



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**LAJU PENGUAPAN TETESAN PERTAMAX  
PADA TEMPERATUR 50<sup>0</sup>C DAN 75<sup>0</sup>C**

**SKRIPSI**

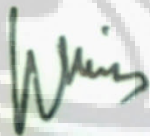
**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar  
Sarjana Teknik**

**WIWIEN  
0606042185**

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA  
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
DEPOK  
DESEMBER 2010**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

**Nama** : WIWIEN  
**NPM** : 0606042185  
**Tanda Tangan** :   
**Tanggal** : Desember 2010

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Wiwien

NPM : 0606042185

Program Studi : Teknik Mesin

Judul Skripsi : **LAJU PENGUAPAN TETESAN PERTAMAX  
PADA TEMPERATUR 50<sup>0</sup>C DAN 75<sup>0</sup>C**

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. E. A. Kosasih, MT

Penguji : Dr. Ir. Warjito, Meng

Penguji : Ir. Imansyah Ibnu Hakim, Meng

Penguji : Ir. Rusdy Malin, MME

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : Desember 2010

## UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan YME, karena atas berkat dan anugerah-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, skripsi yang saya tulis ini bukan merupakan suatu yang *instant*. Itu buah dari suatu proses yang panjang, menyita segenap tenaga dan pikiran. Yang pasti, tanpa segenap motivasi, kesabaran, kerja keras, dan do'a – mustahil saya sanggup untuk menjalani tahap demi tahap dalam kehidupan akademik saya di Teknik Mesin-UI. 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 Tuhan YME senantiasa melimpahkan rahmat dan hidayah pada kita semua. Amin.

Depok, Desember 2010

Penulis

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

---

---

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

Nama : Wiwien  
NPM : : 0606042185  
Program Studi : Teknik Mesin  
Departemen : Mesin  
Fakultas : Teknik  
Jenis karya : Skripsi

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

**LAJU PENGUAPAN TETESAN PERTAMAX  
PADA TEMPERATUR 50<sup>0</sup>C DAN 75<sup>0</sup>C**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non eksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih media/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 : Desember 2010

Yang menyatakan



( Wiwien )

## ABSTRAK

**Wiwien**  
**NPM 06 06 04 21 85**  
**Departemen Teknik Mesin**

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

### **LAJU PENGUAPAN TETESAN PERTAMAX PADA TEMPERATUR 50<sup>0</sup>C DAN 70<sup>0</sup>C**

#### **ABSTRAK**

Penting untuk mengetahui laju penguapan *droplets* untuk meningkatkan efisiensi pada mesin pembakaran dalam. K. Luo dan H. Pitsch melakukan penelitian tentang laju penguapan *droplet* dan pembakaran di dalam pembakar yang berputar. S de Chaisemartin et. all melakukan simulasi pembakaran turbulen menggunakan *software* DNS.

Banyak penelitian ataupun simulasi menggunakan *software* Fluent dan DNS yang menggunakan model analogi Ranz-Marshall pendekatan stagnan film sebagai dasar untuk menghitung laju perpindahan panas dan massa. Penelitian ini menggunakan pertamax yang memiliki bilangan Lewis 4,0-4,2 bertujuan untuk mengetahui apakah model analogi tersebut dapat dipakai dan membandingkannya dengan model analogi E. A. Kosasih.

Penelitian ini menggunakan alat suntik yang berisi bahan bakar pertamax. Bahan bakar ditetaskan pada *wire-probe thermocouple*, kemudian dialirkan udara dengan kecepatan aliran bervariasi pada temperatur 50<sup>0</sup>C dan 75<sup>0</sup>C. Setelah dianalisa akan didapat hubungan antara bilangan Reynold (Re), Prandtl (Pr), Schmidt (Sc), Nusselt (Nu) dan bilangan Sherwood (Sh). Model analogi E. A. Kosasih memiliki korelasi yang lebih baik dibandingkan dengan model film stagnan.

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

## ***ABSTRACT***

**Wiwien**  
**NPM 06 06 04 21 85**  
**Mechanical Engineering Department**

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

### **EVAPORATION OF PERTAMAX DROPLETS AT TEMPERATURE 50<sup>0</sup>C AND 75<sup>0</sup>C**

#### ***ABSTRACT***

It is important to know the evaporation rate of droplets to improve the efficiency of internal combustion engines. K. Luo and H. Pitsch doing research on the rate of droplet evaporation and swirling combustion. S de Chaisemartin et. all turbulent combustion simulation using DNS software. Many studies or simulations using Fluent software and DNS that uses the analogy of Ranz-Marshall model of stagnant film approach as the basis for calculating the rate of heat transfer and mass. This study uses a number pertamax 4,0-4,2 Lewis aims to determine whether the model can be used and compare with the model analogy E. A. Kosasih.

This research is using a nozzle filled with pertamax. After the solution is injected on wire probe thermocouple, then air flow is given with variation of velocity at temperature 50<sup>0</sup>C and 75<sup>0</sup>C. After being analized, the relations between Reynold number (Re), Prandtl (Pr), Schmidt (Sc), Nusselt (Nu) and Sherwood number (Sh) will be found. The modification model E. A. Kosasih has better correlation than stagnant film model.

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

# DAFTAR ISI

UNIVERSITAS INDONESIA .....	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 PERUMUSAN MASALAH .....	2
1.3 BATASAN MASALAH .....	2
1.4 TUJUAN PENELITIAN .....	2
1.5 METODOLOGI PENELITIAN .....	3
1.6 SISTEMATIKA PENULISAN .....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	5
2.1 PRINSIP DASAR .....	5
2.2 PERPINDAHAN MASSA .....	5
2.2.1 Koefisien Perpindahan Massa .....	5
2.2.2 Difusi Dalam Gas .....	6
2.2.3 Fluks Perpindahan Massa (Rx) .....	6
2.3 PERPINDAHAN KALOR .....	7
2.3.1 Konveksi .....	7
2.3.2 Konduksi .....	7
2.3.3 Radiasi .....	8
2.3.4 Fluks Perpindahan Panas .....	8
2.3.5 Kalor Laten Penguapan .....	8
2.4 KARAKTERISTIK UDARA .....	9
2.5 LAPIS BATAS .....	11



2.5.1 Lapis Batas Konsentrasi .....	11
2.5.2 Lapis Batas Termal .....	12
2.5.3 Lapis Batas Hidrodinamik .....	12
2.6 BILANGAN TAK BERDIMENSI .....	13
2.6.1 Bilangan Reynolds .....	13
2.6.2 Bilangan Schmidt .....	14
2.6.3 Bilangan Prandtl .....	14
2.6.4 Bilangan Nusselt .....	15
2.6.5 Bilangan Sherwood .....	15
2.6.6 Bilangan Lewis .....	15
2.7 PERSAMAAN RANZ – MARSHALL .....	16
2.8 MODEL ANALOGI FILM STAGNAN .....	16
2.8.1 Bilangan Nusselt Model Analogi Film stagnan .....	17
2.8.2 Sherwood Model Film stagnan ( $Sh_{stF}$ ) .....	18
2.9 MODEL ANALOGI PENDEKATAN BARU FILM STAGNAN .....	18
2.9.1 Sherwood Model Pendekatan Baru ( $Sh_{Mod}$ ) .....	19
2.9.2 Bilangan Nusselt Model Pendekatan Baru .....	20
BAB III METODE PENELITIAN.....	21
3.1 PRINSIP KERJA ALAT UJI .....	21
3.2 KOMPONEN ALAT UJI .....	22
3.2.1 <i>Blower</i> .....	22
3.2.2 <i>Heater</i> .....	22
3.2.3 <i>Pyrex</i> .....	23
3.2.4 <i>Digital Controller</i> .....	23
3.2.5 <i>Temperature Display</i> .....	24
3.2.6 <i>Feeder</i> .....	25
3.2.7 <i>Inverter</i> .....	25
3.3 PROSEDUR KALIBRASI DAN PENGAMBILAN DATA .....	26
3.3.1 Pengambilan Data Tetesan .....	26
3.3.2 Pengambilan Data Kecepatan .....	26
3.3.3 Pengolahan Data Tetesan .....	31
3.3.4 Pengolahan Data Kecepatan .....	32
3.4 PERHITUNGAN DATA .....	34
BAB IV ANALISA DAN HASIL.....	48
4.1 ANALISA PERBANDINGAN NILAI SHERWOOD ANTAR MODEL .....	48
4.2 ANALISA PERBANDINGAN NILAI NUSSELT ANTAR MODEL .....	49

4.3ANALISA PERBANDINGAN DIAMETER TERHADAP WAKTU .....	43
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....	53
5.1 KESIMPULAN .....	53
5.2 SARAN .....	53
DAFTAR PUSTAKA .....	55
LAMPIRAN.....	57



## DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1 Lapis Batas .....	11
Gambar II.2 Lapis Batas Konsentrasi .....	11
Gambar II.3 Lapis Batas Termal .....	12
Gambar II.4 Lapis Batas Hidrodinamik .....	12
Gambar II.5 Model Film Stagnan .....	17
Gambar III.1 Alat Uji .....	21
Gambar III.2 <i>Blower</i> .....	22
Gambar III.3 <i>Heater</i> .....	22
Gambar III.4 <i>Pyrex</i> .....	23
Gambar III.5 <i>Digital Controller</i> .....	23
Gambar III.6 <i>Skema Auto Tuning</i> .....	24
Gambar III.7 <i>Temperature Display</i> .....	25
Gambar III.8 <i>Feeder</i> .....	25
Gambar III.9 <i>Display Inverter ST200</i> .....	26
Gambar III.10 Posisi <i>Feeder</i> dan Tetesan .....	27
Gambar III.11 Panel Sistem Listrik .....	27
Gambar III.12 Tetesan .....	28
Gambar III.13 Rangkaian Baterai .....	29
Gambar III.14 <i>High Speed Camera</i> .....	30
Gambar III.15 Kawat Tembaga .....	31
Gambar III.16 Diameter Bola Asap .....	33
Gambar III.17 Diameter Tetesan Pertamina .....	34
Gambar IV.1 Perbandingan Nilai Sherwood antar Model pada Pertamina .....	48
Gambar IV.2 Perbandingan Nilai Nusselt antar Model pada Pertamina .....	50
Gambar IV.3 Perbandingan Diameter Tetesan pada Temperatur 50°C .....	51
Gambar IV.4 Perbandingan Diameter Tetesan pada Temperatur 75°C .....	52

## DAFTAR TABEL

Tabel II.1 Kondisi Aliran Fluida.....	14
Tabel IV.1 Hasil Perhitungan Sherwood .....	49
Tabel IV.2 Hasil Perhitungan Nusselt.....	50



## DAFTAR LAMPIRAN

**Lampiran 1** TABEL SIFAT UDARA PADA TEKANAN ATMOSFER

**Lampiran 2** TABEL EMISSIVITAS PERMUKAAN

**Lampiran 3** TABEL DIFFUSIVITAS ATOM

**Lampiran 4** TABEL PROPERTIES

**Lampiran 5** TABEL PROPERTIES

**Lampiran 6** DATA PENGUJIAN

**Lampiran 7** DATA HASIL PERHITUNGAN



## DAFTAR NOTASI

Simbol	Keterangan	Dimensi
$h$	Entalpi udara basah	[KJ/kg]
$h_{da}$	Entalpi udara kering	[KJ/kg]
$h_w$	Entalpi uap air	[KJ/kg]
$h_f$	Entalpi spesifik fasa fluida	[KJ/Kg]
$h_g$	Entalpi spesifik fasa uap	[KJ/Kg]
$h_{fg}$	Selisih entalpi spesifik fasa fluida dan uap	[KJ/Kg]
$\rho$	Massa jenis	[Kg/m <sup>3</sup> ]
$g$	Percepatan gravitasi	[m/s <sup>2</sup> ]
$P$	Tekanan atmosfer udara basah	[Pa]
$V$	Volume udara basah	[m <sup>3</sup> ]
$m$	Massa udara basah	[Kg]
$R_a$	Konstanta gas	[KJ/kg.K]
$T$	Temperatur udara	[K]
$T_s$	Temperatur permukaan	[°C]
$T_\infty$	Temperatur ambien	[°C]
$m_{da}$	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]
$R_{da}$	Tetapan gas untuk udara kering = 287	[J/Kg.K]
$R_v$	Tetapan gas untuk uap air = 461,5	[J/Kg.K]
$q$	Laju perpindahan kalor	[KJ/s]
$k$	Konduktivitas termal	[W/m.°C]

$A$	Luas penampang	$[m^2]$
$\sigma$	Konstanta stefant boltzman	$[W/m^2 K^4]$
$T_u$	Temperatur sumber radiasi	$[K]$
$T_d$	Temperatur <i>droplet</i>	$[K]$
$Q_{konveksi}$	Radiasi	$[Watt]$
$m$	Fluks massa difusi komponen A	$[Kg/s]$
$k_c$	Koefisien konveksi massa	$[m/s]$
$\rho_s$	Berat jenis uap pada permukaan	$[Kg/m^3]$
$\rho_\infty$	Berat jenis invinite	$[Kg/m^3]$
$D$	Difusivitas	$[m^2/s]$
$d$	Diameter dalam lapisan air	$[m]$
$\tau$	Tegangan geser	$[N/m^2]$
$\mu$	Viskositas dinamik	$[Ns/m^2]$
$u$	Kecepatan fluida	$[m/s]$
$P_c$	Tekanan Kritis	$[bar]$
$T_c$	Temperatur kritis	$[K]$
$T_{br}$	perbandingan temperatur boiling dengan kritis	$[K]$
$T_r$	perbandingan temperatur droplet dengan kritis	$[K]$
$\omega$	Faktor assentrik	
$Sh$	Bilangan Sherwood	
$Nu$	Bilangan Nusselt	
$Le$	Bilangan Lewis	
$Pr$	Bilangan Prandtl	

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Prinsip dasar proses pembakaran pada mesin motor bakar bensin yakni terjadinya pembakaran dari hasil penyalaan percikan bunga api dari busi (*Spark Plug*) dengan campuran uap bensin dan udara yang terkompresi oleh *piston*. Proses pembakaran uap bensin terjadi sebelum *piston* mencapai bagian atas silinder TDC (*Top Dead Center*), sangat penting untuk mengetahui laju penguapan bahan bakar agar terjadi pembakaran bahan bakar yang baik yang menghasilkan energi yang maksimal.

