



UNIVERSITAS INDONESIA

**LAJU PENGUAPAN TETESAN LARUTAN GULA 5%
DAN AQUADES DENGAN VARIASI TEMPERATUR ,
KECEPATAN ALIRAN UDARA DAN KELEMBABAN UDARA**

SKRIPSI

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

WIELDY PIAZZA

04 03 02 07 18

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
DEPOK
JUNI 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 : WIELDY PIAZZA

NPM : 0403020718

Tanda Tangan :

Tanggal : 26 Juni 2009

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Wielder Piazza

NPM : 0403020718

Program Studi : Teknik Mesin

Judul Skripsi : **LAJU PENGUAPAN TETESAN LARUTAN
GULA 5% DAN AQUADES DENGAN VARIASI
TEMPERATUR , KECEPATAN ALIRAN
UDARA 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 : **Ir. Imansyah Ibnu Hakim M.Eng** (.....)

Penguji : **Dr. Ing. Ir. Nasruddin M.Eng** (.....)

Penguji : **Ir. Warjito M.Sc. Ph.D** (.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 26 Juni 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, 26 Juni 2009

Penulis

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

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

Nama : Wielder Piazza
NPM : 0403020718
Program Studi : Teknik Mesin
Departemen : Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

demikian 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 TETAPAN LARUTAN GULA 5% DAN AQUADES
DENGAN VARIASI TEMPERATUR , KECEPATAN ALIRAN UDARA
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 : 26 Juni 2009
Yang menyatakan

(Wielder Piazza)

ABSTRAK

Wiedy Piazza
NPM 04 03 02 071 8
Departemen Teknik Mesin

Dosen Pembimbing :
Dr. Ir. Engkos A. Kosasih, MT

LAJU PENGUAPAN TETESAN LARUTAN GULA 5% DAN AQUADES DENGAN VARIASI TEMPERATUR , KECEPATAN ALIRAN UDARA DAN KELEMBABAN UDARA

ABSTRAK

Dalam dunia industri proses pengeringan sangatlah penting, untuk itu perlu dilakukan penelitian tentang proses pengeringan. Dari sekian banyak model tentang laju penguapan tetesan, perlu diketahui model yang paling dekat korelasinya. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan model stagnan film dan model modifikasinya (oleh E.A.Kosasih) dengan acuan model analogi Ranz-Marshall. Juga untuk mengetahui pengaruh perbedaan konsentrasi larutan dan kelembaban udara pada bilangan Sherwood dan Nusselt.

Penelitian ini menggunakan alat berupa *nozzle* yang berisi larutan. Setelah larutan ditetaskan pada termokopel, kemudian dialirkan udara yang bervariasi kecepatan, temperatur dan kelembabannya. Setelah dianalisa akan didapat hubungan antara bilangan Reynold (Re), Prandtl (Pr), Schmidt (Sc), Nusselt (Nu) dan bilangan Sherwood (Sh). Model modifikasi ternyata mempunyai korelasi yang lebih kuat dibandingkan dengan model stagnan film. Nilai bilangan Sherwood dan Nusselt dari model modifikasi juga lebih dekat dengan analogi Ranz-Marshall dibandingkan dengan model stagnan film.

Kata Kunci : Penguapan tetesan; Analogi Ranz-Marshall; Model stagnan film; Pendekatan baru model stagnan film (E. A. Kosasih, 2006)

ABSTRACT

Wiedy Piazza
NPM 04 03 02 071 8
Mechanical Engineering Department

Counsellor :
Dr. Ir. Engkos A. Kosasih, MT

DROPLET EVAPORATION RATE OF 5% SUGAR SOLUTION AND AQUADES WITH VARIATION OF TEMPERATURE, FLOW VELOCITY AND AIR HUMIDITY

ABSTRACT

Drying process is very crucial in industry, that's why research on drying process is needed. From so many models about droplet evaporation rate, the closest correlation need to be known. The objective of this research is to compare stagnant film model and the modification model (by E.A.Kosasih) by referencing to Ranz-Marshall analogy. And also to find out about the effect of difference in solution concentration and air humidity to Sherwood and Nusselt number.

This research is using a nozzle filled with solution. After the solution is injected on thermocouple, then air flow is given with some variations of velocity, temperature and humidity. After being analyzed, the relations between Reynold number (Re), Prandtl (Pr), Schmidt (Sc), Nusselt (Nu) and Sherwood number (Sh) will be found. The modification model has stronger correlation than stagnant film model. The values of Sherwood and Nusslet number from modification model also closer to Ranz-Marshall analogy than stagnant film model.

Keywords : Droplet Evaporation; Ranz-Marshall analogy; Stagnant film model; The new model (E. A. Kosasih, 2006).

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
UCAPAN TERIMA KASIH.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	v
ABSTRAK.....	vi
<i>ABSTRACT</i>	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
DAFTAR NOTASI.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 LATAR BELAKANG.....	1
1.2 TUJUAN PENELITIAN.....	2
1.3 BATASAN MASALAH.....	2
1.4 METODOLOGI PENELITIAN.....	2
1.5 SISTEMATIKA PENULISAN.....	3
BAB II DASAR TEORI.....	4
2.1 PRINSIP DASAR PROSES PENDINGINAN.....	4
2.2 PERPINDAHAN KALOR.....	4
2.2.1 Konveksi.....	4
2.2.2 Konduksi.....	5
2.2.3 Radiasi.....	5
2.2.4 Fluks Perpindahan Panas.....	6
2.2.5 Laju Perpindahan Panas.....	6
2.3 PERPINDAHAN MASSA.....	6
2.3.1 Koefisien Perpindahan Massa.....	6
2.3.2 Difusi Dalam Gas.....	7
2.3.3 Fluks Perpindahan Massa.....	8

2.3.4 Laju Perpindahan Massa	8
2.4 KARAKTERISTIK UDARA	8
2.5 LAPIS BATAS	9
2.5.1 Lapis Batas Hidrodinamik	10
2.5.2 Lapis Batas Termal	10
2.5.3 Lapis Batas Konsentrasi	11
2.6 BILANGAN TAK BERDIMENSI	11
2.6.1 Bilangan Reynolds	11
2.6.2 Bilangan Prandtl	12
2.6.3 Bilangan Schmidt	13
2.6.4 Bilangan Nusselt	13
2.6.5 Bilangan Sherwood	14
2.6.6 Bilangan Lewis	14
2.7 PERSAMAAN RANZ – MARSHALL	14
2.8 MODEL ANALOGI STAGNAN FILM	15
2.8.1 Bilangan Nusselt Model Analogi Stagnan Film	15
2.8.2 Sherwood Model Stagnan Film (Sh_{StF})	16
2.9 MODEL ANALOGI PENDEKATAN BARU STAGNAN FILM	16
2.9.1 Bilangan Sherwood Model Pendekatan Baru	17
2.9.2 Bilangan Nusselt Model Pendekatan Baru	18
2.10 PSYCHROMETRIC CHART	19
2.11 TERMOKOPEL	21
2.11.1 Prinsip Termokopel	21
2.11.2 Tipe-Tipe Termokopel	23
2.11.3 Penggunaan Termokopel	24
BAB III METODE PENELITIAN	25
3.1 KOMPONEN SISTEM	25
3.1.1 <i>Blower</i>	25
3.1.2 <i>Heater</i>	25
3.1.3 <i>Pyrex</i>	26
3.1.4 <i>Digital Controller</i>	26
3.1.5 <i>Temperature Display</i>	27

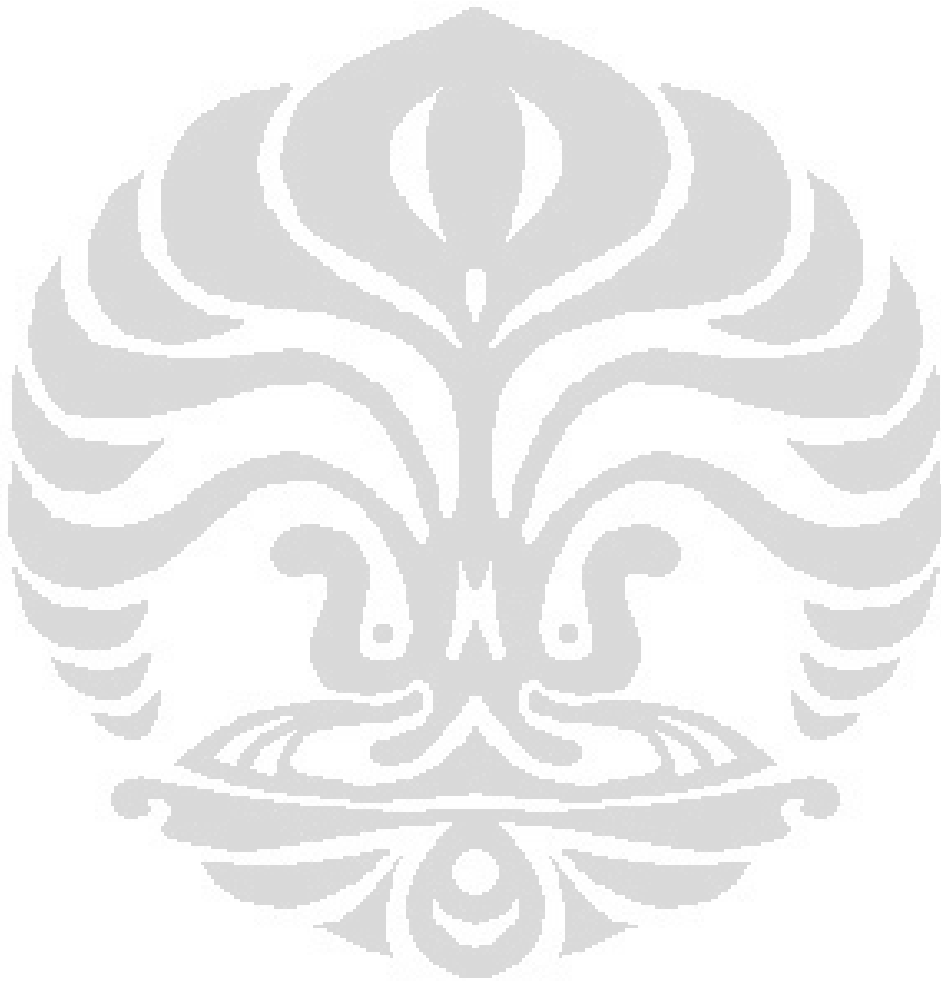
3.1.6 Nozzle	27
3.1.7 Inverter	28
3.1.8 Air Conditioner	29
3.1.9 Tabung Dehumidifier	29
3.2 PROSEDUR KALIBRASI DAN PENGAMBILAN DATA.....	30
3.2.1 Perhitungan Kecepatan	30
3.2.2 Pengambilan Data	31
3.2.3 Kalibrasi Mata Bor	33
3.3 PENGOLAHAN DATA	33
3.3.1 Pengolahan Data Foto	33
3.3.2 Pengolahan Data Kecepatan.....	34
3.3.3 Contoh Perhitungan.....	34
BAB IV ANALISA DAN HASIL	47
4.1 ANALISA PERBANDINGAN GRAFIK ANTAR MODEL.....	47
4.2 ANALISA PERBANDINGAN PENGARUH KELEMBABAN	49
4.3 ANALISA PERBANDINGAN PENGARUH KONSENTRASI	50
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	51
5.1 KESIMPULAN	51
5.2 SARAN	51
DAFTAR ACUAN	52
LAMPIRAN.....	54

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1 Lapis Batas	9
Gambar II.2 Lapis Batas Hidrodinamik	10
Gambar II.3 Lapis Batas Termal	10
Gambar II.4 Lapis Batas Konsentrasi	11
Gambar II.5 Model Film Stagnan	15
Gambar II.6 Skema Pembacaan Psychrometric Chart	20
Gambar II.7 Alat Pengukur Dry Bulb dan Wet Bulb	20
Gambar III.1 <i>Blower</i>	25
Gambar III.2 Skema <i>Heater</i>	25
Gambar III.3 <i>Pyrex</i>	26
Gambar III.4 <i>Digital Controller</i>	26
Gambar III.5 Skema <i>Auto Tuning</i>	27
Gambar III.6 <i>Temperature Display</i>	27
Gambar III.7 <i>Nozzle</i>	28
Gambar III.8 <i>Display Inverter ST200</i>	28
Gambar III.9 <i>Air Conditioner</i>	29
Gambar III.10 <i>Tabung Dehumidifier</i>	29
Gambar III.11 <i>Sistem Pengujian</i>	30
Gambar III.12 <i>Posisi Jarum dan Tetesan</i>	31
Gambar III.13 <i>Panel Sistem Listrik</i>	32
Gambar III.14 <i>Tetes</i>	32
Gambar III.15 <i>Psychrometric Chart Kondisi Tanpa AC</i>	45
Gambar III.16 <i>Psychrometric Chart Kondisi Dengan AC</i>	46
Gambar IV.1 <i>Perbandingan Bilangan Sherwood antar Model</i>	47
Gambar IV.2 <i>Perbandingan Bilangan Nusselt antar Model</i>	48
Gambar IV.3 <i>Perbandingan Bilangan Sherwood dengan Kelembaban Berbeda</i> ..	49
Gambar IV.4 <i>Perbandingan Bilangan Nusselt dengan Kelembaban Berbeda</i>	49
Gambar IV.5 <i>Perbandingan Bilangan Sherwood dengan Konsentrasi Berbeda</i> ...	50
Gambar IV.6 <i>Perbandingan Bilangan Nusselt dengan Konsentrasi Berbeda</i>	50

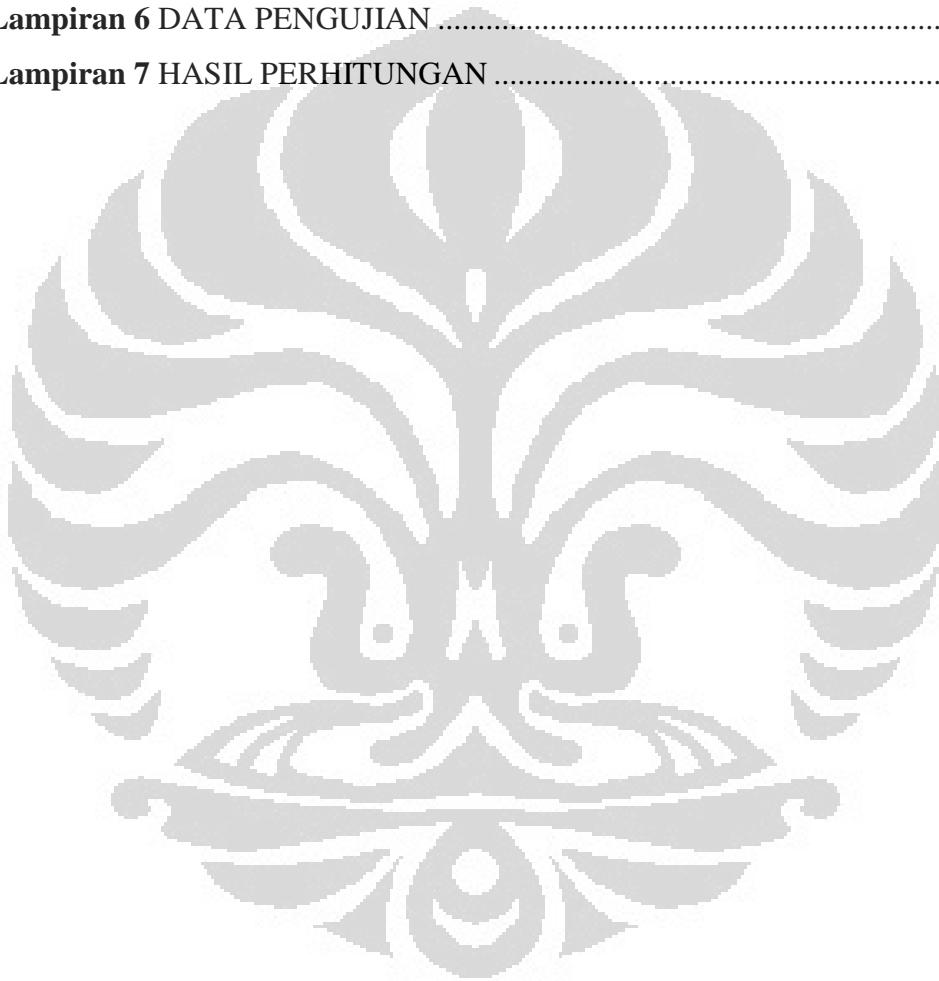
DAFTAR TABEL

Tabel II.1 Kondisi Aliran Fluida.....	12
---------------------------------------	----



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 PSYCHROMETRIC CHART	55
Lampiran 2 TABEL SIFAT UDARA PADA TEKANAN ATMOSFER.....	56
Lampiran 3 TABEL EMISSIVITAS PERMUKAAN	57
Lampiran 4 TABEL SIFAT AIR JENUH 1	58
Lampiran 5 TABEL SIFAT AIR JENUH 2.....	59
Lampiran 6 DATA PENGUJIAN	60
Lampiran 7 HASIL PERHITUNGAN	64



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	
N_{A0}	laju perpindahan massa	$[kmole/(m^2s)]$
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	
R_T	fuks perpindahan panas	
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

Untuk menjaga agar produk pada industri makanan dan minuman dapat tahan lama dengan tetap menjaga kualitasnya, perlu dilakukan proses pengeringan. Proses pengeringan merupakan usaha mengurangi kandungan air dalam bahan sampai batas tertentu. Prinsip dasar proses pengeringan adalah penguapan air dari bahan ke udara sekitar karena adanya perbedaan kandungan air antara bahan dan udara. Selama pengeringan terjadi dua proses yang berjalan simultan^[1], yakni :

1. Perpindahan panas dari udara ke dalam bahan sehingga air yang ada pada bahan mengalami perubahan menjadi fase uap
2. Perpindahan massa uap air dari permukaan bahan ke udara pengering sekelilingnya

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*). 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.

