkan sambungan dingin tiruan ke sirkuit mereka yaitu peralatan lain yang sensitif terhadap suhu (seperti termistor atau dioda) untuk mengukur suhu sambungan input pada peralatan, dengan tujuan khusus untuk mengurangi gradiasi suhu di antara ujung-ujungnya.

Di sini, tegangan yang berasal dari hubungan dingin yang diketahui dapat disimulasikan, dan koreksi yang baik dapat diaplikasikan. Hal ini dikenal dengan kompensasi hubungan dingin. Biasanya termokopel dihubungkan dengan alat indikasi oleh kawat yang disebut kabel ekstensi atau kompensasi. Tujuannya sudah jelas. Kabel ekstensi menggunakan kawat-kawat dengan jumlah yang sama dengan konduktor yang dipakai pada Termokopel itu sendiri. Kabel-kabel ini lebih murah daripada kabel termokopel, walaupun tidak terlalu murah, dan biasanya diproduksi pada bentuk yang tepat untuk pengangkutan jarak jauh - umumnya sebagai kawat tertutup fleksibel atau kabel multi inti. Kabel-kabel ini biasanya memiliki spesifikasi untuk rentang suhu yang lebih besar dari kabel termokopel. Kabel kompensasi pada sisi lain, kurang presisi, tetapi murah. Mereka memakai perbedaan kecil, biasanya campuran material konduktor yang murah yang memiliki koefisien termoelektrik yang sama dengan termokopel (bekerja pada rentang suhu terbatas), dengan hasil yang tidak seakurat kabel ekstensi.

Kombinasi ini menghasilkan output yang mirip dengan termokopel, tetapi operasi rentang suhu pada kabel kompensasi dibatasi untuk menjaga agar kesalahan yang diperoleh kecil. Kabel ekstensi atau kompensasi harus dipilih sesuai kebutuhan termokopel. Pemilihan ini menghasilkan tegangan yang proporsional terhadap beda suhu antara sambungan panas dan dingin, dan kutub harus dihubungkan dengan benar sehingga tegangan tambahan ditambahkan pada tegangan termokopel, menggantikan perbedaan suhu antara sambungan panas dan dingin.

2.13.2 Tipe-Tipe Termokopel

Tersedia beberapa jenis termokopel, tergantung aplikasi penggunaannya^[20]

1. Tipe K (Chromel (Ni-Cr alloy) / Alumel (Ni-Al alloy))

Termokopel untuk tujuan umum. Lebih murah. Tersedia untuk rentang suhu $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ hingga $+1200\text{ }^{\circ}\text{C}$.

2. Tipe E (Chromel / Constantan (Cu-Ni alloy))

Tipe E memiliki output yang besar ($68\text{ }\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$) membuatnya cocok digunakan pada temperatur rendah. Tipe J (Iron / Constantan)

Rentangnya terbatas (-40 hingga $+750\text{ }^{\circ}\text{C}$) membuatnya kurang populer dibanding tipe K

3. Tipe J memiliki sensitivitas sekitar $\sim 52\text{ }\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$

4. Tipe N (Nicrosil (Ni-Cr-Si alloy) / Nisil (Ni-Si alloy))

Stabil dan tahan yang tinggi terhadap oksidasi membuat tipe N cocok untuk pengukuran suhu yang tinggi tanpa platinum. Dapat mengukur suhu di atas $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$. Sensitifitasnya sekitar $39\text{ }\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ pada 900°C , sedikit di bawah tipe K. Tipe N merupakan perbaikan tipe K. Termokopel tipe B, R, dan S adalah termokopel logam mulia yang memiliki karakteristik yang hampir sama. Mereka adalah termokopel yang paling stabil, tetapi karena sensitifitasnya rendah (sekitar $10\text{ }\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$) mereka biasanya hanya digunakan untuk mengukur temperatur tinggi ($>300\text{ }^{\circ}\text{C}$).

5. Type B (Platinum-Rhodium/Pt-Rh)

Cocok mengukur suhu di atas $1800\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tipe B memberi output yang sama pada suhu 0°C hingga 42°C sehingga tidak dapat dipakai di bawah suhu 50°C .

6. Type R (Platinum /Platinum with 7% Rhodium)

Cocok mengukur suhu di atas $1600\text{ }^{\circ}\text{C}$. sensitivitas rendah ($10\text{ }\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$) dan biaya tinggi membuat mereka tidak cocok dipakai untuk tujuan umum.

7. Type S (Platinum /Platinum with 10% Rhodium)

Cocok mengukur suhu di atas $1600\text{ }^{\circ}\text{C}$. sensitivitas rendah ($10\text{ }\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$) dan biaya tinggi membuat mereka tidak cocok dipakai untuk tujuan umum. Karena stabilitasnya yang tinggi Tipe S digunakan untuk standar pengukuran titik leleh emas ($1064.43\text{ }^{\circ}\text{C}$).

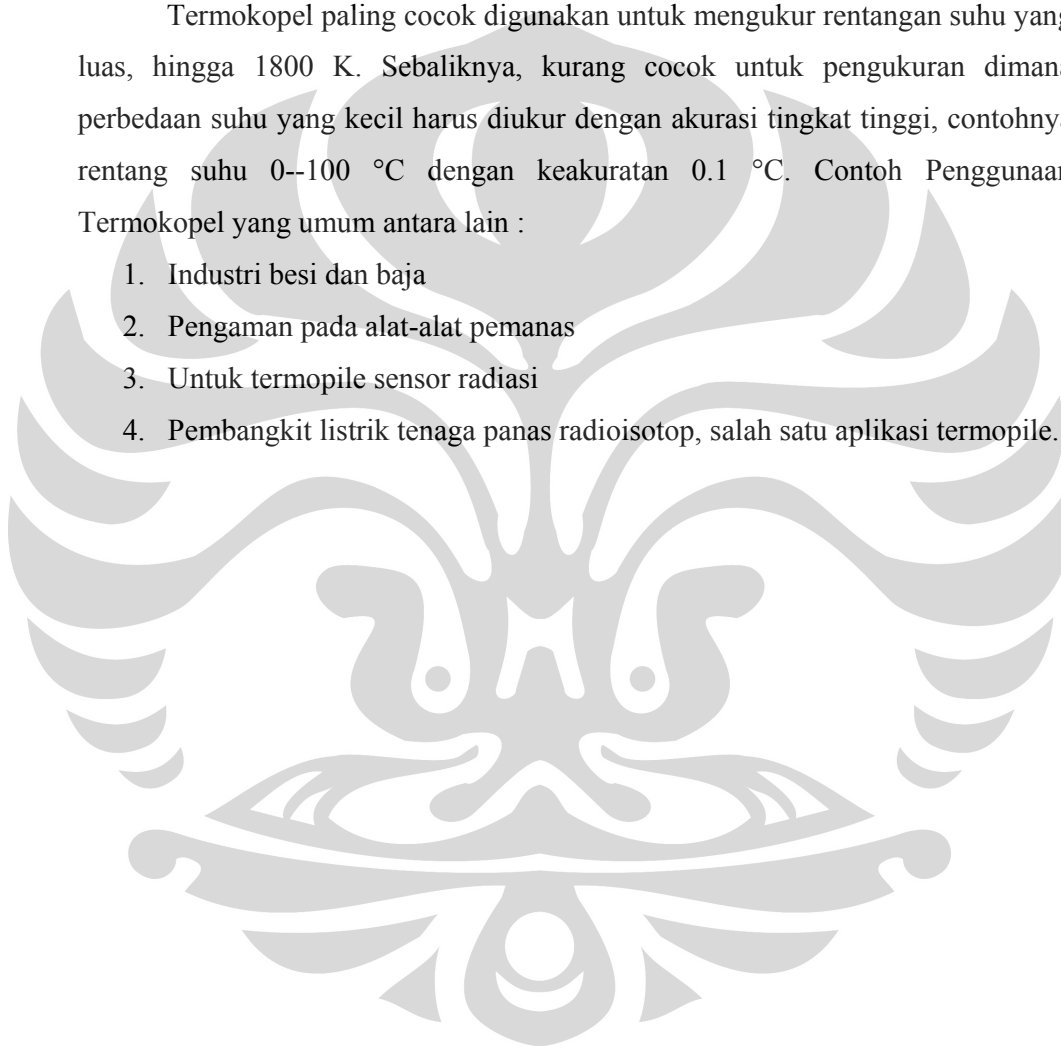
8. Type T (Copper / Constantan)

Cocok untuk pengukuran antara -200 to 350 °C. Konduktor positif terbuat dari tembaga, dan yang negatif terbuat dari constantan. Sering dipakai sebagai alat pengukur alternatif sejak penelitian kawat tembaga. Type T memiliki sensitifitas $\sim 43 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$.

2.13.3 Penggunaan Termokopel

Termokopel paling cocok digunakan untuk mengukur rentangan suhu yang luas, hingga 1800 K. Sebaliknya, kurang cocok untuk pengukuran dimana perbedaan suhu yang kecil harus diukur dengan akurasi tingkat tinggi, contohnya rentang suhu 0 -- 100 °C dengan keakuratan 0.1 °C. Contoh Penggunaan Termokopel yang umum antara lain :

1. Industri besi dan baja
2. Pengaman pada alat-alat pemanas
3. Untuk termopile sensor radiasi
4. Pembangkit listrik tenaga panas radioisotop, salah satu aplikasi termopile.



BAB III METODE PENELITIAN

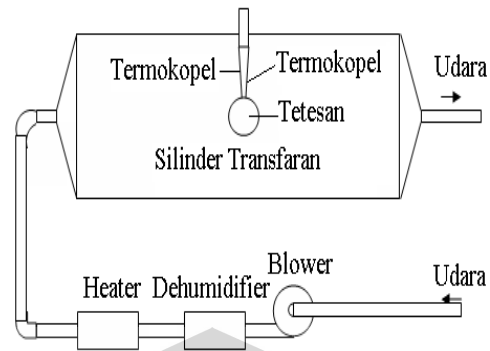
3.1 Metodologi Penelitian

Penelitian laju penguapan ini menggunakan seperangkat alat uji yang terdiri dari blower, dehumidifier, air conditioner, pemanas, pyrex dan system control.



Gambar 3.1 Alat pengujian penguapan

Cara kerja alat ini adalah udara pada lingkungan masuk melalui blower, pada blower udara dialirkan kepada dehumidifier sesuai dengan kecepatan yang diinginkan. Pengaturan kecepatan pada blower diatur melalui inverter. Pada dehumidifier udara dapat di atur kondisinya dengan air conditioner atau tanpa air conditioner. Bila dengan air conditioner udara dikurangi kelembabannya oleh evaporator dengan cara kerja system refrigrasi, terdapat sensor sehingga kondisi udara pada dehumidifier dapat diatur pada suhu tertentu. Bila tanpa air conditioner udara langsung dialirkan kepada pemanas. Selanjutnya pada pemanas, udara di naikan temperaturnya sesuai dengan suhu tertentu melalui system control yang terdapat pada panel. Suntikan terletak pada tengah-tengah pyrex yang menghasilkan tetesan yang dilalui udara yang mengalir keluar dari pemanas. Begitu seterusnya hingga tetesan pada termokopel habis. Laju perubahan diameter tetesan didapat dengan cara mengukur diameter foto tetesan.



Gambar 3.2 skema alat uji penguapan

3.2 Komponen Sistem

3.2.1 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 3.3 Blower

3.2.2 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 3.4 Air Conditioner dan Controller-nya

3.2.3 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.

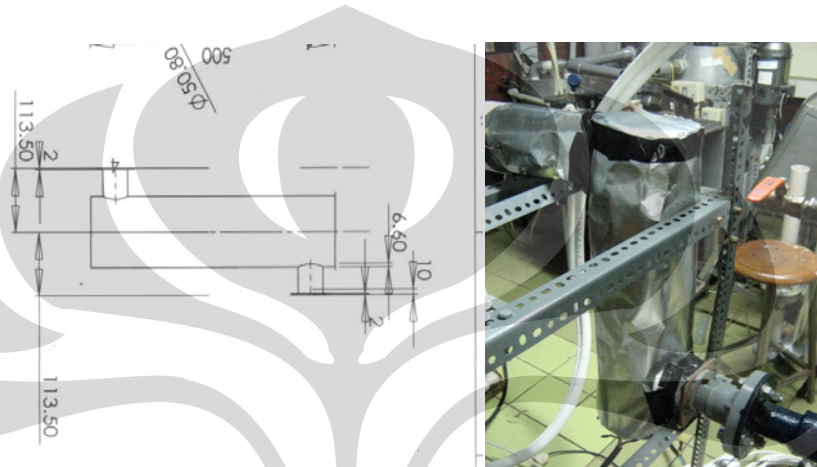
Kedua tabung dibuat dari pelat baja setebal 2 mm yang dibentuk menyerupai tabung kemudian bagian luarnya dibungkus dengan bahan "thermafleks" (biasa digunakan pada pembungkus pipa AC) agar temperatur lingkungan tidak mempengaruhi temperatur dalam tabung.



Gambar 3.5 Tabung Dehumidifier

3.2.4 Heater

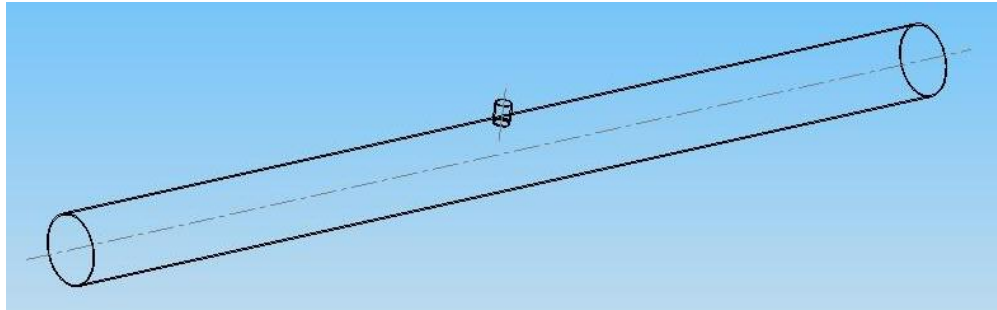
Untuk memberikan panas ke udara yang dialirkan ke tetesan maka dipasangkan *heater*. Daya maksimal yang dapat dicapai oleh heater adalah 3 kW, pada tegangan 220 VAC. Pada outlet *heater* dipasang termokopel sebagai *feedback* ke *Digital Controller* agar temperatur yang dihasilkan oleh heater dapat terukur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



Gambar 3.6 Heater

3.2.5 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 3.7 Pyrex

3.2.6 Digital controller.

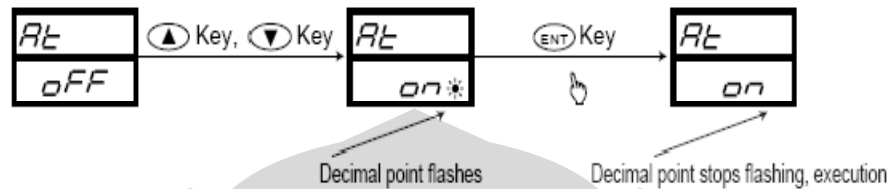
Komponen ini akan digunakan untuk mempermudah proses menstabilkan kondisi *heater* pada kondisi temperatur yang diinginkan dengan proses *auto-tuning* yang terintegrasi. Selain untuk membantu *heater* mencapai kondisi stabil, komponen ini juga digunakan untuk mengatur kerja dari heater agar tidak *over 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 3.8 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 3.9 Skema *Auto Tuning*

3.2.7 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*.

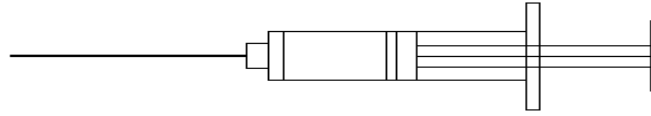


Gambar 3.10 Temperature display

3.2.8 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 diletakkan 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.

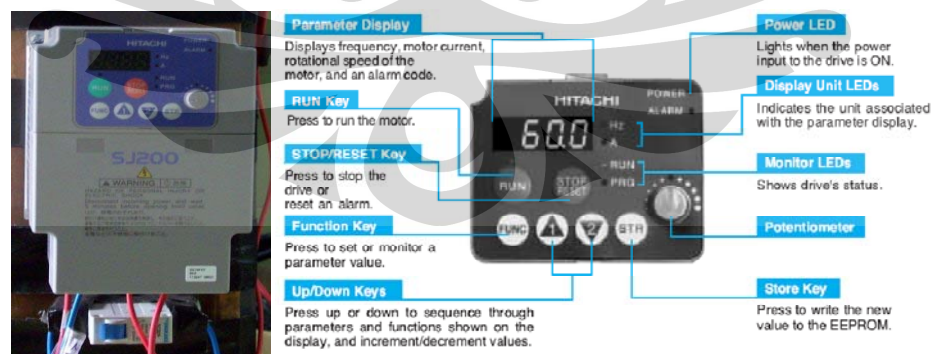


Gambar 3.11 Alat suntik

3.2.9 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 3.12 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 ($25^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$).

3.3 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.

3.3.1 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 50°C ditunggu sampai keadaan menjadi tunak.
4. Meletakkan *hot wire anemometer* di lubang setelah dehumidifier (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 75°C , 100°C , dan 150°C .

3.3.2 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 pada interval waktu setiap 2 detik selama 60 detik 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.

3.3.3 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 3 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 $1 \text{ pixel} = 5,6 \times 10^{-5} \text{ m}$

- 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.

3.4 Pengolahan Data

3.4.1 Contoh Perhitungan

Dengan mengukur kecepatan udara, temperatur udara, temperatur tetesan, dan kelembaban udara, maka tahapan perhitungan bisa dilakukan berikut contoh perhitungan

1. Frekuensi *inverter* = 7 Hz
2. Waktu pengambilan foto pada detik ke-60
3. Pada kondisi non ac, $T_{db} = 29\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{wb} = 26\text{ }^{\circ}\text{C}$.
4. T_{udara} pada termokopel = $48\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{droplet} = 31\text{ }^{\circ}\text{C}$
5. Dari hasil pengukuran diperoleh dimensi droplet :
 - o Lebar = $379.5\text{ pixel} \times \text{Faktor Kalibrasi Mata Bor } 3\text{mm}$
 $= 379.5\text{ pixel} \times (0.003\text{m} \div 500\text{ pixel})$
 $= 0.002277\text{ m}$
 - o Tinggi = $390\text{ pixel} \times \text{Faktor Kalibrasi Mata Bor } 3\text{mm}$
 $= 390\text{ pixel} \times (0.003\text{m} \div 500\text{ pixel})$
 $= 0.00234\text{ m}$
 - o Selisih : Lebar = $17\text{ pixel} \times (0.003\text{m} \div 500\text{ pixel})$
 $= 0.000102\text{ m}$
 Tinggi = $20\text{ pixel} \times (0.003\text{m} \div 500\text{ pixel})$
 $= 0.00012\text{ m}$

Selanjutnya bisa dilakukan langkah-langkah analisa perhitungan sebagai berikut :

1. Menghitung d (diameter rata-rata tetesan)

$$d = \left(\frac{d_{lebar} + d_{tinggi}}{2} \right)$$

$$d = \left(\frac{0.002277 + 0.00234}{2} \right)$$

$$d = 0,0023085\text{m}$$

2. Menghitung $\frac{dd}{dt}$

$$\frac{dd}{dt} = \frac{\text{Peluruhan}}{\text{Waktu}}$$

$$\frac{dd}{dt} = \frac{\left(\frac{0.000102 + 0.00012}{2} \right)}{60 \text{ det ik}}$$

$$\frac{dd}{dt} = 1,85 E^{-06} \text{ m/s}$$

3. Menghitung laju difusi molal (N)

$$\frac{-dm/dt}{A} = \rho \cdot \frac{dv/dt}{A}$$

$$\frac{dv/dt}{A} = \frac{dr}{dt}$$

$$\frac{dr}{dt} = \frac{dd/dt}{2}$$

$$\frac{dr}{dt} = \frac{1,85 E^{-06}}{2}$$

$$\frac{dr}{dt} = 9,25 E^{-07}$$

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

$$N = \frac{\rho_{air} \cdot 9,25 E^{-07}}{18}$$

$$N = \frac{998,4 \times 9,25 E^{-07}}{18}$$

$$N = 5,13067 E^{-05} \text{ kmole} / \text{s.m}^2$$

4. Menghitung fraksi mol uap pada permukaan droplet (x_0)

Tekanan uap (P_v) pada temperatur droplet 31°C adalah $4491,3 \text{ Pa}$ (interpolasi) dari tabel H_2O jenuh pada lampiran 4.