Banyak peneliti masih menggunakan analogi Ranz W E & Marshall W R atau analogi Film stagnan untuk menghitung nilai laju penguapan yang terjadi. Bahkan di salah satu software yang sering digunakan untuk simulasi combustion yaitu Fluent dan DNS, juga masih menggunakan analogi tersebut. K. Luo dan H. Pitsch yang menggunakan software DNS untuk penelitian laju penguapan tetesan didalam pembakar yang berputar dan S de Chaisemartin melihat simulasi semprotan campuran cairan turbulen yang menggunakan analogi Ranz-Marshall pendekatan film stagnan untuk menghitung laju perpindahan panas dan massa.

Telah banyak dilakukan penelitian terhadap proses penguapan pada 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.

Di dalam disertasinya, E. A. Kosasih (2006) melakukan konfirmasi terhadap kedua analogi tersebut dengan menggunakan data hasil penelitian Walton (2004). Beliau menyimpulkan bahwa analogi Ranz-Marshall dan analogi Film stagnan memiliki perhitungan yang jauh melenceng, maka E. A. Kosasih membuat analogi baru yang memasukkan faktor koreksi pada parameter perpindahan panas dan massa.



## 1.2 Perumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan dibahas pada penelitian ini, yakni mengetahui laju penguapan pada bahan bakar Pertamax yang diproduksi oleh PT. PERTAMINA. Laju penguapan akan diuji dengan menggunakan *droplet* dari bahan bakar tersebut pada saat tetesan yang dialiri oleh udara panas dengan variasi temperatur yaitu 50°C dan 75°C. Penelitian ini juga menggunakan variasi kecepatan aliran udara 0,33 – 1,20 M/s.

## 1.3 Batasan Masalah

Untuk mendapatkan karakteristik laju penguapan Pertamax, maka batasan masalah yang digunakan sebagai berikut :

1. Bahan bakar yang dipakai adalah Pertamax
2. Asumsi tetesan (*droplet*) yang terbentuk adalah berbentuk bola
3. Diameter tetesan (*droplet*) yang digunakan berada pada nilai 0.7-1.3 mm
4. Variasi temperatur yang digunakan adalah 50 °C dan 75 °C karena pertamax mulai menguap pada temperatur 50 °C dan 10 persen volume penguapannya pada saat temperatur 75°C
5. Variasi kecepatan aliran udara berkisar antara 0.33 s/d 1.20 M/s agar nilai Reynolds yang didapat tidak lebih dari 200

## 1.4 Tujuan Penelitian

Meninjau hasil perhitungan model analogi Ranz-Marshall dan film stagnan untuk bahan uji Pertamax yang memiliki nilai bilangan Lewis 4.0-4.2. bilangan Lewis berguna untuk menggambarkan karakteristik aliran fluida dimana terjadi perpindahan kalor dan perpindahan massa secara simultan yang disebabkan oleh konveksi, serta membandingkannya dengan model analogi E. A. Kosasih. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui laju penguapan tetesan (*droplet*) pertamax dengan variasi kecepatan aliran udara pada temperatur 50°C dan 75°C.

## 1.5 Metodologi Penelitian

Tahapan-tahapan yang dilakukan 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. Alat uji tetesan

Merakit ulang alat uji 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 udara, temperatur udara, temperatur tetesan (*droplet*) dan foto dari tetesan dalam periode tertentu. Tetesan kemudian difoto menggunakan kamera lensa makro Nikon D70 dengan jarak fokus 60mm, untuk selanjutnya dikalibrasi menggunakan foto *feeder* sehingga didapat data diameter tetesan.

Proses pengambilan data laju penguapan yaitu dengan pengambilan gambar tetesan dari selang waktu sejak awal ditetaskan sampai periode yang diinginkan sehingga dapat diketahui pengurangan diameter tetesan (*droplet*). Pengambilan data gambar divariasikan terhadap temperatur dan kecepatan aliran. Data ini pakai untuk menganalisa dengan menggunakan metode perpindahan panas (*heat transfer*) dan perpindahan massa (*mass transfer*) penguapan tetesan (*droplet evaporation*) yang akan dikorelasikan dengan perhitungan berupa rumus umum empiris, *stagnant film model* dan pendekatan baru pada *stagnant film model* (E. A. Kosasih, 2006) serta pendekatan secara eksperimental.

Proses pengambilan data kecepatan aliran udara didapat dengan mengambil gambar aliran asap dari oli yang terbakar didalam pipa pyrex. Kawat yang dicelupkan kedalam oli kemudian dimasukkan kedalam pipa pyrex dan dialiri listrik menggunakan battery berkapasitas 1.5 Volt dari selang waktu yang diinginkan. Pengambilan data gambar divariasikan temperatur dan kecepatan aliran udara.

## 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.

## **1.6 Sistematika Penulisan**

Agar tujuan laporan tugas akhir ini dapat tercapai, maka penulisan tugas akhir ini mengikuti sistematika penulisan sebagai berikut :

### **BAB I PENDAHULUAN**

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

### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

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 tetesan (*droplet*) dan asap sampai menghasilkan data diameter tetesan, kecepatan aliran dan contoh perhitungan data.

### **BAB IV ANALISA DATA**

Bab ini membahas mengenai analisa data hasil pengujian sehingga diperoleh grafik laju penguapan tetesan (*droplet*) pada berbagai variasi temperatur 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 TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 PRINSIP DASAR

Terjadinya proses pembakaran pada mesin motor bakar besin dari hasil penyalaan percikan bunga api dari busi (*Spark Plug*) dengan campuran uap bensin dan udara yang terkompresi oleh *piston*. Proses pembakaran meliputi perpindahan panas dan massa secara transien serta beberapa laju proses, seperti transformasi fisik atau kimia.

Hal ini berguna untuk mengetahui distribusi konsentrasi tekanan uap didalam ruang bakar untuk dapat melihat distribusi laju penguapan. Pada proses pembakaran, masuknya bahan bakar yang disemprotkan oleh *nozzle* akan masuk dalam bentuk droplet agar mudah untuk menguap dikarenakan yang akan terbakar lebih dahulu adalah bahan bakar yang berbentuk uap. *Droplet* yang sudah masuk keruang bakar akan menguap dan tersulut oleh api yang dihasilkan oleh *spark plug*. Hal yang harus diperhatikan agar mengetahui laju penguapan dengan model film stagnan E. A. Kosasih (E.A Kosasih) dengan acuan analogi Ranz-Marshall adalah perpindahan kalor dan perpindahan massa.

### 2.2 PERPINDAHAN MASSA

#### 2.2.1 Koefisien Perpindahan Massa

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

$$m = k_c A (\rho_s - \rho_\infty) \quad (2.1)$$

$$k_c = \frac{Sh.D}{d} \quad (2.2)$$

- $m$  = fluks massa difusi komponen A [kg/s]
- $k_c$  = koefisien konveksi massa [m/s]
- $\rho_s$  = berat jenis uap pada permukaan [kg/m<sup>3</sup>]
- $\rho_\infty$  = berat jenis invinite [kg/m<sup>3</sup>]

$Sh$	= bilangan Sherwood
$D$	= difusivitas [ $m^2/s$ ]
$d$	= diameter dalam lapisan air [m]
$A$	= luas permukaan yang dibasahi air ( $\pi dL$ ) [ $m^2$ ]

### 2.2.2 Difusi Dalam Gas

Pada perhitungan difusi gas menggunakan rumus yang diusulkan oleh Fuller et al. :

$$D_{ab} = \frac{0,00143T^{1,75}}{PM_{ab}^{1/2} [(\sum_{va})^{1/3} + (\sum_{vb})^{1/3}]^2} \quad (2.3)$$

$P$  = tekanan kritis (bar)

$M_{ab}$  = berat molekul rata-rata (Kg/mol)

$\sum_v$  = nilai schoreder

$T$  = temperatur droplet (K)

Laju difusi molal :

$$N = \frac{\dot{m}}{M} \quad (2.4)$$

$$N = \frac{-dm/dt}{18.A} \quad (2.5)$$

Dimana  $\frac{-dm}{dt} = \rho \frac{-dV}{dt}$  (2.6)

Dan  $\frac{-dv}{dt} = Ax \frac{-dr}{dt}$  (2.7)

$N$  = laju difusi molal [mol/s]

$M$  = berat molekul [kg]

$m$  = laju massa aliran (kg/s)

### 2.2.3 Fluks Perpindahan Massa ( $R_x$ )

$$R_x = \frac{x_0 - x_{A\infty}}{1 - x_{A\infty}} \quad (2.8)$$

$R_x$	= fluks perpindahan massa
$x_0$	= fraksi mol uap pada permukaan droplet
$x_{A\infty}$	= fraksi mol uap pada lingkungan

## 2.3 PERPINDAHAN KALOR

### 2.3.1 Konveksi

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

$$q = hA(T_s - T_\infty) \quad (2.9)$$

$h$	= koefisien konveksi [ $\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ ]
$T_s$	= temperatur permukaan [ $^\circ\text{C}$ ]
$T_\infty$	= temperatur ambien [ $^\circ\text{C}$ ]

### 2.3.2 Konduksi

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

$$\frac{q}{A} \sim \frac{\partial T}{\partial x} \quad (2.10)$$

Jika dimasukkan konstanta proporsionalitas maka persamaannya akan menjadi seperti berikut :

$$q = -kA \frac{\partial T}{\partial x} \quad (2.11)$$

$q$	= laju perpindahan kalor [J/s]
$k$	= konduktivitas termal [ $\text{W}/\text{m} \cdot ^\circ\text{C}$ ]
$A$	= luas penampang [ $\text{m}^2$ ]
$T$	= temperatur [ $^\circ\text{C}$ ]
$x$	= jarak (panjang) perpindahan kalor [m]

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

### 2.3.3 Radiasi

Transmisi gelombang, objek atau informasi dari sebuah sumber ke media atau tujuan sekitarnya. Radiasi thermal adalah radiasi elektromagnetik yang dipancarkan suatu benda karena temperatur benda tersebut. Rumus radiasi yang digunakan [5]:

$$\frac{Q}{A} = \alpha \sigma (Tu^4 - Td^4) \quad (2.12)$$

$Q$	= radiasi [W]
$A$	= luas permukaan [ $m^2$ ]
$\alpha$	= absorptivitas
$\sigma$	= konstanta stefant boltzman [ $W/m^2 K^4$ ]
$Tu$	= temperatur sumber radiasi [K]
$Td$	= temperatur <i>droplet</i> [K]

### 2.3.4 Fluks Perpindahan Panas

$$\phi = \frac{-N \times C_{pA}}{h_L} \quad (2.13)$$

$$C_{pA} = cp \times 28,9 \quad (2.14)$$

$R_T$	= fluks perpindahan panas
$\Phi$	= 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]

### 2.3.5 Kalor Laten Penguapan

Kalor laten penguapan pada bahan bakar berbeda dengan kalor laten penguapan pada air, maka dari itu saya menggunakan rumus yang dihasilkan oleh Vetere yang memiliki error dibawah 2 persen. Rumus kalor laten penguapan itu :

$$\Delta H_{vb} = RT_c T_{br} \frac{0.4343 \ln P_c - 0.69431 + 0.89584 T_{br}}{0.37691 - 0.37306 T_{br} + 0.15075 P_c^{-1} T_{br}^{-2}} \quad (2.15)$$

R = tetapan gas universal [J/Kg K]

T<sub>c</sub> = temperatur kritis (K)

T<sub>br</sub> = perbandingan T<sub>d</sub> dan T<sub>c</sub>

P<sub>c</sub> = tekanan kritis [Bar]

## 2.4 KARAKTERISTIK UDARA

Faktor yang sangat berperan penting dalam laju penguapan tetesan adalah udara. Komposisi udara kering 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 bahan bakar pada udara basah adalah 0.

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 :

$$\mathfrak{R} = 8.314,5 \text{ [J/(kmol.K)]} \quad (2.16)$$

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

$$R_i = \frac{\mathfrak{R}}{M_i} \quad (2.17)$$

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

$$R_{da} = \frac{8314,41}{28,9} = 287,7 \text{ [J/kg.K]} \quad (2.18)$$

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

$$R_v = \frac{8314,41}{18} = 461,9 \text{ [J/kg.K]} \quad (2.19)$$

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

$$PV = mR_a T \quad (2.20)$$



$P$	= 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]

Tetapi untuk menghitung  $P_o$  pada bahan bakar maka saya menggunakan rumus yang direkomendasikan oleh lee dan kesler :

$$\ln P_{vp} = f^{(0)} T_r + \omega f^{(1)} T_r \quad (2.21)$$

$$f^{(0)} = 5,92714 - \frac{6,09648}{T_r} - 1,28862 \ln T_r + 0,169347 T_r^6$$

(2.22)

$$f^{(1)} = 15,2518 - \frac{15,6875}{T_r} - 13,4721 \ln T_r + 0,43577 T_r^6$$

(2.23)

$P$	= Tekanan pada permukaan
$f^{(0)}$ dan $f^{(1)}$	= fungsi penambah dari lee dan kessler
$\omega$	= <i>acentric factor</i>

Untuk menghitung *acentric* faktor ( $\omega$ ) maka rumus yang digunakan:

$$\omega = \frac{\alpha}{\beta} \quad (2.24)$$

$\alpha$  dan  $\beta$  = faktor korelasi dengan tekanan

Dimana  $\alpha$  dan  $\beta$  diperoleh dengan menghitung dengan rumus :

$$\alpha = -\ln P_c - 5,97214 + 6,09648 \theta^{-1} + 1,28861 \ln \theta - 0,169347 \theta^6 \quad (2.25)$$

$$\beta = 15,2518 - 15,6875 \theta^{-1} - 13,3721 \ln \theta - 0,43577 \theta^6$$

(2.26)

$P_c$  = tekanan kritis

$\theta$  = perbandingan temperatur *droplet* ( $T_d$ ) dengan temperatur kritis ( $T_c$ )

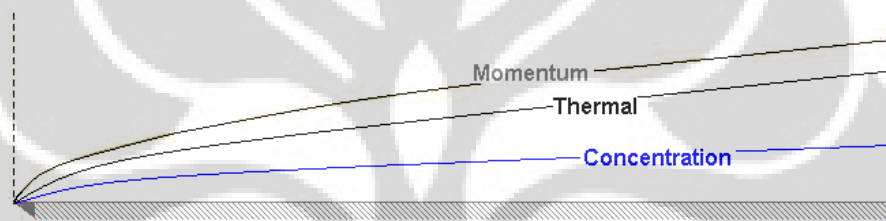
Dimana  $\theta$  adalah hasil pembagian dari temperatur *droplet* dan temperatur kritis bahan bakar yang digunakan :

$$\theta = \frac{T_d}{T_c} \quad (2.27)$$

$T_d$  = Temperatur *droplet* ( $T_d$ )

$T_c$  = temperatur kritis ( $T_c$ )