1.2 TUJUAN PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan model stagnan film dengan model modifikasinya (oleh E.A.Kosasih) dengan acuan model analogi Ranz-Marshall. Juga untuk mengetahui pengaruh perbedaan konsentrasi larutan dan kelembaban udara pada bilangan Sherwood dan Nusselt.

1.3 BATASAN MASALAH

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

1. Fluida yang dipakai adalah larutan gula 5% dan 0% (aquades)
2. Asumsi tetesan (*droplet*) yang terbentuk adalah berbentuk bola
3. Diameter tetesan (*droplet*) yang digunakan berada pada nilai 1 - 3 mm
4. Variasi temperatur adalah 50 °C, 75 °C, 100 °C dan 150 °C
5. Variasi kecepatan aliran berkisar antara 0,3 m/s sampai 1 m/s

1.4 METODOLOGI PENELITIAN

Adapun tahapan-tahapan yang diambil dalam penelitian ini adalah :

1. Studi Literatur

Sumber literatur yang digunakan sebagai acuan dalam pembuatan tugas akhir ini adalah buku, jurnal, artikel, skripsi, catatan dan melalui pengunduhan data dari internet.

2. Modifikasi alat uji

Merakit ulang alat uji serta memodifikasinya sedemikian rupa agar dapat memenuhi kebutuhan pengujian dan diharapkan dapat meningkatkan keakurasian data yang diambil dibandingkan dengan pengujian-pengujian yang telah dilakukan sebelumnya.

3. Pengambilan data

Data yang diambil berupa kecepatan aliran, suhu aliran, suhu tetesan dan foto dari tetesan dalam periode 1 (satu) menit. Tetesan kemudian difoto menggunakan kamera lensa makro Nikon D40x dengan jarak fokus 60mm, untuk selanjutnya dikalibrasi sehingga didapat data diameter tetesan.

4. Penyusunan laporan

Penyusunan laporan dilakukan seiring dengan tahapan-tahapan yang telah disebutkan sebelumnya. Hal ini dilakukan agar isi laporan tidak berbeda dengan apa yang telah dilakukan sebelumnya.

1.5 SISTEMATIKA PENULISAN

Agar laporan tugas akhir ini memiliki struktur yang baik dan tujuan penulisan dapat tercapai dengan baik, maka penulisan tugas akhir ini akan mengikuti sistematika penulisan 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 yang menjadi dasar teori dalam pengujian dan dasar teori untuk perhitungan.

BAB III METODE PENELITIAN.

Bab ini membahas mengenai prosedur pengambilan data meliputi kalibrasi, pengolahan data foto sampai menghasilkan data dimensi tetesan dan contoh perhitungan data.

BAB IV ANALISA DATA

Bab ini membahas mengenai analisa data hasil pengujian sehingga diperoleh grafik laju penguapan tetesan pada berbagai variasi suhu dan kecepatan udara yang mengalir.

BAB V KESIMPULAN

Bab ini membahas mengenai kesimpulan yang didapatkan dari hasil pengujian dan saran penulis agar penelitian selanjutnya dapat menghasilkan data yang lebih akurat.

BAB II DASAR TEORI

2.1 PRINSIP DASAR PROSES 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 dasar proses pengeringan adalah penguapan air dari bahan ke udara sekeliling karena adanya perbedaan kandungan air antara bahan dan udara. Selama pengeringan terjadi dua proses yang berjalan simultan^[1], yakni :

1. Perpindahan panas dari udara ke dalam bahan sehingga air yang ada pada bahan mengalami perubahan menjadi fase uap
2. Perpindahan massa uap air dari permukaan bahan ke udara pengering sekelilingnya

2.2 PERPINDAHAN KALOR

2.2.1 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^[3]:

$$q = hA(T_s - T_\infty) \quad (2.1)$$

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 ambient [°C]

2.2.2 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.

$$\frac{q}{A} \sim \frac{\partial T}{\partial x} \quad (2.2)$$

Jika dimasukkan konstanta proporsionalitas maka persamaannya akan menjadi seperti berikut :

$$q = -kA \frac{\partial T}{\partial x} \quad (2.3)$$

q = laju perpindahan kalor [J/s]

k = konduktivitas termal [W/m.°C]

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).

2.2.3 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]:

$$\frac{Q}{A} = \alpha \sigma (T_u^4 - T_d^4) \quad (2.4)$$

Q = radiasi [W]

A = luas permukaan [m²]

α = absorptivitas

σ = konstanta stefant boltzman [W/m² K⁴]

T_u = temperatur sumber radiasi [K]

T_d = temperatur *droplet* [K]

2.2.4 Fluks Perpindahan Panas

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

$$\phi = \frac{-N \times C_{pA}}{h_L} \quad (2.5)$$

$$C_{pA} = cp \times 28,9 \quad (2.6)$$

R_T = fluks perpindahan panas

Φ = factor kecepatan perpindahan panas

N = laju difusi molal [mol/s]

h_L = koefisien perpindahan panas menuju nol

C_{pA} = panas jenis molal udara [J/mol.K]

cp = panas jenis udara [J/kg.°C]

2.2.5 Laju Perpindahan Panas

$$q_0 = \frac{N_{AO} \cdot C_{pA} \cdot (T_\infty - T_0)}{\left[\exp\left(-\frac{N_{AO} \cdot C_{pA}}{h_L} - \frac{C_{pA}}{k} \cdot C_2 \right) - 1 \right]} \quad (2.7)$$

q_0 = laju perpindahan panas

N_{AO} = laju perpindahan massa

h_L = koefisien perpindahan panas

k = konduktivitas campuran

C_2 = parameter perpindahan panas

2.3 PERPINDAHAN MASSA

2.3.1 Koefisien Perpindahan Massa

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

$$m = k_c A (\rho_s - \rho_\infty) \quad (2.8)$$

$$k_c = \frac{Sh \cdot D}{d} \quad (2.9)$$

$$k_c = \frac{N(1 - x_0)}{C(x_0 - x_{A0})} \quad (2.10)$$

- 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]

2.3.2 Difusi Dalam Gas

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

$$D_{VAA} = 1.166e - 9 \exp \left[1,75 \ln \left(273 + \frac{(T_{in} + T_{out})}{2} \right)^{0.0555} \right] \quad (2.11)$$

Laju difusi molal :

$$N = \frac{\dot{m}}{M} \quad (2.12)$$

$$N = \frac{-dm/dt}{18.A} \quad (2.13)$$

Dimana $\frac{-dm}{dt} = \rho \frac{-dV}{dt} \quad (2.14)$

Dan $\frac{-dv}{dt} = Ax \frac{-dr}{dt} \quad (2.15)$

- N = laju difusi molal [mol/s]
- M = berat molekul [kg]
- m = laju massa aliran (kg/s)

2.3.3 Fluks Perpindahan Massa

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

$$R_x = \frac{x_0 - x_{A\infty}}{1 - x_{A\infty}} \quad (2.16)$$

R_x = fluks perpindahan massa

x_0 = fraksi mol uap pada permukaan droplet

$x_{A\infty}$ = fraksi mol uap pada lingkungan

2.3.4 Laju Perpindahan Massa

$$N_{AO} = k_{cL} \left[\ln \left(\frac{1 - X_{\infty}}{1 - X_0} \right) - C_1 \right] \quad (2.17)$$

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

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

C_1 = parameter perpindahan massa

2.4 KARAKTERISTIK UDARA

Faktor yang sangat berperan penting dalam laju penguapan tetesan adalah udara. 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). Kandungan uap air pada udara basah antara temperatur 0 – 100 °F tidak lebih dari 0.05 – 3 %. Variasi uap air pada udara basah besar pengaruhnya terhadap karakteristik dari udara basah tersebut.

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

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

$$\mathfrak{R} = 8.314,5 \text{ [J/(kmol.K)]} \quad (2.18)$$

Untuk tetapan gas tertentu (R_i) dengan massa molekul relatif (M_i) digunakan rumus :

$$R_i = \frac{R}{M_i} \quad (2.19)$$

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

$$R_{da} = \frac{8314,41}{28,9} = 287,7 \text{ [J/kg.K]} \quad (2.20)$$

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

$$R_v = \frac{8314,41}{18} = 461,9 \text{ [J/kg.K]} \quad (2.21)$$

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

$$PV = mR_a T \quad (2.22)$$

P = tekanan atmosfer udara basah [Pa]

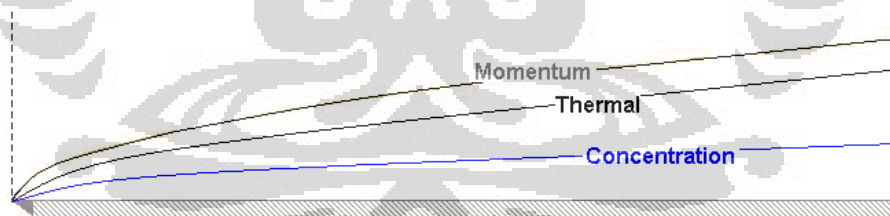
V = volume udara basah [m^3]

m = massa udara basah [kg]

R_a = konstanta gas [kJ/kg.K]

T = temperatur udara basah [K]

2.5 LAPIS BATAS

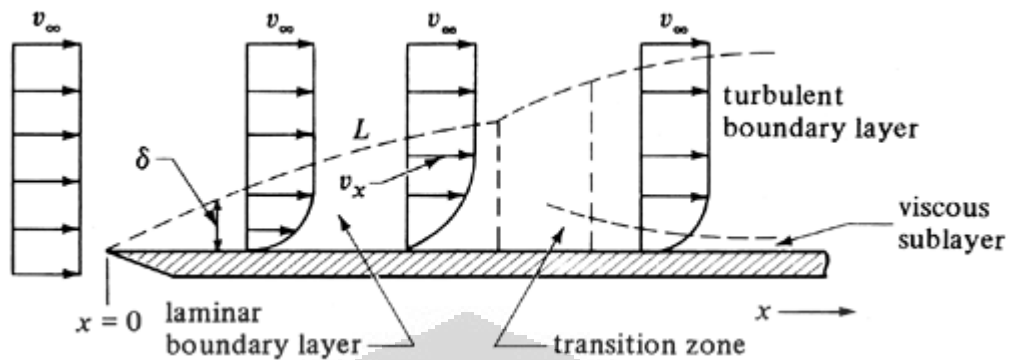


Gambar II.1 Lapis Batas

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

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

2.5.1 Lapis Batas Hidrodinamik



Gambar II.2 Lapis Batas Hidrodinamik

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

Lapis batas pada plat rata terlihat membentuk suatu lapis batas yang dimulai dari tepi depan, yang dipengaruhi oleh gaya viskos, yang akan semakin meningkat ke arah tengah dari plat rata. Gaya viskos ini dapat diterangkan dengan tegangan geser (shear stress) τ antara lapisan-lapisan fluida yang dianggap berbanding dengan gradien kecepatan normal, maka didapat persamaan ^[19]:

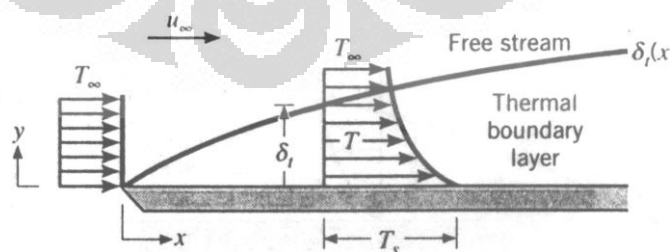
$$\tau = \mu \frac{\partial u}{\partial y} \quad (2.23)$$

τ = tegangan geser [N/m²]

μ = viskositas dinamik [Ns/m²]

u = kecepatan fluida [m/s]

2.5.2 Lapis Batas Termal

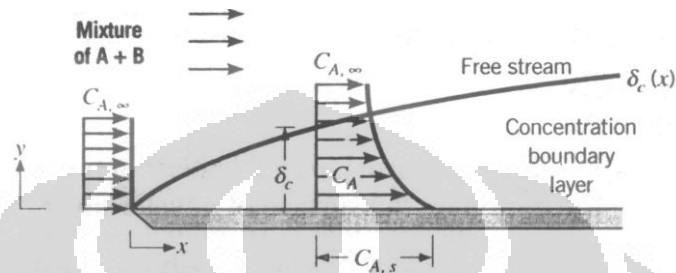


Gambar II.3 Lapis Batas Termal

(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.

2.5.3 Lapis Batas Konsentrasi



Gambar II.4 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.

2.6 BILANGAN TAK BERDIMENSI

Bilangan tak berdimensi (*dimensionless number*) berguna untuk mengetahui kondisi atau karakteristik suatu 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.

2.6.1 Bilangan Reynolds

Diperkenalkan pertama kali oleh Osbourne Reynolds (1842-1912) pada tahun 1883. Merupakan perbandingan atau rasio antara gaya inersia dan gaya viskos dan dipakai untuk menentukan apakah suatu aliran laminar atau turbulen atau transisi, tetapi tekstur permukaan dan sifat fluida yang mengalir juga menentukan aliran fluida. Bentuk persamaan tersebut adalah ^[8]:

$$Re = \frac{ux}{\nu} \quad (2.24)$$

u = kecepatan [m/s]

ν = viskositas kinematik [m²/s]

x = jarak [m]

$$Re = \frac{\text{gaya inersia}}{\text{gaya viskos}} = \frac{\rho V^2 / L}{\mu V / L^2} = \frac{\rho V L}{\mu} \quad (2.25)$$

ρ = massa jenis fluida [kg/m³]

V = kecepatan alir fluida [m/s]

L = panjang karakteristik, berupa diameter pipa [m]

μ = viskositas dinamik [kg/m.s]

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

Tabel II.1 Kondisi Aliran Fluida

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

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

2.6.2 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 :

$$\text{Pr} = \frac{\nu}{\alpha} \quad (2.26)$$

ν = viskositas kinematik

α = difusivitas termal

Nilai tipikal dari Pr adalah sebagai berikut :

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

2.6.3 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 :

$$\text{Sc} = \frac{\nu}{D} \quad (2.27)$$

ν = viskositas kinematik

D = difusivitas massa

2.6.4 Bilangan Nusselt

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

$$\text{Nu}_x = \frac{hx}{k} \quad (2.28)$$

$\text{Nu}_d = 0.023 \text{Re}_d^{0.8} \text{Pr}^n$ Untuk aliran berkembang penuh

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

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

2.6.5 Bilangan Sherwood

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

$$Sh = \frac{k_c \cdot L}{D_{AB}} \quad (2.29)$$

2.6.6 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.

$$Le = \frac{\alpha}{D_{AB}} \quad (2.30)$$

$$Le = \frac{Sc}{Pr} \quad (2.31)$$

2.7 PERSAMAAN RANZ – MARSHALL

Persamaan Ranz - Marshall diperkenalkan pertama kali oleh Ranz W E & Marshall W R, Jr. pada tahun 1953, merupakan analogi (hubungan) perpindahan massa dengan perpindahan kalor. Analogi ini mempunyai persyaratan bilangan Lewis $Le \left(\frac{Sc}{Pr} \right)$ bernilai satu^[11] dan nilai $Re \leq 200$.