Untuk garam terdapat 2 ion yang mempengaruhi nilai senyawa molekulnya yaitu Na^+ dan Cl^-

$$x_{NaCl} = \frac{n_v}{n_a} = \frac{n_v}{n_{da} + n_v}$$

$$x_{NaCl} = \frac{\frac{2}{58.5}}{\frac{2}{58.25} + \frac{99}{18}}$$

$$x_{NaCl} = \frac{1}{1 + \left(\frac{99}{18} \times \frac{58.5}{2} \right)}$$

$$x_{NaCl} = 6,1776E^{-03}$$

$$x_{NaCl} + X_{0A} = 1$$

$$x_{0A} = 1 - X_{NaCl}$$

$$x_{0A} = 1 - 6,1776E^{-03}$$

$$x_{0A} = 0,9938 \text{ kmole} / \text{m}^3$$

$$p_{oA} = x_{0A} \times p_v$$

$$p_{oA} = 0,9938 \times 4491,3$$

$$p_{oA} = 4463,55 \text{ Pa}$$

Sehingga :

$$x_0 = \frac{p_{oA}}{P_{udara}}$$

$$x_0 = \frac{4463,5}{101325}$$

$$x_0 = 0,04405 \text{ kmole} / \text{m}^3$$

5. Menghitung fraksi mol uap pada lingkungan ($X_{A\infty}$)

Diperlukan komponen rasio kelembaban (ω) yakni perbandingan antara massa uap dengan massa udara kering, nilai ini didapatkan dari table psikometri. Untuk temperature $T_{db} = 30^\circ\text{C}$ dan $T_{wb} = 26^\circ\text{C}$ akan didapatkan nilai $\omega = 0.002$

$$x_{A\infty} = \frac{\omega}{\omega + 0,632} = \frac{0,02}{0,02 + 0,623} = 0,0311 \text{ kmole} / \text{m}^3$$

6. Menghitung konsentrasi total udara (C)

T_{film} adalah temperature udara pada termokopel saat belum di berikan tetesan ditambah temperature sesudah diberikan tetesan.

$$T_f = t_u + t_d$$

$$T_f = 273 + \left(\frac{48 + 31}{2} \right)$$

$$T_f = 312,5K$$

C diperoleh dari :

$$C = \frac{n}{V} = \frac{P}{\Re T}$$

$$C = \frac{101325}{8314,5 \times 312,5}$$

$$C = 0,03899 \text{ kmol/m}^3$$

7. Menghitung fluks perpindahan massa (R_x)

$$R_x = \frac{x_0 - x_{A\infty}}{1 - x_{A\infty}}$$

$$R_x = \frac{0,04405 - 0,0311}{1 - 0,0311}$$

$$R_x = 0,013365$$

8. Menghitung koefisien perpindahan massa (k_c)

$$k_c = \frac{Nx(1 - x_0)}{Cx(x_0 - x_{A0})}$$

$$k_c = \frac{5,3067 E^{-05} (1 - 0,04405)}{0,03899 (0,04405 - 0,0311)}$$

$$k_c = 0,10047 \text{ kmol / m}^2 \cdot \text{s}$$

9. Menghitung faktor koreksi perpindahan massa untuk model analogi stagnan film (θ_{SiF})

$$\theta_{x_{SiF}} = \frac{k_c}{k_{cL}} = \frac{\ln(1 + R_x)}{R_x}$$

$$\theta_{x_{SiF}} = \frac{\ln(1 + 0,013365)}{0,013365}$$

$$\theta_{x_{SiF}} = 1$$

10. Menghitung koefisien laju perpindahan massa model stagnan film k_c menuju $k_{c,LSiF}$ ketika N_{A0} menuju nol

$$k_{cLStF} = \frac{k_c}{\theta_{StF}}$$

$$k_{cLStF} = \frac{0.10047}{1}$$

$$k_{cLStF} = 0,1 \text{ kmole } / (m^2 s)$$

11. Menghitung difusivitas massa A dalam B (D_{AB})

$$D_{AB} = 0,1166 E^{-08} \times e^{1,75 \times \ln T_F}$$

$$D_{AB} = 2,71 E^{-05} m^2 / s$$

12. Menghitung Sherwood model stagnan film (Sh_{StF})

$$Sh_{StF} = \frac{k_{cLStF} \times \text{diameter}}{D_{AB}}$$

$$Sh_{StF} = \frac{0,1 \times 0,0023085}{2,71 E^{-05}}$$

$$Sh_{StF} = 8,55$$

13. Menentukan parameter perpindahan massa (C_1)

$$C_1 = -0,0011 \times (T_{udara} - T_{droplet}) - 1,0082 \times (x_{A\infty} - x_0)$$

$$C_1 = -0,0011 \times (48 - 31) - 1,0082 \times (0,0311 - 0,04405)$$

$$C_1 = -5,644 E^{-03}$$

14. Menghitung faktor koreksi perpindahan massa untuk model analogi pendekatan baru (θ_{Mod})

$$\theta_{Mod} = \frac{k_c}{k_{cL}} = \frac{\ln(1 + R_x) - C_1}{R_x}$$

$$\theta_{Mod} = \frac{\ln(1 + 0,013365) - (-5,6 E^{-03})}{0,013365}$$

$$\theta_{Mod} = 1,433$$

15. Menghitung koefisien laju perpindahan massa model pendekatan baru k_c menuju k_{cLMod} ketika N_{A0} menuju nol

$$k_{cLMod} = \frac{k_c}{\theta_{Mod}}$$

$$k_{cLMod} = \frac{0.10047}{1,43}$$

$$k_{cLMod} = 0,07 \text{ kmol } / m^2 .s$$

16. Menghitung Menghitung Sherwood model pendekatan baru (Sh_{Mod})

$$Sh_{Mod} = \frac{k_{cLMod} \times diameter}{D_{AB}}$$

$$Sh_{Mod} = \frac{0,07 \times 0,0023085}{2,71 E^{-05}}$$

$$Sh_{Mod} = 5,9$$

17. Mencari angka reynold (Re) pada droplet

$$Re = \frac{\rho u_{max} d_{rata-rata}}{\mu}$$

$$Re = \frac{u_{Max} \cdot d_{rata-rata}}{\nu}$$

Dimana :

ρ = massa jenis udara (kg/m³)

U_{max} = kecepatan pada droplet (m/s)

$d_{rata-rata}$ = diameter rata – rata (m)

μ = viskositas dinamik (kg/m.s)

ν = difusivitas momentum atau viskositas kinematik (m²/s)

Asumsi Kecepatan di droplet ialah kecepatan maksimum, droplet berada di tengah dengan $U_{max} = 0,4013$ m/s dan $\nu = 1,691E-05$ m²/s

$$Re = \frac{u_{Max} \cdot d_{rata-rata}}{\nu}$$

$$Re = \frac{0,4013 \times 0,0023085}{1,691E-05}$$

$$Re = 54,8$$

18. Menghitung bilangan Schmidt

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

$$Sc = \frac{1,691E^{-05}}{2,71E^{-05}}$$

$$Sc = 0,624$$

19. Menghitung bilangan Sherwood (pers. Ranz - Marshall)

$$Sh = 2 + (0,55x Re^{1/2} \cdot Sc^{1/3})$$

$$Sh = 2 + (0,55x 7,403 \times 0,85)$$

$$Sh = 5,8$$

Langkah-langkah Mencari Perpindahan Panas

20. Menghitung nilai konduktivitas campuran (K) dengan $T_f = 312.5$ K sehingga dapat dicari nilai rapat massa udara (ρ), panas jenis udara (cp) dan difusivitas termal (α) dari tabel sifat-sifat udara pada lampiran 2

$$k = \rho \times cp \times \alpha$$

$$k = 1,1270 \times 10008,3 \times 2,4E^{-05}$$

$$k = 0,0271 [W / (mK)]$$

21. Menghitung q_{radiasi} / A

$$\frac{q_{\text{radiasi}}}{A} = 0,96 \times 0,566959 E^{-07} \times ((273 + T_{\text{udara}})^4 - (273 + T_{\text{droplet}})^4)$$

$$\frac{q_{\text{radiasi}}}{A} = 0,96 \times 0,566959 E^{-07} \times ((273 + 48)^4 - (273 + 31)^4)$$

$$\frac{q_{\text{radiasi}}}{A} = 113,03 [W / m^2]$$

22. Menghitung q_o/A , dengan konduksi dari termokopel $Q_{\text{konduksi}} = 212,129$ dan kalor laten pada temperature droplet 31°C sebesar $h_{fg} = 2428319$ J/kg dari table sifat air jenuh pada lampiran 4.

$$\frac{q_o}{A} = -N \times 18 \times h_{fg} + q_{\text{konduksi}} + \frac{q_{\text{radiasi}}}{A}$$

$$\frac{q_o}{A} = -5,13E^{-05} \times 18 \times 2428319 + 212,129 + 113,03$$

$$\frac{q_o}{A} = -1917,44 [W / m^2]$$

23. Menghitung koefisien perpindahan panas h

$$h = \frac{\frac{q_o}{A}}{(T_{\text{droplet}} - T_{\text{udara}})}$$

$$h = \frac{-1917,44}{(31 - 48)}$$

$$h = 112,76 [W / (m^2 K)]$$

24. Menghitung koefisien perpindahan panas h menuju h_L ketika N_{A0} menuju nol

$$h_L = \frac{(2 + 0,6 \times \text{Re}^{\frac{1}{2}} \times \text{Pr}^{0,333}) \times k}{\text{diameter}}$$

$$h_L = \frac{(2 + 0,6 \times 54,8^2 \times 0,71^{0,333}) \times 0,0271}{0,0023085}$$

$$h_L = 69,88 [W / (m^2 K)]$$

25. Menghitung panas jenis molal udara C_{pA} dengan cp dari tabel sifat udara pada lampiran 2

$$C_{pA} = cp \times 28,9$$

$$C_{pA} = 10008,3 \times 28,9$$

$$C_{pA} = 0,289 E^{06} [J / (kmoleK)]$$

26. Menghitung factor kecepatan perpindahan panas (ϕ)

$$\phi = \frac{-N \times C_{pA}}{h_L}$$

$$\phi = \frac{-5,13 E^{-05} \times 0,289 E^{-06}}{69,88}$$

$$\phi = -0,0212$$

27. Menghitung fluks perpindahan panas (R_T)

$$R_T = e^{\phi} - 1$$

$$R_T = e^{-0,0212} - 1$$

$$R_T = -0,0209$$

28. Menghitung faktor koreksi perpindahan panas untuk model analogi stagnan film (θ_{StF})

$$\theta_{T_StF} = \frac{h}{h_L} = \frac{\ln(1 + R_T)}{R_T}$$

$$\theta_{T_StF} = \frac{\ln(1 + (-0,0209))}{-0,0209}$$

$$\theta_{T_StF} = 1,01$$

29. Menghitung parameter perpindahan panas (C_2)

$$C_2 = 0,4633 E^{-09} \times (T_{udara} - T_{droplet}) + 0,16 E^{-06} \times (x_{A\infty} - x_0)$$

$$C_2 = 0,4633 E^{-09} \times (48 - 31) + 0,16 E^{-06} \times (0,0311 - 0,04405)$$

$$C_2 = -9,948 E^{-09}$$

30. Menghitung faktor koreksi perpindahan panas untuk model analogi pendekatan baru (θ_{Mod})

$$\theta_{T_Mod} = \frac{h}{h_L} = \frac{\ln(1 + R_T)}{R_T} + \frac{C_{pA}}{k \times R_T} \cdot C_2$$

$$\theta_{T_Mod} = \frac{\ln(1 + (-0,0209))}{-0,0209} + \frac{0,289 E^{-6} \times (-9,948 E^{-09})}{0,0271 \times (-0,0209)}$$

$$\theta_{T_Mod} = 1,523$$

31. Menghitung koefisien laju perpindahan panas model stagnan film h menuju h_{L_StF} ketika N_{A0} menuju nol

$$h_{L_StF} = \frac{h}{\theta_{StF}}$$

$$h_{L_StF} = \frac{112,76}{1,01}$$

$$h_{L_StF} = 111,64 \text{ watt} / m^2 \cdot K$$

32. Menghitung koefisien laju perpindahan panas model pendekatan baru h menuju h_{L_Mod} ketika N_{A0} menuju nol

$$h_{L_Mod} = \frac{h}{\theta_{Mod}}$$

$$h_{L_Mod} = \frac{112,76}{1,523}$$

$$h_{L_Mod} = 74 \text{ watt} / m^2 \cdot K$$

33. Menghitung bilangan Prandtl (Pr)

Dengan $T_f = 312.5K$ dapat dicari nilai Pr dari table sifat-sifat udara tekanan atmosfer pada lampiran 5

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha}$$

$$Pr = \frac{1,691E^{-05}}{2,4E^{-05}}$$

$$Pr = 0,704$$

34. Menghitung bilangan Nusselt (pers. Ranz - Marshall)

$$Nu = 2 + (0,55 \times Re^{1/2} \cdot Pr^{1/3})$$

$$Nu = 2 + (0,55 \times 54,8^{0,5} \times 0,704^{0,333})$$

$$Nu = 5,95$$

35. Menghitung bilangan Nusselt model analogi stagnan film

$$Nu_{SiF} = \frac{h_{LSiF} \times diameter}{k}$$

$$Nu_{SiF} = \frac{116,4 \times 0,0023085}{0,0271}$$

$$Nu_{SiF} = 9,51$$

36. Menghitung bilangan Nusselt model pendekatan baru

$$Nu_{Mod} = \frac{h_{LMod} \times diameter}{k}$$

$$Nu_{Mod} = \frac{74 \times 0,0023085}{0,0271}$$

$$Nu_{Mod} = 6,3$$

Dari langkah langkah diatas, maka dapat dibuat tabel dan grafik pada lampiran 6.

Berikut merupakan perhitungan untuk laju perpindahan panas dan perpindahan massa untuk ac dan non ac garam 1%

37. Perpindahan massa non ac garam 1%

$$N_{AO} = k_{cL} \left[\ln \left(\frac{1 - X_{\infty}}{1 - X_0} \right) - C_1 \right]$$

$$N_{AO} = 0,07 \left[\ln \left(\frac{1 - 0,0311}{1 - 0,04405} \right) - (-5,644 E^{-03}) \right]$$

$$N_{AO} = 1,25468 \cdot 10^{-3} [kmole / (m^2 s)]$$

38. Perpindahan panas non ac garam 1%

$$q_o = \frac{N_{AO} \cdot C_{PA} \cdot (T_0 - T_{\infty})}{\left[\exp \left(- \frac{N_{AO} \cdot C_{PA}}{h_L} - \frac{C_{PA}}{k} C_2 \right) - 1 \right]}$$

$$q_o = \frac{1,25468 \cdot 10^{-3} \cdot 0,289 E^{06} \cdot (31 - 48)}{\left[\exp \left(- \frac{1,25468 \cdot 10^{-3} \cdot 0,289 E^{06}}{69,88} - \frac{0,289 E^{06}}{0,0271} \cdot -9,948 \cdot 10^{-9} \right) - 1 \right]}$$

$$q_o = 1810,55 [W / m^2]$$

39. perpindahan massa untuk ac garam 1% :

$$N_{AO} = k_{cL} \left[\ln \left(\frac{1 - X_{\infty}}{1 - X_o} \right) - C_1 \right]$$

$$N_{AO} = 0,036 \left[\ln \left(\frac{1 - 0,01642}{1 - 0,04405} \right) - (-9,15 E^{-03}) \right]$$

$$N_{AO} = 1,354 \cdot 10^{-3} [kmole / (m^2 s)]$$

40. Perpindahan panas ac garam 1%

$$q_o = \frac{N_{AO} \cdot C_{PA} \cdot (T_o - T_{\infty})}{\left[\exp \left(- \frac{N_{AO} \cdot C_{PA}}{h_L} - \frac{C_{PA}}{k} C_2 \right) - 1 \right]}$$

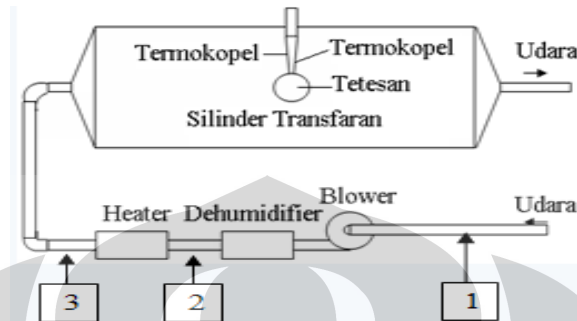
$$q_o = \frac{1,354 \cdot 10^{-3} \cdot 0,289 E^{06} \cdot (31 - 48)}{\left[\exp \left(- \frac{1,3534 \cdot 10^{-3} \cdot 0,289 E^{06}}{56,67} - \frac{0,289 E^{06}}{0,0271} \cdot -1,31498 \cdot 10^{-8} \right) - 1 \right]}$$

$$q_o = -2373,38 [W / m^2]$$

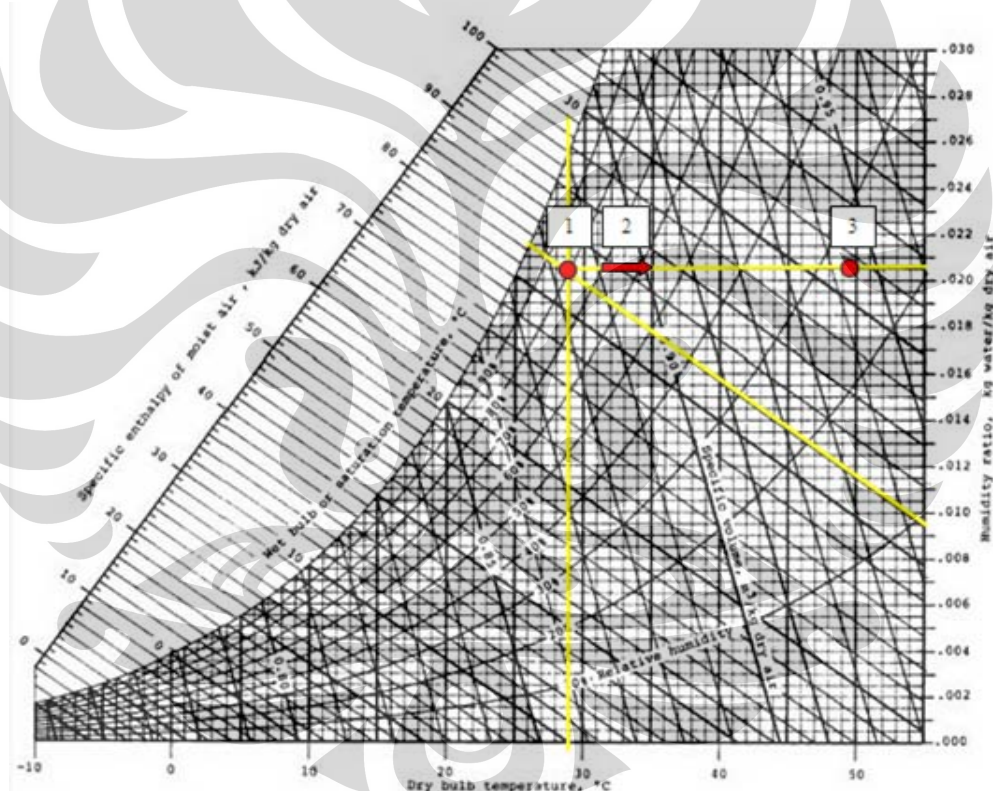
Perhitungan diatas adalah perbandingan data antara ac dan non ac dimana perbedaannya terletak pada perpindahan panas dan perpindahan massa. Dengan memakai ac maka laju perpindahan panas dan perpindahan massa akan lebih cepat daripada non ac.

3.4.2 Psychrometric Chart

Kondisi pengujian tanpa menggunakan air conditioner dapat di gambarkan dalam psychrometric sebagai berikut:



Gambar 3.16 Titik-titik udara pada alat uji

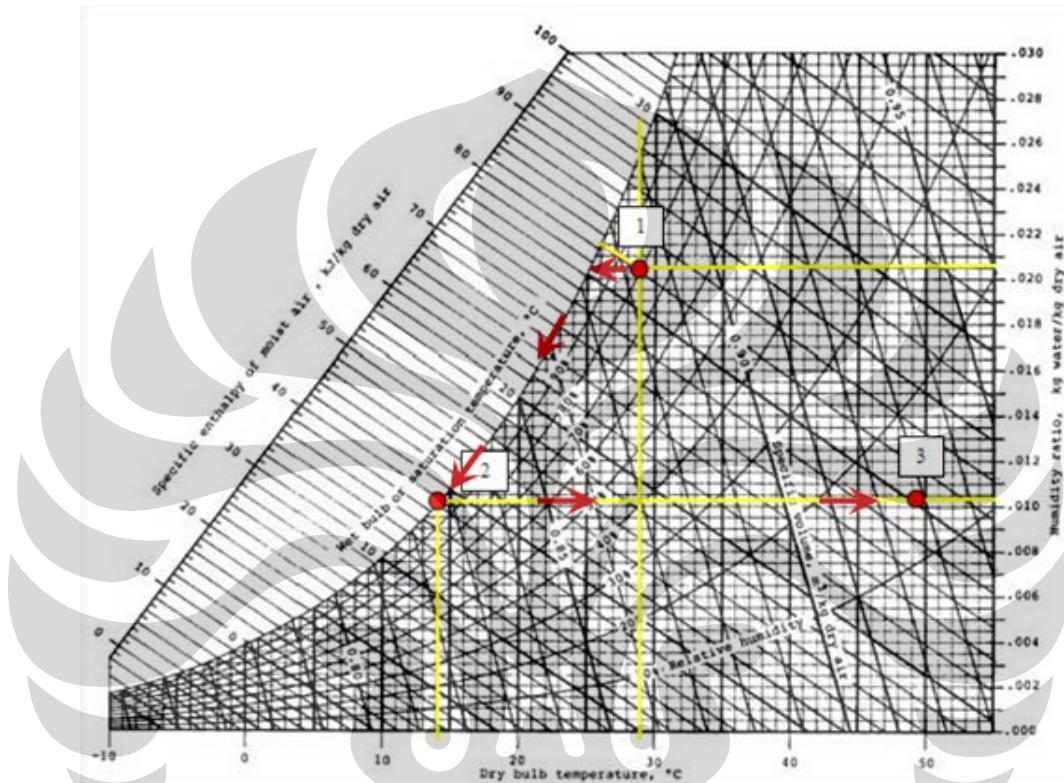


Gambar 3.17 Psychrometric Chart Kondisi Tanpa AC

- Titik 1 merupakan kondisi udara sebelum blower yaitu temperature dry bulb 29°C dan wet bulb 26°C .
- Titik 2 merupakan kondisi udara saat keluar dari dehumidifier ,pada gambar terlihat titik 1 = titik 2 artinya temperatur setelah dehumidifier sama dengan temperature lingkungan yaitu 29°C .

- Titik 3 merupakan kondisi udarasaat keluar dari heater yaitu pada temperature 49°C dengan rasio kelembaban yang sama.

Kondisi udara pada pengujian dengan menggunakan air conditioner dapat digambarkan dalam psychrometric sebagai berikut:



Gambar 3.18 Psychrometric Chart Kondisi Dengan AC

- Titik 1 merupakan kondisi udara sebelum blower yaitu temperature dry bulb 29°C dan wet bulb 26°C.
- Titik 2 merupakan kondisi udara saat keluar dari dehumidifier , pada gambar terlihat titik 2 terletak pada RH 100% artinya $T_{DB} = T_{WB}$ ditandai dengan adanya embun atau air pada dehumidifier dimana sudah terjadinya pengurangan kelembaban dengan cara didinginkan temperature setelah dehumidifier yaitu 14°C.
- Titik 3 merupakan kondisi udara saat keluar dari heater yaitu pada temperature 49°C dengan rasio kelembaban yang sama.

BAB IV

ANALISA DATA

4.1 Analisa Grafik

Setelah perhitungan diselesaikan sesuai langkah perhitungan pada bab 3, maka akan didapatkan hasil pada tabel lampiran sehingga dapat dibuat grafik hubungan antara bilangan Sherwood Stagnan Film dengan bilangan Sherwood analogi Ranz-Marshall dan Sherwood model analogi pendekatan baru. Sama halnya dalam mencari hubungan antara bilangan Nusselt Stagnan Film dengan analogi Ranz-Marshall dan model analogi pendekatan baru.