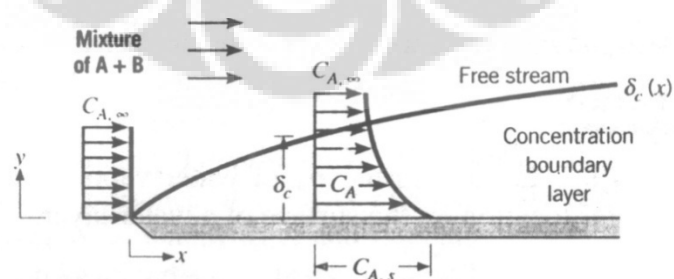
## 2.5 LAPIS BATAS



Gambar II.1 Lapis Batas

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

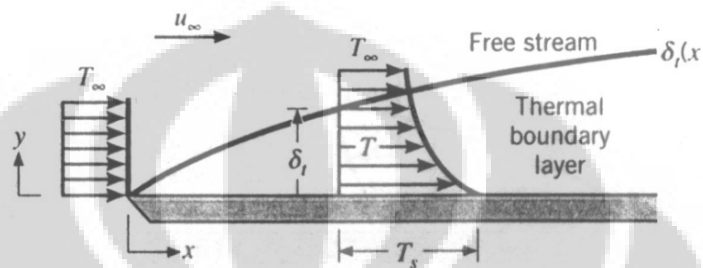
### 2.5.1 Lapis Batas Konsentrasi



Gambar II.2 Lapis Batas Konsentrasi

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

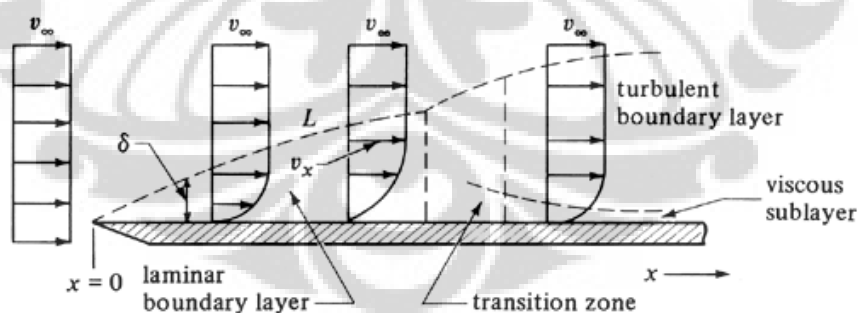
### 2.5.2 Lapis Batas Termal



Gambar II.3 Lapis Batas Termal

Lapis batas termal didefinisikan sebagai daerah dimana terdapat perbedaan temperatur dalam aliran fluida akibat proses pertukaran kalor antara fluida dan dinding.

### 2.5.3 Lapis Batas Hidrodinamik



Gambar II.4 Lapis Batas Hidrodinamik

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)  $\tau$  antara lapisan-lapisan fluida yang dianggap

berbanding dengan gradien kecepatan normal, maka didapat persamaan :

$$\tau = \mu \frac{\partial u}{\partial y} \quad (2.28)$$

$$\begin{aligned} \tau &= \text{tegangan geser [N/m}^2\text{]} \\ \mu &= \text{viskositas dinamik [Ns/m}^2\text{]} \\ u &= \text{kecepatan fluida [m/s]} \end{aligned}$$

## 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, mobil, kapal laut dan sebagainya.

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

### 2.6.1 Bilangan Reynolds

Bilangan Reynolds didefinisikan sebagai perbandingan atau rasio antara gaya inersia dan gaya viskos dan dipakai untuk menentukan apakah suatu aliran laminar, turbulen atau transisi, tetapi tekstur permukaan dan sifat fluida yang mengalir juga menentukan aliran fluida. Namanya diambil dari Osborne Reynolds (1842–1912) yang mengusulkannya pada tahun 1883. Bentuk persamaan tersebut adalah :

$$Re = \frac{\text{gaya inersia}}{\text{gaya viskos}} = \frac{\rho V^2 / L}{\mu V / L^2} = \frac{\rho V L}{\mu} \quad (2.29)$$

$$\begin{aligned} \rho &= \text{massa jenis fluida [kg/m}^3\text{]} \\ V &= \text{kecepatan alir fluida [m/s]} \\ L &= \text{panjang karakteristik, berupa diameter pipa [m]} \\ \mu &= \text{viskositas dinamik [Ns/m}^2\text{]} \end{aligned}$$

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

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	$Re > 3 \times 10^6$	$Re > 4000$

### 2.6.2 Bilangan Schmidt

Bilangan Schmidt adalah bilangan tak berdimensi yang merupakan perbandingan antara viskositas kinematik dengan difusivitas massa. Bilangan Schmidt ( $Sc$ ) adalah suatu nilai atau harga yang digunakan untuk menentukan distribusi konsentrasi pada suatu aliran dan juga digunakan untuk menentukan karakter aliran fluida bila ada momentum secara simultan dan difusi massa selama proses konveksi.

Persamaannya yaitu :

$$Sc = \frac{\nu}{D} \quad (2.30)$$

$\nu$  = viskositas kinematik

$D$  = difusivitas massa

### 2.6.3 Bilangan Prandtl

Bilangan Prandtl ( $Pr$ ) merupakan suatu nilai / harga yang dipakai untuk menentukan distribusi temperatur pada suatu aliran. Ludwig Prandtl mendefinisikan bilangan Prandtl sebagai bilangan tak berdimensi yang merupakan

perbandingan antara viskositas kinematik dengan difusivitas termal. Dalam kasus perpindahan kalor, Pr menentukan ketebalan relatif dari lapisan batas hidrodinamik dan termal *boundary layer*.

Persamaannya yaitu :

$$\text{Pr} = \frac{\nu}{\alpha} \quad (2.31)$$

$\nu$  = viskositas kinematik

$\alpha$  = 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

#### 2.6.4 Bilangan Nusselt

Bilangan Nusselt merupakan bilangan yang menggambarkan karakteristik proses perpindahan panas.

$$\text{Nu}_x = \frac{hx}{k} \quad (2.32)$$

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

$h$  = koefisien perpindahan panas [ $\text{W}/(\text{m}^2 \text{C})$ ]

$k$  = konduktivitas panas udara [ $\text{W}/(\text{m C})$ ]

$n$  = untuk menyatakan *cooling* atau *heating* ( 0,3 atau 0,4)

#### 2.6.5 Bilangan Sherwood

Bilangan Sherwood merupakan bilangan yang menggambarkan gradien konsentrasi yang terjadi pada permukaan.

$$\text{Sh} = \frac{k_c \cdot L}{D_{AB}} \quad (2.33)$$

#### 2.6.6 Bilangan Lewis

Bilangan Lewis merupakan perbandingan antara difusivitas termal dan

difusivitas massa, berguna untuk menentukan karakteristik aliran fluida dimana terjadi perpindahan kalor dan perpindahan massa secara simultan yang disebabkan oleh konveksi.

$$Le = \frac{\alpha}{D_{AB}} \quad (2.34)$$

$$Le = \frac{Sc}{Pr} \quad (2.35)$$

## 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 dan nilai  $Re \leq 200$ .

Berikut adalah pers. Ranz - Marshall :

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

(2.36)

Sehingga dengan analogi untuk perpindahan massa berlaku :

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

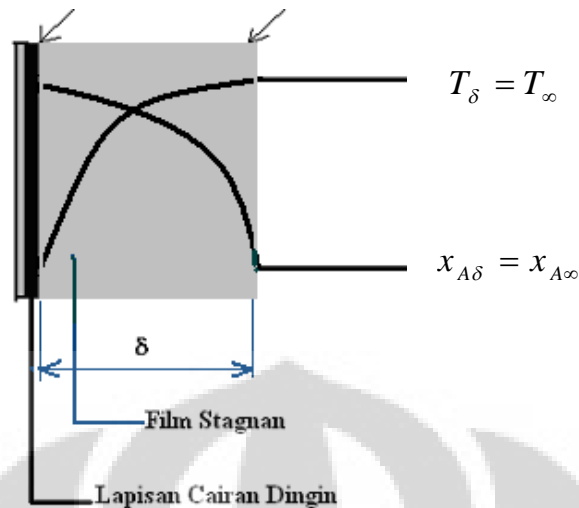
(2.37)

Kedua persamaan ini akan digunakan sebagai dasar dalam menyelesaikan perhitungan 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 FILM STAGNAN

Model analitis ini diturunkan untuk perpindahan panas dan massa yang tinggi disekitar plat datar (koordinat Cartesius).

$$\begin{array}{ll} y = 0 & y = \delta \\ T = T_0 & T = T_\delta \\ x_A = x_{A0} & x_A = x_{A\delta} \end{array}$$



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.

### 2.8.1 Bilangan Nusselt Model Analogi Film stagnan

$$Nu_{StF} = \frac{h_{L\_StF} \times d}{k} \quad (2.38)$$

$$h_{L\_StF} = \frac{h}{\theta_{T\_StF}} \quad (2.39)$$

$$\theta_{T\_StF} = \frac{h}{h_L} \quad (2.40)$$

$$\theta_{T\_StF} = \frac{Ln(1 + R_T)}{R_T} \quad (2.41)$$

$Nu_{StF}$  = bilangan nusselt film stagnan

$h_{L\_StF}$  = 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 [ $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ]

$\theta_{T\_StF}$  = faktor koreksi perpindahan panas



$R_T$  = fluks perpindahan panas

### 2.8.2 Sherwood Model Film stagnan ( $Sh_{StF}$ )

$$Sh_{StF} = \frac{k_{cLStF} \times diameter}{D_{AB}} \quad (2.42)$$

$$k_{cL_{StF}} = \frac{k_c}{\theta_{StF}} \quad (2.43)$$

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

$$\theta_{X_{StF}} = \frac{Ln(1 + R_x)}{R_x} \quad (2.45)$$

$Sh_{StF}$  = bilangan *sherwood* film stagnan

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

$d$  = diameter droplet [m]

$D_{AB}$  = Difusivitas massa

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

$\theta_{X_{StF}}$  = faktor koreksi perpindahan massa

$R_X$  = fluks perpindahan massa

## 2.9 MODEL ANALOGI PENDEKATAN BARU FILM STAGNAN

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.

### 2.9.1 Sherwood Model Pendekatan Baru ( $Sh_{Mod}$ )

$$Sh_{Mod} = \frac{k_{cLMod} \times d}{D_{AB}} \quad (2.46)$$

$$k_{cLMod} = \frac{k_c}{\theta_{Mod}} \quad (2.47)$$

$$\theta_{X_{Mod}} = \frac{k_c}{k_{cL}} \quad (2.48)$$

$$\theta_{X_{Mod}} = \frac{\ln(1 + R_x) - C_1}{R_x} \quad (2.49)$$

$$C_1 = -0,0011 \times (T_{udara} - T_{droplet}) - 1,0082 \times (x_{A\infty} - x_0) \quad (2.50)$$

$Sh_{Mod}$  = bilangan *sherwood* film stagnan

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

$d$  = diameter droplet [m]

$D_{AB}$  = Difusivitas massa

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

$\theta_{X_{Mod}}$  = faktor koreksi perpindahan massa

$R_x$  = fluks perpindahan massa

$C_1$  = parameter perpindahan massa

### 2.9.2 Bilangan Nusselt Model Pendekatan Baru

$$Nu_{Mod} = \frac{h_{LMod} \times diameter}{k} \quad (2.51)$$

$$h_{LMod} = \frac{h}{\theta_{T\_Mod}} \quad (2.52)$$

$$\theta_{T\_Mod} = \frac{h}{h_L} \quad (2.53)$$

$$\theta_{T\_Mod} = \frac{Ln(1 + R_T)}{R_T} + \frac{C_{pA}}{k \times R_T} \cdot C_2 \quad (2.54)$$

$$C_2 = 0,4633E^{-09} \times (T_{udara} - T_{droplet}) + 0,16E^{-06} \times (x_{A\infty} - x_0) \quad (2.55)$$

$Nu_{Mod}$  = bilangan nusselt film stagnan

$h_{L\_Mod}$  = 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 [ $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ]

$\theta_{T\_Mod}$  = faktor koreksi perpindahan panas

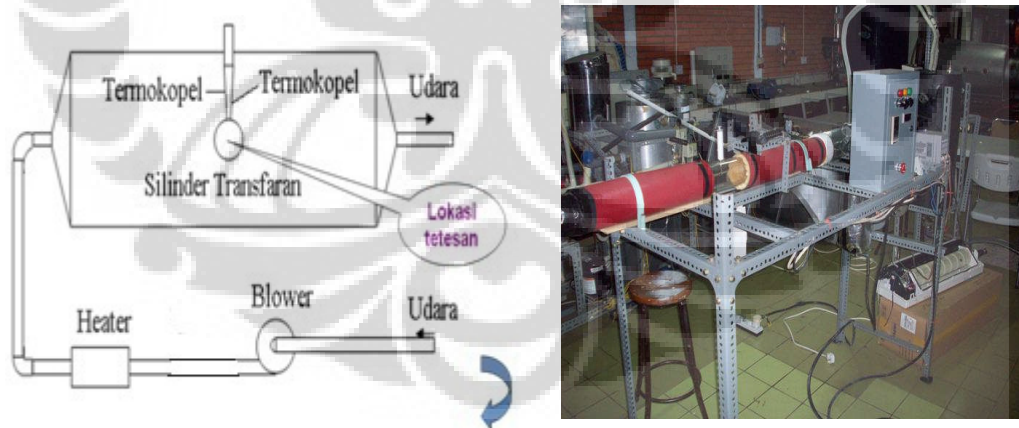
$R_T$  = fluks perpindahan panas

$C_2$  = parameter perpindahan panas

## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1 PRINSIP KERJA ALAT UJI

Prinsip kerja alat pengujian ini yakni dengan cara *blower* menghisap udara sekitar yang kemudian diteruskan ke dalam tabung *dehumidifier* agar kandungan uap air yang ada pada udara berkurang sehingga udara yang masuk kedalam *heater* dalam keadaan yang lebih kering daripada udara sekitar. Didalam *heater* udara dipanaskan sehingga aliran udara yang mengalir dalam pipa *pyrex* adalah udara panas yang dipakai untuk menguapkan tetesan (*droplet*) yang berada dalam *pyrex*. Pengujian ini dilakukan dengan beberapa variasi temperatur dan kecepatan aliran udara. Proses terjadinya pengurangan diameter tetesan (*droplet*) bahan bakar ini difoto menggunakan kamera Nikon D70. Data berupa gambar pengurangan diameter tetesan (*droplet*) bahan bakar diolah dengan menggunakan *software paint* untuk mengukur panjang dan lebar dari tetesan (*droplet*).