Berikut adalah pers. Ranz - Marshall :

$$Nu = 2 + 0,55 Re^{1/2} Pr^{1/3} \quad (2.32)$$

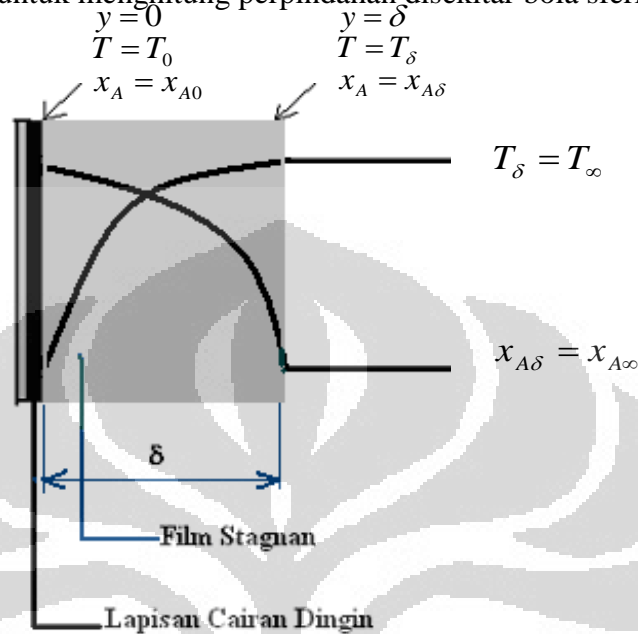
Sehingga dengan analogi untuk perpindahan massa berlaku :

$$Sh = 2 + 0,55 Re^{1/2} Sc^{1/3} \quad (2.33)$$

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

2.8 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 II.5 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].

2.8.1 Bilangan Nusselt Model Analogi Stagnan Film

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

$$Nu_{SiF} = \frac{h_{L-SiF} \times d}{k} \quad (2.34)$$

$$h_{LSiF} = \frac{h}{\theta_{T-SiF}} \quad (2.35)$$

$$\theta_{T-SiF} = \frac{h}{h_L} \quad (2.36)$$

$$\theta_{T-SiF} = \frac{\ln(1 + R_T)}{R_T} \quad (2.37)$$

- Nu_{StF} = bilangan nusselt stagnan film
 h_{L_StF} = koefisien perpindahan panas menuju nol [$W/m^2 \cdot ^\circ C$]
 d = diameter droplet [m]
 k = konduktivitas panas udara [$W/m \cdot ^\circ C$]
 h = koefisien perpindahan panas [$W/m^2 \cdot ^\circ C$]
 θ_{T_StF} = faktor koreksi perpindahan panas
 R_T = fluks perpindahan panas

2.8.2 Sherwood Model Stagnan Film (Sh_{StF})

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

$$Sh_{StF} = \frac{k_{cLStF} \times diameter}{D_{AB}} \quad (2.38)$$

$$k_{cL_StF} = \frac{k_c}{\theta_{StF}} \quad (2.39)$$

$$\theta_{X_StF} = \frac{k_c}{k_{cL}} \quad (2.40)$$

$$\theta_{X_StF} = \frac{Ln(1 + R_x)}{R_x} \quad (2.41)$$

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

2.9 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).

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].

2.9.1 Bilangan Sherwood Model Pendekatan Baru

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

$$Sh_{Mod} = \frac{k_{cLMod} \times d}{D_{AB}} \quad (2.42)$$

$$k_{cLMod} = \frac{k_c}{\theta_{Mod}} \quad (2.43)$$

$$\theta_{X_Mod} = \frac{k_c}{k_{cL}} \quad (2.44)$$

$$\theta_{X_Mod} = \frac{\ln(1 + R_x) - C_1}{R_x} \quad (2.45)$$

$$C_1 = -0,0011 \times (Tudara - Tdroplet) - 1,0082 \times (x_{A\infty} - x_0) \quad (2.46)$$

Sh_{Mod} = bilangan *sherwood* stagnan film

k_{cL_Mod} = koefisien perpindahan massa menuju nol [W/m².°C]

d = diameter droplet [m]

D_{AB} = Difusivitas massa

kc = koefisien perpindahan massa [W/m².°C]

θ_{X_Mod} = faktor koreksi perpindahan massa

R_X = fluks perpindahan massa

C_1 = parameter perpindahan massa

2.9.2 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]

$$Nu_{Mod} = \frac{h_{LMod} \times diameter}{k} \quad (2.47)$$

$$h_{LMod} = \frac{h}{\theta_{T_Mod}} \quad (2.48)$$

$$\theta_{T_Mod} = \frac{h}{h_L} \quad (2.49)$$

$$\theta_{T_Mod} = \frac{\ln(1 + R_T)}{R_T} + \frac{C_{pA}}{k \times R_T} \cdot C_2 \quad (2.50)$$

$$C_2 = 0,4633E^{-09} \times (Tudara - Tdroplet) + 0,16E^{-06} \times (x_{A\infty} - x_0) \quad (2.51)$$

Nu_{Mod} = bilangan nusselt stagnan film

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

d = diameter droplet [m]

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

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

θ_{T_Mod} = faktor koreksi perpindahan panas

R_T = fluks perpindahan panas

C_2 = parameter perpindahan panas

2.10 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 %.

$$m = m_{da} + m_v \quad (2.52)$$

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.

$$\omega = \frac{m_v}{m_{da}} \quad (2.53)$$

ω = rasio kelembaban (*humidity ratio*)

m_v = massa uap air [kg]

m_{da} = massa udara kering [kg]

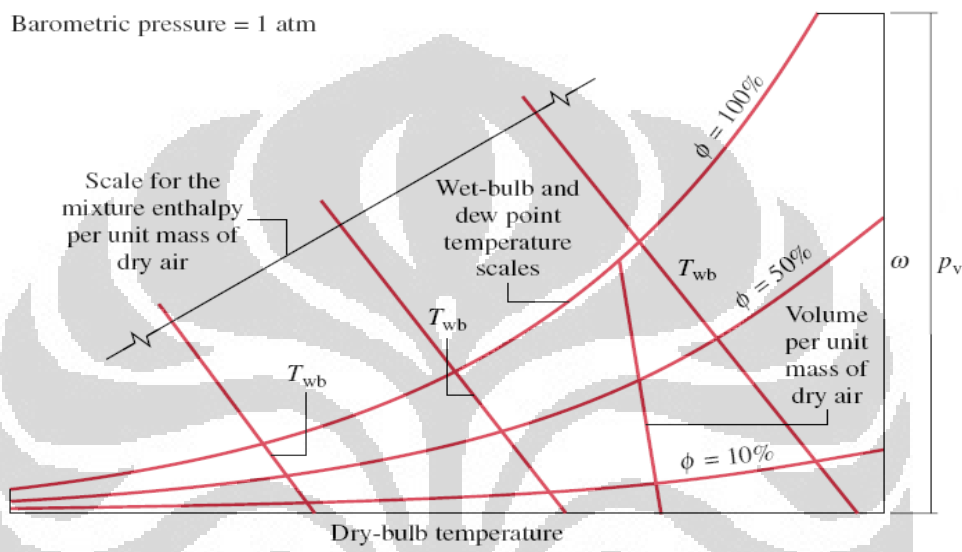
5. **Kelembaban relatif (*Relative humidity*).** Merupakan kebasahan dari atmosfer yang dinyatakan dalam perbandingan antara tekanan parsial uap air udara basah dan tekanan uap air udara lembab yang jenuh pada suhu bola kering yang sama.

$$RH(\phi) = \frac{x_v}{x_{ws}} \quad (2.54)$$

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

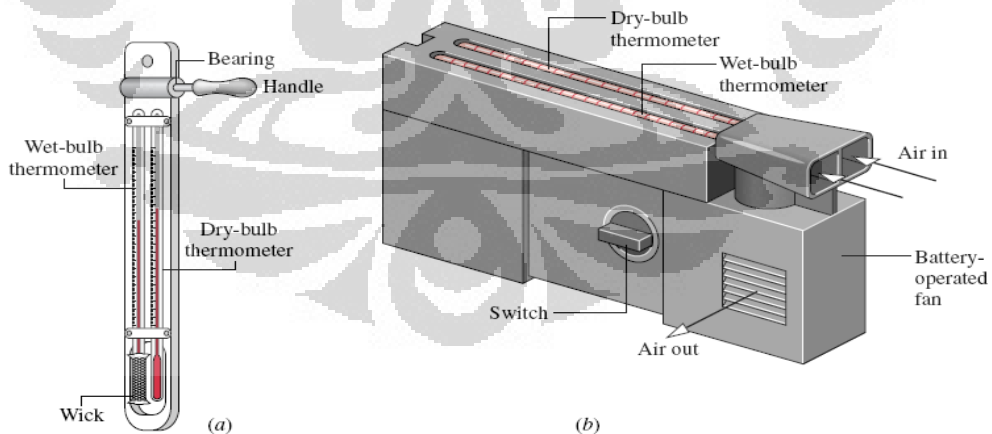
x_v = fraksi mol uap air

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



Gambar II.6 Skema Pembacaan Psychrometric Chart

(sumber : wikipedia)



Gambar II.7 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]:

$$h = h_{da} + h_w \quad (2.55)$$

h = entalpi udara basah [kJ/kg]

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

h_w = entalpi uap air [kJ/kg]

2.11 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.

2.11.1 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 celsius untuk kisaran yang dihasilkan kombinasi logam modern. Beberapa kombinasi menjadi populer sebagai standar industri, dilihat dari biaya, ketersediaannya, 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 ini direkomendasikan untuk keakuratan tinggi. 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.

2.11.2 Tipe-Tipe Termokopel

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

1. Tipe K (Chromel (Ni-Cr alloy) / Almel (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. Properti lainnya tipe E adalah tipe non magnetik.

3. Tipe J (Iron / Constantan)

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

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

5. 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 ($>300\text{ }^{\circ}\text{C}$).

6. Tipe 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 .

7. Tipe R (Platinum /Platinum with 7% Rhodium)

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

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

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

9. Type T (Copper / Constantan)

Cocok untuk pengukuran antara -200 to $350 \text{ }^\circ\text{C}$. 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 $\sim 43 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$.

2.11.3 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 - $100 \text{ }^\circ\text{C}$ dengan keakuratan $0.1 \text{ }^\circ\text{C}$. Untuk aplikasi ini, Termistor dan RTD lebih cocok. 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 KOMPONEN SISTEM

3.1.1 *Blower*

Digunakan untuk mendorong udara agar dapat masuk ke sistem. Tipe yang dipakai adalah *blower* sentrifugal, dengan debit 400 m³/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.



Gambar III.1 *Blower*

3.1.2 *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 III.2 Skema *Heater*

3.1.3 Pyrex

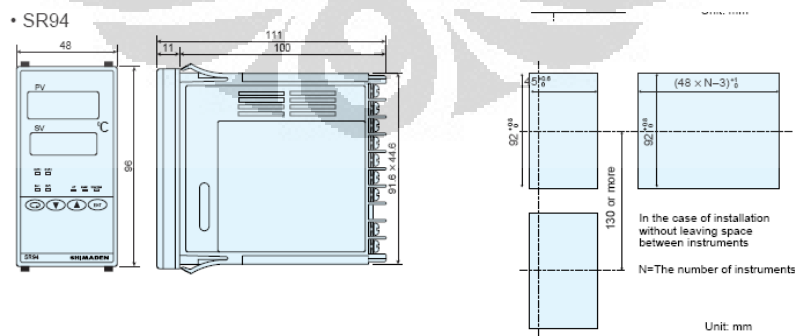
Test Section berupa pipa pyrex. Pyrex memiliki diameter dalam 98 mm dan panjang 1500 mm. Pipa pyrex ini dipilih karena kemampuan menahan panasnya cukup tinggi sehingga pada saat dialirkan udara panas sebagai media penguapan pada pipa pyrex tersebut diharapkan tidak menimbulkan kerusakan serta tidak menimbulkan 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 III.3 Pyrex

3.1.4 Digital Controller

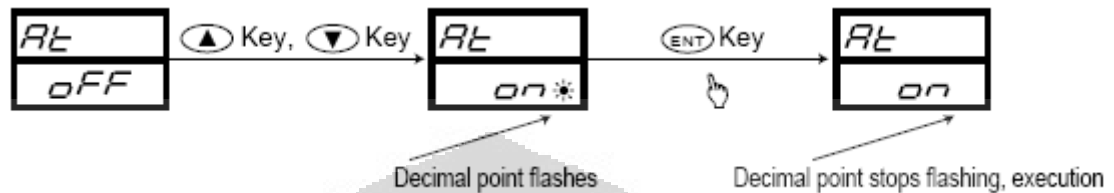
Komponen ini akan digunakan untuk mempermudah proses menstabilkan kondisi *heater* pada kondisi temperatur yang diinginkan dengan proses *auto-tuning* yang terintegrasi. Selain untuk membantu *heater* mencapai kondisi stabil, komponen ini juga digunakan untuk mengatur kerja dari heater agar tidak *over 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 III.4 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 III.5 Skema Auto Tuning

3.1.5 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*.

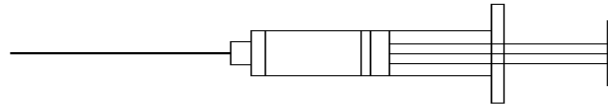


Gambar III.6 Temperature Display

3.1.6 Nozzle

Untuk membentuk tetesan maka diperlukan alat bantu berupa nozzle dan *wire-probe thermocouple*. Nozzle yang digunakan adalah jenis *spinal needle 23*, yang memiliki dimensi dengan panjang 90 mm dan diameter 0.6 mm. Jenis ini dipilih karena mempunyai panjang yang mencukupi untuk diletakan di pyrex yang mempunyai diameter 98 mm. Alat ini berfungsi untuk memasukkan fluida cair yang akan diukur dimensi dan suhunya. Saat nozzle 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.

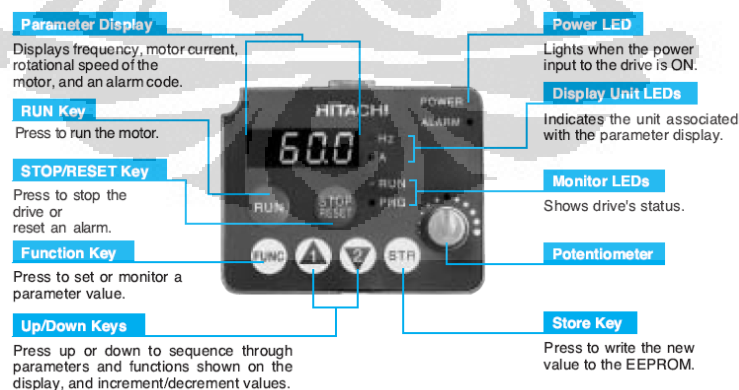


Gambar III.7 Nozzle

3.1.7 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.

Inverter jenis ST200 ini bisa mengatur frekwensi tegangan input ke *blower* dengan ketelitian 0.1 Hz pada temperatur kerja ($25^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$).



Gambar III.8 Display Inverter ST200

Spesifikasi Inverter :

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

3.1.8 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 III.9 Air Conditioner

3.1.9 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.



Gambar III.10 Tabung Dehumidifier

3.2 PROSEDUR KALIBRASI DAN PENGAMBILAN DATA

Kalibrasi dilakukan untuk mengetahui kondisi sebenarnya pada sistem seperti kecepatan aliran, temperatur aliran, dan dimensi tetesan. Data yang diperoleh adalah dimensi tetesan yang dimasukkan ke *pyrex* melalui suntikan. Ada beberapa tahapan sebelum akhirnya memperoleh dimensi tetesan. Penjelasannya dapat dilihat pada sub bab berikut.