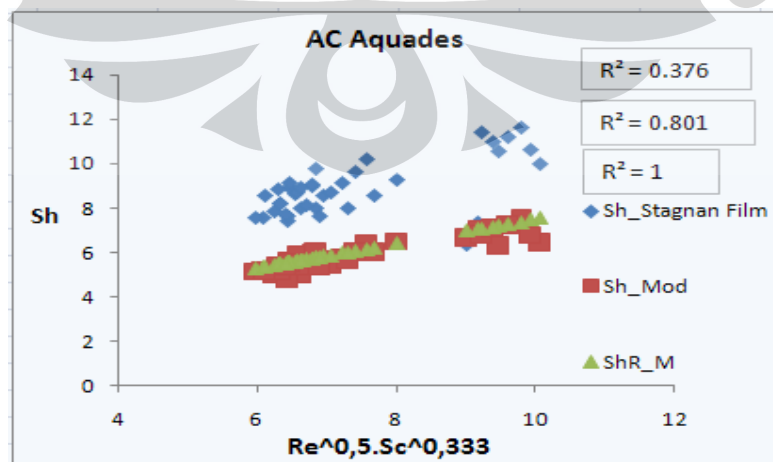
Untuk mengetahui pengaruh konsentrasi larutan terhadap laju penguapan dalam pengujian menggunakan media larutan garam kadar 1 % yang akan dibandingkan terhadap air murni aquades sehingga dapat diperlihatkan grafik pengaruh konsentrasi dalam laju penguapan. Pengujian dilakukan dalam kondisi yang berbeda yaitu dengan menggunakan Air conditioner dan tanpa menggunakan Air Conditioner atau udara langsung dari lingkungan. Sehingga dalam grafik dapat diketahui pengaruh kelembaban udara terhadap laju penguapan.

4.2 Analisa Perbandingan Grafik Antar Model

4.2.1 Grafik Sherwood

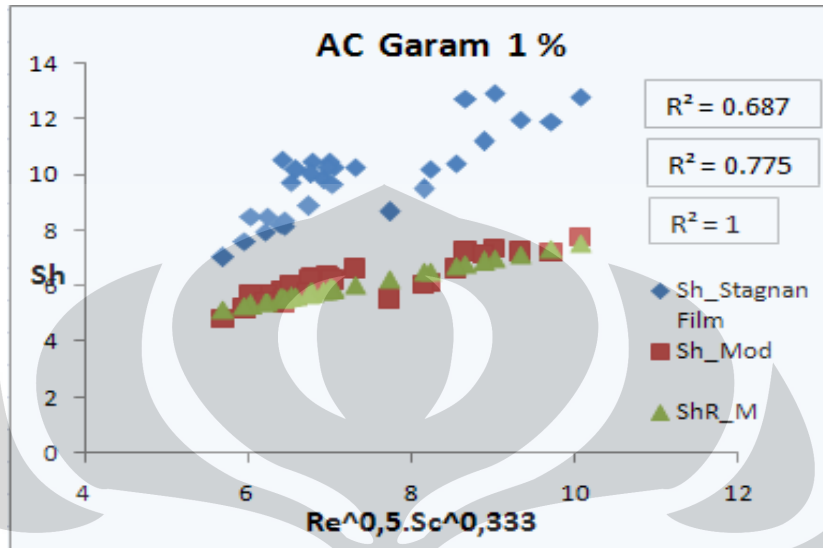
Berikut adalah hasil grafik untuk bilangan Sherwood :

1. Aquades pada kondisi AC



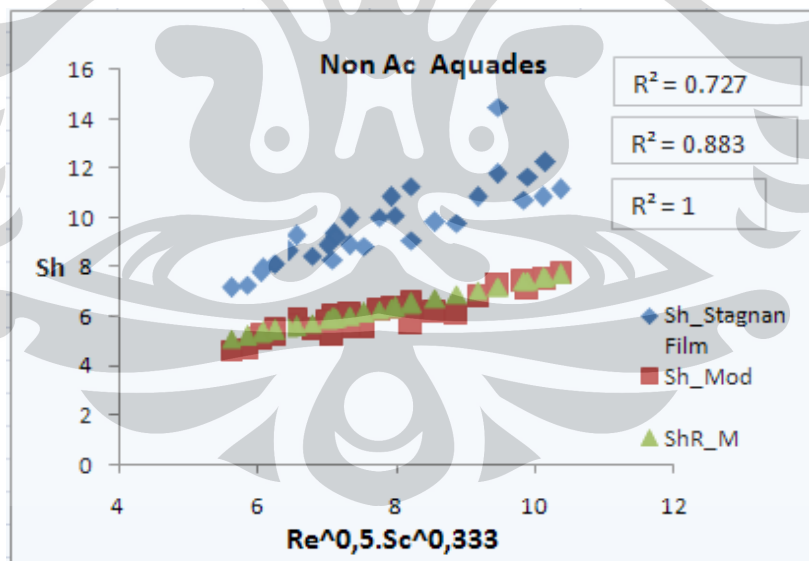
Gambar 4.1 Grafik Sh Aquades AC

2. Garam pada kondisi AC



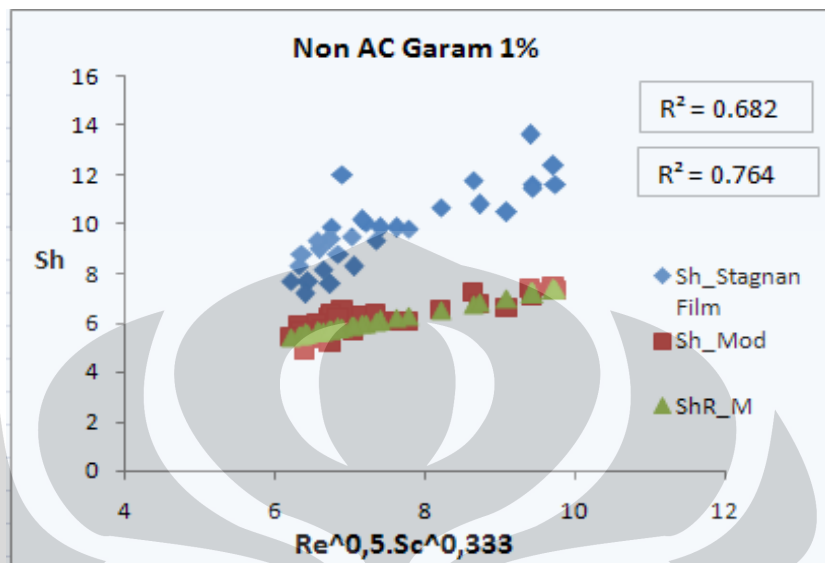
Gambar 4.2 Grafik Sh Garam 1% AC

3. Aquades pada kondisi Non AC



Gambar 4.3 Grafik Sh Aquades Non AC

4. Garam pada kondisi Non AC



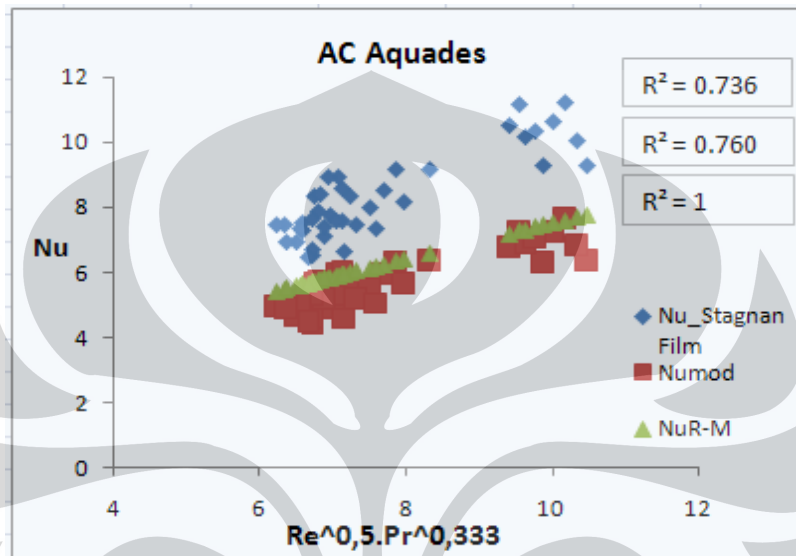
Gambar 4.4 Grafik Sh Garam 1 % Non AC

Terlihat pada grafik hasil dari data penelitian aquades dan garam 1% bahwa Sherwood stagnan film berada di atas dari Sherwood pers. Ranz-Marshall yang menunjukkan korelasi yang lemah antara Sherwood stagnan film model dengan Ranz-Marshall. Sama halnya dengan grafik hasil data Walton yang ditunjukkan pada gambar 2.2 perbandingan grafik sh ranz-marshall dan sh dari data Walton (2004) dimana persamaan Ranz-Marshall berada di bawah garis, dan juga memperlihatkan korelasi yang sangat lemah. Sebaliknya grafik hasil dari pendekatan baru model stagnan film yang dibuat oleh Kosasih E.A (2006) berdekatan dengan persamaan Ranz_Marshall yang membuktikan bahwa terdapat korelasi yang kuat antara persamaan Ranz-Marshall dengan model pendekatan baru dari stagnan film model E.A. Kosasih (2006).

4.2.2 Grafik Nusselt

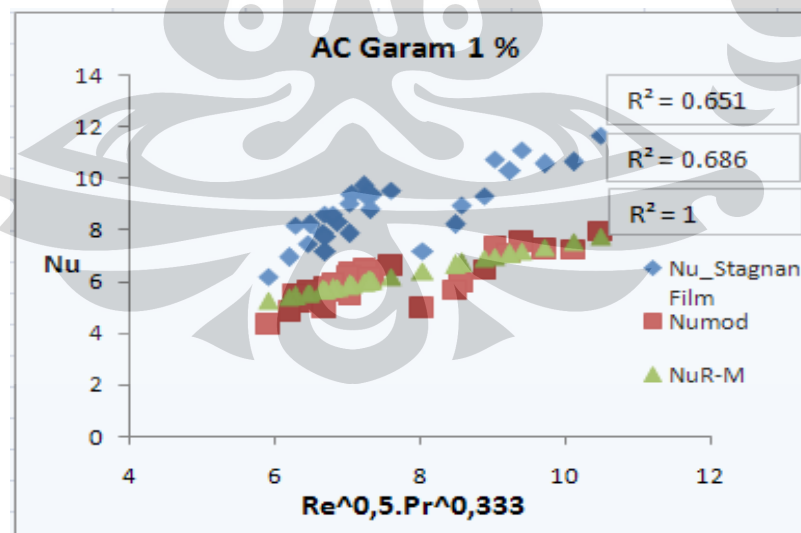
Untuk Bilangan Nusselt diperoleh grafik sebagai berikut :

1. Aquades pada kondisi AC



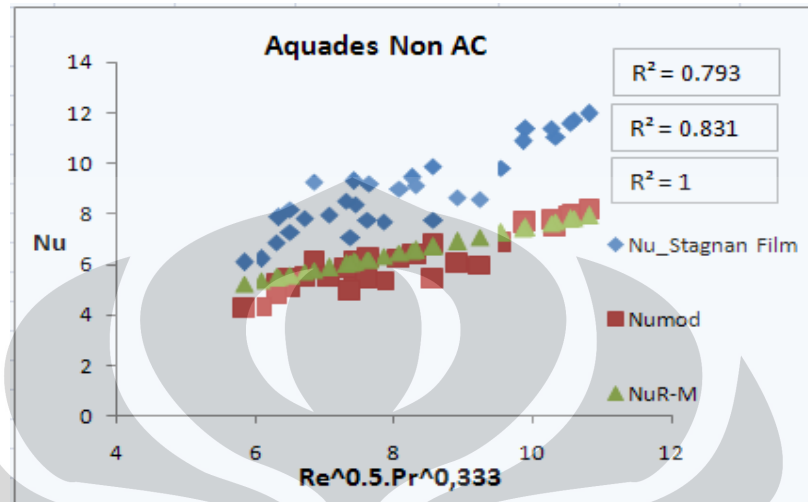
Gambar 4.5 Grafik Nu Aquades AC

2. Garam pada kondisi AC



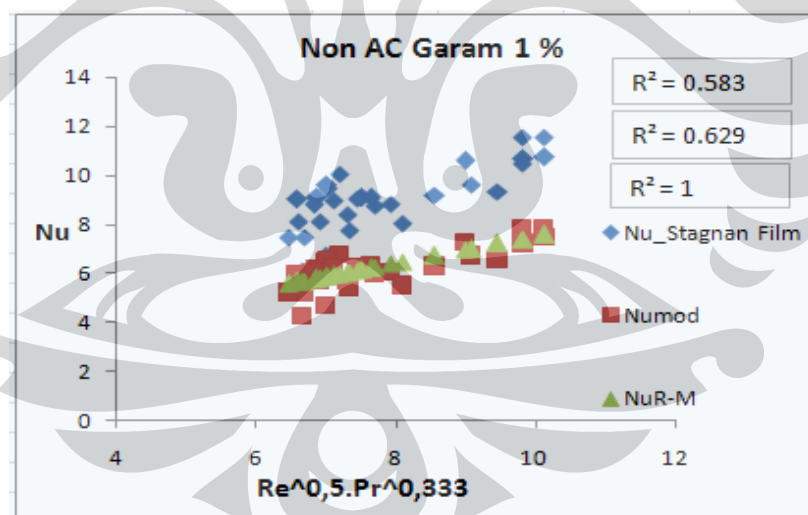
Gambar 4.6 Grafik Nu Garam 1 % AC

1. Aquades pada kondisi Non AC



Gambar 4.7 Grafik Nu Aquades Non AC

2. Garam pada kondisi Non AC



Gambar 4.8 Grafik Nu Garam 1% Non AC

Terlihat pada grafik Aquades dan Garam bahwa Nusselt stagnan film berada di atas dari Nusselt pers. Ranz-Marshall. Sebaliknya grafik Nusselt pendekatan baru mempunyai korelasi yang kuat dengan persamaan Ranz_Marshall. Terdapat titik-titik penyebaran data dengan metode pendekatan

baru stagnan film E.A.Kosasih (2006) yang menjauhi Ranz-marshall ini dapat disebabkan oleh kesalahan dalam pengolahan data dan juga disebabkan keterbatasan alat uji. Namun juga dapat di sebabkan dari parameter C1 dikarenakan jangkauan dari data Walton yang masih sempit. Sehingga diperlukan banyak data lagi untuk mendapatkan nilai C1 yang tepat.

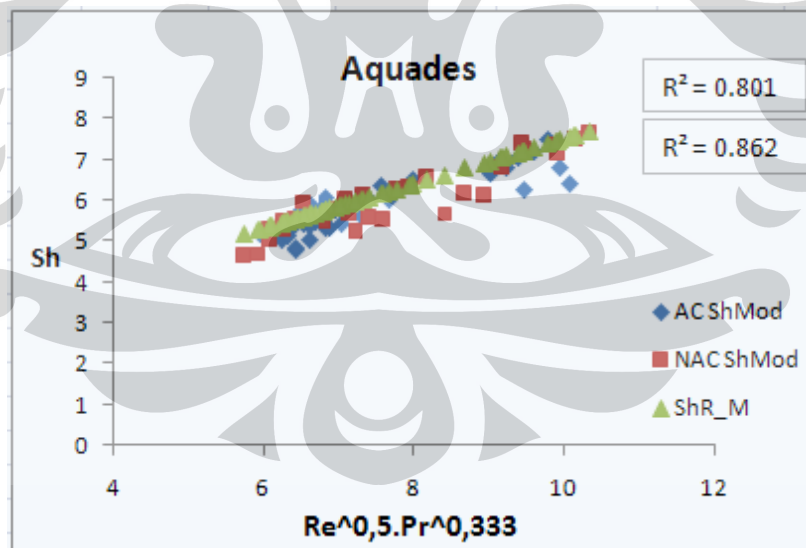
4.3 Analisa Perbandingan Grafik Pengaruh kelembaban

Pada penelitian kali ini terdapat penambahan alat uji yaitu air conditioner pada dehumidifier yang bertujuan untuk menurunkan kelembaban udara sehingga dapat diketahui pengaruh kelembaban pada laju penguapan tetesan. Dengan memperlihatkan hasil data grafik model pendekatan baru stagnan film E.A.Kosasih (2006) dengan model Ranz—Marshall.

4.3.1 Grafik Sherwood

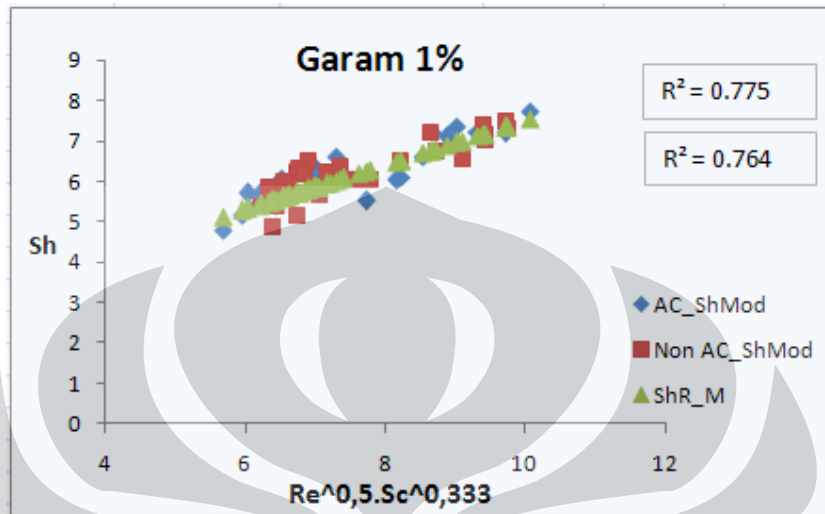
Memperbandingkan grafik hasil data aquades dengan air conditioner dan tanpa air conditioner pada laju perpindahan massa. Berikut adalah grafik perbandingan nilai bilangan Sherwood

1 Aquades



Gambar 4.9 Grafik Perbandingan Sh Aquades pada kondisi AC dan Non AC

2. Garam



Gambar 4.10 Grafik Perbandingan Sh Garam pada kondisi AC dan Non AC

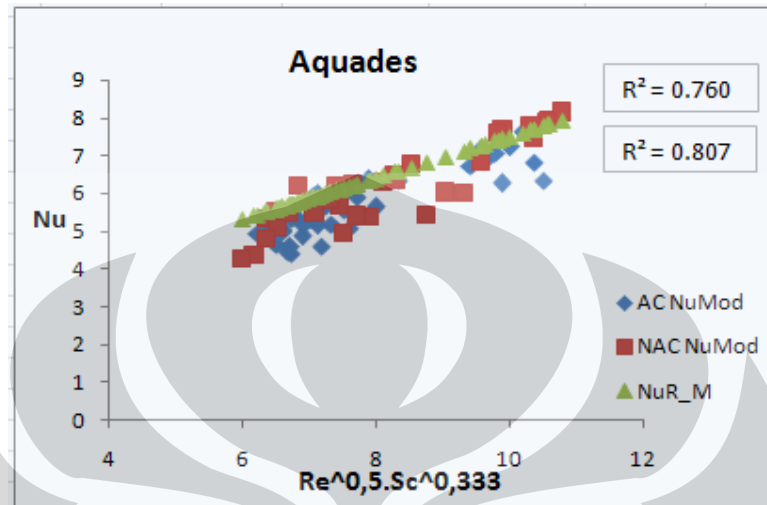
Dari keseluruhan grafik bilangan Sherwood diatas baik aquades maupun larutan garam 1% terlihat tidak ada perbedaan yang cukup signifikan, nilai data pengujian range nilai sherwood –nya lebih rapat disekitar sherwood ranz-marshall baik AC maupun non AC dan penyebaran data terlihat lebih merata sehingga dapat disimpulkan bahwa kelembaban udara tidak memiliki pengaruh yang sangat signifikan pada peluruhan droplet.

Pengaruh dari penurunan kelembaban udara pada penelitian akan berpengaruh kepada penurunan nilai perpindahan massanya (x_{∞}). Nilai x_{∞} ini akan berpengaruh untuk menghitung nilai koefisien perpindahan massa (kc). Hubungan korelasinya adalah sebagai berikut, makin tinggi nilai kc maka nilai Sherwood nya akan meningkat pula.

4.3.2 Grafik Nu

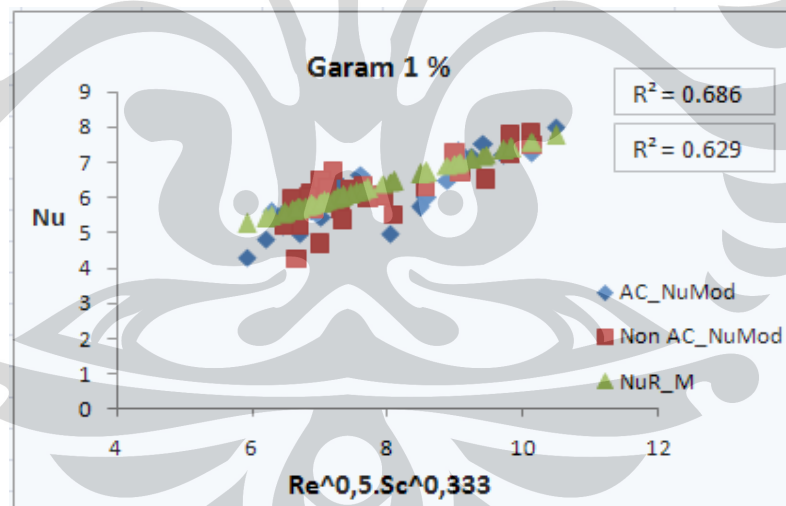
Memperbandingkan grafik hasil data aquades dengan air conditioner dan tanpa air conditioner pada laju perpindahan panas. Berikut adalah grafik perbandingan nilai bilangan Nusselt

1. Aquades



Gambar 4.11 Grafik Perbandingan Nu Aquades pada kondisi AC dan Non AC

2. Garam



Gambar 4.12 Grafik Perbandingan Nu Garam 1% pada kondisi AC dan Non AC

Dari keseluruhan grafik bilangan Nusselt diatas baik aquades maupun larutan garam 1% terlihat tidak ada perbedaan yang cukup signifikan, nilai data pengujian range nilai Nusselt –nya rapat disekitar nusselt ranz-marshall baik AC maupun non AC dan penyebaran data terlihat lebih merata sehingga dapat disimpulkan bahwa kelembaban udara tidak memiliki pengaruh yang sangat signifikan pada peluruhan droplet.