Gambar III.1 Alat Uji

## 3.2 KOMPONEN ALAT UJI

### 3.2.1 *Blower*

Udara yang dialirkan oleh *blower* kedalam sistem alat uji menggunakan jenis blower sentrifugal dengan debit  $400 \text{ m}^3/\text{jam}$ , yang dipasang sebelum *heater*. Untuk mengatur kecepatan aliran pada blower tersebut digunakan *inverter* yang ditunjukkan dengan frekuensi.



Gambar III.2 Blower

### 3.2.2 *Heater*

Panas yang digunakan untuk memanaskan aliran udara dalam pengujian ini memanfaatkan heater yang memiliki daya maksimal yang dapat dicapai sebesar 3 kW dengan tegangan 220 VAC.

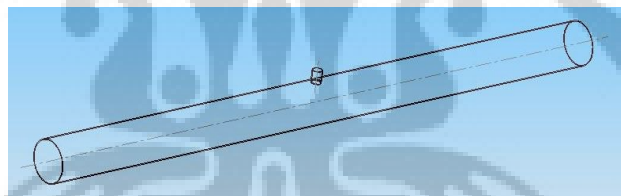


Gambar III.3 Heater

Panas yang digunakan untuk memanaskan aliran udara dalam pengujian ini memanfaatkan heater yang memiliki daya maksimal yang dapat dicapai sebesar 3 kW dengan tegangan 220 VAC. Pada *outlet heater* dipasang termokopel sebagai *feedback* ke *digital controller*, agar temperatur yang dihasilkan *heater* dapat terbaca pada *temperature display* sehingga dapat dilakukan penyesuaian dengan temperatur yang diinginkan. Panas yang digunakan dalam pengujian laju penguapan pertamax ini bervariasi antara 50°C, 75°C, 100°C.

### 3.2.3 Pyrex

Pengujian laju penguapan pertamax dilakukan pada *test section* berupa pipa *pyrex* yang memiliki diameter dalam 98 mm dan panjang 1500 mm. Pipa *pyrex* dipilih karena kemampuan menahan panasnya yang cukup tinggi sehingga pada saat dialirkan udara panas dari *heater*, pipa *pyrex* tersebut diharapkan tidak rusak pada saat pengambilan data uji. Pada skema uji, di tengah – tengah pipa *pyrex* dibentuk lubang yang berfungsi sebagai *test section* untuk memasukkan alat suntik dan *wire-probe thermocouple*, dimana sampel uji akan diuapkan.



Gambar III.4 Pipa Pyrex

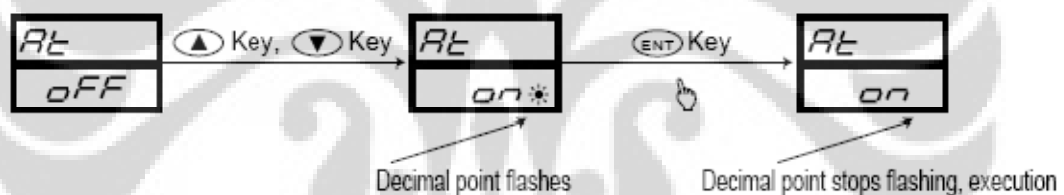
### 3.2.4 Digital Controller



Gambar III.5 Digital Controller

*Digital Controller* digunakan untuk mengatur temperatur heater, dengan *mode auto-tuning* yang terintegrasi membantu *heater* mencapai kondisi stabil pada temperatur yang diinginkan. Selain untuk membantu *heater* mencapai kondisi yang 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.

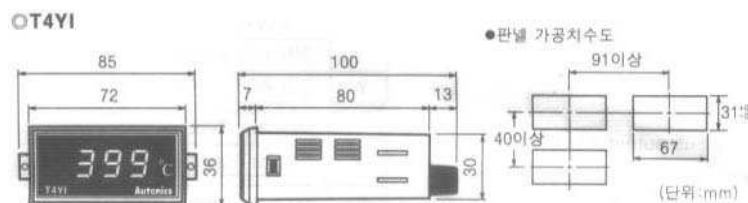
Dengan *mode auto tuning* dilakukan penyesuaian secara otomatis terhadap input temperatur yang dimasukkan. *Digital Controller* itu akan bekerja menstabilkan temperatur sesuai dengan kondisi yang diinginkan, dengan menyesuaikan input tegangan yang diatur menggunakan sistem *PID controller* sehingga penyesuaian 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.6 Skema *Auto Tuning*

### 3.2.5 *Temperature Display*

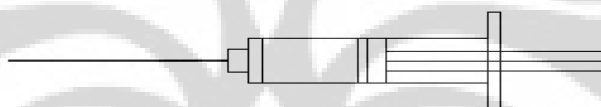
Komponen ini akan dihubungkan dengan *Wire probe thermocouple*, sehingga temperatur tetesan pada setiap aliran panas yang melaluinya dapat terukur. Untuk komponen ini akan menggunakan merk Autonics T4YI 220 VAC. *Display* ini hanya menampilkan pembacaan suhu dari *wire probe thermocouple*, tidak bisa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



Gambar III.7 *Temperature Display*

### 3.2.6 Feeder

Alat yang digunakan pada pengujian ini adalah jenis *spinal needle 23*, yang memiliki dimensi dengan panjang 90 mm dan diameter *feeder* 0.5 mm. Jenis *feeder* ini dipilih karena memiliki panjang yang cukup untuk diletakkan di dalam pipa *pyrex*. Alat ini dipergunakan untuk membuat tetesan yang akan dijatuhkan pada *wire-probe thermocouple* agar temperatur tetesan dapat terukur dan bentuk tetesan dapat terlihat.

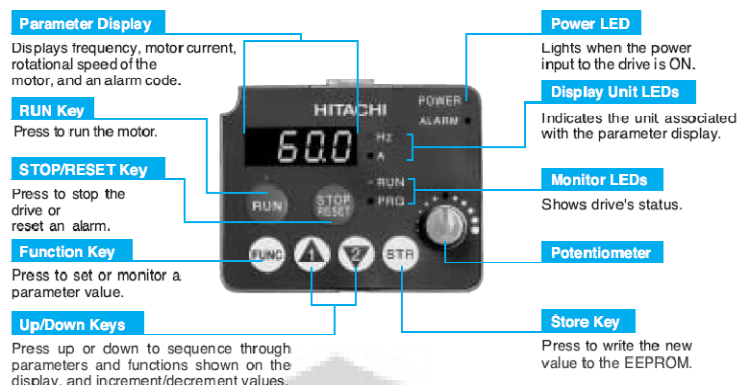


Gambar III.8 *Feeder*

### 3.2.7 Inverter

*Inverter* digunakan untuk mendapatkan variasi kecepatan udara dari *blower*. Proses untuk mendapatkan adalah dengan cara mengatur frekuensi listrik yang masuk ke *blower* dari frekuensi tegangan rendah sampai batas frekuensi tegangan PLN yang ditampakkan dengan pengaturan frekuensi (hertz), sehingga putaran *blower* bisa diatur. Batas pengaturan *inverter* ini berkisar antara nilai 0 Hz s/d 50 Hz. Setelah melakukan pengaturan, harus menunggu keadaan mencapai stabil untuk melakukan pengujian.





Gambar III.9 *Display Inverter ST200*

Spesifikasi Inverter :

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

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

### 3.3 PROSEDUR KALIBRASI DAN PENGAMBILAN DATA

Kalibrasi dilakukan untuk mengetahui kondisi sebenarnya pada sistem seperti kecepatan aliran, temperatur aliran, dan dimensi tetesan. Data yang diperoleh adalah dimensi tetesan yang ditetaskan kedalam pipa *pyrex* melalui suntikan. Ada beberapa tahapan sebelum akhirnya memperoleh dimensi tetesan.

#### 3.3.1 Pengambilan Data Tetesan

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

1. Mempersiapkan kamera Nikon D70 dan memasang kameradiatas tripod agar kamer tidak bergerak-gerak saat mengambil foto tetesan didepan *test section*. Mengatur ketinggian kamera agar diperoleh posisi yang sesuai dengan ketinggian *test section*. Mempersiapkan lampu pencahayaan agar foto yang dihasilkan lebih jelas kemudian mengatur fokus kamera agar diperoleh fokus terhadap jarum dan *wire probe thermocouple* dengan pixel

yang besar untuk menghindari kesalahan.



Gambar III.10 Posisi *Feeder* dan Tetesan

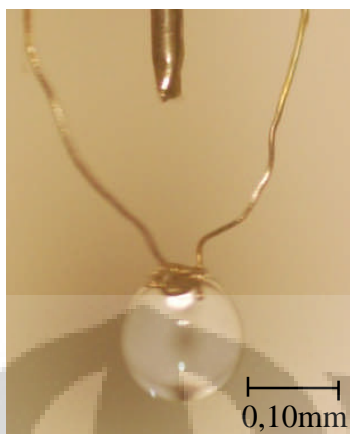
2. Menghidupkan panel sistem listrik utama kemudian menyalakan blower yang diatur oleh *inverter*. Pada *inverter* terdapat pengatur kecepatan blower yang diatur agar sesuai keinginan. Putar sampai menunjukkan angka 5, 10, dan 20 Hz.



Gambar III.11 Panel Sistem Listrik

3. Nyalakan *Heater* dengan mode *auto tuning setup* melalui *digital controller* temperatur *heater* akan diatur sampai mencapai temperatur yang diinginkan. Tunggu beberapa saat sampai temperatur yang diinginkan tunak. Variasi temperatur yang akan digunakan untuk proses pengambilan data adalah : 50 dan 75 °C
4. Setelah temperatur *digital controller* menunjukkan keadaan temperatur tunak sesuai dengan temperatur yang diinginkan, catat temperatur yang ditunjukkan sebagai temperatur sesaat sebelum ditetesi kemudian suntikan

pertamax ke *wire probe thermocouple* hingga membentuk tetesan yang baik.



Gambar III.12 Tetesan

5. Menekan *shutter* kamera digital dengan selang waktu 1 detik, hal ini dikarenakan penguapan bahan bakar sangat cepat. Waktu pengambilan foto hanya diperkirakan dengan melihat tetesan bahan bakar yang sudah terlihat semakin mengecil. Catat penunjukan suhu pada *wire probe-thermocouple display* sebagai temperatur tetesan pada saat ditetaskan dan catat juga waktu pengambilan foto serta frame yang ada di kamera digital.
6. Mengulangi langkah nomor 2 sampai dengan 5 untuk variasi kecepatan aliran 0,33, 0,46 dan 1,12 M/s pada temperatur 50°C.
7. Mengulangi langkah nomor 2 sampai dengan 5 untuk variasi kecepatan aliran 0,34, 0,56 dan 1,20 M/s pada temperatur 75°C.

### 3.3.2 Pengambilan Data Kecepatan

Kecepatan aliran udara pada pengujian yakni berupa frekuensi listrik yang masuk kedalam *blower* yang diatur oleh *inverter* dengan keluaran berupa Hz, agar memperoleh data kecepatan aliran udara dalam satuan meter per detik maka pengujian kecepatan dilakukan dengan cara mengalirkan asap pada *test section* dalam pipa *pyrex*. Oli digunakan sebagai media untuk menimbulkan asap pada *test section* dengan memanaskannya memanfaatkan energi listrik yang mengalir pada kawat tembaga.



Gambar III.13 Rangkaian Baterai

Prinsip kerjanya adalah menggunakan baterai sebagai sumber listrik untuk memanaskan kawat tembaga yang dililitkan pada kabel yang terhubung dengan rangkaian baterai. Baterai disusun secara paralel sebanyak 10 buah dengan tegangan masing-masing baterai adalah 1,5 volt. Karena disusun paralel tegangan total baterai tetap 1,5 volt tetapi besar arusnya merupakan arus total seluruh baterai.

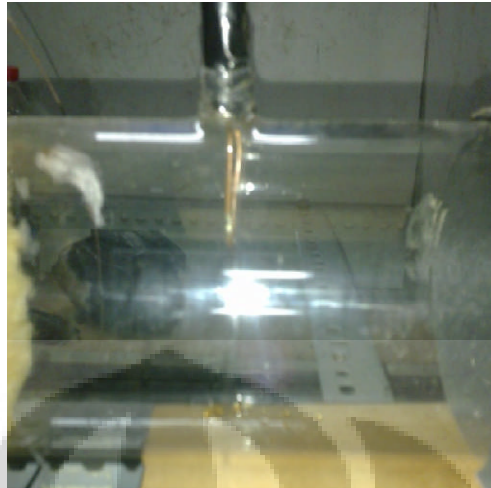
Penyusunan rangkaian baterai secara paralel ditujukan untuk mengurangi efek polarisasi pada baterai yang dapat memutuskan aliran listrik pada saat melakukan pengujian dalam waktu yang lama. Untuk memperoleh besarnya kecepatan aliran yang mengalir dalam pipa *pyrex*, maka dilakukan langkah-langkah pengujian sebagai berikut :

1. Mempersiapkan High Speed Camera dan tripod didepan test section. Mengatur ketinggian kamera agar diperoleh posisi yang sesuai dengan ketinggian *test section*. Mempersiapkan lampu pencahayaan agar foto yang dihasilkan lebih jelas kemudian mengatur fokus kamera agar diperoleh fokus terhadap kawat, sehingga terlihat jelas gambar kawat dan asap nantinya



Gambar III.14 *High Speed Camera*

2. Atur kapasitas pengambilan gambar sebanyak 1000 frame perdetik pada aplikasi *software* yang dioperasikan oleh *laptop* yang terhubung langsung dengan *high speed camera*.
3. Nyalakan panel sistem listrik utama kemudian nyalakan blower. Atur kecepatan pada *inverter* sesuai keinginan yaitu 5hz sebagai frekuensi awal pengujian.
4. *Heater* dihidupkan dengan mode *auto tuning setup* melalui *digital controller* temperatur *heater* akan diatur mencapai kondisi yang diinginkan. Temperatur awal 50°C, variasi temperatur yang akan digunakan untuk proses pengambilan data adalah : 50°C dan 75°C.
5. Setelah temperatur *digital controller* menunjukkan angka yang relatif konstan sesuai dengan temperatur yang diinginkan, maka nyalakan kawat tembaga yang dialiri listrik dengan memakai battery agar kawat yang telah dicelupkan kedalam oli terbakar.



Gambar III.15 Kawat Tembaga

6. Menekan *shutter* kamera untuk pengambilan foto asap dari oli yang terbakar, data yang dihasilkan dalam *format* video kemudian dikonversi dalam bentuk foto atau *format file bitmap*. Waktu pengambilan foto hanya sebentar dikarenakan asap dari oli yang terbakar sangat singkat.
7. Mengulangi langkah nomor 3 sampai dengan 6 untuk variasi frekuensi pada *inverter* blower 5, 10 dan 20 Hz pada temperatur 50°C.
8. Mengulangi langkah nomor 3 sampai dengan 6 untuk variasi frekuensi pada *inverter* blower 5, 10 dan 20 Hz pada temperatur 75°C.