Gambar III.11 Sistem Pengujian

3.2.1 Perhitungan Kecepatan

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

1. Mengukur diameter dalam dari saluran keluar *dehumidifier*, dari pengukuran tersebut didapat diameter saluran sebesar 72 mm, kemudian ditentukan titik tengah ($r = 0$ mm) dari saluran tersebut.
2. *Blower* dihidupkan dan diatur pada frekuensi sebesar 7 Hz dengan menggunakan *inverter*.
3. *Heater* dihidupkan dan diatur pada temperatur 50°C, ditunggu sampai keadaan menjadi tunak.
4. Meletakkan *hot wire anemometer* di radius 0, 5, 10, 15, 20 mm saluran.
5. Pada beberapa posisi anemometer diatas, didapatkan pembacaan temperatur dan kecepatan pada *hot wire anemometer*.

6. Lakukan pencatatan terhadap bacaan anemometer dan temperatur termokopel.
7. Lakukan langkah 2 sampai 6 dengan frekuensi 10 Hz dan 15 Hz.
8. Lakukan langkah 3 sampai 6 dengan temperatur 75°C, 100°C dan 150°C.

3.2.2 Pengambilan Data

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 III.12 Posisi Jarum dan Tetesan

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



Gambar III.13 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 III.14 Tetesan

6. Menekan *shutter* kamera digital dengan interval waktu 2 (dua) detik selama 1 (satu) menit 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 Hz, 10 Hz dan 50 Hz.
8. Mengulangi langkah nomor 2 sampai dengan 7 untuk variasi temperatur 50, 75, 100 dan 150 °C.

3.2.3 Kalibrasi Mata Bor

Untuk mengubah besaran pada foto yang masih berupa *pixel* menjadi meter, dilakukanlah pengkalibrasian mata bor. Adapun tahapan yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Melakukan proses foto pada "mata bor" dengan ukuran 3 mm.
2. Proses pengkalibrasian dilakukan dengan kondisi (posisi dan *zoom*) kamera yang sama dengan saat pengambilan data.
3. Setelah mendapatkan gambar, kemudian dilakukan *image processing* 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*, sehingga akan didapatkan konversi 1 *pixel* = 0.000006 mm.

3.3 PENGOLAHAN DATA

3.3.1 Pengolahan Data Foto

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

1. Membuka file gambar dengan menggunakan *software image processing* (dalam hal ini saya menggunakan *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 dilakukan pencatatan besaran *pixel*, baik untuk lebar (sumbu-x) dan panjang (sumbu-y) dari gambar tetesan (*droplet*) tersebut.
5. Menyimpan hasil pencatatan data dalam bentuk tabel excel agar dapat diolah dengan sistematis.

3.3.2 Pengolahan Data Kecepatan

Data yang diperoleh hanya merupakan data distribusi kecepatan pada saluran keluar *dehumidifier*. Data ini perlu diolah lebih lanjut agar didapat kecepatan rata-rata pada *pyrex*. Adapun tahapan pengolahan data kecepatan adalah sebagai berikut :

1. Hitung debit aliran (Q) di saluran keluar *dehumidifier* untuk tiap-tiap titik yang ada.

$$Q = V \cdot A$$

Lalu didapat Q total di *dehumidifier*.

2. Untuk menghitung Q pada *pyrex* digunakan rumus :

$$Q_{pyrex} = \frac{Q_{dehumidifier} \cdot \rho_{dehumidifier}}{\rho_{pyrex}}$$

3. Lalu hitung kecepatan (V) rata-rata pada *pyrex* dengan menggunakan :

$$V_{pyrex} = Q_{pyrex} \cdot A_{pyrex}$$

3.3.3 Contoh Perhitungan

Setelah didapat diameter *droplet* dan kecepatan rata-rata pada *pyrex* untuk setiap kondisi kecepatan dan suhu, selanjutnya dapat dilakukan pengolahan data. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat dari contoh perhitungan dibawah ini.

Mengambil satu contoh perhitungan data :

1. Larutan Gula 5%
2. Temperatur = 50 °C Frekuensi *inverter* = 7 Hz
3. Pada kondisi non ac, $T_{db} = 29$ °C, $T_{wb} = 26$ °C.
4. T_{udara} pada termokopel = 49 °C , $T_{droplet} = 31$ °C
5. Dari hasil pengukuran diperoleh dimensi droplet :

- o Gambar 1 :

Lebar = 420 pixel

Tinggi = 438 pixel

d rata-rata = $(420+438)/2 = 429$ pixel

o Gambar 2 :

Lebar = 406 pixel

Tinggi = 418 pixel

d rata-rata = $(406+418)/2 = 412$ pixel

Selanjutnya bisa dilakukan langkah-langkah analisa perhitungan sebagai berikut :

1. Menghitung d (diameter rata-rata tetesan)

$$d = \left(\frac{d_1 + d_2}{2} \right)$$

$$d = \left(\frac{429 + 412}{2} \right)$$

$$d = 420,5 \text{ pixel} = 0,002523 \text{ m}$$

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

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

$$\frac{dd}{dt} = \frac{(429 - 412) \cdot 6E^{-06}}{60 \text{ detik}}$$

$$\frac{dd}{dt} = 1,7E^{-06} \text{ m/s}$$

3. Menghitung laju difusi molal (N)

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

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

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

$$\frac{dr}{dt} = \frac{1,7E^{-06}}{2}$$

$$\frac{dr}{dt} = 8,5E^{-07}$$

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

$$N = \frac{\rho_{air} \cdot 8,5E^{-07}}{18}$$

$$N = \frac{998,4 \times 8,5E^{-07}}{18}$$

$$N = 4,71467E^{-05} \text{ kmole} / \text{s.m}^2$$

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

Tekanan uap (P_v) pada temperatur droplet 31°C adalah $4491,23 \text{ Pa}$

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

$$x_{gula} = \frac{5}{\frac{180}{180} + \frac{95}{18}}$$

$$x_{gula} = \frac{5}{5 + \left(\frac{95 \times 180}{18}\right)}$$

$$x_{gula} = 5,236E^{-03}$$

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

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

$$x_{0A} = 1 - 5,236E^{-03}$$

$$x_{0A} = 0,9948$$

$$P_{0A} = x_{0A} \times P_v$$

$$P_{0A} = 0,9948 \times 4491,23$$

$$P_{0A} = 4467,716 \text{ Pa}$$

Sehingga :

$$x_o = \frac{P_{0A}}{P_{udara}}$$

$$x_o = \frac{4467,716}{101325}$$

$$x_o = 0.044093$$

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 $T_{db} = 29^{\circ}\text{C}$ dan $T_{wb} = 26^{\circ}\text{C}$ akan didapatkan nilai $\omega = 0.002$

$$x_{A\infty} = \frac{\omega}{\omega + 0,632} = \frac{0,02}{0,02 + 0,623} = 0,0311$$

6. Menghitung konsentrasi total udara (C)

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

$$T_f = t_u + t_d$$

$$T_f = 273 + \left(\frac{49 + 31}{2} \right)$$

$$T_f = 313\text{K}$$

C diperoleh dari :

$$C = \frac{n}{V} = \frac{P}{\mathcal{R}T}$$

$$C = \frac{101325}{8314,5 \times 313}$$

$$C = 0,038935 \text{ kmol/m}^3$$

7. Menghitung fluks perpindahan massa (R_x)

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

$$R_x = \frac{0,044093 - 0,0311}{1 - 0,0311}$$

$$R_x = 0,013588$$

8. Menghitung koefisien perpindahan massa (k_c)

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

$$k_c = \frac{4,71467 \text{E}^{-05} (1 - 0,044093)}{0,038935 (0,044093 - 0,0311)}$$

$$k_c = 0.088855 \text{ kmol / m}^2 \cdot \text{s}$$

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

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

$$\theta_{x_{StF}} = \frac{\ln(1 + 0,013588)}{0,013588}$$

$$\theta_{x_{StF}} = 0.993267$$

10. Menghitung koefisien laju perpindahan massa model stagnan film k_c menuju k_{cLSIF} ketika N_{A0} menuju nol

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

$$k_{cLSIF} = \frac{0.088855}{0.993267}$$

$$k_{cLSIF} = 0.089457$$

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

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

$$D_{AB} = 2.72E^{-05} m^2 / s$$

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

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

$$Sh_{StF} = \frac{0.089457 \times 0.002523}{2.72E^{-05}}$$

$$Sh_{StF} = 8.310557$$

13. Menentukan parameter perpindahan massa (C_1)

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

$$C_1 = -0,0011 \times (49 - 31) - 1,0082 \times (0,0311 - 0,044093)$$

$$C_1 = -0.0067$$

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

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

$$\theta_{x_{Mod}} = \frac{\ln(1 + 0.013588) - (-0.0067)}{0.013588}$$

$$\theta_{x_{Mod}} = 1.486705$$

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

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

$$k_{cLMod} = \frac{0.088855}{1.486705}$$

$$k_{cLMod} = 0.059766 \text{ kmol} / \text{m}^2 \cdot \text{s}$$

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

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

$$Sh_{Mod} = \frac{0.059766 \times 0.002523}{2.72E^{-05}}$$

$$Sh_{Mod} = 5.552279$$

17. Mencari angka reynold (Re) pada droplet

$$Re = \frac{\rho \cdot u \cdot d}{\mu}$$

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

Dimana :

ρ = massa jenis udara (kg/m^3)

U = kecepatan pada droplet (m/s)

d = diameter rata – rata (m)

μ = viskositas dinamik (kg/m.s)

ν = difusivitas momentum atau viskositas kinematik (m^2/s)

Asumsi Kecepatan di droplet = 1,05 kecepatan rata-rata *pyrex*.

$$U_{\max} = 0,4045 \text{ m/s dan } \nu = 1,7E^{-05} \text{ m}^2 / \text{s}$$

$$Re = \frac{0,4045 \times 0,002523}{1,7E - 05}$$

$$Re = 60,17$$

18. Menghitung bilangan Schmidt

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

$$Sc = \frac{1,7E^{-05}}{2,72E^{-05}}$$

$$Sc = 0,6245$$

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

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

$$Sh = 5,647$$

Langkah-langkah Mencari Perpindahan Panas

20. Menghitung nilai konduktivitas campuran (K) dengan $T_f = 313$ K sehingga dapat dicari nilai rapat massa udara (ρ), panas jenis udara (cp) dan difusivitas termal (α) dari table sifat-sifat udara

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

$$k = 1,125 \times 1008,3 \times 2,39E^{-05}$$

$$k = 0,0271$$

21. Menghitung q_{radiasi}/A

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

$$\frac{q_{\text{radiasi}}}{A} = 0,96 \times 0,566959E^{-07} \times ((273 + 49)^4 - (273 + 31)^4)$$

$$\frac{q_{\text{radiasi}}}{A} = 120,267$$

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

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

$$\frac{q_o}{A} = -4,71E^{-05} \times 18 \times 2428319 + 274,63 + 120,267$$

$$\frac{q_o}{A} = -1665,87$$

23. Menghitung koefisien perpindahan panas h

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

$$h = \frac{-1665,87}{(31-49)}$$

$$h = 92,55$$

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

$$h_L = \frac{(2 + 0,55 \times \text{Re}^{\frac{1}{2}} \times \text{Pr}^{0,333}) \times k}{\text{diameter}}$$

$$h_L = \frac{(2 + 0,55 \times 60,17^{\frac{1}{2}} \times 0,71^{0,333}) \times 0,0271}{0,002523}$$

$$h_L = 66,073$$

25. Menghitung panas jenis molal udara C_{pA}

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

$$C_{pA} = 1008,3 \times 28,9$$

$$C_{pA} = 0,29E^{04} [J / (\text{kmoleK})]$$

26. Menghitung factor kecepatan perpindahan panas (ϕ)

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

$$\phi = \frac{-5,06E^{-05} \times 0,29E^{04}}{66,073}$$

$$\phi = -0,022$$

27. Menghitung fluks perpindahan panas (R_T)

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

$$R_T = e^{-0,022} - 1$$

$$R_T = -0,02208$$

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

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

$$\theta_{T_StF} = \frac{\ln(1 + (-0,02208))}{-0,02208}$$

$$\theta_{T_StF} = 1,0112$$

29. Menghitung parameter perpindahan panas (C_2)

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

$$C_2 = 0,4633E^{-09} \times (49 - 31) + 0,16E^{-06} \times (0,0311 - 0,04409)$$

$$C_2 = -1.04176E^{-08}$$

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

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

$$\theta_{T_Mod} = \frac{\ln(1 + (-0,02208))}{-0,02208} + \frac{0,29E^4 \times (-1.04176E^{-08})}{0,0271 \times (-0,02208)}$$

$$\theta_{T_Mod} = 1,51874$$

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

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

$$h_{L_StF} = \frac{92,55}{1,0112}$$

$$h_{L_StF} = 91,5227 \text{ watt} / m^2 \cdot K$$

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

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

$$h_{L_Mod} = \frac{92,55}{1,51874}$$

$$h_{L_Mod} = 60,9373 \text{ watt} / m^2 \cdot K$$

33. Menghitung bilangan Prandtl (Pr)

Dengan $T_f = 313$ K dapat dicari nilai Pr dari table sifat-sifat udara tekanan atmosfer pada lampiran

$$\begin{aligned}Pr &= \frac{\nu}{\alpha} \\Pr &= \frac{1,7E^{-05}}{2,4E^{-05}} \\Pr &= 0,7103\end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}Nu &= 2 + (0,55 \times Re^{1/2} \cdot Pr^{1/3}) \\Nu &= 2 + (0,55 \times 60,17^{0,5} \times 0,7103^{0,333}) \\Nu &= 5,807\end{aligned}$$

35. Menghitung bilangan Nusselt model analogi stagnan film

$$\begin{aligned}Nu_{StF} &= \frac{h_{LStF} \times diameter}{k} \\Nu_{StF} &= \frac{91,5227 \times 0,002523}{0,02709} \\Nu_{StF} &= 8,523\end{aligned}$$

36. Menghitung bilangan Nusselt model pendekatan baru

$$\begin{aligned}Nu_{Mod} &= \frac{h_{LMod} \times diameter}{k} \\Nu_{Mod} &= \frac{60,9373 \times 0,002523}{0,02709} \\Nu_{Mod} &= 5,675\end{aligned}$$

Perbandingan antara gula 5% AC dan Non AC

Berikut merupakan perhitungan untuk laju perpindahan panas dan perpindahan massa untuk gula 5% AC dan Non AC.