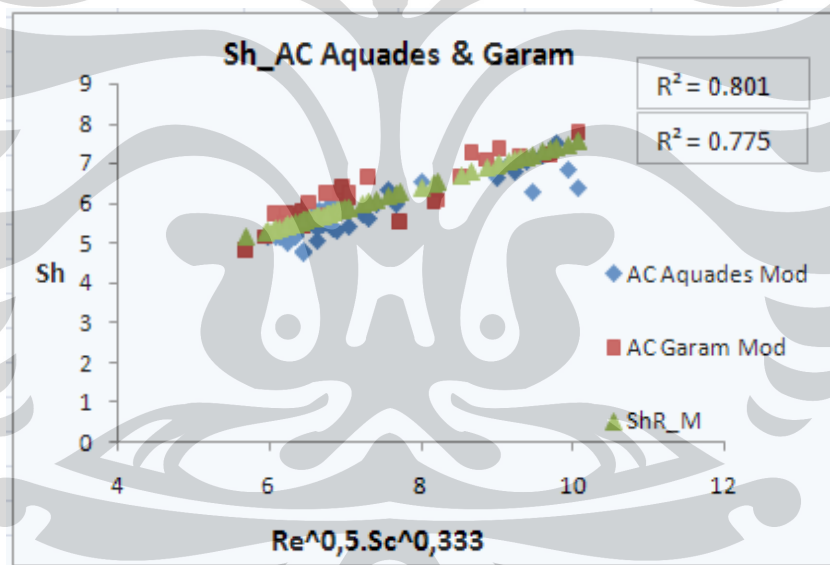
4.4 Analisa Perbandingan Pengaruh konsentrasi

Pada penelitian ini menggunakan media pengujian larutan garam 1% yang akan dibandingkan dengan air murni aquades dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi terhadap laju penguapan. Perbandingan yang akan ditunjukkan ialah grafik hasil data dengan model pendekatan baru stagnan film yang dibuat E.A. Kosasih (2006) dengan model Ranz-Marshall.

4.4.1 Grafik Sherwood

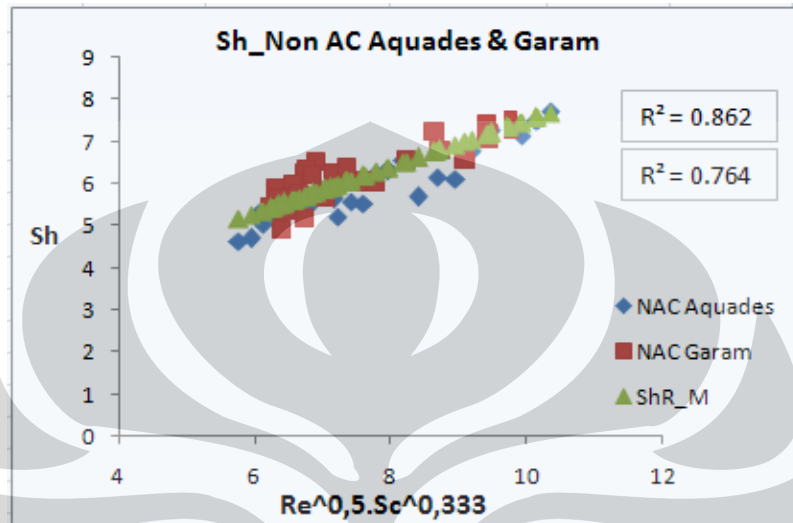
Memperbandingkan grafik hasil data aquades dengan garam 1% pada kondisi AC dan non AC pada laju perpindahan massa. Berikut adalah grafik perbandingan nilai bilangan Sherwood

1. Aquades dan Garam pada kondisi AC



Gambar 4.13 Grafik Sh Perbandingan Konsentrasi antara Aquades AC dan Garam 1 % AC

2. Aquades dan Garam pada kondisi Non Ac



Gambar 4.14 Grafik Sh Perbandingan Konsentrasi antara Aquades Non AC dan Garam 1% Non AC

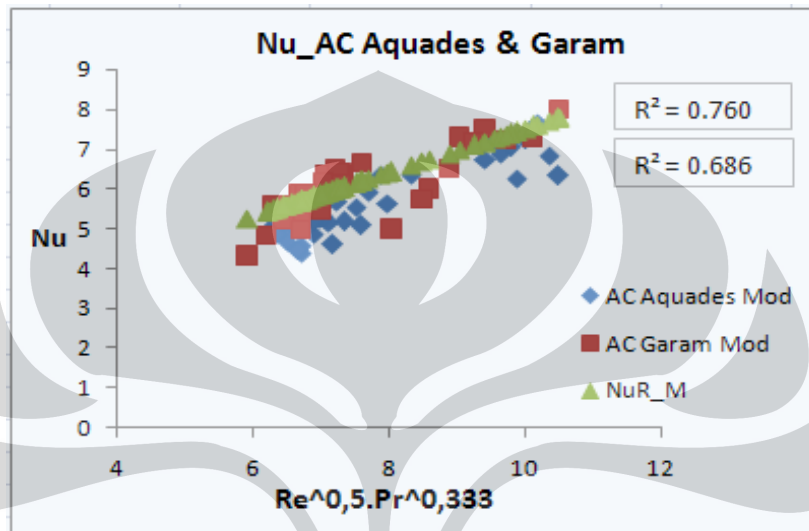
Dari keseluruhan grafik bilangan Sherwood diatas baik aquades non AC maupun larutan garam 1% non AC terlihat tidak ada perbedaan yang cukup signifikan, nilai data pengujian range nilai sherwoodnya rapat disekitar sherwood ranz-marshall dan penyebaran data terlihat lebih merata sehingga dapat disimpulkan bahwa konsentrasi tidak memiliki pengaruh yang sangat signifikan pada peluruhan droplet.

Pengaruh dari konsentrasi larutan pada penelitian akan berpengaruh kepada penurunan nilai tekanan uap jenuh yang akan mempengaruhi nilai fraksi mol uap pada tetesan (x_o). Nilai x_o ini akan berpengaruh untuk menghitung nilai koefisien konveksi massa (Kc). Hubungan korelasinya adalah sebagai berikut, makin tinggi nilai Kc maka nilai Sherwood nya akan meningkat pula.

4.4.2 Grafik Nusselt

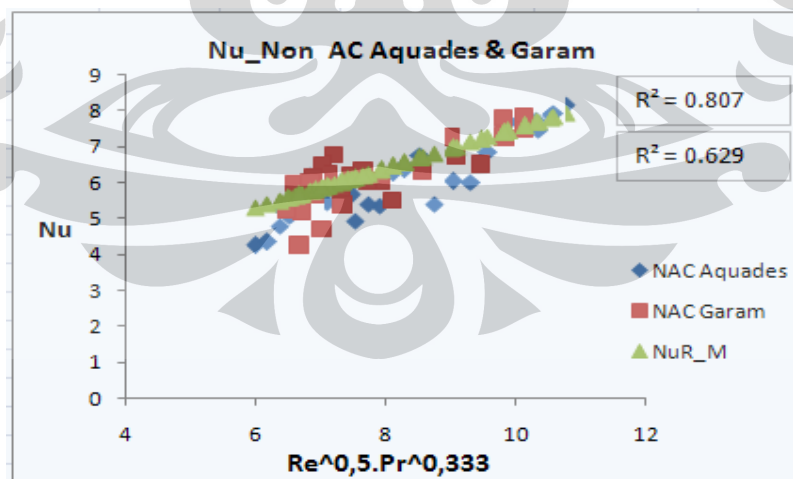
Memperbandingkan grafik hasil data aquades dengan garam 1% pada kondisi AC dan non AC pada laju perpindahan panas. Berikut adalah grafik perbandingan nilai bilangan Nusselt

1. Aquades dan Garam pada kondisi AC



Gambar 4.15 Grafik Nu Perbandingan Konsentrasi antara Aquades AC dan Garam 1 % AC

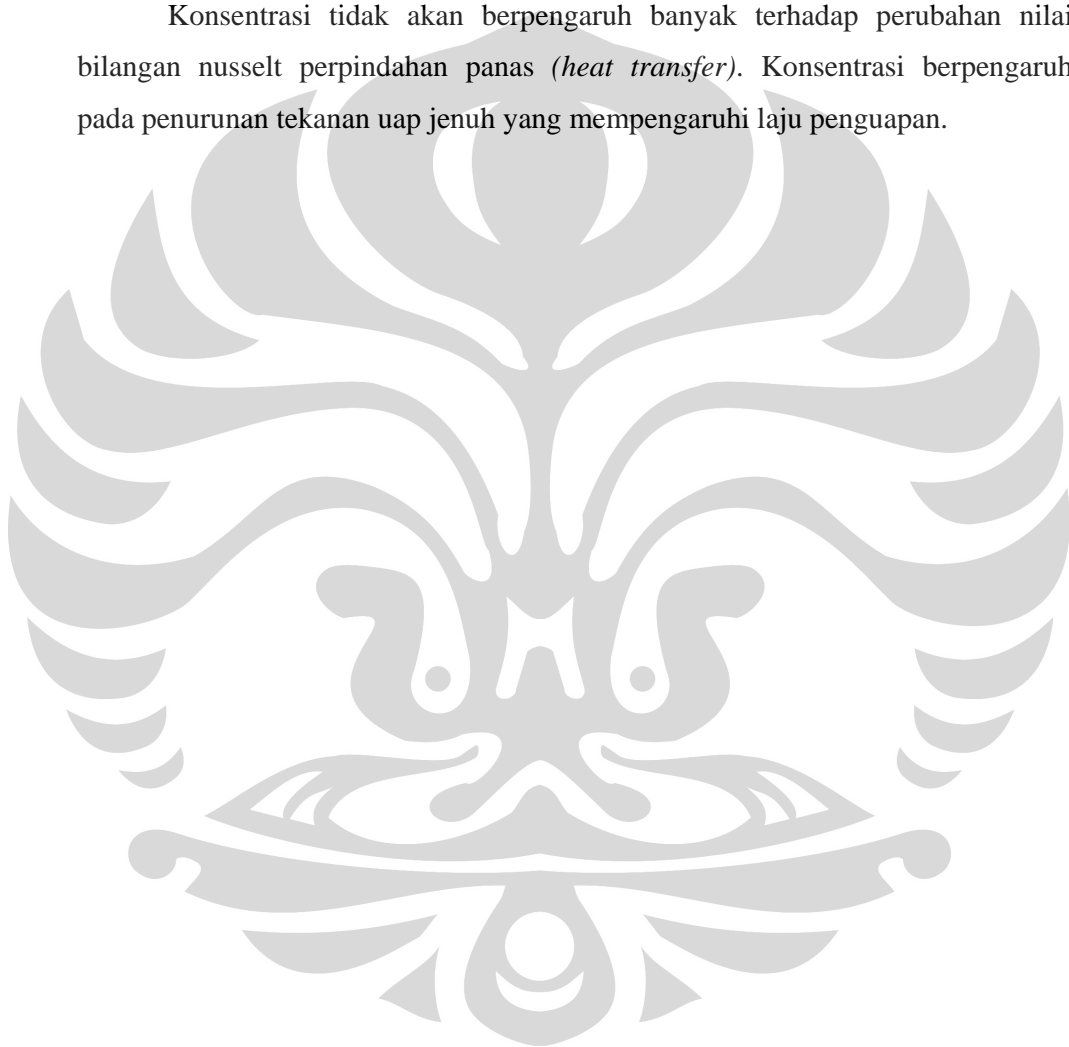
2. Aquades dan Garam pada kondisi Non AC



Gambar 4.16 Grafik Nu Perbandingan Konsentrasi antara Aquades AC dan Garam 1 % AC

Dari keseluruhan grafik bilangan Nusselt diatas baik aquades non AC maupun larutan garam 1% non AC terlihat tidak ada perbedaan yang cukup signifikan, nilai data pengujian range nilai nusseltnya rapat disekitar sherwood ranz-marshall dan penyebaran data terlihat lebih merata sehingga dapat disimpulkan bahwa konsentrasi tidak memiliki pengaruh yang sangat signifikan pada peluruhan droplet.

Konsentrasi tidak akan berpengaruh banyak terhadap perubahan nilai bilangan nusselt perpindahan panas (*heat transfer*). Konsentrasi berpengaruh pada penurunan tekanan uap jenuh yang mempengaruhi laju penguapan.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Model modifikasi lebih dekat dibanding dengan metode stagnan film terhadap Ranz-Marshall
2. Model modifikasi lebih kuat korelasinya dibanding dengan metode stagnan film
3. Konsentrasi dan kelembaban tidak berpengaruh terhadap nilai Sherwood dan Nusselt
4. Konsentrasi dan kelembaban berpengaruh terhadap laju penguapan.

5.2 Saran

1. Proses pengambilan gambar tetesan sebaiknya dilakukan dengan menggunakan remote untuk camera digital atau menggunakan *high speed digital camera* agar didapat gambar yang akurat, jelas dan tidak bergetar.
2. Dalam menentukan kecepatan aliran sangat berpengaruh pada alat ukurnya sehingga dibutuhkan alat ukur yang sangat mendukung yaitu alat ukur yang mampu bekerja pada temperature tinggi.
3. Ujung Termokopel sebaiknya tidak dililit terlalu banyak

DAFTAR ACUAN

- [1] Garam (kimia). Diakses tanggal 5 Juni 2009, dari [http://id.wikipedia.org/wiki/Garam_\(kimia\)](http://id.wikipedia.org/wiki/Garam_(kimia))
- [2] Supriyono, SP., Mengukur Faktor-Faktor dalam Proses Pengeringan, hal 6. Diakses tanggal 1 Juni 2009, dari http://id.kambing.ui.edu/.../mengukur_faktor_faktor_proses_dlm_pengeringan.pdf
- [3] J.P.Holman, *Perpindahan Kalor*, terj.E.Jasjfi (Jakarta: Erlangga, 1991) hal 11.
- [4] J.P.Holman, *Perpindahan Kalor*, terj.E.Jasjfi (Jakarta: Erlangga, 1991) hal 13.
- [5] Engkos A Kosasih, “Perpindahan Panas dan Massa Dalam Proses Penguapan Tetesan : Suatu Pendekatan Baru pada Model Film Stagnan”, *Disertasi*, Program Pasca Sarjana Bidang Ilmu Teknik, Fakultas Teknik UI, Depok, 2006, hal 50.
- [6] J.P.Holman, *Perpindahan Kalor*, terj.E.Jasjfi (Jakarta: Erlangga, 1991) hal 539.
- [7] J.P.Holman, *Perpindahan Kalor*, terj.E.Jasjfi (Jakarta: Erlangga, 1991) hal 534
- [8] J.P.Holman, *Perpindahan Kalor*, terj.E.Jasjfi (Jakarta: Erlangga, 1991) hal 194.
- [9] J.P.Holman, *Perpindahan Kalor*, terj.E.Jasjfi (Jakarta: Erlangga, 1991) hal 213.

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

[11] Engkos A Kosasih, “Perpindahan Panas dan Massa Dalam Proses Penguapan Tetesan : Suatu Pendekatan Baru pada Model Film Stagnan”, *Disertasi*, Program Pasca Sarjana Bidang Ilmu Teknik, Fakultas Teknik UI, Depok, 2006, hal 2.

[12] Engkos A Kosasih, “Perpindahan Panas dan Massa Dalam Proses Penguapan Tetesan : Suatu Pendekatan Baru pada Model Film Stagnan”, *Disertasi*, Program Pasca Sarjana Bidang Ilmu Teknik, Fakultas Teknik UI, Depok, 2006, hal 12.

[13] Engkos A Kosasih, “Perpindahan Panas dan Massa Dalam Proses Penguapan Tetesan : Suatu Pendekatan Baru pada Model Film Stagnan”, *Disertasi*, Program Pasca Sarjana Bidang Ilmu Teknik, Fakultas Teknik UI, Depok, 2006, hal 40.

[14] Engkos A Kosasih, “Perpindahan Panas dan Massa Dalam Proses Penguapan Tetesan : Suatu Pendekatan Baru pada Model Film Stagnan”, *Disertasi*, Program Pasca Sarjana Bidang Ilmu Teknik, Fakultas Teknik UI, Depok, 2006, hal 52.

[15] Henry Nasution, *Bab II Psikometrik*, hal 1. Diakses 21 Mei 2007, dari www.he4si.com/Pendingin/BAB2.pdf.

[16] William C. Reynolds, Henry Perkins, *Termodinamika Teknik*, terj.Filino Harahap (Jakarta: Erlangga, 1991) hal 40.

[17] William C. Reynolds, Henry Perkins, *Termodinamika Teknik*, terj.Filino Harahap (Jakarta: Erlangga, 1991) hal 356.

[18] William C. Reynolds, Henry Perkins, *Termodinamika Teknik*, terj.Filino Harahap (Jakarta: Erlangga, 1991) hal 86.

[19] J.P.Holman, *Perpindahan Kalor*, terj.E.Jasjfi (Jakarta: Erlangga, 1991) hal 201.

[20] Temokopel. Diakses tanggal 1 Juni 2009, dari <http://id.wikipedia.org/wiki/Termokopel>



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)

“Garam (kimia)”. [http://id.wikipedia.org/wiki/Garam_\(kimia\)](http://id.wikipedia.org/wiki/Garam_(kimia)). Diakses tanggal 5 Juni 2009.

Henry Nasution, *Bab II Psikometrik*, hal 1. Diakses 1 Juni 2009, dari www.he4si.com/Pendingin/BAB2.pdf

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

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

Supriyono, SP. "Mengukur Faktor-Faktor dalam Proses Pengeringan". Diakses tanggal 1 Juni 2009
http://id.kambing.ui.edu/.../mengukur_faktor_faktor_proses_dlm_pengeringan.pdf.

Temokopel". <http://id.wikipedia.org/wiki/Termokopel>. Diakses tanggal 1 Juni 2009.



LAMPIRAN 1 PSYCHROMETRIC CHART

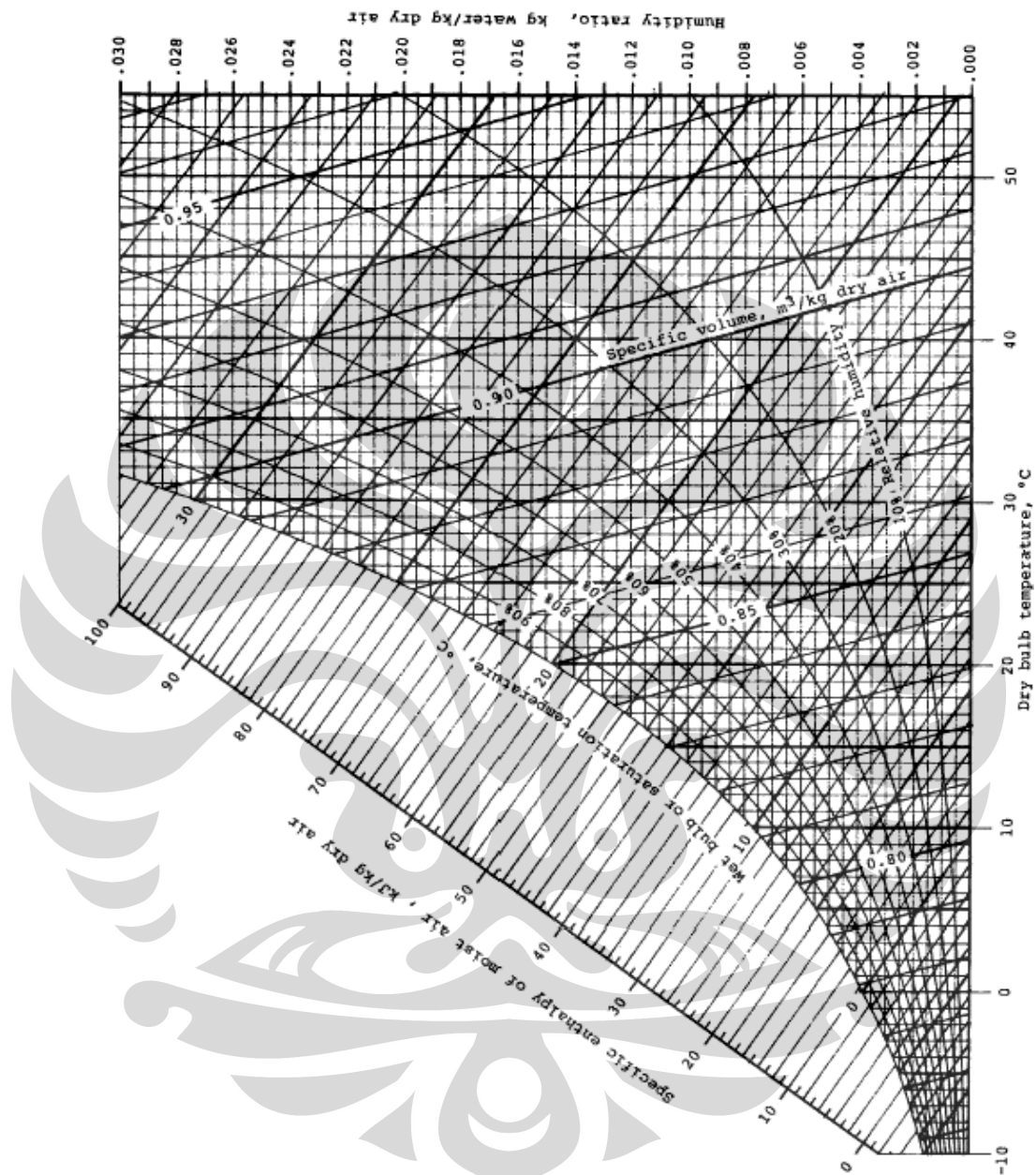


Figure A-9 Psychrometric chart for 1 atm (SI units). *Source:* Z. Zhang and M. B. Pate, "A Methodology for Implementing a Psychrometric Chart in a Computer Graphics System," *ASHRAE Transactions*, Vol. 94, Pt. 1, 1988.