### 3.3.3 Pengolahan Data Tetesan

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

1. Melakukan proses foto pada "jarum *feeder*" dengan ukuran 0.5 mm.
2. Proses pengkalibrasian dilakukan dengan kondisi (posisi dan *zoom*) kamera yang sama dengan saat pengambilan data tetesan pada test section.
3. Setelah mendapatkan gambar, kemudian dilakukan *image processing paint* untuk mendapatkan besaran *pixel* dari gambar "jarum suntik" tersebut.
4. Setelah didapatkan besaran *pixel*, selanjutnya tinggal membagi ukuran nyata dari "jarum suntik" dalam satuan milimeter (mm) dengan besaran *pixel* dari hasil *image processing*, sehingga akan didapatkan konversi 1

$$pixel = 6,49351 \times 10^{-6} \text{ m.}$$

Setelah mendapatkan nilai konversi pixel kedalam satuan meter, maka langkah selanjutnya adalah mengolah file foto hasil pengujian dengan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Buka file foto dengan menggunakan *software paint* untuk mendapatkan ukuran tetesan (*droplet*) dalam besaran pixel.
2. Pengukuran diameter tetesan (*droplet*) dilakukan dengan cara menentukan batasan terluar dari diameter tetesan (*droplet*). Pengukuran dilakukan dengan melakukan pengukuran secara horizontal dan secara vertikal. Dalam *software paint* tampilan yang diberikan merupakan koordinat x dan y dalam besaran pixel sehingga memungkinkan untuk mendapatkan ukuran tetesan (*droplet*) dalam arah horizontal dan vertikal.
3. Setelah mendapatkan ukuran diameter tetesan (*droplet*) dalam besaran pixel lalu dikonversikan dalam besaran meter, dengan mengalikan hasil dalam besaran pixel dengan  $6,49351 \times 10^{-6} \text{ m}$  sehingga didapatkan besaran tetesan (*droplet*) dalam besaran meter.
4. Setelah mendapatkan data dari semua hasil pengujian, kemudian besarnya perubahan diameter dimasukkan kedalam langkah perhitungan.

### 3.3.4 Pengolahan Data Kecepatan

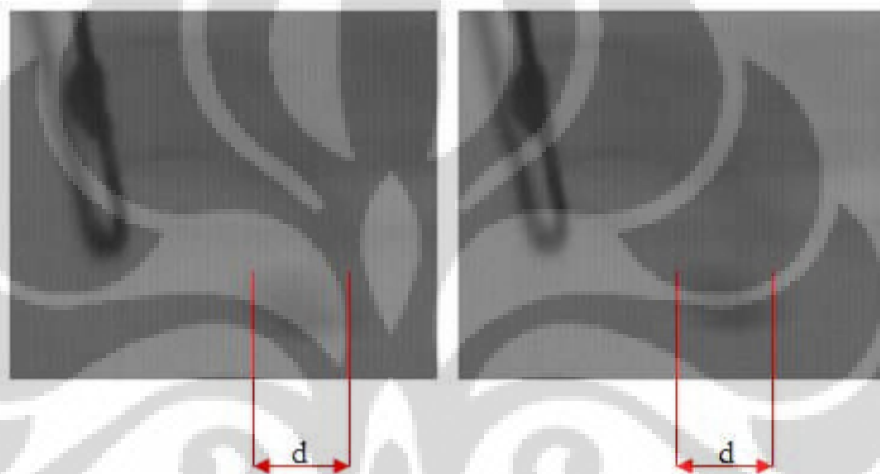
Kalibrasi mata bor digunakan untuk menghitung kecepatan aliran yang difoto menggunakan *high speed camera*. Untuk mengubah besaran pada foto yang masih berupa *pixel* menjadi meter, dilakukanlah pengkalibrasian mata bor. Adapun tahapan yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Melakukan proses foto pada "mata bor" dengan ukuran 2 mm.
2. Proses pengkalibrasian dilakukan dengan kondisi (posisi dan *zoom*) kamera yang sama dengan saat pengambilan data asap pada test section.
3. Setelah mendapatkan gambar, kemudian dilakukan *image processing paint* untuk mendapatkan besaran *pixel* dari gambar "mata bor" tersebut.
4. Setelah didapatkan besaran pixel, selanjutnya tinggal membagi ukuran nyata

dari "mata bor" dalam satuan milimeter (mm) dengan besaran pixel dari hasil image processing, sehingga akan didapatkan konversi 1 pixel =  $2,8169014 \times 10^{-5}$  m.

Setelah mendapatkan nilai konversi besaran pixel kedalam meter, maka dilakukan pengolahan data kecepatan asap. Adapun langkah-langkah pengolahan data sebagai berikut :

1. Membuka *file* foto kecepatan menggunakan *software paint*.



Gambar III.16 Diameter Bola Asap

2. Dalam melakukan pengujian, pergerakan asap yang dihitung merupakan asap yang dihasilkan dari letupan oli atau asap yang alirannya terputus agar memudahkan menentukan titik awal dari perpindahan asap dalam gambar.
3. Pengaturan pengambilan foto asap dilakukan dalam 1000 *frame* per detik, Jadi untuk satu *frame* membutuhkan waktu 0,001 detik. Dengan menggunakan *software paint* dapat diperoleh berapa besarnya perpindahan dari satu *frame* ke *frame* yang lainnya dalam besaran pixel dibagi dengan waktu 0,001 detik untuk satu *frame*-nya. Dengan mengalikan hasil perpindahan dalam pixel per 0,001 detik tiap *frame* dengan  $2,8169014 \times 10^{-5}$  m. Maka didapatkan data kecepatan aliran dalam *test section* dalam satuan meter per detik.

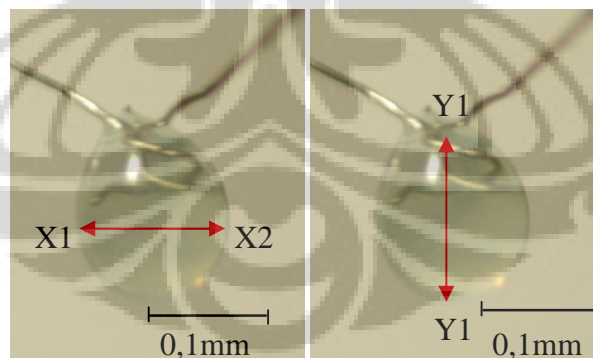


4. Melakukan langkah 1 sampai 3 untuk semua data kecepatan pada masing-masing variasi kecepatan aliran dan temperatur.
5. Setelah mendapatkan seluruh data kecepatan untuk masing-masing variasi aliran dan temperatur, langkah berikutnya adalah memasukkan data-data kecepatan itu kedalam perhitungan.

### 3.4 PERHITUNGAN DATA

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

1. Pertamax
2. Temperatur = 50 °C dengan kecepatan aliran 0,33 M/s
3.  $T_{udara}$  pada termokopel = 50 °C ,  $T_{droplet}$  = 18 °C
4. Waktu (t) yang dibutuhkan = 9 detik
5. Berdasarkan hasil pengukuran diperoleh dimensi tetesan (*droplet*) :



Gambar III.17 Diameter Tetesan Pertamax

Lebar ( $x_1$ ) = 251 pixel

Tinggi ( $y_1$ ) = 183 pixel

Lebar ( $x_2$ ) = 239 pixel

Tinggi ( $y_2$ ) = 144 pixel

Lebar ( $d_1$ ) antara gambar 1 dan gambar 2 :

$$d_1 = \frac{x_1 + x_2}{2} = \frac{251 + 239}{2} = 245$$

Tinggi ( $d_2$ ) antara gambar 1 dan gambar 2:

$$d_2 = \frac{y_1 + y_2}{2} = \frac{183 + 144}{2} = 163,5$$

Selanjutnya bisa dilakukan langkah-langkah analisa perhitungan sebagai berikut:

1. Menghitung  $d$  (diameter rata-rata tetesan)

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2}$$

$$d = \frac{245 + 163,5}{2}$$

$$d = 204,5 \text{ pixel}$$

karena besarnya diameter rata-rata tetesan (droplet) masih dalam ukuran pixel, maka dilakukan konversi ke dalam besaran meter dengan mengalikan dengan  $6,49351 \times 10^{-6}$  m. Sehingga dihasilkan  $d = 0,00132$  m

2. Menghitung diameter peluruhan tetesan (*droplet*) pada  $\frac{dd}{dt}$

$$\frac{dd}{dt} = \frac{((\Delta y + \Delta x)/2)6,49351 \times 10^{-6}}{9}$$

$$\frac{dd}{dt} = \frac{(183 - 144) + (251 - 239)}{2} 6,49351 \times 10^{-6}}{9}$$

$$\frac{dd}{dt} = 18,4 \times 10^{-6} \text{ m/s}$$

3. Menghitung laju difusi molal (N)

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

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

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

$$\frac{dr}{dt} = \frac{18,4E - 06}{2}$$

$$\frac{dr}{dt} = 9,2E - 06$$

$$N = \frac{dm/dt}{M}$$

$$N = \frac{\rho_{air} 9,2 \times 10^{-6}}{142}$$

$$N = \frac{705 \times 9,2 \times 10^{-6}}{142}$$

$$N = 4,56E - 05 \text{ Kmole} / \text{s.m}^2$$

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

Tekanan uap ( $P_{vp}$ ) pada temperatur droplet  $18^\circ\text{C}$  adalah:

$$\ln P_{vp} = f^{(0)}T_r + \omega f^{(1)}T_r$$

Dimana  $\omega$  adalah accentric faktor yang diperoleh dari:

$$\omega = \frac{\alpha}{\beta}$$

$$\omega = \frac{-1,0057}{-2,2043} = 0,4562$$

Dimana  $\alpha$  dan  $\beta$  diperoleh dari:

$$\alpha = -\ln P_c - 5,97214 + 6,09648 \theta^{-1} + 1,28861 \ln \theta - 0,169347 \theta^6$$

$$\beta = 15,2518 - 15,6875 \theta^{-1} - 13,3721 \ln \theta - 0,43577 \theta^6$$

$$\theta = \frac{T_b}{T_c}$$

$$\theta = \frac{447,3}{617,7} = 0,720$$

$$\alpha = -\ln 21,2 - 5,97214 + 6,09648 \times 0,720^{-1} + 1,28861 \ln 0,720 - 0,169347 \times 0,720^6$$

$$\beta = 15,2518 - 15,6875 \times 0,720^{-1} - 13,3721 \ln 0,720 - 0,43577 \times 0,720^6$$

Sehingga nilai  $\alpha$  dan  $\beta$  berdasarkan perhitungan diatas adalah:

$$\alpha = -1,0057$$

$$\beta = -2,2043$$

Maka dari itu untuk menghitung faktor korelasi  $f^{(0)}$  dan  $f^{(1)}$  dibutuhkan  $T_r$ , yaitu :

$$T_r = \frac{T_d}{T_c}$$

$$T_r = \frac{18 + 273}{617,7} = 0,4711$$

$$f^{(0)} = 5,92714 - \frac{6,09648}{0,471} - 1,28862 \ln 0,471 + 0,16934 \times 0,471^6$$

$$f^{(0)} = -6,0420$$

$$f^{(1)} = 15,2518 - \frac{15,6875}{0,471} - 13,4721 \ln 0,471 + 0,43577 \times 0,471^6$$

$$f^{(1)} = -7,9028$$

Jadi  $P_{vp}$  adalah :

$$\ln P_{vp} = f^{(0)}T_r + \omega f^{(1)}T_r$$

$$\ln P_{vp} = (-6,0420)(0,471) + 0,4562(-7,9028)(0,471)$$

$$P_{vp} = 0,00162 \text{ bar} = 6,45789 \text{ pascal}$$

$$X_0 = 6,45789/101325 = 0,000064$$

5. Menghitung konsentrasi total udara (C)

$T_{\text{film}}$  adalah temperatur udara pada termokopel saat belum di berikan tetesan ditambah temperatur sesudah diberikan tetesan.

$$t_f = \frac{t_u + t_d}{2}$$

$$t_f = 273 + \left( \frac{18 + 50}{2} \right)$$

$$t_f = 307 \text{ k}$$

C diperoleh dari :

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

$$C = \frac{101325}{8314,5 \times 307}$$

$$C = 0,040$$

6. Menghitung fluks perpindahan massa (Rx)

$$Rx = \frac{x_0 - x_{a\infty}}{1 - x_{a\infty}}$$

$$Rx = \frac{0,000064 - 0}{1 - 0}$$

$$Rx = 0.000064$$

7. Menghitung koefisien perpindahan massa ( $k_c$ )

$$k_c = \frac{N(1 - x_{a0})}{C(x_0 - x_{a0})}$$

$$k_c = \frac{1,97E - 05(1 - 0)}{0,040(0,000064 - 0)}$$

$$k_c = 7,6232 \text{ kmole/s.m}^2$$

8. Menghitung faktor koreksi perpindahan massa untuk model analogi film stagnan ( $\theta_{x_{StF}}$ ):

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

$$\theta_{x_{StF}} = \frac{\ln(1 + 0,000064)}{0,000064}$$

$$\theta_{x_{StF}} = 0,9999$$

9. Menghitung koefisien laju perpindahan massa model film stagnan  $k_c$  menuju  $k_{c_{LSIF}}$  ketika  $N_{A0}$  menuju nol adalah:

$$k_{c_{LSIF}} = \frac{k_c}{\theta_{stF}}$$

$$k_{c_{LSIF}} = \frac{28,7845}{0,9999}$$

$$k_{c_{LSIF}} = 28,7854$$

10. Menghitung difusivitas massa A dalam B ( $D_{ab}$ )

$$D_{ab} = \frac{0,00143T^{1,75}}{PM_{ab}^{1/2} \left[ (\Sigma_{va})^{\frac{1}{3}} + (\Sigma_{vb})^{\frac{1}{3}} \right]^2}$$

$$\Sigma_{va} = 19,7$$

$$\Sigma_{vb} = (10 \times 15,9) + (22 + 2,31) = 209,82$$

$$M_{ab} = 2 \left[ \left( \frac{1}{142} + \frac{1}{29} \right) \right]^{-1} = 48$$

$$D_{ab} = \frac{0,00143(273 + 18)^{1,75}}{101325/100000 \times 48^{1/2} \left[ (19,7)^{\frac{1}{3}} + (209,82)^{\frac{1}{3}} \right]^2}$$

$$D_{ab} = 5,597 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

11. Menghitung Sherwood model film stagnan ( $Sh_{stF}$ )

$$Sh_{stF} = \frac{k_{clstF} \times d}{D_{ab}}$$

$$Sh_{stF} = \frac{28,7854 \times 0,00132}{5,597 \times 10^{-6}} = 6828,59$$

12. Menentukan parameter perpindahan massa ( $C_1$ )

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

$$C_1 = -0,0011 \times (50 - 18) - 1,0082 \times (0 - 0,000064)$$

$$C_1 = -0,03514$$

13. Menghitung faktor koreksi perpindahan massa untuk model analogi pendekatan baru ( $\theta_{Mod}$ )

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

$$\theta_{Mod} = \frac{\ln(1 + 0,000064) - (-0,03514)}{0,000064}$$

$$\theta_{Mod} = 552,25$$

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

$$k_{cLMod} = \frac{K_c}{\theta x_{Mod}}$$

$$k_{cLMod} = \frac{28,7845}{552,25}$$

$$k_{cLMod} = 0,0521$$

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

$$Sh_{Mod} = \frac{k_{cLMod} \times d}{D_{ab}}$$

$$Sh_{Mod} = \frac{0,0521 \times 0,00133}{5,597E^{-06}}$$

$$Sh_{Mod} = 12,36$$

16. Mencari angka reynold (Re) pada droplet

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

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

Dimana :