1. Data untuk gula 5% Non AC berdasarkan perhitungan Perpindahan massa:

$$\begin{aligned}N_{AO} &= k_{cL} \left[\ln \left(\frac{1 - X_{\infty}}{1 - X_o} \right) - C_1 \right] \\N_{AO} &= 0,0598 \left[\ln \left(\frac{1 - 0,0311}{1 - 0,0441} \right) - (-0,0067) \right] \\N_{AO} &= 1,208 \cdot 10^{-3} [kmole / (m^2 s)]\end{aligned}$$

Perpindahan panas:

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

$$q_o = \frac{1,208 \cdot 10^{-3} \cdot 1007,665 \cdot 28,9 \cdot (49 - 31)}{\left[\exp\left(-\frac{1,208 \cdot 10^{-3} \cdot 1007,665 \cdot 28,9}{66,073} - \frac{1007,665 \cdot 28,9}{0,0271} \cdot (-1,042 \cdot 10^{-8}) \right) - 1 \right]}$$

$$q_o = 1558,85 [W / m^2]$$

2. Data untuk gula 5% AC berdasarkan perhitungan

Perpindahan massa:

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

$$N_{AO} = 0,0598 \left[\ln\left(\frac{1 - 0,016}{1 - 0,0441} \right) - (0,0067) \right]$$

$$N_{AO} = 1,33 \cdot 10^{-3} [kmole / (m^2 s)]$$

Perpindahan panas:

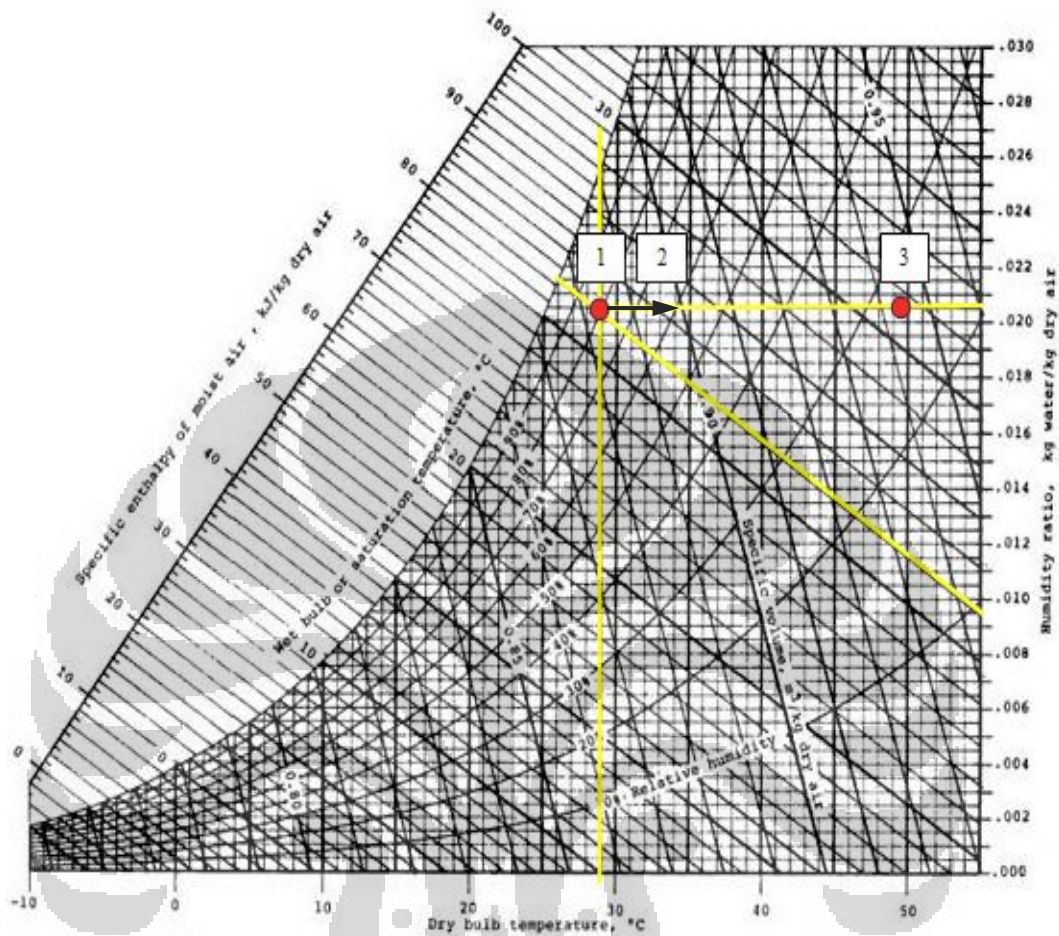
$$q_o = \frac{N_{AO} \cdot C_{PA} \cdot (T_\infty - T_o)}{\left[\exp\left(-\frac{N_{AO} \cdot C_{PA}}{h_L} - \frac{C_{PA}}{k} C_2 \right) - 1 \right]}$$

$$q_o = \frac{1,33 \cdot 10^{-3} \cdot 1007,665 \cdot 28,9 \cdot (49 - 31)}{\left[\exp\left(-\frac{1,33 \cdot 10^{-3} \cdot 1007,665 \cdot 28,9}{66,073} - \frac{1007,665 \cdot 28,9}{0,0271} \cdot (-1,042 \cdot 10^{-8}) \right) - 1 \right]}$$

$$q_o = 1594,28 [W / m^2]$$

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.

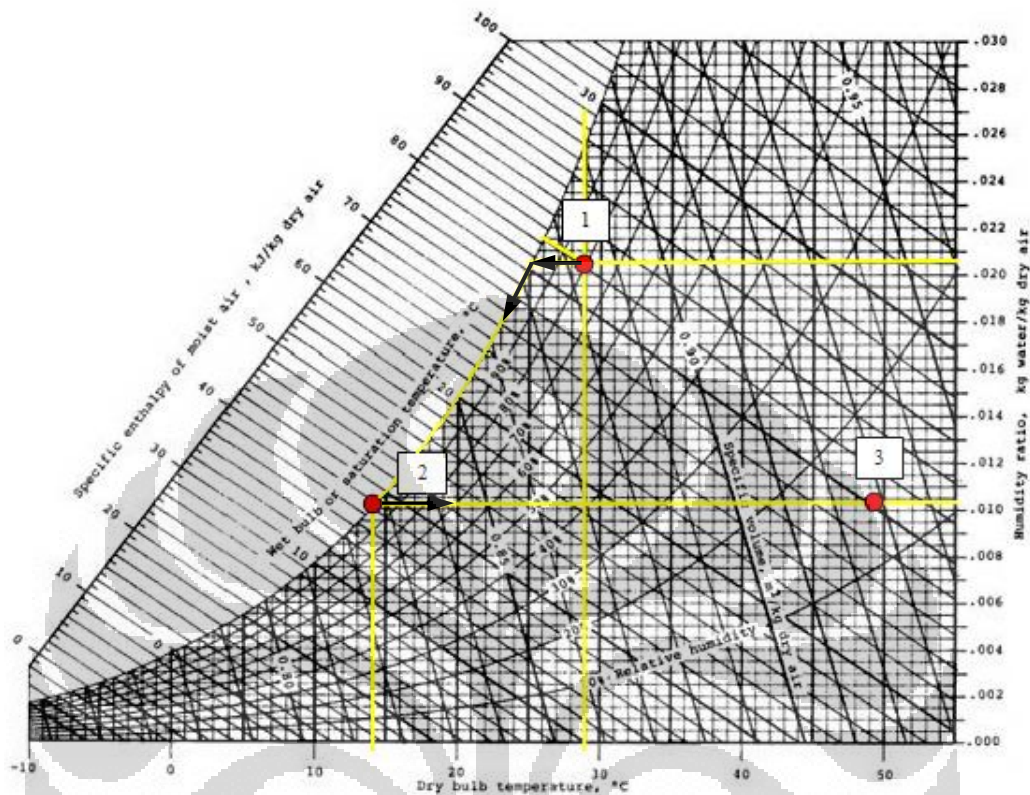
Kondisi pengujian tanpa menggunakan air conditioner dapat di gambarkan dalam psychrometric sebagai berikut:



Gambar III.15 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 temperature 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 III.16 Psychrometric Chart Kondisi Dengan AC

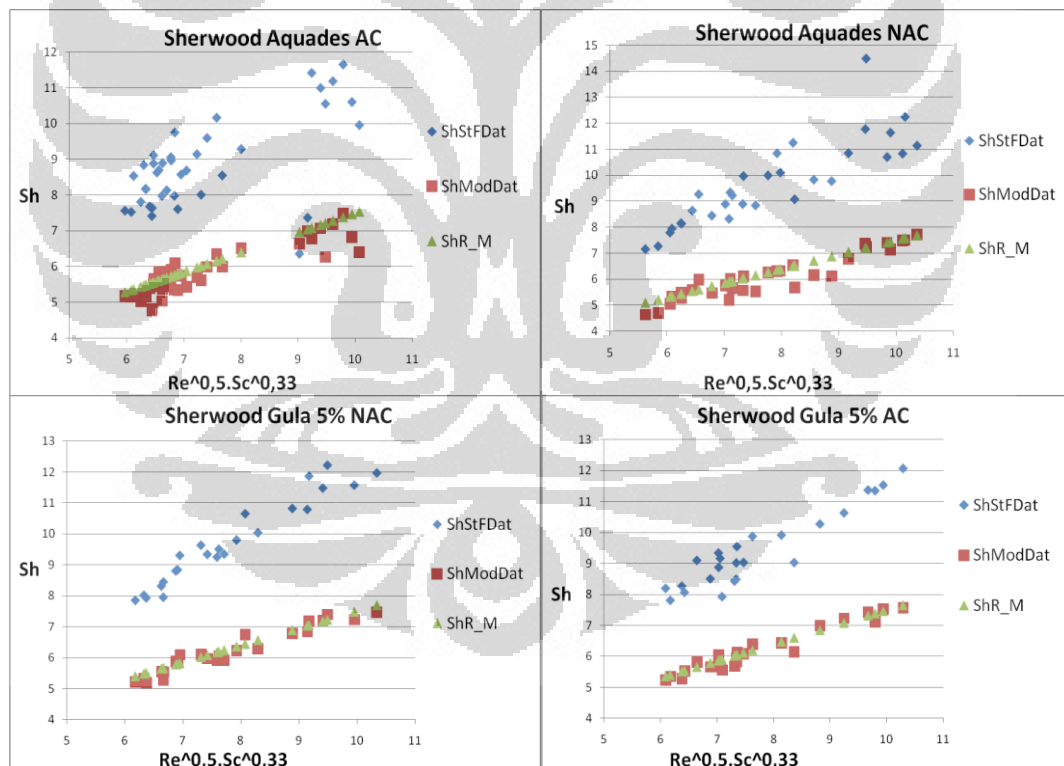
- Titik 1 merupakan kondisi udara sebelum blower yaitu temperature dry bulb 29°C dan wet bulb 26°C.
- Titik 2 merupakan kondisi udara saat keluar dari dehumidifier , pada gambar terlihat titik 2 terletak pada RH 100% artinya $T_{DB} = T_{WB}$ ditandai dengan adanya embun atau air pada dehumidifier dimana 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 DAN HASIL

4.1 ANALISA PERBANDINGAN GRAFIK ANTAR MODEL

Dari perhitungan yang telah kita lakukan seperti langkah-langkah yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya, maka akan didapatkan hasil seperti pada halaman lampiran. Sehingga dapat dibuat grafik hubungan antara bilangan Sherwood dengan menggunakan analogi Ranz-Marshall, stagnan film dan model analogi pendekatan baru. Sama halnya dalam mencari hubungan antara bilangan Nusselt Stagnan Film dengan analogi Ranz-Marshall dan model analogi pendekatan baru.

Berikut adalah grafik hasil perbandingan antar model untuk bilangan Sherwood :

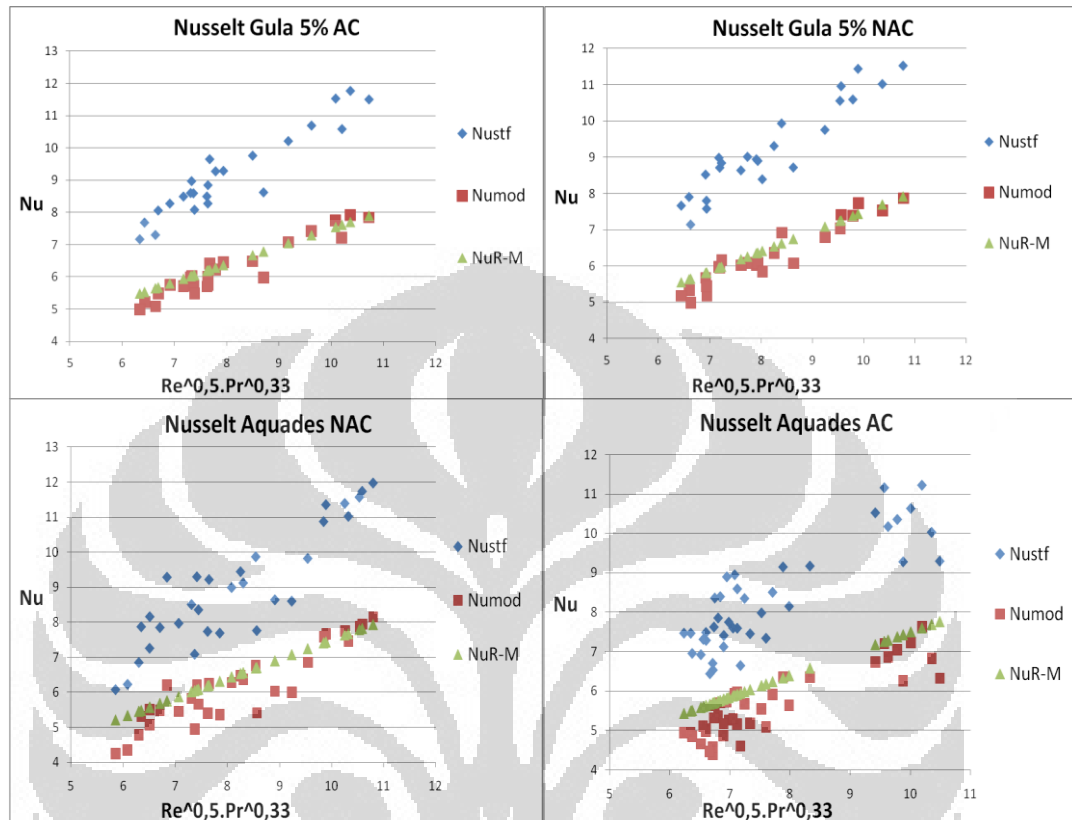


Gambar IV.1 Perbandingan Bilangan Sherwood antar Model

Dari gambar diatas dapat terlihat jelas bahwa nilai sherwood yang didapat dengan menggunakan model stagnan film masih berada jauh diatas model analogi Ranz-Marshall. Sedangkan dengan model pendekatan baru yang merupakan

modifikasi dari model stagnan film, hasilnya mendekati model analogi Ranz-Marshall.

Untuk Bilangan Nusselt diperoleh grafik sebagai berikut :



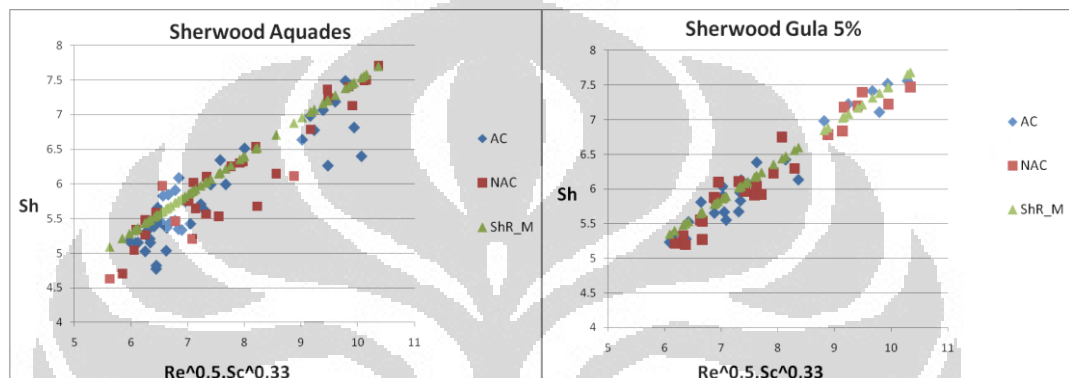
Gambar IV.2 Perbandingan Bilangan Nusselt antar Model

Terlihat pada grafik bahwa Nusselt stagnan film berada di atas dari Nusselt persamaan Ranz-Marshall. Sebaliknya grafik Nusselt analogi pendekatan baru mempunyai nilai yang hampir sama atau dekat dengan nilai Nusselt persamaan Ranz-Marshall. Dari perbandingan kedua bilangan (Sherwood dan Nusselt) masih terdapat penyimpangan-penyimpangan, hal ini biasa saja terjadi karena kesalahan pengambilan data ataupun nilai dari C1 dan C2 yang masih belum begitu tepat, mengingat data yang diambil oleh Walton masih terbilang sedikit, sehingga diperlukan banyak data lagi untuk mendapatkan nilai C1 dan C2 yang lebih akurat. Dari perbandingan bilangan Sherwood dan Nusselt dapat kita simpulkan bahwa model modifikasi mempunyai korelasi yang lebih kuat dibandingkan dengan model stagnan film.