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	83.05	2319.0	2402.9	83.05	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	0.7038	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	2456.0	251.13	2358.5	2609.6	0.8312	7.0784	7.9090
65	25.03	0.001 020	6.197	272.02	2191.1	2461.1	272.06	2346.2	2618.3	0.8935	6.9375	7.8310
70	31.10	0.001 023	5.042	292.95	2176.6	2466.6	292.98	2333.8	2626.8	0.9549	6.8004	7.7553
75	38.58	0.001 026	4.131	313.90	2162.0	2471.9	313.93	2321.4	2635.3	1.0155	6.6669	7.6824
80	47.39	0.001 029	3.407	334.86	2147.4	2478.2	334.91	2308.8	2643.7	1.0753	6.5369	7.6122
85	57.63	0.001 033	2.825	355.84	2132.6	2484.4	355.90	2296.0	2651.9	1.1343	6.4102	7.5445
90	70.14	0.001 036	2.351	376.85	2117.7	2490.6	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	7.4153
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	5.9328	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	7.2367
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	7.1833
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	0.6685	546.02	1993.9	2539.9	546.31	2174.2	2720.5	1.6344	5.3923	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	2733.0	1.7391	5.1908	6.9294
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	0.14106	828.37	1764.4	2592.0	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	850.4	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 KALKULASI DATA GARAM 1 % NON AC

Suhu	Frekuensi (Hz)	Diameter Rata2		Peluruhan		tu [C]	td [C]	Tf	v [m/s]	po	p0A	hfg	x0	Xinf
		(Pixel)	(meter)	dd/dt [pix/s]										
50	7	384.75	0.002309	0.308333333		48	31	312.5	0.40132	4491.25	4463.5048	2428319	0.044051	0.031104
50	10	381.5	0.002289	0.362068966		48	30	312	0.4799	4241.62	4215.4169	2430689	0.041603	0.031104
50	15	402.75	0.002417	0.39		48	30	312	0.8454	4241.62	4215.4169	2430689	0.041603	0.031104
75	7	461.5	0.002769	0.633333333		74	36	328	0.41344	5940.16	5903.464	2416446	0.058263	0.031104
75	7	442.5	0.002655	0.633333333		74	36	328	0.41344	5940.16	5903.464	2416446	0.058263	0.031104
75	10	385.75	0.002315	0.716666667		72	35	326.5	0.56345	5621.73	5587.0012	2418824	0.055139	0.031104
75	10	364.25	0.002186	0.716666667		72	35	326.5	0.56345	5621.73	5587.0012	2418824	0.055139	0.031104
75	15	416.25	0.002498	0.816666667		72	35	326.5	0.94499	5621.73	5587.0012	2418824	0.055139	0.031104
75	15	391.75	0.002351	0.816666667		72	35	326.5	0.94499	5621.73	5587.0012	2418824	0.055139	0.031104
100	7	415.75	0.002495	1.175		100	40	343	0.49898	7375.22	7329.6588	2406913	0.072338	0.031104
100	7	392.25	0.002354	1.175		100	40	343	0.49898	7375.22	7329.6588	2406913	0.072338	0.031104
100	7	368	0.002208	1.181818182		100	40	343	0.49898	7375.22	7329.6588	2406913	0.072338	0.031104
100	10	395	0.00237	1.111111111		96	39	340.5	0.6594	6990.97	6947.7825	2409299	0.068569	0.031104
100	10	373.25	0.00224	1.175		96	39	340.5	0.6594	6990.97	6947.7825	2409299	0.068569	0.031104
100	10	348.5	0.002091	1.3		96	39	340.5	0.6594	6990.97	6947.7825	2409299	0.068569	0.031104
100	15	332.75	0.001997	1.575		96	39	340.5	1.00689	6990.97	6947.7825	2409299	0.068569	0.031104
100	15	301.25	0.001808	1.575		96	39	340.5	1.00689	6990.97	6947.7825	2409299	0.068569	0.031104
100	15	269.25	0.001616	1.625		96	39	340.5	1.00689	6990.97	6947.7825	2409299	0.068569	0.031104
150	7	445	0.00267	1.857142857		144	47	368.5	0.54239	10612.4	10546.871	2390141	0.10409	0.031104
150	7	419.25	0.002516	1.821428571		144	47	368.5	0.54239	10612.4	10546.871	2390141	0.10409	0.031104
150	7	393.75	0.002363	1.821428571		144	47	368.5	0.54239	10612.4	10546.871	2390141	0.10409	0.031104
150	7	367.25	0.002204	1.964285714		144	47	368.5	0.54239	10612.4	10546.871	2390141	0.10409	0.031104
150	10	369.75	0.002219	2.178571429		139	46	365.5	0.74291	10086	10023.693	2392545	0.098926	0.031104
150	10	339.75	0.002039	2.107142857		139	46	365.5	0.74291	10086	10023.693	2392545	0.098926	0.031104
150	10	310.25	0.001862	2.107142857		139	46	365.5	0.74291	10086	10023.693	2392545	0.098926	0.031104
150	10	280	0.00168	2.214285714		139	46	365.5	0.74291	10086	10023.693	2392545	0.098926	0.031104
150	15	455.75	0.002735	2.035714286		139	45	365	1.05508	9582.28	9523.0844	2394945	0.093986	0.031104
150	15	426.5	0.002559	2.142857143		139	45	365	1.05508	9582.28	9523.0844	2394945	0.093986	0.031104
150	15	396.75	0.002381	2.107142857		139	45	365	1.05508	9582.28	9523.0844	2394945	0.093986	0.031104
150	15	365.5	0.002193	2.357142857		139	45	365	1.05508	9582.28	9523.0844	2394945	0.093986	0.031104

Rx	C1	u (nua)	alfa	DAB	rhoa	cp	k	Pr	Sc	Le	Re
0.013544	-0.00565	1.6912E-05	2.38E-05	2.708E-05	1.1270114	1008.3142	0.02706	0.7104	0.6245	0.8791	54.77896
0.010954	-0.00922	1.6864E-05	2.37E-05	2.701E-05	1.1288175	1008.286	0.02702	0.7104	0.6244	0.879	65.13836
0.010954	-0.00922	1.6864E-05	2.37E-05	2.701E-05	1.1288175	1008.286	0.02702	0.7104	0.6244	0.879	121.14
0.028839	-0.01442	1.8435E-05	2.6E-05	2.948E-05	1.0737532	1009.2732	0.02819	0.7087	0.6254	0.8824	62.09904
0.028839	-0.01442	1.8435E-05	2.6E-05	2.948E-05	1.0737532	1009.2732	0.02819	0.7087	0.6254	0.8824	59.54242
0.025438	-0.01647	1.8286E-05	2.58E-05	2.924E-05	1.0786862	1009.1733	0.02808	0.7089	0.6254	0.8822	71.31516
0.025438	-0.01647	1.8286E-05	2.58E-05	2.924E-05	1.0786862	1009.1733	0.02808	0.7089	0.6254	0.8822	67.34037
0.025438	-0.01647	1.8286E-05	2.58E-05	2.924E-05	1.0786862	1009.1733	0.02808	0.7089	0.6254	0.8822	129.0638
0.025438	-0.01647	1.8286E-05	2.58E-05	2.924E-05	1.0786862	1009.1733	0.02808	0.7089	0.6254	0.8822	121.4673
0.044449	-0.02443	1.9945E-05	2.82E-05	3.188E-05	1.0267961	1010.3565	0.02926	0.7072	0.6257	0.8847	62.40668
0.044449	-0.02443	1.9945E-05	2.82E-05	3.188E-05	1.0267961	1010.3565	0.02926	0.7072	0.6257	0.8847	58.87918
0.044449	-0.02443	1.9945E-05	2.82E-05	3.188E-05	1.0267961	1010.3565	0.02926	0.7072	0.6257	0.8847	55.23911
0.040223	-0.02493	1.9691E-05	2.78E-05	3.147E-05	1.034335	1010.1653	0.02908	0.7075	0.6257	0.8844	79.36596
0.040223	-0.02493	1.9691E-05	2.78E-05	3.147E-05	1.034335	1010.1653	0.02908	0.7075	0.6257	0.8844	74.99581
0.040223	-0.02493	1.9691E-05	2.78E-05	3.147E-05	1.034335	1010.1653	0.02908	0.7075	0.6257	0.8844	70.02288
0.040223	-0.02493	1.9691E-05	2.78E-05	3.147E-05	1.034335	1010.1653	0.02908	0.7075	0.6257	0.8844	102.091
0.040223	-0.02493	1.9691E-05	2.78E-05	3.147E-05	1.034335	1010.1653	0.02908	0.7075	0.6257	0.8844	92.42651
0.040223	-0.02493	1.9691E-05	2.78E-05	3.147E-05	1.034335	1010.1653	0.02908	0.7075	0.6257	0.8844	82.60859
0.081465	-0.03312	2.2592E-05	3.21E-05	3.614E-05	0.9557423	1012.5481	0.03102	0.7047	0.6252	0.8871	64.10231
0.081465	-0.03312	2.2592E-05	3.21E-05	3.614E-05	0.9557423	1012.5481	0.03102	0.7047	0.6252	0.8871	60.39302
0.081465	-0.03312	2.2592E-05	3.21E-05	3.614E-05	0.9557423	1012.5481	0.03102	0.7047	0.6252	0.8871	56.71974
0.081465	-0.03312	2.2592E-05	3.21E-05	3.614E-05	0.9557423	1012.5481	0.03102	0.7047	0.6252	0.8871	52.90241
0.075268	-0.03392	2.2275E-05	3.16E-05	3.562E-05	0.963587	1012.2674	0.03082	0.705	0.6253	0.8869	73.99028
0.075268	-0.03392	2.2275E-05	3.16E-05	3.562E-05	0.963587	1012.2674	0.03082	0.705	0.6253	0.8869	67.98701
0.075268	-0.03392	2.2275E-05	3.16E-05	3.562E-05	0.963587	1012.2674	0.03082	0.705	0.6253	0.8869	62.0838
0.075268	-0.03392	2.2275E-05	3.16E-05	3.562E-05	0.963587	1012.2674	0.03082	0.705	0.6253	0.8869	56.03051
0.069404	-0.04	2.2222E-05	3.15E-05	3.554E-05	0.964907	1012.2212	0.03078	0.7051	0.6253	0.8869	129.829
0.069404	-0.04	2.2222E-05	3.15E-05	3.554E-05	0.964907	1012.2212	0.03078	0.7051	0.6253	0.8869	121.4966
0.069404	-0.04	2.2222E-05	3.15E-05	3.554E-05	0.964907	1012.2212	0.03078	0.7051	0.6253	0.8869	113.0217
0.069404	-0.04	2.2222E-05	3.15E-05	3.554E-05	0.964907	1012.2212	0.03078	0.7051	0.6253	0.8869	104.1196

θ_x StF	θ_x Mod	N	kc	kcL StF	kcL Mod	$Re^{0,5}Sc^{0,333}$	Sh StF	Sh Mod	ShR M
0.9932886	1.4102077	5.13067E-05	0.097141	0.0977975	0.06888426	6.327257493	8.33626333	5.871699363	5.47999162
0.9945624	1.8357879	6.02483E-05	0.140808	0.1415779	0.07670168	6.899489314	11.9997456	6.501021245	5.79471912
0.9945624	1.8357879	0.000064896	0.15167	0.1524996	0.08261867	9.408975949	13.6454025	7.392577701	7.17493677
0.985852	1.4858347	0.000105387	0.098357	0.0997682	0.06619622	6.740135476	9.37210442	6.218395752	5.70707451
0.985852	1.4858347	0.000105387	0.098357	0.0997682	0.06619622	6.599931237	8.98625397	5.962383793	5.62996218
0.9874927	1.6348627	0.000119253	0.125601	0.1271918	0.07682661	7.22276394	10.0675107	6.080996083	5.97252017
0.9874927	1.6348627	0.000119253	0.125601	0.1271918	0.07682661	7.01859583	9.50639219	5.742068239	5.86022771
0.9874927	1.6348627	0.000135893	0.143127	0.1449395	0.0875466	9.716609944	12.3793556	7.477400797	7.34413547
0.9874927	1.6348627	0.000135893	0.143127	0.1449395	0.0875466	9.426319338	11.6507208	7.037289518	7.18447564
0.9784127	1.5279823	0.00019552	0.123806	0.1265371	0.0810255	6.757816925	9.9023482	6.340769692	5.71679931
0.9784127	1.5279823	0.00019552	0.123806	0.1265371	0.0810255	6.56404832	9.34262437	5.982361784	5.61022658
0.9784127	1.5279823	0.000196655	0.124524	0.1272714	0.08149567	6.357907462	8.81589796	5.645083113	5.4968491
0.980412	1.6001471	0.000184889	0.128431	0.1309974	0.08026226	7.620889118	9.86523759	6.044442404	6.19148901
0.980412	1.6001471	0.00019552	0.135816	0.1385298	0.08487734	7.40810285	9.85804158	6.040033404	6.07445657
0.980412	1.6001471	0.00021632	0.150265	0.153267	0.09390685	7.158276772	10.1835476	6.239471312	5.93705222
0.980412	1.6001471	0.00026208	0.182052	0.1856888	0.11377176	8.643353875	11.7801707	7.217724146	6.75384463
0.980412	1.6001471	0.00026208	0.182052	0.1856888	0.11377176	8.224069843	10.664993	6.534453491	6.52323841
0.980412	1.6001471	0.0002704	0.187831	0.1915837	0.11738356	7.775012897	9.83472091	6.025744802	6.27625709
0.9613528	1.3678612	0.000309029	0.114706	0.1193169	0.08385765	6.846998829	8.81554283	6.195691755	5.76584936
0.9613528	1.3678612	0.000303086	0.1125	0.1170223	0.08224501	6.645945626	8.14571015	5.724923603	5.65527009
0.9613528	1.3678612	0.000303086	0.1125	0.1170223	0.08224501	6.440662343	7.65026445	5.376717159	5.54236429
0.9613528	1.3678612	0.000326857	0.121323	0.1262006	0.08869559	6.220154189	7.6950279	5.408177564	5.4210848
0.9641539	1.414836	0.000362514	0.144452	0.1498221	0.10209771	7.356616612	9.33004438	6.358050527	6.04613914
0.9641539	1.414836	0.000350629	0.139715	0.1449099	0.09875025	7.05186135	8.29195944	5.65063733	5.87852374
0.9641539	1.414836	0.000350629	0.139715	0.1449099	0.09875025	6.738759037	7.57198062	5.160000682	5.70631747
0.9641539	1.414836	0.000368457	0.14682	0.1522782	0.10377144	6.40181394	7.18117339	4.893681249	5.52099767
0.9668243	1.5432009	0.000338743	0.146183	0.1511988	0.09472693	9.744979671	11.633629	7.288536072	7.35973882
0.9668243	1.5432009	0.000356571	0.153876	0.1591566	0.09971255	9.42707835	11.4599827	7.179745671	7.18489309
0.9668243	1.5432009	0.000350629	0.151312	0.156504	0.09805068	9.092348356	10.4829285	6.567615537	7.0007916
0.9668243	1.5432009	0.000392229	0.169264	0.1750723	0.10968381	8.726925922	10.8030154	6.76815181	6.79980926

ρ_{air}	hL	ϕ_T	RT	C ₂	θT_{stf}	θT_{mod}	q_kond	q_rad/A	qo/A	h	hL_stf	hL_mod
998.4	69.88267	-0.0211198	-0.0209	-9.94765E-09	1.0105971	1.52328551	319.015915	113.03243	-1810.553	106.5031	105.38632	69.916707
998.4	74.61398	-0.0222214	-0.02198	-1.00192E-08	1.0111518	1.50285923	358.171708	119.11882	-2158.716	119.9287	118.60601	79.800342
998.4	88.25068	-0.0221608	-0.02192	-1.00192E-08	1.0111213	1.5041586	366.696073	119.11882	-2353.541	130.7523	129.31413	86.927188
998.4	63.28018	-0.0472146	-0.04612	-2.19508E-08	1.0237931	1.51630462	499.298395	292.91583	-3791.687	99.78124	97.462313	65.805538
998.4	65.06616	-0.0472237	-0.04613	-2.19508E-08	1.0237977	1.51621636	543.096534	292.91583	-3747.889	98.62866	96.336081	65.049198
998.4	79.08403	-0.0458063	-0.04477	-2.09877E-08	1.023078	1.50994392	747.858028	281.27183	-4163.021	112.5141	109.97605	74.515404
998.4	82.11093	-0.0458181	-0.04478	-2.09877E-08	1.023084	1.50982716	838.748794	281.27183	-4072.13	110.0576	107.57433	72.894154
998.4	90.83015	-0.0456921	-0.04466	-2.09877E-08	1.02302	1.51107538	724.516652	281.27183	-4910.849	132.7256	129.73904	87.835218
998.4	94.34115	-0.0457031	-0.04467	-2.09877E-08	1.0230256	1.5109664	817.972785	281.27183	-4817.392	130.1998	127.26934	86.16988
998.4	72.99364	-0.0746842	-0.07196	-3.43954E-08	1.0378069	1.5148136	1015.1998	531.16096	-6924.433	115.4072	111.20297	76.185749
998.4	75.86129	-0.0747037	-0.07198	-3.43954E-08	1.0378169	1.51470332	1140.48647	531.16096	-6799.146	113.3191	109.18988	74.812735
998.4	79.15318	-0.0747254	-0.072	-3.43954E-08	1.037828	1.51458115	1295.74757	531.16096	-6693.038	111.5506	107.48471	73.651147
998.4	82.9908	-0.0707209	-0.06828	-3.24025E-08	1.0357772	1.51218349	1140.0896	493.33399	-6384.723	112.0127	108.14362	74.073479
998.4	86.09973	-0.0707382	-0.06829	-3.24025E-08	1.0357861	1.5120799	1276.83137	493.33399	-6709.025	117.7022	113.63563	77.841254
998.4	90.04267	-0.0707594	-0.06831	-3.24025E-08	1.0357969	1.51195291	1464.62894	493.33399	-7423.269	130.2328	125.73198	86.135481
998.4	107.8255	-0.0706464	-0.06821	-3.24025E-08	1.0357391	1.51262999	1773.08674	493.33399	-9099.303	159.6369	154.12848	105.53598
998.4	114.8837	-0.0706753	-0.06824	-3.24025E-08	1.0357539	1.51245644	2163.27634	493.33399	-8709.113	152.7915	147.51715	101.02206
998.4	123.4848	-0.0707088	-0.06827	-3.24025E-08	1.035771	1.51225605	2708.03758	493.33399	-8525.169	149.5644	144.39906	98.901479
998.4	72.91565	-0.1222686	-0.11509	-5.66178E-08	1.0623798	1.52640458	1461.08652	1075.0427	-10759.06	110.9182	104.4054	72.66631
998.4	75.84577	-0.1223005	-0.11512	-5.66178E-08	1.0623964	1.52630721	1646.07574	1075.0427	-10318.4	106.3752	100.12764	69.694514
998.4	79.07444	-0.1223345	-0.11515	-5.66178E-08	1.0624141	1.52620366	1866.18555	1075.0427	-10098.29	104.1061	97.990102	68.212434
998.4	82.84173	-0.1223727	-0.11518	-5.66178E-08	1.062434	1.52608749	2145.22252	1075.0427	-10841.96	111.7728	105.20444	73.24139
998.4	91.60066	-0.1167945	-0.11023	-5.39384E-08	1.0595338	1.52401894	2183.29832	1004.6182	-12424.05	133.592	126.08564	87.657695
998.4	96.81188	-0.116837	-0.11027	-5.39384E-08	1.0595558	1.52388203	2585.89279	1004.6182	-11509.59	123.7591	116.80278	81.213018
998.4	102.7802	-0.1168832	-0.11031	-5.39384E-08	1.0595798	1.52373277	3101.02927	1004.6182	-10994.46	118.22	111.57249	77.585754
998.4	110.0243	-0.1169364	-0.11036	-5.39384E-08	1.0596074	1.52356145	3807.26743	1004.6182	-11056.02	118.8819	112.19432	78.028971
998.4	91.02437	-0.1172056	-0.1106	-5.36112E-08	1.0597473	1.52037889	1576.22041	1011.6524	-12015	127.8191	120.61282	84.070564
998.4	94.87878	-0.1172351	-0.11062	-5.36112E-08	1.0597626	1.52028506	1799.83308	1011.6524	-12559.96	133.6166	126.08159	87.889143
998.4	99.29005	-0.1172678	-0.11065	-5.36112E-08	1.0597796	1.52018109	2079.87115	1011.6524	-12023.73	127.912	120.69679	84.142601
998.4	104.576	-0.1173055	-0.11069	-5.36112E-08	1.0597992	1.52006101	2450.73041	1011.6524	-13446.2	143.0447	134.97341	94.104584

Re ^{0,5} Pr ^{0,333}	Nu_stf	Nu_mod	Nu_R-M
6.604660031	8.9921737	5.9656999	5.632563
7.20232592	10.048458	6.7607907	5.9612793
9.821960477	11.565908	7.7748026	7.4020783
7.026770397	9.5738008	6.4641305	5.8647237
6.88060375	9.0735705	6.1267645	5.7843321
7.530708833	9.0646712	6.141861	6.1418899
7.317835949	8.37252	5.6733588	6.0248098
10.13088077	11.539126	7.8121563	7.5719844
9.828213533	10.653218	7.2129428	7.4055174
7.039100977	9.4812006	6.495621	5.8715055
6.837267043	8.7833463	6.0180135	5.7604969
6.622545879	8.1116495	5.5583003	5.6424002
7.939080383	8.8133109	6.0367187	6.3664942
7.717409754	8.7509545	5.9944694	6.2445754
7.45715281	9.0404412	6.1933549	6.101434
9.004235612	10.581374	7.2453558	6.9523296
8.567445419	9.1687612	6.2789115	6.712095
8.099639217	8.0216034	5.4941385	6.4548016
7.12568288	8.9855427	6.2539505	5.9191256
6.916446482	8.1187348	5.6511	5.8040456
6.702807834	7.4621522	5.1945202	5.6865443
6.473324637	7.4723498	5.2021121	5.5603286
7.656602277	9.0763954	6.3101233	6.2111313
7.339419807	7.7259563	5.3718605	6.0366809
7.013549911	6.7392027	4.6863356	5.8574525
6.66286498	6.1160144	4.2535694	5.6645757
10.14248793	10.713769	7.4678016	7.5783684
9.811619067	10.480761	7.3059449	7.3963905
9.463235075	9.3332902	6.5066133	7.2047793
9.082906665	9.6151866	6.7037883	6.9955987