$\rho$  = massa jenis udara ( $\text{kg/m}^3$ )

U = kecepatan pada droplet (m/s)

d = diameter rata – rata (m)

$\mu$  = viskositas dinamik (kg/m.s)

$\nu$  = difusivitas momentum atau viskositas kinematik ( $\text{m}^2/\text{s}$ )

berdasarkan perhitungan dengan menggunakan media asap, kecepatan aliran udara pada bagian test section didalam pyrex = 0,325821595 m/s.



$$U_{\max} = 0,325821595 \text{ m/s dan } \nu = 1,6 E^{-05} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$Re = \frac{0,325821595 \times 0,00133}{1,6E - 05}$$

$$Re = 26,38$$

17. Menghitung bilangan Schmidt

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

$$Sc = \frac{1,67E^{-05}}{5,597E^{-06}}$$

$$Sc = 2,93$$

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

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

$$Sh = 2 + (0,55 \times 26,38^{1/2} 2,93^{1/3})$$

$$Sh = 6,04$$

#### Langkah-langkah Mencari Perpindahan Panas

19. Menghitung nilai konduktivitas campuran (K) dengan  $T_f = 307 \text{ K}$  sehingga dapat dicari nilai rapat massa udara ( $\rho$ ), panas jenis udara ( $cp$ ) dan difusivitas termal ( $\alpha$ ) dari tabel sifat-sifat udara

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

$$k = 1,136 \times 1007,51 \times 2,3E^{-05}$$

$$k = 0,026$$

20. Menghitung  $q_{\text{radiasi}}/A$

$$\frac{Q_{radiasi}}{A} = 0,96 \times 0,5669E^{-07} \times ((273 + T_{udara})^4 - (273 + T_{droplet})^4)$$

$$\frac{Q_{radiasi}}{A} = 0,96 \times 0,5669E^{-07} \times ((273 + 50)^4 - (273 + 18)^4)$$

$$\frac{Q_{radiasi}}{A} = 202,12$$

21. Menghitung  $q_0/A$ , dengan konduksi dari termokopel  $Q_{konduksi} = 386,32$  dan kalor laten pada temperature tetesan (*droplet*)  $18^\circ\text{C}$  sebesar  $h_{fg} = 39840$  KJ/Kmol dari tabel sifat air jenuh

$$\frac{q_0}{A} = -N \times H_{fg} + Q_{konduksi} + Q_{radiasi}$$

$$\frac{q_0}{A} = (-1,97E^{-05} \times 45846164,54) + 386,32 + 202,12$$

$$\frac{q_0}{A} = -1113,1 \text{ W/m}^2$$

22. Menghitung koefisien perpindahan panas  $h$

$$h = \frac{q_0/A}{(T_{droplet} - T_{udara})}$$

$$h = \frac{-1113,1}{-32}$$

$$h = 34,784 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$$

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

$$h_l = \frac{(2 \times 0,55 \times Re^{\frac{1}{2}} Pr^{\frac{1}{2}})}{d} \times k$$

$$h_l = \frac{(2 \times 0,55 \times 26,88^{1/2} 1,74^{1/3})}{0,00132} \times 0,026$$

$$h_l = 161,65$$

24. Menghitung panas jenis molal udara  $C_{pA}$

$$C_{pa} = c_p \times 28,9$$

$$C_{pa} = 1007,51 \times 28,9$$

$$C_{pa} = 29117,032$$

25. Menghitung factor kecepatan perpindahan panas ( $\Phi$ )

$$\varphi = \frac{-N \times C_{pa}}{h_l}$$

$$\varphi = \frac{-1,97E^{-05} \times 29117,032}{161,65}$$

$$\varphi = -0,00356$$

26. Menghitung fluks perpindahan panas ( $R_T$ )

$$RT = e^{\varphi} - 1$$

$$RT = e^{-0,00356} - 1$$

$$RT = -0,00356$$

27. Menghitung faktor koreksi perpindahan panas untuk model analogi film stagnan ( $\theta_{StF}$ )

$$\theta_{T\_StF} = \frac{h}{h_l} = \frac{\ln(1 + R_T)}{R_T}$$

$$\theta_{T\_StF} = \frac{\ln(1 + (-0,00356))}{-0,00356}$$

$$\theta_{T\_StF} = 1,005$$

28. Menghitung parameter perpindahan panas ( $C_2$ )

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

$$C_2 = 0,4633E^{-09} x (50 - 18) + 0,16E^{-06} x (0 - 0,02364)$$

$$C_2 = -1,10432E^{-08}$$

29. Menghitung faktor koreksi perpindahan panas untuk model analogi pendekatan baru ( $\theta_{Mod}$ )

$$\theta_{T_{Mod}} = \frac{h}{h_l} = \frac{\ln(1+R_T)}{R_T} + \frac{Cpa}{k x R_T} x C_2$$

$$\theta_{T_{Mod}} = \frac{\ln(1 - 0,00356)}{-0,00356} + \frac{29117,032}{0,026 (-0,00356)} x - 1,10432E^{-08}$$

$$\theta_{T_{Mod}} = 4,47591$$

30. Menghitung koefisien laju perpindahan panas model film stagnan  $h$  menuju  $h_{LStf}$  ketika  $N_{A0}$  menuju nol

$$h_{LStf} = \frac{h}{\theta_{Tstf}}$$

$$h_{LStf} = \frac{85,952}{1,005}$$

$$h_{LStf} = 85,4634 \text{ watt}/m^2K$$

31. Menghitung koefisien laju perpindahan panas model pendekatan baru  $h$  menuju  $h_{L\_Mod}$  ketika  $N_{A0}$  menuju nol

$$h_{L\_mod} = \frac{h}{\theta_{Tmod}}$$

$$h_{L\_mod} = \frac{85,952}{2,4350}$$

$$h_{L\_mod} = 35,2973 \text{ watt}/m^2K$$

32. Menghitung bilangan Prandtl (Pr)

Dengan  $T_f = 310 \text{ K}$  dapat dicari nilai Pr dari table sifat-sifat udara tekanan atmosfer pada lampiran ....

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

$$Pr = \frac{1,6E^{-05}}{2,3E^{-05}}$$

$$Pr = 0,71$$

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

$$Nu = 2 + \left(0,55 \times Re^{\frac{1}{2}} Pr^{\frac{1}{3}}\right)$$

$$Nu = 2 + (0,55 \times 2,5486)$$

$$Nu = 4,52$$

34. Menghitung bilangan Nusselt model analogi film stagnan

$$Nu_{stf} = \frac{h_{lstf} \times \text{diameter}}{k}$$

$$Nu_{stf} = \frac{85,4634 \times 0,00133}{0,026}$$

$$Nu_{stf} = 4,2569$$

35. Menghitung bilangan Nusselt model pendekatan baru

$$Nu_{mod} = \frac{h_{mod} \times diameter}{k}$$

$$Nu_{mod} = \frac{35,2973 \times 0,00133}{0,026}$$

$$Nu_{mod} = 1,758$$

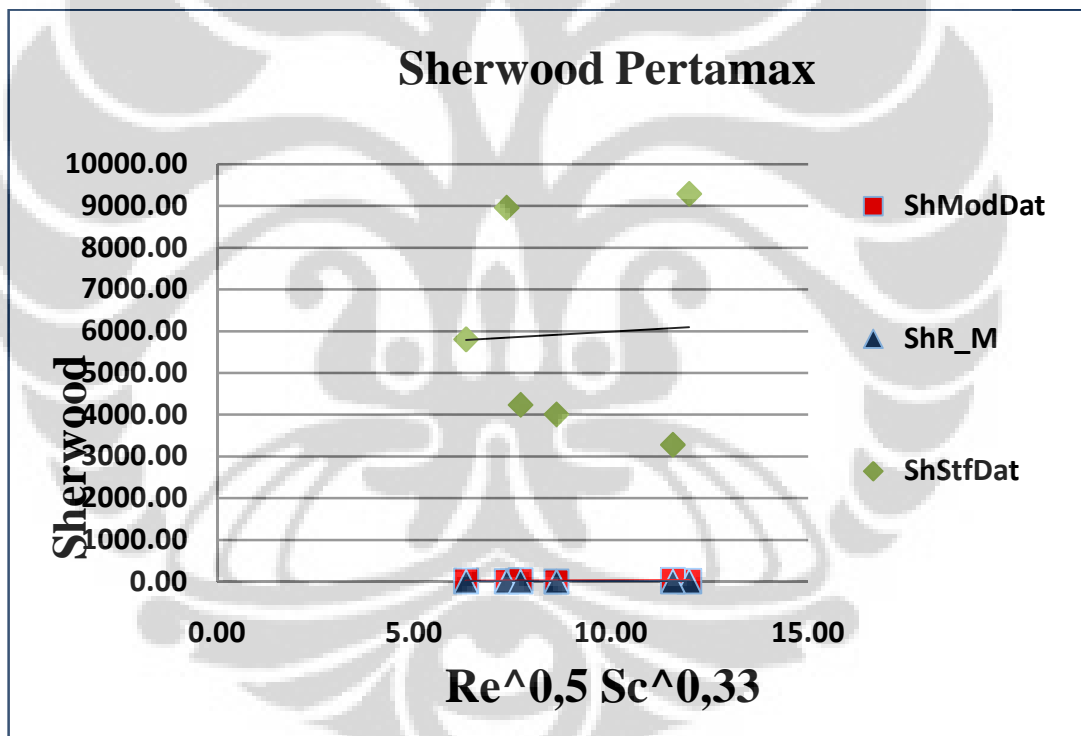


## BAB IV

### ANALISA DATA DAN HASIL

#### 4.1 ANALISA PERBANDINGAN NILAI SHERWOOD ANTAR MODEL

Semua data yang didapat dari hasil pengujian diolah menggunakan contoh perhitungan yang telah dibahas pada bab sebelumnya. Hasil perhitungan disajikan dalam bentuk grafik perbandingan antara bilangan Sherwood dengan menggunakan beberapa metode, metode Ranz-Marshall sebagai acuan untuk perbandingan metode Stagnan film dan metode pendekatan baru E. A. Kosasih. Berikut ditampilkan grafik hasil perbandingan nilai Sherwood pada pertamax



Grafik IV. 1 Perbandingan Nilai Sherwood antar Model pada Pertamax

Dari grafik diatas diketahui bahwa penyebaran nilai Sherwood E.A Kosasih lebih baik dibandingkan dengan penyebaran nilai Sherwood stagnan film. Nilai Sherwood E. A Kosasih memiliki korelasi lebih dekat dengan nilai Sherwood Ranz-Marshall dibanding dengan nilai Sherwood stagnan film berada jauh diatas acuan nilai Sherwood Ranz-Marshall. Hal ini dikarenakan karena pada model analogi Stagnan film menggunakan nilai koefisien perpindahan massa

( $k_{C_{L_{StF}}}$ ) yang nilainya lebih besar dibandingkan dengan nilai koefisien perpindahan massa modifikasi ( $k_{C_{L_{Mod}}}$ ). Keadaan ini memberikan perbedaan nilai Sherwood yang signifikan, seperti yang terlihat pada tabel berikut:

Tabel IV.1 Hasil Perhitungan Sherwood

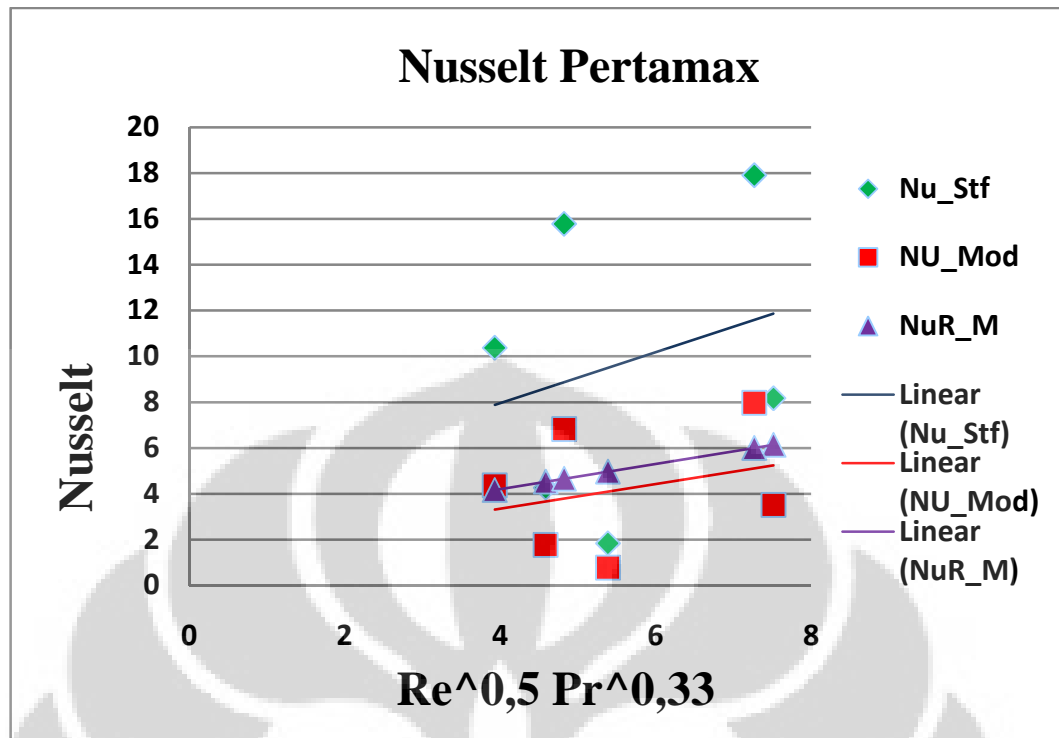
<b>kcLStF</b>	<b>kcLMod</b>	<b>ShStFDat</b>	<b>ShModDat</b>
37.7583	0.052122	8957.17352	12.36463194
17.3317	0.02953	4012.79493	6.83695725
50.8601	0.119322	9288.41183	21.79145226
34.8246	0.166481	5805.83667	27.7551616
28.2416	0.272903	4238.31511	40.95554418
20.6886	0.292742	3283.07521	46.45510298

Pada model E. A. Kosasih, menghitung besarnya faktor koreksi ( $\theta_{Mod}$ ) telah dimasukkan parameter perpindahan massa  $C_1$  sehingga membuat model analogi E. A. Kosasih lebih mendekati model acuan perpindahan massa Ranz-Marshall. Akan tetapi model Ranz-Marshall yang digunakan memiliki syarat bilangan Lewis sampai dengan 1, sedangkan nilai bilangan Lewis pada Pertamax yakni 4,0 – 4,2. Maka pemakaian model Ranz-Marshall pada pengujian ini kurang tepat.