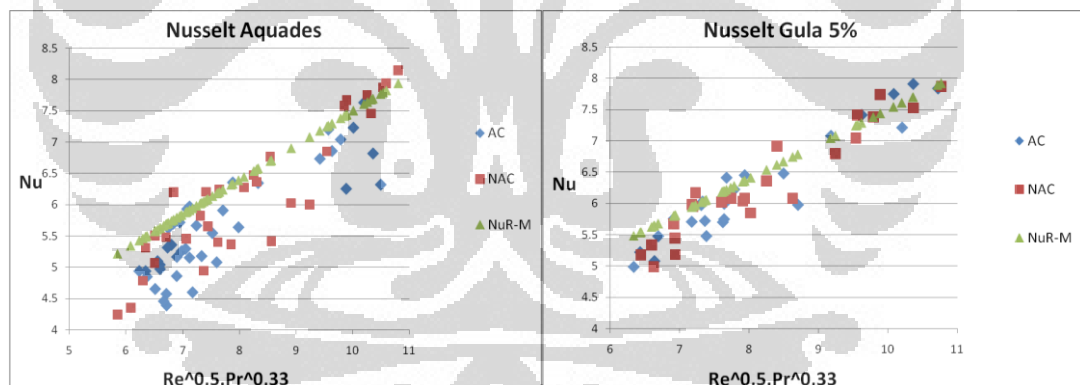
4.2 ANALISA PERBANDINGAN PENGARUH KELEMBABAN

Untuk membandingkan pengaruh kelembaban terhadap laju penguapan tetesan, penelitian ini menggunakan dua kondisi yaitu udara yang dialirkan melalui AC ataupun langsung dari udara luar. Dengan penggunaan AC dan dehumidifier maka udara yang dihasilkan mempunyai kadar air yang lebih sedikit atau dengan kata lain kelembabannya menurun sehingga nilai fraksi mol uap pada lingkungan menurun.

Hasil grafik perbandingan kelembaban pada masing-masing larutan :



Gambar IV.3 Perbandingan Bilangan Sherwood dengan Kelembaban Berbeda



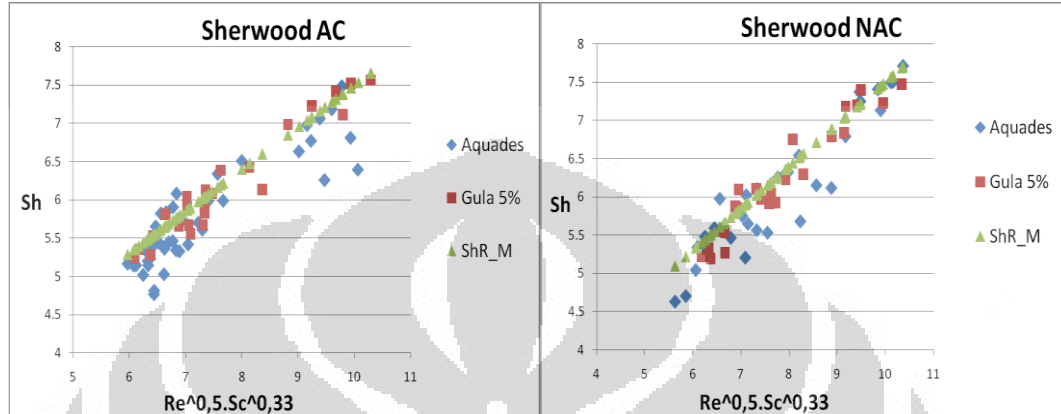
Gambar IV.4 Perbandingan Bilangan Nusselt dengan Kelembaban Berbeda

Dari grafik diatas dapat kita simpulkan bahwa penurunan kelembaban tidak akan mempengaruhi nilai bilangan Sherwood dan Nusselt. Namun berdasarkan pada perhitungan pada bab 3, penurunan kelembaban ini akan mengakibatkan peningkatan nilai laju perpindahan massa (N_{ao}) dan laju perpindahan kalor (q_o)

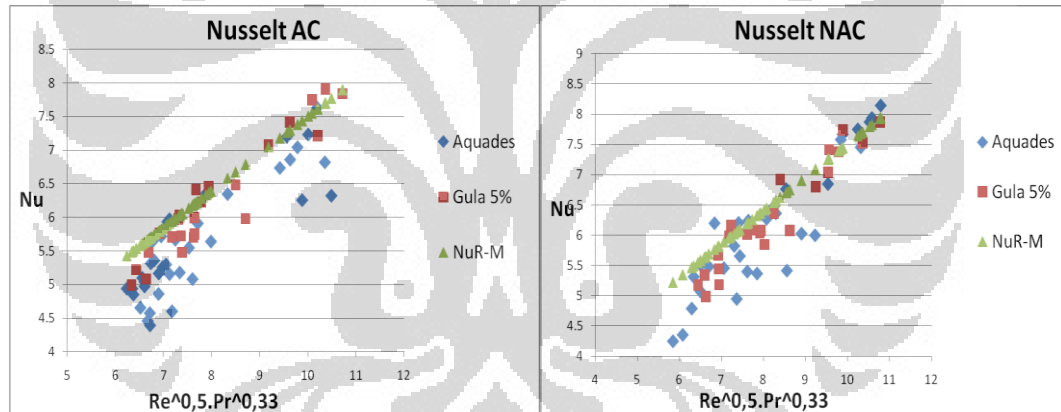
4.3 ANALISA PERBANDINGAN PENGARUH KONSENTRASI

Untuk mengetahui pengaruh konsentrasi larutan terhadap laju penguapan tetesan maka pada penelitian ini dipakai dua jenis larutan yaitu aquades dan larutan gula 5%.

Hasil perbandingan konsentrasi larutan pada masing-masing kondisi :



Gambar IV.5 Perbandingan Bilangan Sherwood dengan Konsentrasi Berbeda



Gambar IV.6 Perbandingan Bilangan Nusselt dengan Konsentrasi Berbeda

Dari keseluruhan grafik bilangan Sherwood dan Nusselt diatas terlihat tidak ada perbedaan yang cukup signifikan antara aquades dan larutan gula 5%. Nilai Sherwood dan Nusselt model pendekatan baru terhadap stagnan film berada disekitar ranz-marshall dan penyebaran data terlihat lebih merata sehingga dapat disimpulkan bahwa konsentrasi tidak memiliki pengaruh yang sangat signifikan pada nilai bilangan sherwood dan nusselt.

Penambahan pada konsentrasi larutan akan berpengaruh kepada penurunan nilai tekanan uap jenuh yang akan mengakibatkan peningkatan laju perpindahan massa (N_{ao}) dan laju perpindahan kalor (q_o).

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

1. Model modifikasi (E. A. Kosasih, 2006) mempunyai korelasi yang lebih kuat dibandingkan dengan model stagnan film.
2. Nilai bilangan Sherwood dan Nusselt pada model modifikasi lebih dekat dengan analogi Ranz-Marshall dibandingkan dengan model stagnan film
3. Perbedaan konsentrasi larutan dan kelembaban udara tidak berpengaruh terhadap nilai bilangan Sherwood dan Nusselt.
4. Perbedaan konsentrasi larutan dan kelembaban udara berpengaruh terhadap laju penguapan.

5.2 SARAN

1. Proses pengambilan gambar tetesan sebaiknya dilakukan dengan menggunakan *high speed digital camera* agar didapat gambar yang akurat, konstan, jelas dan tidak bergetar.
2. Dibutuhkan alat ukur kecepatan yang sangat mendukung terutama alat ukur yang dapat beroperasi dengan baik pada temperature tinggi.
3. Ujung Termokopel sebaiknya tidak dililit terlalu banyak agar tetesan yang terjadi berada diluar termokopel sehingga diameter tetesan dapat diukur dengan lebih akurat.

DAFTAR ACUAN

- [1] Pramudono B, *Humidifikasi dan Pengerinan*, Pusat Antar Universitas Pangan dan Gizi, UGM, Yogyakarta, 1988
- [2] Supriyono, SP., Mengukur Faktor-Faktor dalam Proses Pengerinan, hal 6.
Diakses tanggal 1 Juni 2009, dari
http://id.kambing.ui.edu/.../mengukur_faktor_faktor_proses_dlm_pengerinan.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.

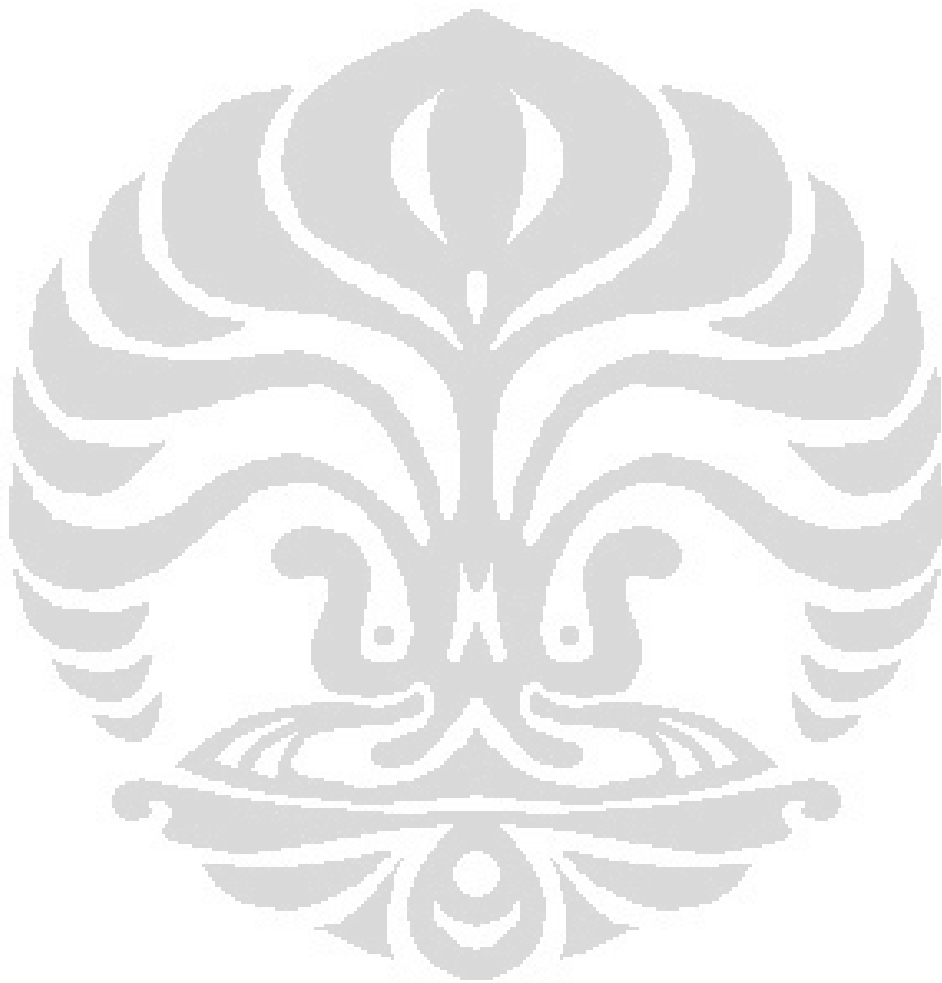
[17] William C. Reynolds, Henry Perkins, *Termodinamika Teknik*, terj.Filino Harahap (Jakarta: Erlangga, 1991) hal 356.

[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>

LAMPIRAN



LAMPIRAN 1

PSYCHROMETRIC CHART

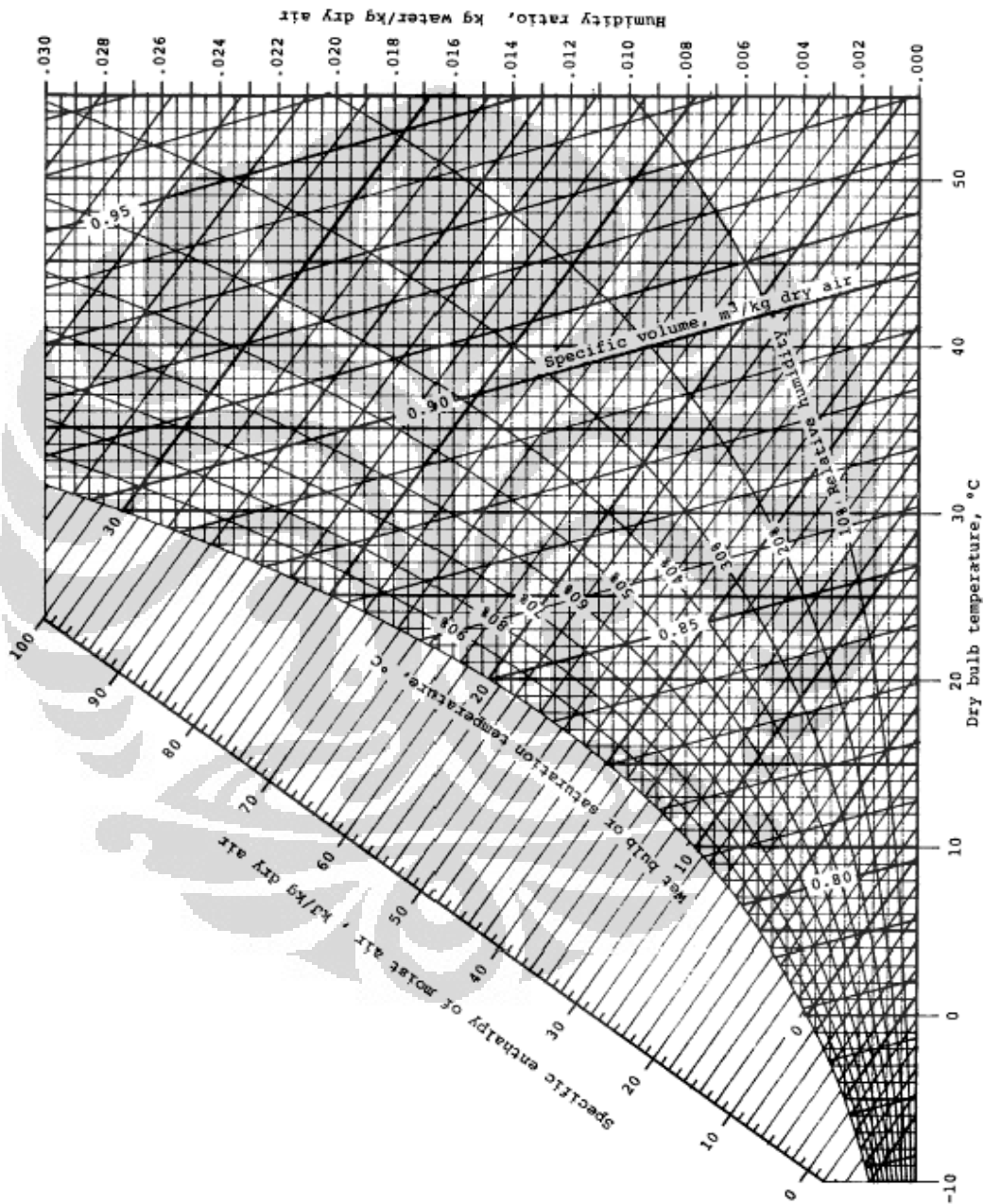


Figure A-9 Psychrometric chart for 1 atm (SI units). *Source:* Z. Zhang and M. B. Pate, "A Methodology for Implementing a Psychrometric Chart in a Computer Graphics System," *ASHRAE Transactions*, Vol. 94, Pt. 1, 1988.