LAMPIRAN 7
HASIL KALKULASI DATA GARAM 1% AC

Suhu	Frekuensi (Hz)	Diameter Rata2		Peluruhan	tu [C]	td [C]	Tf	v [m/s]	po	p0A	hfg	x0
		(Pixel)	(meter)	dd/dt [pix/s]								
50	7	448.25	0.0026895	0.391666667	50	26	311	0.40858722	3359.77	3339.0147	2440154	0.032954
50	10	406.75	0.0024405	0.425	50	26	311	0.46647185	3359.77	3339.0147	2440154	0.032954
50	15	375.25	0.0022515	0.475	50	25	310.5	0.68722346	3359.77	3339.0147	2442518	0.032954
75	7	410.5	0.002463	0.7	74	32	326	0.44015115	4241.62	4215.4169	2425948	0.041603
75	7	388.5	0.002331	0.766666667	74	32	326	0.44015115	4241.62	4215.4169	2425948	0.041603
75	10	400.25	0.0024015	0.783333333	72	31	324.5	0.50443084	4491.23	4463.4849	2428319	0.044051
75	10	376	0.002256	0.833333333	72	31	324.5	0.50443084	4491.23	4463.4849	2428319	0.044051
75	15	378	0.002268	0.966666667	72	31	324.5	0.88859845	4491.23	4463.4849	2428319	0.044051
75	15	348	0.002088	1.033333333	72	31	324.5	0.88859845	4491.23	4463.4849	2428319	0.044051
100	7	412.5	0.002475	1.05	99	37	341	0.44759578	6274.09	6235.3311	2414066	0.061538
100	7	390.5	0.002343	1.15	99	37	341	0.44759578	6274.09	6235.3311	2414066	0.061538
100	7	366.75	0.0022005	1.225	99	37	341	0.44759578	6274.09	6235.3311	2414066	0.061538
100	10	401	0.002406	1.2	96	36	339	0.53973539	5940.16	5903.464	2416445	0.058263
100	10	376.5	0.002259	1.25	96	36	339	0.53973539	5940.16	5903.464	2416445	0.058263
100	10	351	0.002106	1.3	96	36	339	0.53973539	5940.16	5903.464	2416445	0.058263
100	15	410.25	0.0024615	1.425	96	36	339	1.10074496	5940.16	5903.464	2416445	0.058263
100	15	381.75	0.0022905	1.425	96	36	339	1.10074496	5940.16	5903.464	2416445	0.058263
100	15	352	0.002112	1.55	96	36	339	1.10074496	5940.16	5903.464	2416445	0.058263
150	7	417.75	0.0025065	1.78125	143	44	366.5	0.50603544	9100.33	9044.1117	2397344	0.089258
150	7	388.5	0.002331	1.875	143	44	366.5	0.50603544	9100.33	9044.1117	2397344	0.089258
150	7	358	0.002148	1.9375	143	44	366.5	0.50603544	9100.33	9044.1117	2397344	0.089258
150	7	326.75	0.0019605	1.96875	143	44	366.5	0.50603544	9100.33	9044.1117	2397344	0.089258
150	10	433.25	0.0025995	1.96875	139	43	364	0.62134921	8639.39	8586.0193	2399739	0.084737
150	10	401.5	0.002409	2	139	43	364	0.62134921	8639.39	8586.0193	2399739	0.084737
150	10	369.5	0.002217	2	139	43	364	0.62134921	8639.39	8586.0193	2399739	0.084737
150	10	337	0.002022	2.0625	139	43	364	0.62134921	8639.39	8586.0193	2399739	0.084737
150	15	427.5	0.002565	2.142857143	139	43	364	0.93031055	8639.39	8586.0193	2399739	0.084737
150	15	395.25	0.0023715	2.15625	139	43	364	0.93031055	8639.39	8586.0193	2399739	0.084737
150	15	360.75	0.0021645	2.15625	139	43	364	0.93031055	8639.39	8586.0193	2399739	0.084737
150	15	323.75	0.0019425	2.194444444	139	43	364	0.93031055	8639.39	8586.0193	2399739	0.084737

Xinf	Rx	C1	u (nua)	alfa	D _{AB}	ρ(rhoa)	cp	k	Pr	Sc	Le	Re
0.016419	0.017098	-0.00973	1.6767E-05	2.36E-05	2.686E-05	1.1324471	1008.2301	0.02694	0.7105	0.6244	0.8787	65.53879
0.01735	0.016135	-0.01067	1.6767E-05	2.36E-05	2.686E-05	1.1324471	1008.2301	0.02694	0.7105	0.6244	0.8787	67.89634
0.01673	0.016777	-0.01114	1.6719E-05	2.35E-05	2.678E-05	1.1342707	1008.2024	0.02691	0.7106	0.6243	0.8786	92.548
0.016419	0.026277	-0.02081	1.8237E-05	2.57E-05	2.916E-05	1.0803406	1009.1403	0.02804	0.709	0.6253	0.8821	59.44537
0.016419	0.026277	-0.02081	1.8237E-05	2.57E-05	2.916E-05	1.0803406	1009.1403	0.02804	0.709	0.6253	0.8821	56.2595
0.01735	0.027931	-0.01818	1.8088E-05	2.55E-05	2.893E-05	1.0853345	1009.0425	0.02794	0.7091	0.6253	0.8818	66.9712
0.01735	0.027931	-0.01818	1.8088E-05	2.55E-05	2.893E-05	1.0853345	1009.0425	0.02794	0.7091	0.6253	0.8818	62.91361
0.018898	0.026313	-0.01974	1.8088E-05	2.55E-05	2.893E-05	1.0853345	1009.0425	0.02794	0.7091	0.6253	0.8818	111.4173
0.018898	0.026313	-0.01974	1.8088E-05	2.55E-05	2.893E-05	1.0853345	1009.0425	0.02794	0.7091	0.6253	0.8818	102.5746
0.016575	0.047912	-0.02287	1.9742E-05	2.79E-05	3.155E-05	1.0328183	1010.2032	0.02912	0.7074	0.6257	0.8845	56.11493
0.016575	0.047912	-0.02287	1.9742E-05	2.79E-05	3.155E-05	1.0328183	1010.2032	0.02912	0.7074	0.6257	0.8845	53.12213
0.016575	0.047912	-0.02287	1.9742E-05	2.79E-05	3.155E-05	1.0328183	1010.2032	0.02912	0.7074	0.6257	0.8845	49.89127
0.018125	0.042621	-0.02553	1.9539E-05	2.76E-05	3.123E-05	1.0389117	1010.0527	0.02897	0.7076	0.6257	0.8842	66.46231
0.018125	0.042621	-0.02553	1.9539E-05	2.76E-05	3.123E-05	1.0389117	1010.0527	0.02897	0.7076	0.6257	0.8842	62.40165
0.018125	0.042621	-0.02553	1.9539E-05	2.76E-05	3.123E-05	1.0389117	1010.0527	0.02897	0.7076	0.6257	0.8842	58.17524
0.019207	0.041472	-0.02662	1.9539E-05	2.76E-05	3.123E-05	1.0389117	1010.0527	0.02897	0.7076	0.6257	0.8842	138.6709
0.019207	0.041472	-0.02662	1.9539E-05	2.76E-05	3.123E-05	1.0389117	1010.0527	0.02897	0.7076	0.6257	0.8842	129.0375
0.019207	0.041472	-0.02662	1.9539E-05	2.76E-05	3.123E-05	1.0389117	1010.0527	0.02897	0.7076	0.6257	0.8842	118.9815
0.016575	0.079807	-0.03562	2.2381E-05	3.17E-05	3.58E-05	0.9609578	1012.3603	0.03089	0.7049	0.6252	0.887	56.67332
0.016575	0.079807	-0.03562	2.2381E-05	3.17E-05	3.58E-05	0.9609578	1012.3603	0.03089	0.7049	0.6252	0.887	52.70517
0.016575	0.079807	-0.03562	2.2381E-05	3.17E-05	3.58E-05	0.9609578	1012.3603	0.03089	0.7049	0.6252	0.887	48.56744
0.016575	0.079807	-0.03562	2.2381E-05	3.17E-05	3.58E-05	0.9609578	1012.3603	0.03089	0.7049	0.6252	0.887	44.32796
0.018125	0.07278	-0.03844	2.2117E-05	3.14E-05	3.537E-05	0.9675578	1012.1293	0.03072	0.7052	0.6253	0.8868	73.02867
0.018125	0.07278	-0.03844	2.2117E-05	3.14E-05	3.537E-05	0.9675578	1012.1293	0.03072	0.7052	0.6253	0.8868	67.67688
0.018125	0.07278	-0.03844	2.2117E-05	3.14E-05	3.537E-05	0.9675578	1012.1293	0.03072	0.7052	0.6253	0.8868	62.28296
0.018125	0.07278	-0.03844	2.2117E-05	3.14E-05	3.537E-05	0.9675578	1012.1293	0.03072	0.7052	0.6253	0.8868	56.80476
0.019207	0.071598	-0.03953	2.2117E-05	3.14E-05	3.537E-05	0.9675578	1012.1293	0.03072	0.7052	0.6253	0.8868	107.8905
0.019207	0.071598	-0.03953	2.2117E-05	3.14E-05	3.537E-05	0.9675578	1012.1293	0.03072	0.7052	0.6253	0.8868	99.75137
0.019207	0.071598	-0.03953	2.2117E-05	3.14E-05	3.537E-05	0.9675578	1012.1293	0.03072	0.7052	0.6253	0.8868	91.04442
0.019207	0.071598	-0.03953	2.2117E-05	3.14E-05	3.537E-05	0.9675578	1012.1293	0.03072	0.7052	0.6253	0.8868	81.70653

θ_x_StF	θ_x_Mod	N	kc	kcL_StF	kcL_Mod	$Re^{0,5} \cdot Sc^{0,333}$	Sh_StF	Sh_Mod	ShR_M
0.991547	1.56064616	6.51733E-05	0.097278	0.09810719	0.062331829	6.920332447	9.82524	6.242409	5.806183
0.992018	1.65323028	0.00007072	0.111854	0.11275398	0.067657848	7.043701169	10.24664	6.14848	5.874036
0.991704	1.65591981	0.00007904	0.12004	0.12104389	0.072491288	8.223383919	10.17674	6.094687	6.522861
0.987087	1.77903647	0.00011648	0.118581	0.12013249	0.066654763	6.594268069	10.14602	5.629454	5.626847
0.987087	1.77903647	0.000127573	0.129875	0.13157368	0.073002836	6.415130994	10.51676	5.835158	5.528322
0.986289	1.63717014	0.000130347	0.124263	0.12599023	0.075900954	6.998999638	10.45912	6.300943	5.84945
0.986289	1.63717014	0.000138667	0.132194	0.13403216	0.080745696	6.78366235	10.45259	6.297007	5.731014
0.98707	1.73728778	0.000160853	0.16278	0.16491189	0.093697535	9.027513806	12.92917	7.345933	6.965133
0.98707	1.73728778	0.000171947	0.174006	0.17628513	0.100159434	8.661874426	12.72395	7.22933	6.764031
0.976783	1.45407615	0.00017472	0.102041	0.10446639	0.070175813	6.408087588	8.1947	5.50483	5.524448
0.976783	1.45407615	0.00019136	0.111759	0.11441557	0.076859224	6.234863959	8.496473	5.707548	5.429175
0.976783	1.45407615	0.00020384	0.119048	0.12187746	0.081871782	6.042289424	8.500139	5.71001	5.323259
0.979276	1.57833484	0.00019968	0.130325	0.13308253	0.082570908	6.973861038	10.25342	6.361722	5.835624
0.979276	1.57833484	0.000208	0.135755	0.13862763	0.086011362	6.757461706	10.02809	6.221914	5.716604
0.979276	1.57833484	0.00021632	0.141185	0.14417274	0.089451817	6.52461156	9.722848	6.03253	5.588536
0.97982	1.62177997	0.00023712	0.159048	0.16232371	0.098070022	10.07345158	12.79481	7.730153	7.540398
0.97982	1.62177997	0.00023712	0.159048	0.16232371	0.098070022	9.717253475	11.90596	7.193141	7.344489
0.97982	1.62177997	0.00025792	0.173	0.17656263	0.106672655	9.330938786	11.94111	7.21438	7.132016
0.9621	1.40842651	0.0002964	0.111694	0.11609371	0.079303928	6.438301418	8.129211	5.553086	5.541066
0.9621	1.40842651	0.000312	0.117572	0.12220391	0.083477819	6.208813106	7.957916	5.436074	5.414847
0.9621	1.40842651	0.0003224	0.121491	0.12627737	0.086260413	5.960114306	7.577602	5.17628	5.278063
0.9621	1.40842651	0.0003276	0.123451	0.1283141	0.08765171	5.694044721	7.0277	4.800641	5.131725
0.965285	1.49346258	0.0003276	0.134447	0.13928256	0.090023881	7.308867032	10.23671	6.616397	6.019877
0.965285	1.49346258	0.0003328	0.136581	0.14149339	0.091452831	7.03596305	9.637114	6.228852	5.86978
0.965285	1.49346258	0.0003328	0.136581	0.14149339	0.091452831	6.749754804	8.869025	5.732405	5.712365
0.965285	1.49346258	0.0003432	0.14085	0.14591506	0.094310732	6.446080514	8.341714	5.391583	5.545344
0.965823	1.51795901	0.000356571	0.148754	0.15401735	0.097995732	8.88372148	11.16943	7.106709	6.886047
0.965823	1.51795901	0.0003588	0.149683	0.15497996	0.098608205	8.542063862	10.39137	6.611655	6.698135
0.965823	1.51795901	0.0003588	0.149683	0.15497996	0.098608205	8.160749452	9.484341	6.034547	6.488412
0.965823	1.51795901	0.000365156	0.152335	0.15772518	0.100354889	7.730930396	8.662357	5.511548	6.252012

ρ_{air}	hL	ϕT	RT	C2	θT_{stf}	θT_{mod}	qkonduksi	qrad/A	qo/A	h	hL_stf	hL_mod
998.4	63.46326	-0.02949	-0.02906	-1.37647E-08	1.0148178	1.52705613	331.811422	157.406	-2373.38	98.89067	97.44672	64.75903
998.4	70.79147	-0.02948	-0.02905	-1.36157E-08	1.0148106	1.52174543	420.110926	157.406	-2528.7	105.3626	103.8248	69.23797
998.4	85.46175	-0.03066	-0.03019	-1.41783E-08	1.0154077	1.52391788	586.682939	163.1966	-2725.14	109.0056	107.3515	71.52983
998.4	69.74504	-0.05154	-0.05023	-2.3488E-08	1.0259897	1.51225997	697.497976	318.1144	-4070.73	96.92208	94.46691	64.09088
998.4	72.34627	-0.05155	-0.05024	-2.3488E-08	1.0259964	1.51214536	778.730579	318.1144	-4473.91	106.5216	103.8226	70.44403
998.4	74.20483	-0.0504	-0.04915	-2.32675E-08	1.025411	1.51958299	769.751389	306.225	-4621.44	112.7181	109.9248	74.17701
998.4	77.32231	-0.05041	-0.04916	-2.32675E-08	1.0254183	1.51945274	872.242959	306.225	-4882.62	119.0882	116.1362	78.37572
998.4	94.20557	-0.05027	-0.04903	-2.30199E-08	1.0253458	1.51547451	973.543581	306.225	-5751.09	140.2705	136.8031	92.55878
998.4	99.266	-0.05029	-0.04904	-2.30199E-08	1.0253546	1.51532024	1148.63094	306.225	-6060.89	147.8265	144.1712	97.55466
998.4	70.64733	-0.07666	-0.0738	-3.59187E-08	1.038821	1.52685241	1065.63524	539.65	-5986.86	96.56219	92.95364	63.24265
998.4	73.28198	-0.07668	-0.07382	-3.59187E-08	1.0388309	1.52674417	1189.08911	539.65	-6586.46	106.2333	102.2623	69.58158
998.4	76.43493	-0.0767	-0.07384	-3.59187E-08	1.0388423	1.52661914	1348.08177	539.65	-6969.77	112.4156	108.2124	73.63695
998.4	76.58432	-0.07399	-0.07132	-3.42201E-08	1.0374495	1.52085835	1164.44995	512.8863	-7007.95	116.7991	112.5829	76.79816
998.4	79.83285	-0.07401	-0.07134	-3.42201E-08	1.0374602	1.52073764	1320.92941	512.8863	-7213.35	120.2226	115.8816	79.05543
998.4	83.63009	-0.07403	-0.07136	-3.42201E-08	1.0374722	1.52060184	1519.83114	512.8863	-7376.34	122.939	118.4986	80.8489
998.4	97.66497	-0.07375	-0.0711	-3.4047E-08	1.037328	1.51978159	1227.85003	512.8863	-8573.04	142.884	137.7423	94.01611
998.4	102.1396	-0.07377	-0.07111	-3.4047E-08	1.0373384	1.51966404	1418.02672	512.8863	-8382.86	139.7143	134.6854	91.93765
998.4	107.4592	-0.07379	-0.07114	-3.4047E-08	1.0373503	1.51952908	1667.85073	512.8863	-9037.75	150.6292	145.2058	99.12889
998.4	74.18773	-0.12341	-0.1161	-5.74961E-08	1.0629757	1.53206711	1692.10185	1080.416	-10017.8	101.1898	95.19486	66.0479
998.4	77.87445	-0.12345	-0.11614	-5.74961E-08	1.0629967	1.53194453	1956.48882	1080.416	-10426.6	105.319	99.07744	68.74856
998.4	82.27588	-0.1235	-0.11618	-5.74961E-08	1.0630205	1.53180488	2304.05776	1080.416	-10527.8	106.3413	100.037	69.42225
998.4	87.52707	-0.12355	-0.11622	-5.74961E-08	1.0630475	1.53164698	2765.84746	1080.416	-10290.4	103.9434	97.77868	67.8638
998.4	77.56428	-0.11923	-0.11239	-5.51349E-08	1.0607982	1.52794583	1641.49887	1025.523	-11483.8	119.6225	112.7665	78.28975
998.4	81.52493	-0.11927	-0.11243	-5.51349E-08	1.0608185	1.52782216	1911.37821	1025.523	-11438.5	119.151	112.3199	77.98748
998.4	86.10897	-0.11931	-0.11247	-5.51349E-08	1.0608409	1.52768528	2256.77803	1025.523	-11093.1	115.5531	108.9259	75.63932
998.4	91.53244	-0.11936	-0.11251	-5.51349E-08	1.0608662	1.52753131	2713.05082	1025.523	-11086.1	115.4797	108.8542	75.59893
998.4	90.38471	-0.11902	-0.11221	-5.49617E-08	1.0606923	1.52712334	1829.53804	1025.523	-12547.1	130.6995	123.2209	85.58541
998.4	94.99608	-0.11906	-0.11225	-5.49617E-08	1.0607116	1.52700592	2140.2767	1025.523	-12332.7	128.4654	121.1124	84.12892
998.4	100.7017	-0.11911	-0.11229	-5.49617E-08	1.0607344	1.52686665	2569.21827	1025.523	-11903.7	123.9972	116.8975	81.21025
998.4	107.9662	-0.11916	-0.11233	-5.49617E-08	1.0607621	1.52669817	3190.0253	1025.523	-11557.5	120.3902	113.494	78.85656

Re ^{0,5} .Pr ^{0,333}	Nu_Stf	Nu_Mod	Nu_R-M
7.224789043	9.727086	6.464216	5.973634
7.35358531	9.404249	6.271438	6.044472
8.585593187	8.983073	5.985546	6.722076
6.875661262	8.296609	5.628817	5.781614
6.688879979	8.6296	5.855217	5.678884
7.298459509	9.449772	6.376684	6.014153
7.07390878	9.378854	6.329416	5.89065
9.41376588	11.10662	7.514562	7.177571
9.032482218	10.77586	7.291578	6.967865
6.675471915	7.901401	5.375858	5.67151
6.495020344	8.229066	5.59924	5.572261
6.29441043	8.178257	5.565186	5.461926
7.265604088	9.348595	6.377119	5.996082
7.040151951	9.0346	6.163481	5.872084
6.797560801	8.612904	5.87639	5.738658
10.49486226	11.7016	7.986937	7.772174
10.12376303	10.64704	7.267781	7.56807
9.721287335	10.58415	7.225572	7.346708
6.700671746	7.72515	5.359848	5.685369
6.461831446	7.477265	5.188378	5.554007
6.202997801	6.956976	4.827905	5.411649
5.926085485	6.206357	4.307554	5.259347
7.607204461	9.543513	6.62572	6.183962
7.323160932	8.809104	6.116458	6.027739
7.025270076	7.862041	5.459485	5.863899
6.709200239	7.165799	4.976627	5.69006
9.2463422	10.28988	7.147027	7.085488
8.89073861	9.350831	6.495413	6.889906
8.493859495	8.23761	5.722776	6.671623
8.046495844	7.177487	4.986975	6.425573

LAMPIRAN 8 HASIL KALKULASI DATA AQUADES AC

Suhu	Frekuensi (Hz)	Diameter Rata2		Peluruhan dd/dt[pix/s]	tu [C]	td [C]	Tf	v [m/s]	po	p0A	hfg	x0	Xinf
		(Pixel)	(meter)										
50	7	346.5	0.002079	0.4	49	26	310.5	0.40723474	3359.77	2440154	0.033158	0.016109	0.017634
50	7	334.25	0.0020055	0.416666667	49	26	310.5	0.40723474	3359.77	2440154	0.033158	0.016109	0.017634
50	10	377.25	0.0022635	0.421875	49	26	310.5	0.46492776	3359.77	2440154	0.033158	0.01673	0.016992
50	10	363.5	0.002181	0.4375	49	26	310.5	0.46492776	4241.62	2440154	0.041862	0.01673	0.02623
50	15	467.5	0.002805	0.40625	49	26	310.5	0.68494865	4241.62	2440154	0.041862	0.018125	0.024774
50	15	453	0.002718	0.4	49	26	310.5	0.68494865	4491.23	2440154	0.044325	0.018125	0.027416
75	7	394.5	0.002367	0.75	74	31	325.5	0.44015115	4491.23	2428319	0.044325	0.014708	0.03099
75	7	377.5	0.002265	0.721153846	74	31	325.5	0.44015115	4491.23	2428319	0.044325	0.014708	0.03099
75	10	339.25	0.0020355	0.7	72	31	324.5	0.50443084	4491.23	2428319	0.044325	0.015798	0.02985
75	10	319.25	0.0019155	0.783333333	72	31	324.5	0.50443084	4491.23	2428319	0.044325	0.015798	0.02985
75	15	415.25	0.0024915	0.766666667	72	30	324	0.88859845	4241.62	2430689	0.041862	0.014911	0.028128
75	15	394.5	0.002367	0.873076923	72	30	324	0.88859845	4241.62	2430689	0.041862	0.014911	0.028128
100	7	439	0.002634	0.928571429	100	36	341	0.44887257	5940.16	2416445	0.058625	0.015098	0.046238
100	7	427.5	0.002565	1.03125	100	36	341	0.44887257	5940.16	2416445	0.058625	0.015098	0.046238
100	7	416.25	0.0024975	0.9375	100	36	341	0.44887257	5940.16	2416445	0.058625	0.015098	0.046238
100	7	402.75	0.0024165	1.035714286	100	36	341	0.44887257	5940.16	2416445	0.058625	0.015098	0.046238
100	10	398.75	0.0023925	1.071428571	95	36	338.5	0.53817406	5940.16	2416445	0.058625	0.015953	0.045329
100	10	385.5	0.002313	1.03125	95	36	338.5	0.53817406	5940.16	2416445	0.058625	0.015953	0.045329
100	10	370.5	0.002223	1.09375	95	36	338.5	0.53817406	5940.16	2416445	0.058625	0.015953	0.045329
100	10	355.5	0.002133	1.21875	95	36	338.5	0.53817406	5940.16	2416445	0.058625	0.015953	0.045329
100	15	409.75	0.0024585	1.181818182	96	36	339	1.10074496	5940.16	2416445	0.058625	0.01704	0.044174
100	15	399.25	0.0023955	1.291666667	96	36	339	1.10074496	5940.16	2416445	0.058625	0.01704	0.044174
100	15	387	0.002322	1.464285714	96	36	339	1.10074496	5940.16	2416445	0.058625	0.01704	0.044174
100	15	373	0.002238	1.458333333	96	36	339	1.10074496	5940.16	2416445	0.058625	0.01704	0.044174
100	15	356.5	0.002139	1.5	96	36	339	1.10074496	5940.16	2416445	0.058625	0.01704	0.044174
150	7	460.75	0.0027645	1.625	144	42	366	0.50713818	8198.72	2402133	0.080915	0.014911	0.071815
150	7	441	0.002646	1.666666667	144	42	366	0.50713818	8198.72	2402133	0.080915	0.014911	0.071815
150	7	420.25	0.0025215	1.791666667	144	42	366	0.50713818	8198.72	2402133	0.080915	0.014911	0.071815
150	7	398.5	0.002391	1.833333333	144	42	366	0.50713818	8198.72	2402133	0.080915	0.014911	0.071815
150	7	376.25	0.0022575	1.875	144	42	366	0.50713818	8198.72	2402133	0.080915	0.014911	0.071815
150	10	464.25	0.0027855	1.772727273	139	42	363.5	0.62134921	8198.72	2402133	0.080915	0.015953	0.070681
150	10	444	0.002664	1.75	139	42	363.5	0.62134921	8198.72	2402133	0.080915	0.015953	0.070681
150	10	423	0.002538	1.75	139	42	363.5	0.62134921	8198.72	2402133	0.080915	0.015953	0.070681
150	10	402	0.002412	1.75	139	42	363.5	0.62134921	8198.72	2402133	0.080915	0.015953	0.070681
150	10	379	0.002274	2.083333333	139	42	363.5	0.62134921	8198.72	2402133	0.080915	0.015953	0.070681
150	15	348	0.002088	2.454545455	141	44	365.5	0.93448689	9100.33	2397344	0.089813	0.01673	0.080295
150	15	319.75	0.0019185	2.458333333	141	44	365.5	0.93448689	9100.33	2397344	0.089813	0.01673	0.080295
150	15	289.75	0.0017385	2.541666667	141	44	365.5	0.93448689	9100.33	2397344	0.089813	0.01673	0.080295
150	15	258.25	0.0015495	2.708333333	141	44	365.5	0.93448689	9100.33	2397344	0.089813	0.01673	0.080295
150	15	223	0.001338	3.166666667	141	44	365.5	0.93448689	9100.33	2397344	0.089813	0.01673	0.080295