#### 4.2 ANALISA PERBANDINGAN NILAI NUSSELT ANTAR MODEL

Nilai nusselt pada model E. A. Kosasih dan Stagnan Film pada pertamax terlihat bahwa pada model E. A. Kosasih memiliki pendekatan yang lebih baik.





Grafik IV.2 Perbandingan Nilai Nusselt antar Model pada Pertamax

Tabel IV.2 Hasil Perhitungan Nusselt

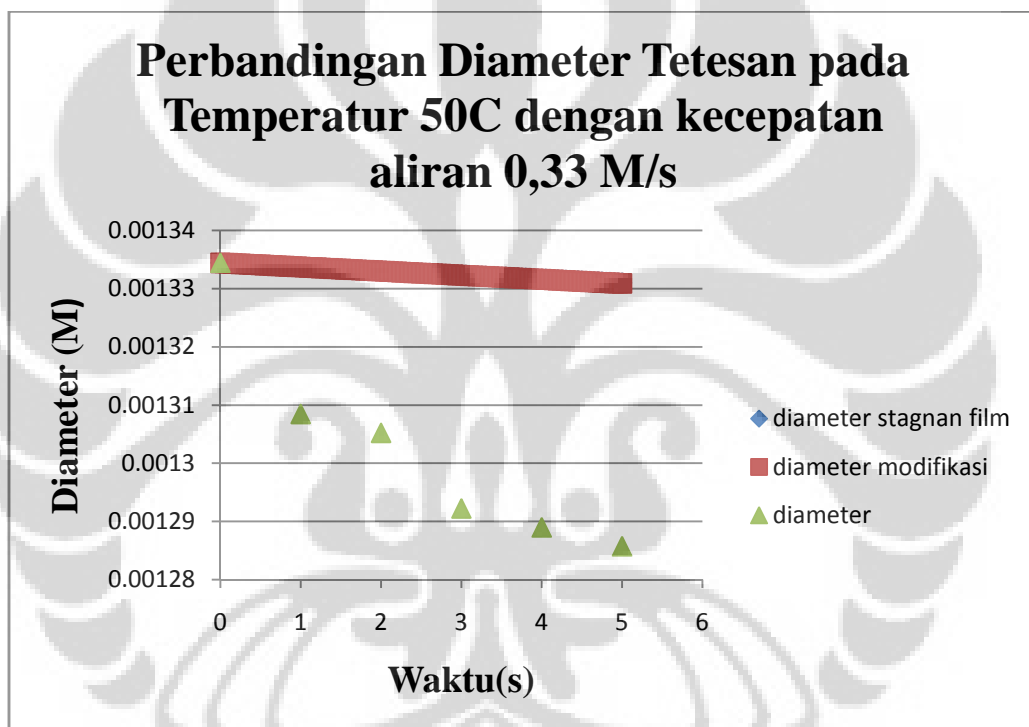
hLstf	hLmod	Nustf	Numod
85.46345	35.2972954	4.2568978	1.7581432
37.24681	15.6072401	1.8274047	0.7657231
208.1159	89.4348465	8.164612	3.508626
279.5375	117.528126	10.364717	4.3577188
457.3474	197.614888	15.77863	6.8177758
482.5671	214.857405	17.903466	7.9713101

Nilai penyebarannya lebih mendekati model Ranz-Marshall, karena pada model E. A. Kosasih nilai perhitungan faktor koreksi Modifikasi ( $\theta_{Mod}$ ) ditambahkan parameter perpindahan panas ( $C_2$ ) yang dikalikan dengan panas jenis molal udara ( $C_{pa}$ ) dibagi konduktifitas termal ( $k$ ) dan fluks perpindahan panas ( $R_T$ ) untuk menghitung faktor koreksi perpindahan panas, sehingga nilai koefisien laju perpindahan kalor model pendekatan baru ( $h_{L\_Mod}$ ) menjadi lebih kecil

dibandingkan dengan koefisien perpindahan kalor model stagnan film ( $h_{L\_SiF}$ ).

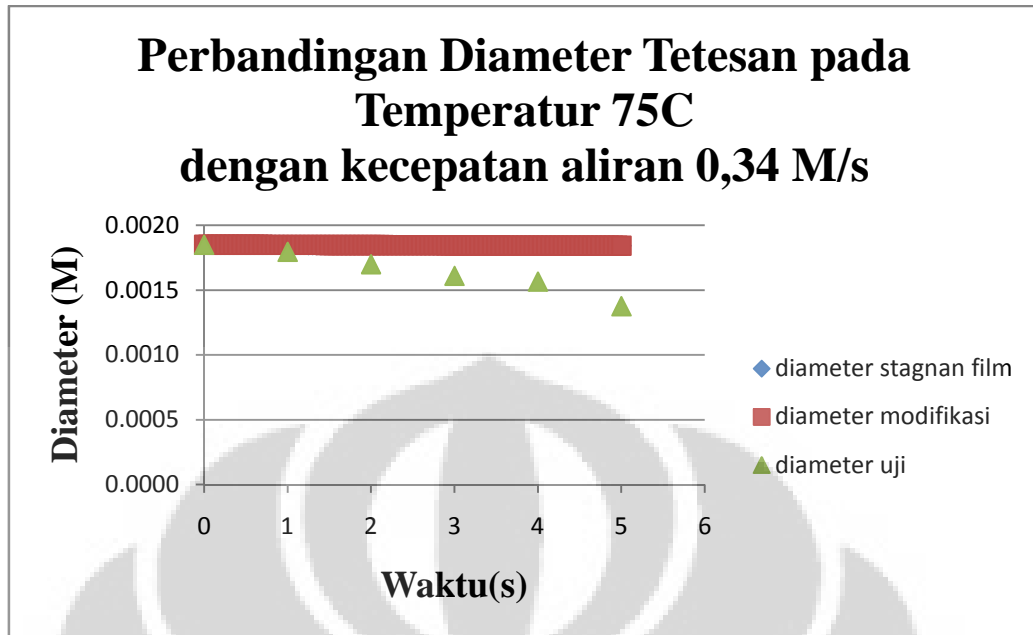
#### 4.3 ANALISA PERBANDINGAN DIAMETER TETESAN TERHADAP WAKTU

Perbandingan antara diameter hasil pengujian, diameter hasil perhitungan model stagnan film, dan diameter hasil perhitungan model modifikasi E. A. Kosasih disajikan dalam beberapa variasi kecepatan aliran pada temperatur 50 °C dan 75 °C.



Grafik IV.3 Perbandingan Diameter Tetesan pada Temperatur 50 °C dengan kecepatan aliran 0,33 M/s

Berdasarkan hasil perhitungan model stagnan film dan modifikasi E. A. Kosasih pada pengujian diameter tetesan pada temperatur 50 °C dengan kecepatan aliran 0,33 M/s, nilai diameter tetesan yang didapatkan cenderung sama.



Grafik IV.4 Perbandingan Diameter Tetesan pada Temperatur 75 °C dengan kecepatan aliran 0,34 M/s

Perbandingan diameter tetesan pada temperatur 75°C dengan kecepatan aliran 0,34 M/s, menunjukkan hasil yang sama dengan data pengujian pada temperatur 50 °C dengan kecepatan aliran 0,33 M/s. Penambahan faktor koreksi pada perhitungan membuat nilai diameter hasil perhitungan modifikasi lebih mendekati nilai diameter hasil pengujian. Perbandingan data penguapan diameter tetesan menggunakan model stagnan dengan model analogi E. A. Kosasih menunjukkan bahwa besarnya penguapan yang terjadi pada pengujian lebih cepat dibandingkan dengan model stagnan film dan model E. A. Kosasih.

## **BAB V KESIMPULAN**

### **5.1 KESIMPULAN**

Hasil pengujian tetesan pertamax pada alat uji menggunakan model analogi Ranz-Marshall yang dibandingkan dengan model stagnan film dan model E. A. Kosasih, memberikan kesimpulan sebagai berikut :

1. Menghitung laju perpindahan massa menggunakan Model analogi Ranz-Marshall pada pertamax kurang tepat digunakan karena pertamax memiliki nilai bilangan lewis 4,0-4.2 sedangkan model analogi Ranz-Marshall memiliki syarat nilai bilangan lewis 1.
2. Nilai bilangan Sherwood pada model E. A. Kosasih lebih dekat dengan model analogi Ranz-Marshall dibandingkan dengan model Stagnan film.
3. Nilai bilangan Nusselt pada model E. A. Kosasih lebih dekat dengan analogi Ranz-Marshall dibandingkan dengan model Stagnan film.
4. Nilai diameter hasil perhitungan dengan menggunakan model E. A. Kosasih dan stagnan film masih berada diatas hasil diameter pengujian.
5. Nilai diameter hasil perhitungan dengan model E. A. Kosasih lebih dekat penyebarannya ke diameter hasil pengujian dibanding model Stagnan film

### **5.2 SARAN**

1. Proses pengambilan foto lebih baik menggunakan kamera dengan pixel yang lebih tinggi agar didapat foto yang lebih baik.
2. Dibutuhkan alat ukur kecepatan yang sangat mendukung terutama alat ukur dengan ketelitian yang lebih baik.
3. Ujung *Wire Probe Thermocouple* sebaiknya tidak dililit terlalu banyak agar tetesan yang terjadi berada diluar termokopel sehingga diameter tetesan dapat diukur dengan lebih akurat.

4. Penggunaan feeder yang lebih kecil diharapkan dapat memberikan gambar diameter tetesan yang lebih baik.



## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bennett C.O., Myers J.E. *Momentum, Heat and Mass Transfer*, (New York: McGraw Hill, 1982)
- [2] Cengel, Yunus A., Michael A.Boles, *Thermodynamics An Engineering Approach*, (New York : McGraw Hill, 1994)
- [3] S. de Chaisemartin, et all, Turbulent combustion of polydisperse evaporating spays with droplet crossing: Eulerian modelling and validation in the infinite Knusden limit, Center for Turbulence Research, Proceedings of the Summer Program, 2008.
- [4] Holman , J.P., *Perpindahan Kalor*, terj.E.Jasjfi (Jakarta: Erlangga, 1991).
- [5] Incropera, Frank P., David P. De Witt, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, (New York: John Wiley & Sons, 1996).
- [6] Luo, K., O Dejardinsy., Pitsch, H, DNS of droplet evaporation and Combustion in a swirling combustor, Center for Turbulence Research, Annual Research Brief, 2008.
- [7] Kosasih, EA., “Perpindahan Panas dan Massa Dalam Proses Penguapan Tetesan : Suatu Pendekatan Baru pada Model Film Stagnan”, Sinopsis Disertasi, Program Pasca Sarjana Bidang Ilmu Teknik, Fakultas Teknik UI, Depok, 2006
- [8] Reynolds, William C., Henry Perkins, *Termodinamika Teknik*, terj.Filino Harahap (Jakarta: Erlangga, 1991).
- [9] Robert, C., Reid, Jhon, M., Prausnitz, Bruce, E., Poling, *The Properties of GASES & LIQUIDS*, (New York: Robert, C., Reid & Virginia Sherwood, 1986)
- [10] Yosuo Moriyoshi, Yosuo Imai. (2005). Quasi 2-D Measurements of Gaseous and Liquid Fuel Concentrations Using Two-Color Laser Beam Scanning Technique. Japan.
- [11] Christopher J. Rutland and Yunliang Wang . (2006). *Turbulent liquid spray*

*mixing and combustion – fundamental simulations*. University of Wisconsin, Madison.

- [12] Kosasih, E. A., “*Heat and Mass Transfer in Water Droplet Evaporation: A New Approach on Film Stagnant Model*”, The 9<sup>th</sup> Quality in Research (QIR) International Conference, Indonesia, 2006.