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

tl. 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 <i>T</i>	Sat. press. kPa <i>p_{sat}</i>	Specific volume m ³ /kg		Internal energy kJ/kg			Enthalpy kJ/kg			Entropy kJ/(kg · K)		
		Sat. liquid <i>v_f</i>	Sat. vapor <i>v_g</i>	Sat. liquid <i>u_f</i>	Evap. <i>u_{fg}</i>	Sat. vapor <i>u_g</i>	Sat. liquid <i>h_f</i>	Evap. <i>h_{fg}</i>	Sat. vapor <i>h_g</i>	Sat. liquid <i>s_f</i>	Evap. <i>s_{fg}</i>	Sat. vapor <i>s_g</i>
0.01	0.6113	0.001000	206.14	0.0	2375.3	2375.3	0.01	2501.3	2501.4	0.000	0.1522	0.1522
5	0.8721	0.001003	147.12	20.97	2361.3	2382.3	20.98	2489.6	2510.6	0.0761	0.9496	0.0257
10	1.2276	0.001000	106.30	42.00	2347.2	2389.2	42.01	2477.7	2510.8	0.1510	0.7495	0.0008
15	1.7051	0.001001	77.93	62.99	2333.1	2396.1	62.99	2465.9	2528.9	0.2245	0.5500	0.7814
20	2.3399	0.001002	57.79	83.05	2319.0	2402.9	83.05	2454.1	2538.1	0.2966	0.3706	0.6672
25	3.169	0.001003	43.36	104.65	2304.9	2409.0	104.65	2442.3	2547.2	0.3674	0.1905	0.5585
30	4.246	0.001004	32.89	126.70	2290.8	2416.0	126.70	2430.5	2556.3	0.4363	0.0164	0.4533
35	5.626	0.001006	25.22	148.67	2276.7	2423.4	148.68	2419.0	2565.3	0.5053	7.8478	0.3531
40	7.384	0.001008	19.52	167.55	2262.6	2430.1	167.57	2406.7	2574.3	0.5725	7.6045	0.2570
45	9.593	0.001010	15.26	185.44	2248.4	2436.8	185.45	2394.5	2583.2	0.6387	7.5261	0.1648
50	12.349	0.001012	12.03	202.32	2234.2	2443.5	202.33	2382.7	2592.1	0.7033	7.3725	0.0763
55	15.758	0.001015	9.558	230.21	2219.9	2450.1	230.23	2370.7	2600.9	0.7679	7.2234	7.0913
60	19.940	0.001017	7.671	251.11	2205.5	2456.6	251.13	2358.5	2609.6	0.8312	7.0784	7.9050
65	25.03	0.001020	6.197	272.02	2191.1	2463.1	272.06	2346.2	2618.3	0.8935	6.9375	7.8310
70	31.17	0.001023	5.042	292.95	2176.5	2469.6	292.98	2333.8	2626.8	0.9549	6.8004	7.7553
75	38.59	0.001026	4.131	313.90	2162.0	2475.9	313.93	2321.4	2635.3	1.0155	6.6669	7.6824
80	47.39	0.001029	3.407	334.85	2147.4	2482.2	334.91	2309.8	2643.7	1.0753	6.5369	7.6122
85	57.63	0.001031	2.825	355.84	2132.6	2488.4	355.90	2298.0	2651.9	1.1343	6.4102	7.5445
90	70.14	0.001036	2.351	376.85	2117.7	2494.5	376.92	2286.2	2660.1	1.1925	6.2866	7.4791
95	84.55	0.001040	1.982	397.88	2102.7	2500.6	397.95	2274.2	2668.1	1.2500	6.1659	7.4150
Sat. press. MPa												
100	0.10135	0.001044	1.6729	418.94	2087.6	2506.5	418.94	2262.0	2676.1	1.3069	6.0480	7.3549
105	0.12082	0.001048	1.4194	440.02	2072.3	2512.4	440.15	2249.7	2683.8	1.3630	5.9326	7.2950
110	0.14327	0.001052	1.2102	461.14	2057.0	2518.1	461.30	2237.2	2691.5	1.4185	5.8202	7.2387
115	0.16906	0.001056	1.0360	482.30	2041.4	2523.7	482.48	2224.5	2699.0	1.4734	5.7100	7.1839
120	0.19853	0.001060	0.8919	503.50	2025.8	2529.3	503.71	2211.6	2706.3	1.5276	5.6020	7.1296
125	0.2321	0.001065	0.7706	524.74	2009.9	2534.6	524.99	2198.5	2713.5	1.5813	5.4962	7.0775
130	0.2701	0.001070	0.6685	546.02	1993.9	2539.9	546.31	2185.2	2720.5	1.6344	5.3925	7.0269
135	0.3133	0.001075	0.5822	567.35	1977.7	2545.0	567.65	2171.6	2727.3	1.6870	5.2907	6.9777
140	0.3613	0.001080	0.5089	588.74	1961.3	2550.0	588.13	2157.7	2733.9	1.7391	5.1906	6.9299
145	0.4154	0.001085	0.4463	610.18	1944.7	2554.9	610.63	2143.6	2740.3	1.7907	5.0925	6.8833
150	0.4759	0.001091	0.3928	631.68	1927.9	2559.5	632.20	2129.3	2746.5	1.8418	4.9960	6.8379
155	0.5431	0.001096	0.3469	653.24	1910.8	2564.1	653.84	2095.6	2752.4	1.8925	4.9010	6.7935
160	0.6178	0.001102	0.3071	674.87	1893.5	2568.4	675.55	2082.5	2758.1	1.9427	4.8075	6.7502
165	0.7005	0.001108	0.2727	695.56	1876.0	2572.5	697.34	2069.2	2763.5	1.9925	4.7153	6.7078
170	0.7917	0.001114	0.2428	716.33	1858.1	2576.5	719.21	2049.5	2768.7	2.0419	4.6244	6.6663
175	0.8920	0.001121	0.2165	740.17	1840.0	2580.2	741.17	2032.4	2773.6	2.0909	4.5347	6.6256
180	1.0021	0.001127	0.19405	762.09	1821.6	2583.7	763.22	2015.0	2778.2	2.1395	4.4461	6.5857
185	1.1227	0.001134	0.17409	784.10	1802.9	2587.0	785.37	1997.1	2782.4	2.1879	4.3586	6.5465
190	1.2544	0.001141	0.15654	806.19	1783.8	2590.0	807.62	1978.8	2786.4	2.2359	4.2720	6.5079
195	1.3978	0.001149	0.14106	828.37	1764.4	2592.8	829.98	1960.0	2790.0	2.2835	4.1863	6.4698

LAMPIRAN 5

TABEL SIFAT AIR JENUH – 2

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

°F	°C	c_p , kJ/kg · °C	ρ , kg/m ³	μ , kg/m · s	k , W/m · °C	Pr	$g\beta\rho^2c_p/\mu k$ 1/m ³ · °C
32	0	4.225	999.8	1.79×10^{-3}	0.566	13.25	
40	4.44	4.208	999.8	1.55	0.575	11.35	1.91×10^9
50	10	4.195	999.2	1.31	0.585	9.40	6.34×10^9
60	15.56	4.186	998.6	1.12	0.595	7.88	1.08×10^{10}
70	21.11	4.179	997.4	9.8×10^{-4}	0.604	6.78	1.46×10^{10}
80	26.67	4.179	995.8	8.6	0.614	5.85	1.91×10^{10}
90	32.22	4.174	994.9	7.65	0.623	5.12	2.48×10^{10}
100	37.78	4.174	993.0	6.82	0.630	4.53	3.3×10^{10}
110	43.33	4.174	990.6	6.16	0.637	4.04	4.19×10^{10}
120	48.89	4.174	988.8	5.62	0.644	3.64	4.89×10^{10}
130	54.44	4.179	985.7	5.13	0.649	3.30	5.66×10^{10}
140	60	4.179	983.3	4.71	0.654	3.01	6.48×10^{10}
150	65.55	4.183	980.3	4.3	0.659	2.73	7.62×10^{10}
160	71.11	4.186	977.3	4.01	0.665	2.53	8.84×10^{10}
170	76.67	4.191	973.7	3.72	0.668	2.33	9.85×10^{10}
180	82.22	4.195	970.2	3.47	0.673	2.16	1.09×10^{11}
190	87.78	4.199	966.7	3.27	0.675	2.03	
200	93.33	4.204	963.2	3.06	0.678	1.90	
220	104.4	4.216	955.1	2.67	0.684	1.66	
240	115.6	4.229	946.7	2.44	0.685	1.51	
260	126.7	4.250	937.2	2.19	0.685	1.36	
280	137.8	4.271	928.1	1.98	0.685	1.24	
300	148.9	4.296	918.0	1.86	0.684	1.17	
350	176.7	4.371	890.4	1.57	0.677	1.02	
400	204.4	4.467	859.4	1.36	0.665	1.00	
450	232.2	4.585	825.7	1.20	0.646	0.85	
500	260	4.731	785.2	1.07	0.616	0.83	
550	287.7	5.024	735.5	9.51×10^{-5}			
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

DATA PENGUJIAN

Data Droplet Gula 5% AC

Suhu (C)	Frek (Hz)	Tu (C)	Td (C)	Tdh (C)	Gbr	Dx	Dy	Drata2	dD	dt	dD/dt
50	7	50	26	14.7	1	488	545	516.5	20.5	60	0.341667
					31	468	524	496			
					1	413	427	420			
50	10	50	26	15.2	31	391	402	396.5	23.5	60	0.391667
					1	382	385	383.5			
					31	352	356	354			
50	15	50	26	14.5	1	382	385	383.5	29.5	60	0.491667
					31	352	356	354			
					1	460	493	476.5			
75	7	74	32	14.8	16	445	469	457	19.5	30	0.65
					31	425	450	437.5			
					1	456	478	467			
75	10	72	32	15.8	16	437	458	447.5	19.5	30	0.65
					31	420	437	428.5			
					1	453	490	471.5			
75	15	72	32	16.6	16	428	467	447.5	24	30	0.8
					31	407	438	422.5			
					1	420	441	430.5			
100	7	98	37	14.8	16	394	405	399.5	31	30	1.033333
					31	365	369	367			
					1	442	478	460			
100	10	95	37	15.9	16	413	448	430.5	29.5	30	0.983333
					31	386	416	401			
					1	425	471	448			
100	15	95	36	16.6	16	395	422	408.5	39.5	30	1.316667
					31	362	373	367.5			
					1	454	469	461.5			
150	7	142	43	15.3	11	423	430	426.5	35	20	1.75
					21	390	394	392			
					31	356	353	354.5			
150	10	139	43	16.4	1	470	509	489.5	35	20	1.75
					11	440	469	454.5			
					21	412	428	420			
150	15	140	44	17.3	31	376	386	381	39	20	1.95
					1	443	526	484.5			
					11	420	468	444			
150	15	140	44	17.3	21	381	421	401	43	20	2.025
					31	342	376	359			
					1	443	526	484.5			
150	15	140	44	17.3	11	420	468	444	40.5	20	2.025
					21	381	421	401			
					31	342	376	359			
150	15	140	44	17.3	1	443	526	484.5	42	20	2.1
					11	420	468	444			
					21	381	421	401			

Data Droplet Gula 5% NAC

Suhu (C)	Frek (Hz)	Tu (C)	Td (C)	Tdh (C)	Gbr	Dx	Dy	Drata2	dD	dt	dD/dt
50	7	49	31	25.7	1	420	438	429	17	60	0.283333
					31	406	418	412			
	10	49	31	25.8	1	383	394	388.5	20	60	0.333333
					31	367	370	368.5			
	15	50	31	25.6	1	389	394	391.5	24.5	60	0.408333
					31	364	370	367			
75	7	74	36	26.4	1	403	430	416.5	18.5	30	0.616667
					16	388	408	398			
					31	375	383	379			
	10	70	35	26.4	1	423	444	433.5	18	30	0.6
					16	409	422	415.5			
					31	390	403	396.5			
15	72	35	26.2	1	404	415	409.5	25.5	30	0.85	
				16	382	386	384				
				31	358	357	357.5				
100	7	98	40	26.7	1	427	463	445	30.5	30	1.016667
					16	399	430	414.5			
					31	373	397	385			
	10	94	39	26.6	1	419	458	438.5	31	30	1.033333
					16	398	417	407.5			
					31	372	378	375			
15	95	39	26.5	1	452	525	488.5	34	30	1.133333	
				16	433	476	454.5				
				31	403	435	419				
150	7	143	46	26.9	1	446	490	468	36	20	1.8
					11	417	447	432			
					21	391	402	396.5			
					31	360	360	360			
					11	431	482	456.5			
					21	401	434	417.5			
	10	138	45	26.8	11	373	387	380	37.5	20	1.875
					21	337	337	337			
					31	337	337	337			
					11	418	462	440			
					21	385	407	396			
					31	346	353	349.5			
15	139	45	26.7	11	302	298	300	44	20	2.2	
				21	302	298	300				
				31	302	298	300				
				11	385	407	396				
				21	346	353	349.5				
				31	302	298	300				

Data Droplet Aquades AC

Suhu	Frek (Hz)	Tu (C)	Td (C)	Tdh (C)	Drata2	dD/dt
50	7	49	26	14.5	346.5	0.4
					334.25	0.41667
	10	49	26	15.1	377.25	0.42188
75	7	74	31	13.1	363.5	0.4375
					453	0.40625
	10	72	31	14.3	467.5	0.4
100	7	100	36	13.5	377.5	0.75
					394.5	0.72115
	10	72	31	14.3	339.25	0.7
150	7	144	42	13.3	319.25	0.78333
					394.5	0.87308
	10	72	30	13.3	415.25	0.76667
100	7	100	36	13.5	439	0.92857
					427.5	1.03125
					416.25	0.9375
					402.75	1.03571
	10	95	36	14.4	398.75	1.07143
					385.5	1.03125
					370.5	1.09375
					355.5	1.21875
	15	96	36	15.4	409.75	1.18182
					399.25	1.29167
					387	1.46429
					373	1.45833
150	7	144	42	13.3	356.5	1.5
					460.75	1.625
					441	1.66667
					420.25	1.79167
	10	139	42	14.4	398.5	1.83333
					376.25	1.875
					464.25	1.77273
					444	1.75
	15	141	44	15.1	423	1.75
					402	1.75
					379	2.08333
					348	2.45455
150	15	141	44	15.1	319.75	2.45833
					289.75	2.54167
					258.25	2.70833
					223	3.16667

Data Droplet Aquades NAC

Suhu (C)	Frek (Hz)	Tu (C)	Td (C)	Tdh (C)	Drata2	dD/dt
50	7	50	31	26.1	415.25	0.325
	10	50	31	25.4	408	0.33333333
	15	50	30	25.5	411	0.41666667
75	7	74	36	26.4	396.25 376.5	0.65 0.66666667
	10	72	35	26.3	396.5 375.75	0.7 0.68333333
	15	72	35	26.3	454.75 432.25	0.75 0.75
100	7	100	40	26.5	450.75 421	0.98333333 1
	10	93	38	26.5	455 424.5	1 1.03333333
	15	96	40	26.4	481 457.75 433.75	1.15 1.175 1.225
150	7	145	46	26.6	395	1.91666667
					372	1.91666667
					348.75	1.95833333
					325.25	1.95833333
					301	2.08333333
	10	140	45	26.6	434.25	1.875
					411.25	1.95833333
					388.5	1.83333333
					365.75	1.95833333
					342.25	1.95833333
15	140	45	26.5	429.75	2.20833333	
				403.5	2.16666667	
				378	2.08333333	
				352	2.25	
				325	2.25	

LAMPIRAN 7

HASIL PERHITUNGAN

Hasil Perhitungan Aquades AC

Suhu	Frek	DRata2	dd/dt	Tf	ReSc	ShStFDat	ShModDat	ShR_M	RePr	Nustf	Numod	NuR-M
50	7	0.002079	0.4	310.5	6.082964	7.531521	5.144596	5.34563	6.350896	7.471916	4.942593	5.492993
50	7	0.002006	0.41667	310.5	5.974469	7.567974	5.169496	5.285958	6.237622	7.473539	4.943963	5.430692
50	10	0.002264	0.42188	310.5	6.781856	8.972476	5.908682	5.730021	7.080572	8.954302	5.935595	5.894314
50	10	0.002181	0.4375	310.5	6.657117	5.834478	5.843012	5.661414	6.950338	8.902041	5.721225	5.822686
50	15	0.002805	0.40625	310.5	9.163493	7.37193	6.981565	7.039921	9.56711	11.16256	7.204603	7.261911
50	15	0.002718	0.4	310.5	9.020266	6.36392	6.637639	6.961146	9.417575	10.52761	6.738548	7.179666
75	7	0.002367	0.75	325.5	6.473205	8.888676	5.656383	5.560263	6.749674	8.365959	5.631685	5.712321
75	7	0.002265	0.72115	325.5	6.332195	8.1785	5.204457	5.482707	6.602643	7.492782	5.044231	5.631453
75	10	0.002036	0.7	324.5	6.443625	7.419696	4.770008	5.543994	6.719322	6.538712	4.396211	5.695627
75	10	0.001916	0.78333	324.5	6.250802	7.813502	5.023179	5.437941	6.51825	6.927811	4.658252	5.585037
75	15	0.002492	0.76667	324	9.474708	10.55911	6.263004	7.21109	9.880461	9.283758	6.259171	7.434254
75	15	0.002367	0.87308	324	9.23495	11.4238	6.775885	7.079222	9.630435	10.17726	6.862038	7.296739
100	7	0.002634	0.92857	341	6.620141	7.985347	5.032916	5.641078	6.896374	7.128796	4.864876	5.793006
100	7	0.002565	1.03125	341	6.532856	8.636028	5.44302	5.593071	6.805446	7.859362	5.363638	5.742995
100	7	0.002498	0.9375	341	6.446324	7.644331	4.817984	5.545478	6.715304	6.709658	4.579196	5.693417
100	7	0.002417	1.03571	341	6.340927	8.171268	5.150096	5.48751	6.605509	7.291557	4.976569	5.63303
100	10	0.002393	1.07143	338.5	6.953187	8.580381	5.745076	5.824253	7.244258	8.354627	5.671301	5.984342