Rx	C1	u (nua)	alfa	D _{AB}	ρ(rhoa)	cp	k	Pr	Sc	Le	Re
-0.00811	1.451209	1.6719E-05	2.35E-05	2.678E-05	1.1342707	1008.2024	0.02691	0.7106	0.6243	0.8786	50.64032
-0.00811	1.451209	1.6719E-05	2.35E-05	2.678E-05	1.1342707	1008.2024	0.02691	0.7106	0.6243	0.8786	48.85
-0.00874	1.505767	1.6719E-05	2.35E-05	2.678E-05	1.1342707	1008.2024	0.02691	0.7106	0.6243	0.8786	62.94527
3.78E-05	0.985668	1.6719E-05	2.35E-05	2.678E-05	1.1342707	1008.2024	0.02691	0.7106	0.6243	0.8786	60.65104
-0.00137	1.043046	1.6719E-05	2.35E-05	2.678E-05	1.1342707	1008.2024	0.02691	0.7106	0.6243	0.8786	114.918
0.001115	0.945855	1.6719E-05	2.35E-05	2.678E-05	1.1342707	1008.2024	0.02691	0.7106	0.6243	0.8786	111.3537
-0.01744	1.547583	1.8187E-05	2.57E-05	2.908E-05	1.0820002	1009.1075	0.02801	0.709	0.6253	0.882	57.28404
-0.01744	1.547583	1.8187E-05	2.57E-05	2.908E-05	1.0820002	1009.1075	0.02801	0.709	0.6253	0.882	54.81552
-0.01634	1.532725	1.8088E-05	2.55E-05	2.893E-05	1.0853345	1009.0425	0.02794	0.7091	0.6253	0.8818	56.76447
-0.01634	1.532725	1.8088E-05	2.55E-05	2.893E-05	1.0853345	1009.0425	0.02794	0.7091	0.6253	0.8818	53.418
-0.01903	1.662674	1.8039E-05	2.54E-05	2.885E-05	1.0870094	1009.0102	0.0279	0.7092	0.6253	0.8817	122.7323
-0.01903	1.662674	1.8039E-05	2.54E-05	2.885E-05	1.0870094	1009.0102	0.0279	0.7092	0.6253	0.8817	116.5994
-0.02652	1.551036	1.9742E-05	2.79E-05	3.155E-05	1.0328183	1010.2032	0.02912	0.7074	0.6257	0.8845	59.89024
-0.02652	1.551036	1.9742E-05	2.79E-05	3.155E-05	1.0328183	1010.2032	0.02912	0.7074	0.6257	0.8845	58.32136
-0.02652	1.551036	1.9742E-05	2.79E-05	3.155E-05	1.0328183	1010.2032	0.02912	0.7074	0.6257	0.8845	56.78659
-0.02652	1.551036	1.9742E-05	2.79E-05	3.155E-05	1.0328183	1010.2032	0.02912	0.7074	0.6257	0.8845	54.94486
-0.02188	1.460659	1.9488E-05	2.75E-05	3.115E-05	1.0404462	1010.0155	0.02894	0.7077	0.6257	0.8841	66.06922
-0.02188	1.460659	1.9488E-05	2.75E-05	3.115E-05	1.0404462	1010.0155	0.02894	0.7077	0.6257	0.8841	63.87381
-0.02188	1.460659	1.9488E-05	2.75E-05	3.115E-05	1.0404462	1010.0155	0.02894	0.7077	0.6257	0.8841	61.38845
-0.02188	1.460659	1.9488E-05	2.75E-05	3.115E-05	1.0404462	1010.0155	0.02894	0.7077	0.6257	0.8841	58.90309
-0.02407	1.523524	1.9539E-05	2.76E-05	3.123E-05	1.0389117	1010.0527	0.02897	0.7076	0.6257	0.8842	138.5019
-0.02407	1.523524	1.9539E-05	2.76E-05	3.123E-05	1.0389117	1010.0527	0.02897	0.7076	0.6257	0.8842	134.9528
-0.02407	1.523524	1.9539E-05	2.76E-05	3.123E-05	1.0389117	1010.0527	0.02897	0.7076	0.6257	0.8842	130.8121
-0.02407	1.523524	1.9539E-05	2.76E-05	3.123E-05	1.0389117	1010.0527	0.02897	0.7076	0.6257	0.8842	126.0799
-0.02407	1.523524	1.9539E-05	2.76E-05	3.123E-05	1.0389117	1010.0527	0.02897	0.7076	0.6257	0.8842	120.5026
-0.04565	1.601444	2.2328E-05	3.17E-05	3.571E-05	0.9622706	1012.3138	0.03085	0.705	0.6253	0.8869	62.79096
-0.04565	1.601444	2.2328E-05	3.17E-05	3.571E-05	0.9622706	1012.3138	0.03085	0.705	0.6253	0.8869	60.09944
-0.04565	1.601444	2.2328E-05	3.17E-05	3.571E-05	0.9622706	1012.3138	0.03085	0.705	0.6253	0.8869	57.27163
-0.04565	1.601444	2.2328E-05	3.17E-05	3.571E-05	0.9622706	1012.3138	0.03085	0.705	0.6253	0.8869	54.30754
-0.04565	1.601444	2.2328E-05	3.17E-05	3.571E-05	0.9622706	1012.3138	0.03085	0.705	0.6253	0.8869	51.27531
-0.04121	1.54922	2.2065E-05	3.13E-05	3.528E-05	0.9688887	1012.0836	0.03068	0.7052	0.6253	0.8868	78.44031
-0.04121	1.54922	2.2065E-05	3.13E-05	3.528E-05	0.9688887	1012.0836	0.03068	0.7052	0.6253	0.8868	75.01884
-0.04121	1.54922	2.2065E-05	3.13E-05	3.528E-05	0.9688887	1012.0836	0.03068	0.7052	0.6253	0.8868	71.47066
-0.04121	1.54922	2.2065E-05	3.13E-05	3.528E-05	0.9688887	1012.0836	0.03068	0.7052	0.6253	0.8868	67.92247
-0.04121	1.54922	2.2065E-05	3.13E-05	3.528E-05	0.9688887	1012.0836	0.03068	0.7052	0.6253	0.8868	64.03636
-0.03302	1.373079	2.2275E-05	3.16E-05	3.562E-05	0.963587	1012.2674	0.03082	0.705	0.6253	0.8869	87.59591
-0.03302	1.373079	2.2275E-05	3.16E-05	3.562E-05	0.963587	1012.2674	0.03082	0.705	0.6253	0.8869	80.48504
-0.03302	1.373079	2.2275E-05	3.16E-05	3.562E-05	0.963587	1012.2674	0.03082	0.705	0.6253	0.8869	72.93366
-0.03302	1.373079	2.2275E-05	3.16E-05	3.562E-05	0.963587	1012.2674	0.03082	0.705	0.6253	0.8869	65.00472
-0.03302	1.373079	2.2275E-05	3.16E-05	3.562E-05	0.963587	1012.2674	0.03082	0.705	0.6253	0.8869	56.13186

θ_x_StF	θ_x_Mod	N	kc	kcL_StF	kcL_Mod	$Re^{0,5} \cdot Sc^{0,333}$	Sh_StF	Sh_Mod	ShR_M
0.99129	1.451209	0.00006656	0.096169	0.097014	0.06626789	6.082964108	7.531521	5.144596	5.34563
0.99129	1.451209	6.93333E-05	0.100176	0.101056	0.06902905	5.974469418	7.567974	5.169496	5.285958
0.9916	1.505767	0.0000702	0.105263	0.106154	0.06990633	6.781856428	8.972476	5.908682	5.730021
0.98711	0.985668	0.0000728	0.070716	0.07164	0.07174432	6.657116771	5.834478	5.843012	5.661414
0.98781	1.043046	0.0000676	0.069523	0.070381	0.06665401	9.16349276	7.37193	6.981565	7.039921
0.98654	0.945855	0.00006656	0.061858	0.062702	0.06539891	9.020265788	6.36392	6.637639	6.961146
0.98482	1.547583	0.0001248	0.107562	0.10922	0.06950297	6.47320464	8.888676	5.656383	5.560263
0.98482	1.547583	0.00012	0.103425	0.105019	0.06682978	6.332195444	8.1785	5.204457	5.482707
0.98537	1.532725	0.00011648	0.103905	0.105448	0.06779103	6.443624571	7.419696	4.770008	5.543994
0.98537	1.532725	0.000130347	0.116275	0.118002	0.07586139	6.250802162	7.813502	5.023179	5.437941
0.98619	1.662674	0.000127573	0.120582	0.12227	0.07252273	9.474708265	10.55911	6.263004	7.21109
0.98619	1.662674	0.00014528	0.137318	0.13924	0.08258859	9.234949602	11.4238	6.775885	7.079222
0.97757	1.551036	0.000154514	0.093507	0.095653	0.06028685	6.620141431	7.985347	5.032916	5.641078
0.97757	1.551036	0.0001716	0.103847	0.10623	0.06695318	6.532855725	8.636028	5.44302	5.593071
0.97757	1.551036	0.000156	0.094406	0.096572	0.06086653	6.446324014	7.644331	4.817984	5.545478
0.97757	1.551036	0.000172343	0.104296	0.106689	0.06724302	6.340927419	8.171268	5.150096	5.48751
0.978	1.460659	0.000178286	0.109249	0.111707	0.07479457	6.953186869	8.580381	5.745076	5.824253
0.978	1.460659	0.0001716	0.105152	0.107518	0.07198977	6.836687743	7.984193	5.345892	5.760178
0.978	1.460659	0.000182	0.111525	0.114034	0.07635279	6.702358585	8.138586	5.449268	5.686297
0.978	1.460659	0.0002028	0.124271	0.127067	0.08507882	6.565281557	8.701556	5.82621	5.610905
0.97854	1.523524	0.000196655	0.123837	0.126553	0.08128355	10.06731111	9.963099	6.399188	7.537021
0.97854	1.523524	0.000214933	0.135348	0.138316	0.08883875	9.937484654	10.61012	6.814761	7.465617
0.97854	1.523524	0.000243657	0.153436	0.1568	0.10071122	9.783843363	11.65901	7.488452	7.381114
0.97854	1.523524	0.000242667	0.152812	0.156163	0.10030182	9.605244506	11.19156	7.188212	7.282884
0.97854	1.523524	0.0002496	0.157178	0.160625	0.10316759	9.390393157	11.0021	7.066527	7.164716
0.96572	1.601444	0.0002704	0.113081	0.117095	0.07061202	6.776961062	9.064913	5.466443	5.727329
0.96572	1.601444	0.000277333	0.115981	0.120097	0.07242259	6.630123424	8.898817	5.366281	5.646568
0.96572	1.601444	0.000298133	0.124679	0.129104	0.07785428	6.472263342	9.116116	5.49732	5.559745
0.96572	1.601444	0.000305067	0.127579	0.132107	0.07966485	6.302552634	8.845343	5.334035	5.466404
0.96572	1.601444	0.000312	0.130478	0.135109	0.08147541	6.124076015	8.541275	5.150672	5.368242
0.96624	1.54922	0.000294982	0.124485	0.128834	0.08035328	7.574902671	10.17075	6.34345	6.166196
0.96624	1.54922	0.0002912	0.122889	0.127182	0.07932311	7.407856926	9.602407	5.988978	6.074321
0.96624	1.54922	0.0002912	0.122889	0.127182	0.07932311	7.230549181	9.148239	5.705715	5.976802
0.96624	1.54922	0.0002912	0.122889	0.127182	0.07932311	7.048782781	8.694071	5.422453	5.876831
0.96624	1.54922	0.000346667	0.146296	0.151408	0.09443228	6.8441687	9.757915	6.085968	5.764293
0.96188	1.373079	0.000408436	0.152561	0.158607	0.111110845	8.004472128	9.296099	6.512176	6.40246
0.96188	1.373079	0.000409067	0.152796	0.158852	0.11127992	7.67270236	8.55464	5.992763	6.219986
0.96188	1.373079	0.000422933	0.157976	0.164236	0.11505212	7.303899639	8.014796	5.614587	6.017145
0.96188	1.373079	0.000450667	0.168335	0.175006	0.12259652	6.895459942	7.611897	5.332345	5.792503
0.96188	1.373079	0.000526933	0.196822	0.204622	0.14334362	6.407601675	7.685244	5.383727	5.524181

C1	ρ_{air}	hL	ϕT	RT	C2	θT_{stf}	θT_{mod}	qkonduksi	qrad/A	qo/A
-0.00565	998.4	75.19988	-0.02832	-0.02792	-1.33839E-08	1.014228	1.533249	517.6191	150.1035	-2255.78
-0.00565	998.4	77.04407	-0.02833	-0.02793	-1.33839E-08	1.01423	1.533161	556.2453	150.1035	-2338.96
-0.00565	998.4	74.2745	-0.02829	-0.02789	-1.32845E-08	1.01421	1.530014	450.3578	150.1035	-2482.92
-0.01442	998.4	76.12006	-0.02859	-0.02818	-1.4677E-08	1.014362	1.578314	485.292	150.1035	-2562.18
-0.01442	998.4	74.24691	-0.02849	-0.02809	-1.44538E-08	1.014313	1.571541	321.1118	150.1035	-2497.96
-0.01332	998.4	75.73528	-0.0286	-0.02819	-1.4848E-08	1.014366	1.584741	341.986	150.1035	-2431.41
-0.01332	998.4	71.5856	-0.05289	-0.05151	-2.46606E-08	1.026677	1.525145	760.5053	324.2612	-4370.21
-0.01332	998.4	73.71844	-0.0529	-0.05152	-2.46606E-08	1.026682	1.525051	830.5434	324.2612	-4090.36
-0.01332	998.4	82.77857	-0.05046	-0.04921	-2.35597E-08	1.025444	1.525196	1012.198	306.225	-3772.89
-0.02443	998.4	86.20493	-0.05048	-0.04922	-2.35597E-08	1.025451	1.525064	1143.339	306.225	-4247.86
-0.02443	998.4	88.77901	-0.05142	-0.05012	-2.37707E-08	1.025928	1.521682	789.9116	312.3114	-4479.42
-0.02443	998.4	91.68042	-0.05143	-0.05013	-2.37707E-08	1.025933	1.521588	875.1928	312.3114	-5168.84
-0.02493	998.4	67.84786	-0.07889	-0.07586	-3.66156E-08	1.039966	1.523925	918.5008	557.3574	-5244.9
-0.02493	998.4	69.05371	-0.0789	-0.07587	-3.66156E-08	1.039971	1.523873	968.5819	557.3574	-5937.98
-0.02493	998.4	70.28949	-0.07891	-0.07588	-3.66156E-08	1.039976	1.523822	1021.645	557.3574	-5206.38
-0.02493	998.4	71.85182	-0.07893	-0.07589	-3.66156E-08	1.039982	1.523758	1091.283	557.3574	-5847.59
-0.02493	998.4	76.76734	-0.07283	-0.07024	-3.41622E-08	1.036855	1.527434	1070.63	501.9921	-6182.09
-0.02493	998.4	78.49474	-0.07284	-0.07025	-3.41622E-08	1.036861	1.527368	1145.492	501.9921	-5816.43
-0.02493	998.4	80.5795	-0.07285	-0.07026	-3.41622E-08	1.036868	1.527291	1240.503	501.9921	-6173.78
-0.03312	998.4	82.81689	-0.07286	-0.07027	-3.41622E-08	1.036875	1.527209	1347.395	501.9921	-6971.6
-0.03312	998.4	97.73891	-0.0738	-0.07114	-3.44516E-08	1.037352	1.525244	1218.551	512.8863	-6822.25
-0.03312	998.4	99.32777	-0.0738	-0.07115	-3.44516E-08	1.037355	1.525202	1283.487	512.8863	-7552.37
-0.03312	998.4	101.2734	-0.07381	-0.07115	-3.44516E-08	1.03736	1.52515	1365.994	512.8863	-8719.23
-0.03392	998.4	103.6292	-0.07382	-0.07116	-3.44516E-08	1.037365	1.525089	1470.46	512.8863	-8571.69
0.966078	999.4	106.6062	-0.07384	-0.07118	-3.44516E-08	1.037372	1.525012	1609.725	512.8863	-8733.99
1.966078	1000.4	69.55037	-0.12622	-0.11858	-5.78173E-08	1.064438	1.526784	1367.636	1109.885	-9214.14
2.966078	1001.4	71.59599	-0.12625	-0.1186	-5.78173E-08	1.06445	1.526713	1492.87	1109.885	-9388.69
3.966078	1002.4	73.9249	-0.12627	-0.11862	-5.78173E-08	1.064464	1.526634	1643.932	1109.885	-10137
4.966078	1003.4	76.5922	-0.1263	-0.11865	-5.78173E-08	1.06448	1.526547	1828.28	1109.885	-10252.4
5.966078	1004.4	79.59839	-0.12633	-0.11868	-5.78173E-08	1.064497	1.526451	2050.908	1109.885	-10329.6
6.966078	1005.4	74.13484	-0.12008	-0.11315	-5.5334E-08	1.061241	1.527445	1343.135	1032.36	-10379
7.966078	1006.4	76.31453	-0.1201	-0.11317	-5.5334E-08	1.061253	1.527374	1468.445	1032.36	-10090.2
8.966078	1007.4	78.76461	-0.12013	-0.11319	-5.5334E-08	1.061266	1.527296	1617.867	1032.36	-9940.79
9.966078	1008.4	81.43526	-0.12015	-0.11322	-5.5334E-08	1.061279	1.527214	1791.313	1032.36	-9767.35
10.96608	1009.4	84.65317	-0.12018	-0.11324	-5.5334E-08	1.061295	1.527117	2015.325	1032.36	-11941.6
11.96608	1010.4	103.297	-0.12083	-0.11382	-5.66335E-08	1.061633	1.533962	2628.824	1049.294	-13946.8
12.96608	1011.4	109.0952	-0.12088	-0.11386	-5.66335E-08	1.061655	1.533828	3113.858	1049.294	-13489
13.96608	1012.4	116.308	-0.12093	-0.1139	-5.66335E-08	1.061681	1.533669	3792.041	1049.294	-13409.2
14.96608	1013.4	125.4218	-0.12099	-0.11395	-5.66335E-08	1.061712	1.53348	4773.526	1049.294	-13624.4
15.96608	1014.4	138.2303	-0.12106	-0.11402	-5.66335E-08	1.061753	1.533233	6401.92	1049.294	-15287.1

h	hL_Stf	hL_mod	Re ^{0,5} .Pr ^{0,333}	Nu_Stf	Nu_Mod	Nu_R-M
98.07727	96.70142	63.96696	6.350895898	7.471916	4.942593	5.492993
101.6941	100.2672	66.32967	6.237622424	7.473539	4.943963	5.430692
107.9529	106.4404	70.55683	7.080571808	8.954302	5.935595	5.894314
111.3992	109.822	70.58115	6.950337836	8.902041	5.721225	5.822686
108.6071	107.0745	69.10867	9.567110303	11.16256	7.204603	7.261911
105.7135	104.2163	66.70713	9.417574718	10.52761	6.738548	7.179666
101.6328	98.99199	66.63811	6.749674392	8.365959	5.631685	5.712321
95.12475	92.65257	62.37482	6.602642711	7.492782	5.044231	5.631453
92.02165	89.73836	60.33432	6.719322112	6.538712	4.396211	5.695627
103.6062	101.0348	67.93566	6.518249585	6.927811	4.658252	5.585037
106.6528	103.9574	70.08875	9.880461172	9.283758	6.259171	7.434254
123.0677	119.9568	80.88113	9.630434882	10.17726	6.862038	7.296739
81.95151	78.80212	53.77662	6.896373931	7.128796	4.864876	5.793006
92.78088	89.2149	60.8849	6.805446135	7.859362	5.363638	5.742995
81.34961	78.22262	53.38525	6.715303796	6.709658	4.579196	5.693417
91.36853	87.85591	59.96263	6.605509416	7.291557	4.976569	5.63303
104.7813	101.0568	68.59953	7.244258031	8.354627	5.671301	5.984342
98.58357	95.07888	64.54473	7.122882071	7.599225	5.158768	5.917585
104.6403	100.9197	68.51369	6.982929687	7.752198	5.262916	5.840611
118.1628	113.9605	77.37171	6.840114402	8.399529	5.702728	5.762063
113.7042	109.6101	74.54818	10.4884649	9.300339	6.325361	7.768656
125.8728	121.3401	82.52863	10.35320732	10.0318	6.823056	7.694264
145.3206	140.0869	95.28279	10.19313863	11.22633	7.635804	7.606226
142.8614	137.7157	93.67419	10.0070683	10.63706	7.235326	7.503888
145.5665	140.3224	95.4527	9.783228908	10.35896	7.046559	7.380776
90.33471	84.86614	59.16668	7.053220278	7.604273	5.30152	5.879271
92.046	86.47281	60.29032	6.900396881	7.416108	5.170638	5.795218
99.38225	93.36362	65.09893	6.736101717	7.63033	5.320341	5.704856
100.514	94.42545	65.84404	6.559472842	7.317711	5.102731	5.60771
101.2704	95.13455	66.34371	6.373720718	6.961016	4.854384	5.505546
107.0005	100.8258	70.05192	7.884205862	9.153731	6.359845	6.336313
104.0228	98.01892	68.10568	7.7103392	8.510742	5.913449	6.240687
102.4824	96.56622	67.10054	7.525791514	7.988039	5.550613	6.139185
100.6943	94.88012	65.93334	7.336603114	7.458918	5.183292	6.035132
123.1095	115.9993	80.61564	7.123634102	8.597441	5.974933	5.917999
143.7815	135.4343	93.73212	8.33087583	9.175878	6.350491	6.581982
139.0616	130.9857	90.66307	7.985577264	8.154061	5.643917	6.392067
138.2388	130.2075	90.136	7.601735629	7.345122	5.084653	6.180955
140.4581	132.2939	91.59434	7.176640714	6.651504	4.605201	5.947152
157.5991	148.4329	102.7887	6.668888725	6.444286	4.462621	5.667889