## **LAMPIRAN**

---





## LAMPIRAN 1

### TABEL SIFAT UDARA PADA TEKANAN ATMOSFER

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

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

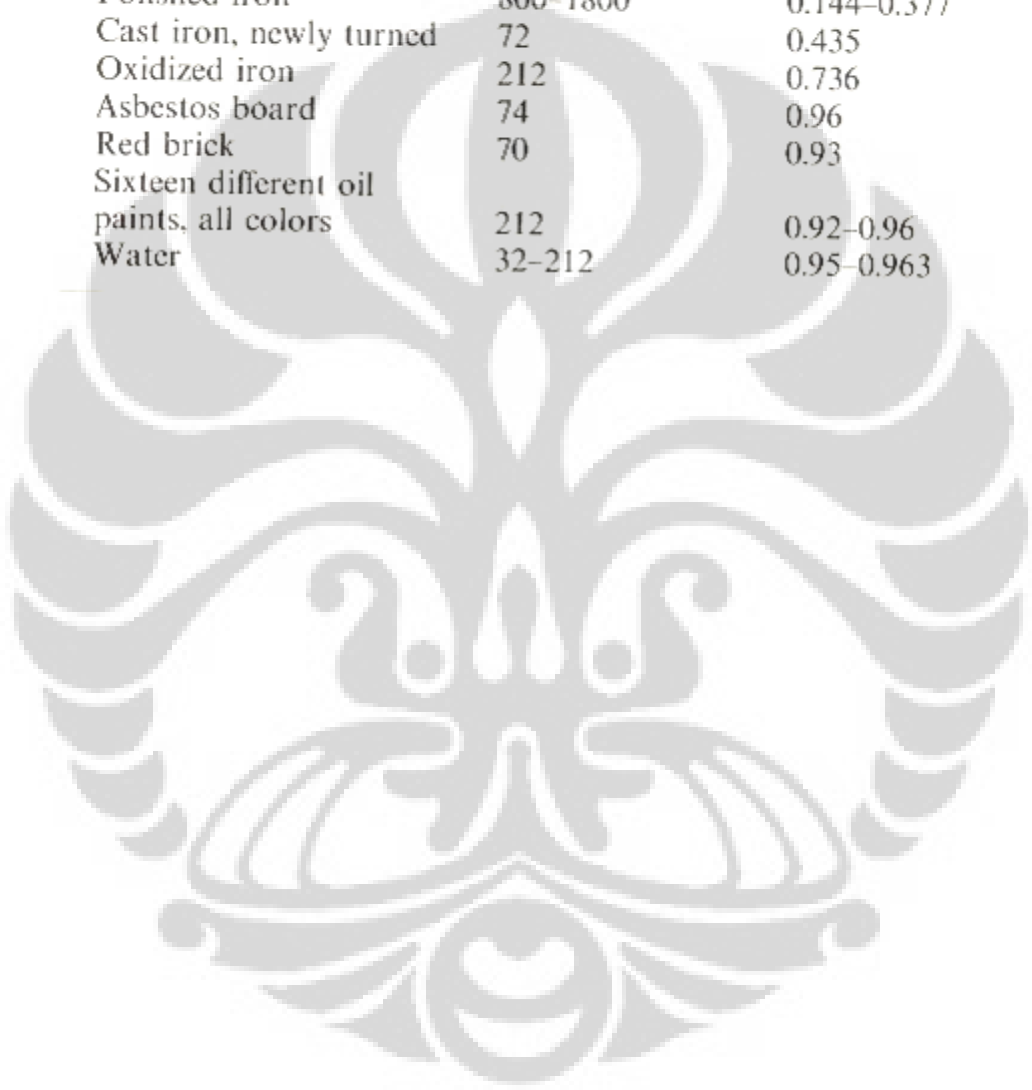
† Dari *Natl. Bur. Stand (U. S.) Circ. 564, 1965*

## LAMPIRAN 2

---

### TABEL EMISIVITAS 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 3

### TABEL DIFFUSIVITAS ATOM

Atomic Diffusion Volumes			
Atomic and Structural Diffusion Volume Increments			
C	15.9	F	14.7
H	2.31	Cl	21.0
O	6.11	Br	21.9
N	4.54	I	29.8
Aromatic ring	-18.3	S	22.9
Heterocyclic ring	-18.3		
Diffusion Volumes of Simple Molecules			
He	2.67	CO	18.0
Ne	5.98	CO <sub>2</sub>	26.9
Ar	16.2	N <sub>2</sub> O	35.9
Kr	24.5	NH <sub>3</sub>	20.7
Xe	32.7	H <sub>2</sub> O	13.1
H <sub>2</sub>	6.12	SF <sub>6</sub>	71.3
D <sub>2</sub>	6.84	Cl <sub>2</sub>	38.4
N <sub>2</sub>	18.5	Br <sub>2</sub>	69.0
O <sub>2</sub>	16.3	SO <sub>2</sub>	41.8
Air	19.7		

## LAMPIRAN 4

## TABEL PROPERTIES

Molar mass, gas constant, and critical-point properties						
Substance	Formula	Molar mass, <i>M</i> kg/kmol	Gas constant, <i>R</i> kJ/kg · K*	Critical-point properties		
				Tempera- ture, K	Pressure, MPa	Volume, m <sup>3</sup> /kmol
Air	—	28.97	0.2870	132.5	3.77	0.0883
Ammonia	NH <sub>3</sub>	17.03	0.4882	405.5	11.28	0.0724
Argon	Ar	39.948	0.2081	151	4.86	0.0749
Benzene	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	78.115	0.1064	562	4.92	0.2603
Bromine	Br <sub>2</sub>	159.808	0.0520	584	10.34	0.1355
<i>n</i> -Butane	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	58.124	0.1430	425.2	3.80	0.2547
Carbon dioxide	CO <sub>2</sub>	44.01	0.1889	304.2	7.39	0.0943
Carbon monoxide	CO	28.011	0.2968	133	3.50	0.0930
Carbon tetrachloride	CCl <sub>4</sub>	153.82	0.05405	556.4	4.56	0.2759
Chlorine	Cl <sub>2</sub>	70.906	0.1173	417	7.71	0.1242
Chloroform	CHCl <sub>3</sub>	119.38	0.06964	536.6	5.47	0.2403
Dichlorodifluoromethane (R-12)	CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	120.91	0.06876	384.7	4.01	0.2179
Dichlorofluoromethane (R-21)	CHCl <sub>2</sub> F	102.92	0.08078	451.7	5.17	0.1973
Ethane	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	30.070	0.2765	305.5	4.48	0.1480
Ethyl alcohol	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	46.07	0.1805	516	6.38	0.1673
Ethylene	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	28.054	0.2964	282.4	5.12	0.1242
Helium	He	4.003	2.0769	5.3	0.23	0.0578
<i>n</i> -Hexane	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	86.179	0.09647	507.9	3.03	0.3677
Hydrogen (normal)	H <sub>2</sub>	2.016	4.1240	33.3	1.30	0.0649
Krypton	Kr	83.80	0.09921	209.4	5.50	0.0924
Methane	CH <sub>4</sub>	16.043	0.5182	191.1	4.64	0.0993
Methyl alcohol	CH <sub>3</sub> OH	32.042	0.2595	513.2	7.95	0.1180
Methyl chloride	CH <sub>3</sub> Cl	50.488	0.1647	416.3	6.68	0.1430
Neon	Ne	20.183	0.4119	44.5	2.73	0.0417
Nitrogen	N <sub>2</sub>	28.013	0.2968	126.2	3.39	0.0899
Nitrous oxide	N <sub>2</sub> O	44.013	0.1889	309.7	7.27	0.0961
Oxygen	O <sub>2</sub>	31.999	0.2598	154.8	5.08	0.0780
Propane	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	44.097	0.1885	370	4.26	0.1998
Propylene	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	42.081	0.1976	365	4.62	0.1810
Sulfur dioxide	SO <sub>2</sub>	64.063	0.1298	430.7	7.88	0.1217
Tetrafluoroethane (R-134a)	CF <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> F	102.03	0.08149	374.3	4.067	0.1847
Trichlorofluoromethane (R-11)	CCl <sub>3</sub> F	137.37	0.06052	471.2	4.38	0.2478
Water	H <sub>2</sub> O	18.015	0.4615	647.3	22.09	0.0568
Xenon	Xe	131.30	0.06332	289.8	5.88	0.1186

\*The unit kJ/kg · K is equivalent to kPa · m<sup>3</sup>/kg · K. The gas constant is calculated from  $R = R_u/M$ , where  $R_u = 8.314$  kJ/kmol · K and  $M$  is the molar mass.  
Source: K. A. Kobe and R. E. Lynn, Jr., *Chemical Review* 52 (1953), pp. 117–236; and ASHRAE, *Handbook of Fundamentals* (Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., 1993), pp. 16.4 and 36.1.

## LAMPIRAN 5

## TABEL PROPERTIES

No	Formula	Name	MolWt	Tfp K	Tb K	Tc K	Pc bar	Vc cm <sup>3</sup> /mol	Zc	Omega	Dipm debye
551	C10H14	1-methyl-4-isopropylbenzene	134.222	200.	450.3	651.	27.3			0.373	0.0
552	C10H14	1,4-diethylbenzene	134.222	231.	456.9	657.9	28.0			0.404	0.1
553	C10H14	1,2,3,5-tetramethylbenzene	134.222	249.	471.2	679.					
554	C10H14	1,2,4,5-tetramethylbenzene	134.212	352.	470.0	675.	29.4			0.435	
555	C10H14O	thymol	150.221	323.	505.7	698.					
556	C10H15N	n-butylaniline	149.236	259.	513.9	721.	28.3				
557	C10H18	cis-decalin	138.254	230.	468.9	702.3	32.0			0.286	0.0
558	C10H18	trans-decalin	138.254	242.8	460.5	687.1	31.4			0.270	0.0
559	C10H18	1,3-decadiene	138.254		442.	615.					
560	C10H19N	caprylonitrile	153.269	255.3	516.	622.0	32.5				
561	C10H20	butylcyclohexane	140.260	198.4	454.1	667.	31.5			0.362	
562	C10H20	isobutylcyclohexane	140.270		444.5	659.	31.2			0.319	
563	C10H20	sec-butylcyclohexane	140.270		452.5	669.	26.7			0.264	
564	C10H20	tert-butylcyclohexane	140.270	232.0	444.7	659.	26.6			0.252	0.0
565	C10H20	1-decene	140.270	206.9	443.7	615.	22.0	650.	0.28	0.491	
566	C10H20O	menthol	156.269	316.	489.5	694.					
567	C10H22	n-decane	142.286	243.5	447.3	617.7	21.2	603.	0.249	0.489	0.0
568	C10H22	3,3,5-trimethylheptane	142.286		428.9	609.7	23.2			0.382	
569	C10H22	2,2,3,3-tetramethylhexane	142.286		433.5	623.2	25.1			0.364	
570	C10H22	2,2,5,5-tetramethylhexane	142.286		410.6	581.6	21.9			0.375	
571	C10H22O	1-decanol	158.285	280.1	506.1	687.	22.2	600.	0.230		1.8
572	C11H10	1-methylnaphthalene	142.201	242.7	517.9	772.	36.	462.	0.234	0.310	0.5
573	C11H10	2-methylnaphthalene	142.201	307.7	514.3	761.	35.	462.	0.26	0.382	0.4
574	C11H14O2	butyl benzoate	178.232	251.	523.	723.	26.	561.	0.25	0.58	
575	C11H16	pentamethylbenzene	148.249	327.5	504.6	719.					

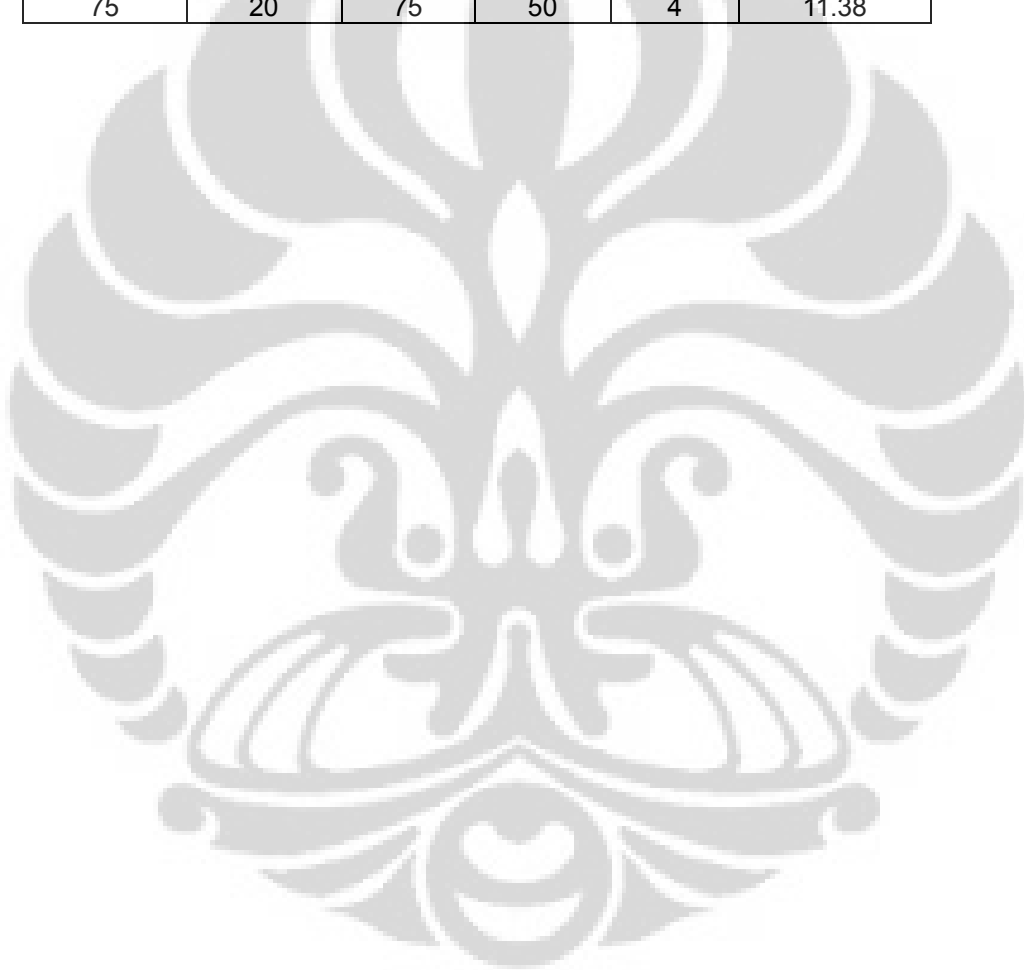
## LAMPIRAN 6

---

### DATA PENGUJIAN

Data Droplet Pertamax

Temperatur ( C )	Frekuensi (Hz)	tu [C]	td [C]	t(s)	Peluruhan dd/dt [pix/s]
50	5	50	18	9	2.83
50	10	50	20	5	1.50
50	20	50	23	7	5.43
75	5	74	38	5	9.50
75	10	75	46	4	12.38
75	20	75	50	4	11.38



## LAMPIRAN 7

### DATA HASIL PERHITUNGAN

Hasil Perhitungan Pertamax

Temperatur ( C )	Frekuensi ( Hz )	D_rata2 ( M )	Peluruhan dd/dt [pix/s]	Tf ( K )	ReSc	ShStFdat	ShModDat	ShR_M	RePr	Nustf	Numod	NuR-M
50	5	0.0013	2.83	307.00	7.3469	8425.8752	12.3646	6.0408	4.5846	4.2569	1.7581	4.5215
50	10	0.0013	1.50	308.00	8.6118	3778.7251	6.8370	6.7365	5.3846	1.8274	0.7657	4.9615
50	20	0.0011	5.43	309.50	11.9805	8760.0354	21.7915	8.5893	7.5131	8.1646	3.5085	6.1322
75	5	0.0010	9.50	329.00	6.3178	5514.4464	27.7552	5.4748	3.9287	10.3647	4.3575	4.1608
75	10	0.0010	12.38	333.50	7.7010	4039.3274	40.9557	6.2356	4.8206	15.7786	6.8171	4.6513
75	20	0.0011	11.38	335.50	11.5656	3133.9930	46.4553	8.3611	7.2662	17.9035	7.9702	5.9964