100	10	0.002313	1.03125	338.5	6.836688	7.984193	5.345892	5.760178	7.122882	7.599225	5.158768	5.917585
100	10	0.002223	1.09375	338.5	6.702359	8.138586	5.449268	5.686297	6.98293	7.752198	5.262916	5.840611
100	10	0.002133	1.21875	338.5	6.565282	8.701556	5.82621	5.610905	6.840114	8.399529	5.702728	5.762063
100	15	0.002459	1.18182	339	10.06731	9.963099	6.399188	7.537021	10.48846	9.300339	6.325361	7.768656
100	15	0.002396	1.29167	339	9.937485	10.61012	6.814761	7.465617	10.35321	10.0318	6.823056	7.694264
100	15	0.002322	1.46429	339	9.783843	11.65901	7.488452	7.381114	10.19314	11.22633	7.635804	7.606226
100	15	0.002238	1.45833	339	9.605245	11.19156	7.188212	7.28288	10.00707	10.63706	7.235326	7.503888
100	15	0.002139	1.5	339	9.390393	11.0021	7.066527	7.164716	9.783229	10.35896	7.046559	7.380776
150	7	0.002765	1.625	366	6.776961	9.064913	5.466443	5.727329	7.05322	7.604273	5.30152	5.879271
150	7	0.002646	1.66667	366	6.630123	8.898817	5.366281	5.646568	6.900397	7.416108	5.170638	5.795218
150	7	0.002522	1.79167	366	6.472263	9.116116	5.49732	5.559745	6.736102	7.63033	5.320341	5.704856
150	7	0.002391	1.83333	366	6.302553	8.845343	5.334035	5.466404	6.559473	7.317711	5.102731	5.60771
150	7	0.002258	1.875	366	6.124076	8.541275	5.150672	5.368242	6.373721	6.961016	4.854384	5.505546
150	10	0.002786	1.77273	363.5	7.574903	10.17075	6.34345	6.166196	7.884206	9.153731	6.359845	6.336313
150	10	0.002664	1.75	363.5	7.407857	9.602407	5.988978	6.074321	7.710339	8.510742	5.913449	6.240687
150	10	0.002538	1.75	363.5	7.230549	9.148239	5.705715	5.976802	7.525792	7.988039	5.550613	6.139185
150	10	0.002412	1.75	363.5	7.048783	8.694071	5.422453	5.876831	7.336603	7.458918	5.183292	6.035132
150	10	0.002274	2.08333	363.5	6.844169	9.757915	6.085968	5.764293	7.123634	8.597441	5.974933	5.917999
150	15	0.002088	2.45455	365.5	8.004472	9.296099	6.512176	6.40246	8.330876	9.175878	6.350491	6.581982
150	15	0.001919	2.45833	365.5	7.672702	8.554464	5.992763	6.219986	7.985577	8.154061	5.643917	6.392067
150	15	0.001739	2.54167	365.5	7.3039	8.014796	5.614587	6.017145	7.601736	7.345122	5.084653	6.180955
150	15	0.00155	2.70833	365.5	6.89546	7.611897	5.332345	5.792503	7.176641	6.651504	4.605201	5.947152
150	15	0.001338	3.16667	365.5	6.407602	7.685244	5.383727	5.524181	6.668889	6.444286	4.462621	5.667889

Hasil Perhitungan Aquades NAC

Suhu	Frek	Drata2	dd/dt	Tf	v [m/s]	ReSc	ShStFdat	ShModDat	ShR_M	RePr	Nustf	Numod	NuR-M
50	7	0.0025	0.325	313.5	0.382	6.3968	9.2652	5.97254	5.5182	6.677	9.3004	6.2109	5.672135
50	10	0.0024	0.3333	313.5	0.457	6.9337	9.3369	6.01874	5.8136	7.237	9.3298	6.2289	5.980374
50	15	0.0025	0.4167	313	0.805	9.2496	14.491	7.24474	7.0873	9.655	11.37	7.6815	7.310084
75	7	0.0024	0.65	328	0.394	6.095	8.149	5.47722	5.3522	6.354	8.1738	5.5181	5.494796
75	7	0.0023	0.6667	328	0.394	5.9411	7.9414	5.33766	5.2676	6.194	7.9046	5.3369	5.406589
75	10	0.0024	0.7	326.5	0.539	7.1589	9.9665	6.10262	5.9374	7.464	9.2461	6.2622	6.105239
75	10	0.0023	0.6833	326.5	0.539	6.969	9.22	5.64556	5.833	7.266	8.3903	5.683	5.996376
75	15	0.0027	0.75	326.5	0.9	9.9113	12.247	7.4991	7.4512	10.33	11.753	7.9531	7.683612
75	15	0.0026	0.75	326.5	0.9	9.663	11.641	7.12806	7.3146	10.07	11.039	7.4703	7.541222
100	7	0.0027	0.9833	343	0.473	6.8504	8.8861	5.75053	5.7677	7.135	8.4996	5.8214	5.924523
100	7	0.0025	1	343	0.473	6.6204	8.4403	5.46202	5.6412	6.896	7.9816	5.4672	5.792801
100	10	0.0027	1	338.5	0.625	8.0041	11.25	6.5382	6.4023	8.339	9.884	6.7769	6.586537
100	10	0.0025	1.0333	338.5	0.625	7.7312	10.845	6.30325	6.2521	8.055	9.4608	6.4873	6.430146
100	15	0.0029	1.15	341	0.957	10.116	11.138	7.70715	7.5639	10.54	11.982	8.1561	7.796091
100	15	0.0027	1.175	341	0.957	9.8687	10.83	7.49405	7.4278	10.28	11.588	7.888	7.654274
100	15	0.0026	1.225	341	0.957	9.6065	10.699	7.40331	7.2836	10.01	11.407	7.7652	7.50405
150	7	0.0024	1.9167	368.5	0.515	6.2881	8.6341	5.58945	5.4584	6.544	7.8569	5.4906	5.599201
150	7	0.0022	1.9167	368.5	0.515	6.1023	8.1314	5.26399	5.3562	6.351	7.2895	5.0945	5.492843
150	7	0.0021	1.9583	368.5	0.515	5.9085	7.7889	5.04228	5.2497	6.149	6.9042	4.8256	5.381931
150	7	0.002	1.9583	368.5	0.515	5.7059	7.264	4.70251	5.1383	5.938	6.3069	4.4086	5.266
150	7	0.0018	2.0833	368.5	0.515	5.4891	7.1515	4.62968	5.019	5.713	6.186	4.3246	5.141889
150	10	0.0026	1.875	365.5	0.709	7.787	10.103	6.32165	6.2828	8.105	9.1106	6.3579	6.457486
150	10	0.0025	1.9583	365.5	0.709	7.578	9.9927	6.25291	6.1679	7.887	9.006	6.2854	6.337835
150	10	0.0023	1.8333	365.5	0.709	7.3654	8.8374	5.52996	6.051	7.666	7.7167	5.386	6.216146

150	10	0.0022	1.9583	365.5	0.709	7.1465	8.8871	5.5611	5.9306	7.438	7.7594	5.4162	6.090838
150	10	0.0021	1.9583	365.5	0.709	6.9131	8.3161	5.20379	5.8022	7.195	7.1058	4.9605	5.957235
150	15	0.0026	2.2083	365.5	1.007	9.2346	11.775	7.36835	7.079	9.611	10.859	7.5749	7.286117
150	15	0.0024	2.1667	365.5	1.007	8.9481	10.847	6.78774	6.9214	9.313	9.8292	6.857	7.12213
150	15	0.0023	2.0833	365.5	1.007	8.6607	9.771	6.11421	6.7634	9.014	8.6229	6.016	6.957637
150	15	0.0021	2.25	365.5	1.007	8.3576	9.8269	6.14915	6.5967	8.698	8.6674	6.0476	6.784099
150	15	0.002	2.25	365.5	1.007	8.0306	9.0731	5.67748	6.4168	8.358	7.7881	5.4346	6.596958



Hasil Perhitungan Gula 5% AC

Suhu	Frek	DRata2	dD/dt	Tf	v [m/s]	ReSc	ShStFdat	ShModDat	ShR_M	RePr	Nustf	Numod	NuR-M
50	7	0.003	0.342	311	0.40859	7.3544	9.5443	6.13147	6.04494	7.678	9.6581	6.4126	6.22289
50	10	0.0024	0.392	311	0.46647	7.0567	9.1605	5.66927	5.88117	7.3671	8.5987	5.7235	6.05192
50	15	0.0022	0.492	311	0.68722	8.1403	9.9128	6.42656	6.47715	8.4984	9.7687	6.4803	6.67413
75	7	0.0028	0.65	326	0.44015	7.0316	8.8689	5.90181	5.86736	7.3316	8.9774	6.0308	6.03239
75	7	0.0027	0.65	326	0.44015	6.8831	8.4983	5.65525	5.78571	7.1768	8.4973	5.7087	5.94726
75	10	0.0027	0.65	325	0.50443	7.4707	9.0276	6.08133	6.10887	7.79	9.2818	6.2256	6.28451
75	10	0.0026	0.633	325	0.50443	7.3117	8.4258	5.67594	6.02145	7.6243	8.5015	5.7026	6.19335
75	15	0.0028	0.8	325	0.8886	9.9398	11.527	7.52312	7.46688	10.365	11.779	7.9105	7.70058
75	15	0.0026	0.833	325	0.8886	9.6712	11.367	7.41874	7.31914	10.085	11.54	7.7508	7.54653
100	7	0.0025	1.033	340.5	0.44632	6.4265	8.0606	5.52708	5.5346	6.6949	8.0644	5.478	5.68218
100	7	0.0023	1.083	340.5	0.44632	6.1758	7.8041	5.3512	5.3967	6.4337	7.688	5.2229	5.53852
100	10	0.0027	0.983	339	0.53817	7.3379	8.4847	5.94901	6.03587	7.6449	8.8518	5.9969	6.2047
100	10	0.0025	0.983	339	0.53817	7.0907	7.9226	5.55486	5.89988	7.3873	8.0875	5.4797	6.06302
100	15	0.0026	1.317	338.5	1.09756	10.29	12.067	7.56451	7.65976	10.721	11.514	7.8392	7.89668
100	15	0.0023	1.367	338.5	1.09756	9.795	11.348	7.11381	7.38722	10.205	10.593	7.2131	7.61274
150	7	0.0027	1.75	365.5	0.50493	6.646	9.0942	5.81338	5.65531	6.917	8.2807	5.7585	5.80437
150	7	0.0025	1.725	365.5	0.50493	6.3806	8.2627	5.28184	5.50936	6.6408	7.3049	5.0805	5.65246
150	7	0.0022	1.875	365.5	0.50493	6.0935	8.1912	5.23611	5.35145	6.342	7.1721	4.9887	5.48812
150	10	0.0028	1.75	364	0.62135	7.6287	9.8716	6.38795	6.1958	7.9401	9.2956	6.4526	6.36706
150	10	0.0026	1.725	364	0.62135	7.3425	9.0141	5.83311	6.03839	7.6422	8.2821	5.7496	6.20323
150	10	0.0024	1.95	364	0.62135	7.0272	9.3335	6.03974	5.86496	7.314	8.6073	5.976	6.02272
150	15	0.0028	2.025	365	0.9324	9.246	10.63	7.22999	7.08529	9.6231	10.702	7.4152	7.29272
150	15	0.0025	2.15	365	0.9324	8.8204	10.271	6.98596	6.85124	9.1802	10.22	7.0821	7.04913
150	15	0.0023	2.1	365	0.9324	8.365	9.0229	6.13711	6.60078	8.7063	8.6275	5.9794	6.78845

Hasil Perhitungan Gula 5% NAC

Suhu	Frek	DRata2	dD/dt	Tf	v [m/s]	ReSc	ShStFDat	ShModDat	ShR_M	RePr	Nustf	Numod	NuR-M
50	7	0.0025	0.283333	313	0.4045	6.6315	8.311	5.55228	5.6473	6.9219	8.523	5.67487	5.80704
50	10	0.0023	0.333333	313	0.48376	6.8804	8.801	5.87966	5.7842	7.18174	8.984	5.98099	5.94996
50	15	0.0023	0.408333	313.5	0.85493	9.1429	10.79	6.83599	7.0286	9.54285	10.55	7.04311	7.24857
75	7	0.0024	0.616667	328	0.41344	6.3316	8.012	5.32687	5.4824	6.60086	7.907	5.33923	5.63047
75	7	0.0023	0.633333	328	0.41344	6.1841	7.85	5.21896	5.4013	6.44712	7.669	5.1787	5.54591
75	10	0.0025	0.6	325.5	0.56233	7.5898	9.249	5.91114	6.1744	7.91394	8.944	6.03566	6.35267
75	10	0.0024	0.633333	325.5	0.56233	7.4226	9.337	5.96761	6.0824	7.73957	9.013	6.08273	6.25676
75	15	0.0024	0.85	326.5	0.94574	9.49	12.22	7.39565	7.2195	9.89464	11.43	7.73812	7.44205
75	15	0.0022	0.883333	326.5	0.94574	9.1738	11.86	7.18201	7.0456	9.56494	10.95	7.41475	7.26072
100	7	0.0026	1.016667	342	0.50225	6.9108	8.835	5.85602	5.8009	7.19878	8.712	5.95317	5.95933
100	7	0.0024	0.983333	342	0.50225	6.6652	7.949	5.26862	5.6659	6.94297	7.586	5.18392	5.81863
100	10	0.0025	1.033333	339.5	0.66246	7.925	9.8	6.22775	6.3587	8.2563	9.309	6.35889	6.54097
100	10	0.0023	1.083333	339.5	0.66246	7.6218	9.503	6.03902	6.192	7.94041	8.9	6.07997	6.36722
100	15	0.0028	1.133333	340	1.01446	10.341	11.97	7.47297	7.6874	10.7727	11.52	7.87148	7.92499
100	15	0.0026	1.183333	340	1.01446	9.9523	11.57	7.22759	7.4738	10.3681	11.01	7.52752	7.70248
150	7	0.0027	1.8	367.5	0.54996	6.9496	9.303	6.09603	5.8223	7.23267	8.842	6.16779	5.97797
150	7	0.0025	1.775	367.5	0.54996	6.6679	8.445	5.53379	5.6673	6.93943	7.805	5.44485	5.81668
150	7	0.0023	1.825	367.5	0.54996	6.3716	7.928	5.19522	5.5044	6.63104	7.148	4.98772	5.64707
150	10	0.0026	1.95	364.5	0.7536	8.0743	10.65	6.75031	6.4409	8.40377	9.93	6.91832	6.62208
150	10	0.0024	1.875	364.5	0.7536	7.7128	9.343	5.92257	6.2421	8.02757	8.394	5.84906	6.41516
150	10	0.0022	2.15	364.5	0.7536	7.3132	9.632	6.1057	6.0223	7.61164	8.64	6.02115	6.1864
150	15	0.0025	2.2	365	1.07262	9.4099	11.48	7.2024	7.1755	9.79375	10.59	7.38019	7.38656
150	15	0.0022	2.325	365	1.07262	8.886	10.82	6.78764	6.8873	9.24847	9.753	6.79911	7.08666
150	15	0.0019	2.475	365	1.07262	8.2942	10.03	6.2951	6.5618	8.63248	8.718	6.07858	6.74786