LAMPIRAN 9 HASIL KALKULASI DATA AQUADES NON AC

Suhu	Frekuensi (Hz)	Diameter Rata2		Peluruhan dd/dt[pix/s]	tu [C]	td [C]	Tf	v [m/s]	po	hfg	x0	Xinf
		(Pixel)	(meter)									
50	7	415.25	0.002492	0.325	50	31	313.5	0.40132	4491	2428319	0.044323	0.031104
50	10	408	0.002448	0.333333333	50	31	313.5	0.4799	4491	2428319	0.044323	0.031104
50	15	411	0.002466	0.416666667	50	30	313	0.8454	4241	2430689	0.041855	0.031104
75	7	396.25	0.002378	0.65	74	36	328	0.41344	5940	2416446	0.058623	0.031104
75	7	376.5	0.002259	0.666666667	74	36	328	0.41344	5940	2416446	0.058623	0.031104
75	10	396.5	0.002379	0.7	72	35	326.5	0.56544	5621	2418824	0.055475	0.031104
75	10	375.75	0.002255	0.683333333	72	35	326.5	0.56544	5621	2418824	0.055475	0.031104
75	15	454.75	0.002729	0.75	72	35	326.5	0.94499	5621	2418824	0.055475	0.031104
75	15	432.25	0.002594	0.75	72	35	326.5	0.94499	5621	2418824	0.055475	0.031104
100	7	450.75	0.002705	0.983333333	100	40	343	0.49657	7375	2406913	0.072786	0.031104
100	7	421	0.002526	1	100	40	343	0.49657	7375	2406913	0.072786	0.031104
100	10	455	0.00273	1	93	38	338.5	0.65623	6624	2411684	0.065374	0.031104
100	10	424.5	0.002547	1.033333333	93	38	338.5	0.65623	6624	2411684	0.065374	0.031104
100	15	481	0.002886	1.15	96	40	341	1.00447	7375	2406913	0.072786	0.031104
100	15	457.75	0.002747	1.175	96	40	341	1.00447	7375	2406913	0.072786	0.031104
100	15	433.75	0.002603	1.225	96	40	341	1.00447	7375	2406913	0.072786	0.031104
150	7	395	0.00237	1.916666667	145	46	368.5	0.54113	10086	2392545	0.099541	0.031104
150	7	372	0.002232	1.916666667	145	46	368.5	0.54113	10086	2392545	0.099541	0.031104
150	7	348.75	0.002093	1.958333333	145	46	368.5	0.54113	10086	2392545	0.099541	0.031104
150	7	325.25	0.001952	1.958333333	145	46	368.5	0.54113	10086	2392545	0.099541	0.031104
150	7	301	0.001806	2.083333333	145	46	368.5	0.54113	10086	2392545	0.099541	0.031104
150	10	434.25	0.002606	1.875	140	45	365.5	0.74418	9582	2394946	0.094567	0.031104
150	10	411.25	0.002468	1.958333333	140	45	365.5	0.74418	9582	2394946	0.094567	0.031104
150	10	388.5	0.002331	1.833333333	140	45	365.5	0.74418	9582	2394946	0.094567	0.031104
150	10	365.75	0.002195	1.958333333	140	45	365.5	0.74418	9582	2394946	0.094567	0.031104
150	10	342.25	0.002054	1.958333333	140	45	365.5	0.74418	9582	2394946	0.094567	0.031104
150	15	429.75	0.002579	2.208333333	140	45	365.5	1.05753	9582	2394946	0.094567	0.031104
150	15	403.5	0.002421	2.166666667	140	45	365.5	1.05753	9582	2394946	0.094567	0.031104
150	15	378	0.002268	2.083333333	140	45	365.5	1.05753	9582	2394946	0.094567	0.031104
150	15	352	0.002112	2.25	140	45	365.5	1.05753	9582	2394946	0.094567	0.031104
150	15	325	0.00195	2.25	140	45	365.5	1.05753	9582	2394946	0.094567	0.031104

Rx	C1	u (nua)	alfa	D _{AB}	ρ(rhoa)	cp	k	Pr	Sc	Le	Re
0.013832	-0.00757	1.7E-05	2.39E-05	2.72E-05	1.123416	1007.691	0.027111	0.71026	0.624568	0.879352	58.78374
0.013832	-0.00757	1.7E-05	2.39E-05	2.72E-05	1.123416	1007.691	0.027111	0.71026	0.624568	0.879352	69.06655
0.011221	-0.01116	1.7E-05	2.39E-05	2.72E-05	1.125211	1007.665	0.027074	0.710313	0.624527	0.879227	122.914
0.029233	-0.01406	1.84E-05	2.6E-05	2.95E-05	1.073753	1008.529	0.028168	0.708746	0.625424	0.882438	53.31887
0.029233	-0.01406	1.84E-05	2.6E-05	2.95E-05	1.073753	1008.529	0.028168	0.708746	0.625424	0.882438	50.66134
0.025802	-0.01613	1.83E-05	2.58E-05	2.92E-05	1.078686	1008.436	0.02806	0.708901	0.625365	0.882162	73.56157
0.025802	-0.01613	1.83E-05	2.58E-05	2.92E-05	1.078686	1008.436	0.02806	0.708901	0.625365	0.882162	69.71188
0.025802	-0.01613	1.83E-05	2.58E-05	2.92E-05	1.078686	1008.436	0.02806	0.708901	0.625365	0.882162	141.0013
0.025802	-0.01613	1.83E-05	2.58E-05	2.92E-05	1.078686	1008.436	0.02806	0.708901	0.625365	0.882162	134.0248
0.044953	-0.02398	1.99E-05	2.82E-05	3.19E-05	1.026796	1009.542	0.029234	0.70722	0.625704	0.884738	67.33399
0.044953	-0.02398	1.99E-05	2.82E-05	3.19E-05	1.026796	1009.542	0.029234	0.70722	0.625704	0.884738	62.88987
0.036667	-0.02595	1.95E-05	2.75E-05	3.11E-05	1.040446	1009.223	0.028917	0.707673	0.625676	0.884131	91.9274
0.036667	-0.02595	1.95E-05	2.75E-05	3.11E-05	1.040446	1009.223	0.028917	0.707673	0.625676	0.884131	85.76524
0.044953	-0.01958	1.97E-05	2.79E-05	3.16E-05	1.032818	1009.399	0.029093	0.707421	0.625697	0.884476	146.8415
0.044953	-0.01958	1.97E-05	2.79E-05	3.16E-05	1.032818	1009.399	0.029093	0.707421	0.625697	0.884476	139.7436
0.044953	-0.01958	1.97E-05	2.79E-05	3.16E-05	1.032818	1009.399	0.029093	0.707421	0.625697	0.884476	132.4168
0.076002	-0.0399	2.26E-05	3.21E-05	3.61E-05	0.955742	1011.608	0.030995	0.704721	0.625153	0.887093	56.76712
0.076002	-0.0399	2.26E-05	3.21E-05	3.61E-05	0.955742	1011.608	0.030995	0.704721	0.625153	0.887093	53.46169
0.076002	-0.0399	2.26E-05	3.21E-05	3.61E-05	0.955742	1011.608	0.030995	0.704721	0.625153	0.887093	50.12034
0.076002	-0.0399	2.26E-05	3.21E-05	3.61E-05	0.955742	1011.608	0.030995	0.704721	0.625153	0.887093	46.74305
0.076002	-0.0399	2.26E-05	3.21E-05	3.61E-05	0.955742	1011.608	0.030995	0.704721	0.625153	0.887093	43.25798
0.070091	-0.04052	2.23E-05	3.16E-05	3.56E-05	0.963587	1011.343	0.03079	0.705009	0.625271	0.886899	87.04553
0.070091	-0.04052	2.23E-05	3.16E-05	3.56E-05	0.963587	1011.343	0.03079	0.705009	0.625271	0.886899	82.43517
0.070091	-0.04052	2.23E-05	3.16E-05	3.56E-05	0.963587	1011.343	0.03079	0.705009	0.625271	0.886899	77.87493
0.070091	-0.04052	2.23E-05	3.16E-05	3.56E-05	0.963587	1011.343	0.03079	0.705009	0.625271	0.886899	73.31468
0.070091	-0.04052	2.23E-05	3.16E-05	3.56E-05	0.963587	1011.343	0.03079	0.705009	0.625271	0.886899	68.6041
0.070091	-0.04052	2.23E-05	3.16E-05	3.56E-05	0.963587	1011.343	0.03079	0.705009	0.625271	0.886899	122.4165
0.070091	-0.04052	2.23E-05	3.16E-05	3.56E-05	0.963587	1011.343	0.03079	0.705009	0.625271	0.886899	114.939
0.070091	-0.04052	2.23E-05	3.16E-05	3.56E-05	0.963587	1011.343	0.03079	0.705009	0.625271	0.886899	107.6752
0.070091	-0.04052	2.23E-05	3.16E-05	3.56E-05	0.963587	1011.343	0.03079	0.705009	0.625271	0.886899	100.269
0.070091	-0.04052	2.23E-05	3.16E-05	3.56E-05	0.963587	1011.343	0.03079	0.705009	0.625271	0.886899	92.57792

θ_x_StF	θ_x_Mod	N	kc	kcL_StF	kcL_Mod	$Re^{0,5} \cdot Sc^{0,333}$	Sh_StF	Sh_Mod	ShR_M
0.993147	1.540669	5.41E-05	0.100582	0.101276	0.06528491	6.554759272	9.26520387	5.97254494	5.6051176
0.993147	1.540669	5.55E-05	0.103161	0.103873	0.06695888	7.104966112	9.33686085	6.01873653	5.90773136
0.994431	1.989062	6.93E-05	0.158701	0.15959	0.0797868	9.478051749	14.4909405	7.244743276	7.21292846
0.985662	1.466469	0.000108	0.099584	0.101033	0.06790744	6.245492065	8.14900841	5.477219005	5.43502064
0.985662	1.466469	0.000111	0.102138	0.103623	0.06964866	6.087857995	7.94137776	5.337663558	5.3483219
0.987317	1.612436	0.000116	0.120948	0.122502	0.07500947	7.335639619	9.96649322	6.102621564	6.03460179
0.987317	1.612436	0.000114	0.118068	0.119585	0.07322353	7.141112686	9.22003861	5.645557087	5.92761198
0.987317	1.612436	0.000125	0.129587	0.131252	0.08036729	10.15602971	12.2471522	7.499100585	7.58581634
0.987317	1.612436	0.000125	0.129587	0.131252	0.08036729	9.901593886	11.6411909	7.128062073	7.44587664
0.978175	1.511546	0.000164	0.102449	0.104734	0.0677773	7.019530231	8.88613388	5.75053152	5.86074163
0.978175	1.511546	0.000166	0.104185	0.10651	0.06892607	6.783927984	8.44031104	5.462023791	5.73116039
0.982103	1.689814	0.000166	0.126055	0.128352	0.07459703	8.201755629	11.2496732	6.538196108	6.5109656
0.982103	1.689814	0.000172	0.130257	0.132631	0.0770836	7.922093691	10.8454267	6.303252138	6.35715153
0.978175	1.413667	0.000191	0.119114	0.121772	0.08425893	10.36605775	11.1384325	7.7071451	7.70133176
0.978175	1.413667	0.000196	0.121703	0.124419	0.08609064	10.11242381	10.8304719	7.494054347	7.56183309
0.978175	1.413667	0.000204	0.126882	0.129713	0.08975407	9.843755764	10.6993338	7.403314435	7.41406567
0.963821	1.488831	0.000319	0.126891	0.131654	0.08522858	6.443351864	8.63412806	5.589454369	5.54384353
0.963821	1.488831	0.000319	0.126891	0.131654	0.08522858	6.252947329	8.13138136	5.263992469	5.43912103
0.963821	1.488831	0.000326	0.129649	0.134516	0.08708137	6.054390217	7.78889111	5.042275395	5.32991462
0.963821	1.488831	0.000326	0.129649	0.134516	0.08708137	5.846850012	7.26404827	4.702509168	5.21576751
0.963821	1.488831	0.000347	0.137925	0.143102	0.09263976	5.624663536	7.15154801	4.629680146	5.09356494
0.966511	1.54457	0.000312	0.133505	0.138131	0.08643529	7.97928557	10.1025661	6.321653741	6.38860706
0.966511	1.54457	0.000326	0.139439	0.14427	0.09027686	7.76509995	9.99270645	6.252909345	6.27080497
0.966511	1.54457	0.000305	0.130539	0.135062	0.08451451	7.547265123	8.83737045	5.529960931	6.15099582
0.966511	1.54457	0.000326	0.139439	0.14427	0.09027686	7.322953259	8.88713042	5.561098098	6.02762429
0.966511	1.54457	0.000326	0.139439	0.14427	0.09027686	7.083792368	8.31611862	5.203788993	5.8960858
0.966511	1.54457	0.000367	0.15724	0.162688	0.10180156	9.462605851	11.7752766	7.36834782	7.20443322
0.966511	1.54457	0.000361	0.154273	0.159618	0.09988078	9.169054994	10.8474147	6.787740743	7.04298025
0.966511	1.54457	0.000347	0.148339	0.153479	0.09603921	8.874598375	9.77104841	6.114207418	6.88102911
0.966511	1.54457	0.000374	0.160206	0.165758	0.10372235	8.563950329	9.82688297	6.149145746	6.71017268
0.966511	1.54457	0.000374	0.160206	0.165758	0.10372235	8.228951231	9.07311638	5.677478316	6.52592318

C1	ρ_{air}	hL	ϕT	RT	C2	θT_{stf}	θT_{mod}	q _{konduksi}	q _{rad/A}	q _{o/A}
-0.005649	998.4	62.70743	-0.02357	-0.023295	-1.09177E-08	1.011832	1.5152742	293.98887	127.56976	-1942.264
-0.005649	998.4	67.31969	-0.023552	-0.023277	-1.09177E-08	1.011822	1.5156519	317.48604	127.56976	-1979.378
-0.005649	998.4	81.69646	-0.024606	-0.024306	-1.09862E-08	1.012353	1.4985364	375.7745	133.65615	-2524.069
-0.01442	998.4	66.12324	-0.047309	-0.046207	-2.20084E-08	1.023841	1.5166892	651.28951	292.91583	-3760.325
-0.01442	998.4	68.46481	-0.04732	-0.046218	-2.20084E-08	1.023847	1.5165762	713.84937	292.91583	-3818.394
-0.01332	998.4	73.20593	-0.045855	-0.044819	-2.10414E-08	1.023103	1.5107111	674.43114	281.27183	-4115.7
-0.01332	998.4	75.86019	-0.045866	-0.04483	-2.10414E-08	1.023108	1.5105987	733.9916	281.27183	-3935.392
-0.01332	998.4	80.46163	-0.045726	-0.044696	-2.10414E-08	1.023037	1.5119846	583.64706	281.27183	-4568.727
-0.01332	998.4	83.07132	-0.045736	-0.044705	-2.10414E-08	1.023042	1.5118914	638.61411	281.27183	-4513.76
-0.02443	998.4	65.08783	-0.074752	-0.072026	-3.4467E-08	1.037841	1.5154251	833.16021	531.16096	-5724.712
-0.02443	998.4	68.12518	-0.074775	-0.072048	-3.4467E-08	1.037853	1.5152933	935.28552	531.16096	-5742.739
-0.02443	998.4	70.96572	-0.068105	-0.065837	-3.09646E-08	1.034439	1.508822	808.62337	467.49669	-5947.356
-0.024927	998.4	74.24516	-0.068125	-0.065857	-3.09646E-08	1.034449	1.508694	897.81318	467.49669	-6098.949
-0.024927	998.4	80.03376	-0.069696	-0.067323	-3.26138E-08	1.035253	1.520996	806.91636	486.68992	-6996.957
-0.024927	998.4	82.55949	-0.06971	-0.067336	-3.26138E-08	1.03526	1.520912	878.76788	486.68992	-7105.336
-0.024927	998.4	85.40681	-0.069725	-0.06735	-3.26138E-08	1.035268	1.5208195	962.8538	486.68992	-7381.709
-0.024927	998.4	74.38824	-0.124322	-0.116904	-5.68166E-08	1.063449	1.5218732	1832.9345	1097.9869	-10804.2
-0.024927	998.4	77.4741	-0.124356	-0.116935	-5.68166E-08	1.063466	1.5217724	2026.4748	1097.9869	-10610.66
-0.024927	998.4	80.95561	-0.124393	-0.116968	-5.68166E-08	1.063486	1.5216631	2252.3693	1097.9869	-10683.36
-0.03312	998.4	84.91809	-0.124434	-0.117003	-5.68166E-08	1.063507	1.521544	2522.0102	1097.9869	-10413.71
-0.03312	998.4	89.5769	-0.124479	-0.117043	-5.68166E-08	1.063531	1.5214105	2852.1622	1097.9869	-10979.33
-0.03312	998.4	77.61186	-0.11874	-0.111962	-5.41675E-08	1.060545	1.5197972	1564.3345	1026.9335	-10858.75
-0.03312	998.4	80.42254	-0.118768	-0.111986	-5.41675E-08	1.060559	1.5197107	1717.5274	1026.9335	-11303.33
-0.033922	998.4	83.48486	-0.118797	-0.112012	-5.41675E-08	1.060574	1.5196193	1889.5685	1026.9335	-10234.63
-0.033922	998.4	86.87613	-0.118829	-0.11204	-5.41675E-08	1.060591	1.5195214	2083.2493	1026.9335	-10937.61
-0.033922	998.4	90.7886	-0.118864	-0.112071	-5.41675E-08	1.060609	1.5194126	2314.8026	1026.9335	-10706.06
-0.033922	998.4	88.56374	-0.118574	-0.111814	-5.41675E-08	1.060458	1.5203187	1735.7057	1026.9335	-13078.49
-0.040006	998.4	92.18822	-0.118603	-0.11184	-5.41675E-08	1.060474	1.5202251	1933.6681	1026.9335	-12581.64
-0.040006	998.4	96.11896	-0.118635	-0.111868	-5.41675E-08	1.06049	1.5201267	2153.4554	1026.9335	-11764.07
-0.040006	998.4	100.6262	-0.11867	-0.111899	-5.41675E-08	1.060508	1.5200179	2422.9634	1026.9335	-12690.12
0.959994	999.4	105.958	-0.118709	-0.111934	-5.41675E-08	1.060529	1.5198941	2766.7138	1026.9335	-12346.37

h	hL_Stf	hL_mod	$Re^{0,5} \cdot Pr^{0,333}$	Nu_Stf	Nu_Mod	Nu_R-M
102.2244	101.0291	67.462663	6.841488868	9.284583858	6.19982487	5.762819
104.1778	102.96055	68.734638	7.415763806	9.296882275	6.20643366	6.07867
126.2035	124.66344	84.217817	9.893122494	11.35480962	7.67087215	7.441217
98.95592	96.651671	65.244694	6.511091492	8.157838376	5.50694744	5.5811
100.4841	98.143653	66.257175	6.346753784	7.870886583	5.31366723	5.490715
111.2351	108.72335	73.630983	7.648397003	9.21789221	6.24265561	6.206618
106.3619	103.95962	70.41046	7.44557635	8.352745387	5.65720291	6.095067
123.4791	120.69855	81.666916	10.58903534	11.7365468	7.94116928	7.823969
121.9935	119.24585	80.689339	10.32375157	11.02158009	7.4579033	7.678063
95.41186	91.93298	62.960458	7.311707709	8.504951795	5.82463073	6.021439
95.71232	92.221423	63.164221	7.066298871	7.96853895	5.45780513	5.886464
108.1337	104.53372	71.667659	8.545093812	9.868923314	6.76607131	6.699802
110.89	107.1971	73.500641	8.253724792	9.441971757	6.47397146	6.539549
124.9457	120.69095	82.147268	10.79859263	11.97235648	8.14888251	7.939226
126.881	122.55955	83.424282	10.53437553	11.57005373	7.87554628	7.793907
131.8162	127.32577	86.674472	10.25449703	11.389788	7.75337069	7.639973
109.1333	102.62212	71.70988	6.705606823	7.846981659	5.48328309	5.688084
107.1784	100.78211	70.429974	6.507452511	7.257565568	5.07183418	5.579099
107.9127	101.47074	70.917593	6.300813801	6.850457901	4.78776453	5.465448
105.189	98.907716	69.133092	6.08482637	6.227475937	4.35279152	5.346655
110.9023	104.27753	72.894422	5.85359654	6.0760565	4.24742158	5.219478
114.3026	107.77726	75.209127	8.304662223	9.120179962	6.3642438	6.567564
118.9825	112.18842	78.292842	8.081742613	8.990635384	6.27428729	6.444958
107.7329	101.57976	70.894664	7.85502499	7.690147054	5.36711626	6.320264
115.1328	108.55531	75.769094	7.621566211	7.736986765	5.40023753	6.191861
112.6954	106.25534	74.170347	7.372652896	7.086481358	4.94663883	6.054959
137.6683	129.81967	90.552284	9.848468845	10.87158411	7.58318633	7.416658
132.4383	124.886	87.117571	9.542947668	9.819598206	6.84992364	7.248621
123.8324	116.769	81.461865	9.236483795	8.601135488	6.00043288	7.080066
133.5802	125.95872	87.880707	8.913168247	8.639872437	6.02799163	6.902243
129.9618	122.54437	85.507156	8.564508667	7.760918889	5.41529669	6.71048

