



UNIVERSITAS INDONESIA

**LAJU PENGUAPAN TETESAN PREMIUM
PADA TEMPERATUR 50 °C DAN 75 °C**

SKRIPSI

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

YOPPI SUTRISNA

08 06 36 89 12

**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 : Yoppi Sutrisna

NPM : 0806368912

Tanda Tangan :

Tanggal : 29 Desember 2010

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Yoppi Sutrisna

NPM : 0806368912

Program Studi : Teknik Mesin

Judul Skripsi : **LAJU PENGUAPAN TETESAN PREMIUM
PADA TEMPERATUR 50 °C DAN 75 °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 : Ir. Imansyah Ibnu Hakim, M.Eng (.....)

Penguji : Ir. Rusdy Malin, MME (.....)

Penguji : Dr. Ir. Warjito, M.Eng (.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 29 Desember 2010

UCAPAN TERIMA KASIH

Bismillahirrahmaanirrahiim

Alhamdulillah, segala puji dan syukur sepenuh langit dan sepenuh bumi senantiasa saya panjatkan ke hadirat Allah Yang Maha Rahman Maha Rahim atas segala nikmat karunia yang dianugerahkan kepada kita semua, utamanya nikmat kuliah di Universitas Indonesia dan nikmat dalam menyelesaikan skripsi dengan judul **“Laju Penguapan Tetesan Premium pada Temperatur 50 °C dan 75 °C”**.

Menyadari akan kekurangan dan kelemahan penulis dalam menyusun skripsi ini, penulis tidak menutup diri dari kritik dan saran dari berbagai pihak, khususnya menyangkut skripsi ini.

Dalam penyelesaian skripsi ini penulis mendapat bantuan dari berbagai pihak baik secara moril maupun secara materil, sehingga skripsi ini dapat terselesaikan. Dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Engkos Ahmad Kosasih selaku dosen pembimbing yang disela-sela kesibukannya telah meluangkan waktu, tenaga, serta pikiran dalam menyelesaikan skripsi ini. Dan dengan kerendahan dan ketulusan hati, penulis ucapkan terima kasih dan sembah sujud kepada orang tua yang telah membesarkan, mendidik serta memotivasi kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Tidak lupa juga kami mengucapkan terima kasih atas bantuan yang diberikan baik secara moril ataupun materi pengetahuan, yaitu kepada :

1. Allah SWT, hanya dengan ridho-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
2. Keluarga, karena do'anya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

3. Dosen Universitas Indonesia yang telah memberikan ilmu pengetahuan dan teknologi selama penulis menjalani perkuliahan yang menjadi bekal dimasa yang akan datang.
4. Segenap staf dan teknisi laboratorium Perpindahan Kalor yang telah bersedia meminjamkan alat-alat.
5. Segenap staf dan karyawan Jurusan Teknik Mesin Universitas Indonesia.
6. Dimas Izuladha yang telah memberikan inspirasi untuk tetap tenang walaupun skripsi menghadang.
7. Wiwin yang telah membantu revisi laporan penulis dan memberikan cerita tentang hidup.
8. Team Spray Draying: Arif, Andi, dan Bowo, semoga mendapatkan hikmah atas segala kerja keras yang telah dilakukan.
9. Amel tersayang yang telah bersedia meluangkan waktu untuk sekedar memberi semangat.
10. Rekan-rekan angkatan 2008 ekstensi Universitas Indonesia sebagai teman seperjuangan.
11. Seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, terima kasih atas bantuannya kepada penulis dalam menyelesaikan laporan skripsi ini.

Semoga budi baik dan pengorbanan yang telah diberikan kepada penulis menjadi amal shaleh yang mendapat balasan dari Allah SWT.

Harapan penulis semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang menggunakannya.

Depok, 29 Desember 2010

Penulis

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Yoppi Sutrisna

NPM : : 0806368912

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 PREMIUM PADA TEMPERATUR 50 °C
DAN 75 °C**

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 : 29 Desember 2010

Yang menyatakan

(Yoppi Sutrisna)

ABSTRAK

Yoppi Sutrisna
NPM 08 06 36 89 12
Departemen Teknik Mesin

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

LAJU PENGUAPAN TETESAN PREMIUMPADA TEMPERATUR 50 °C DAN 75 °C

ABSTRAK

Laju penguapan tetesan bahan bakar yang disemprotkan pada ruang bakar penting untuk diketahui pada proses pembakaran. Banyak penelitian dilakukan untuk melakukan simulasi pada ruang bakar dengan menggunakan *software* DNS atau atau OpenFoam. Simulasi pada *software* DNS dan OpenFoam menerapkan analogi Ranz-Marshall dengan pendekatan film stagnan untuk mendapatkan laju penguapan bahan bakar. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui apakah model analogi ini dapat digunakan pada tetesan premium yang memiliki bilangan Lewis 3,6 dan membandingkan dengan model modifikasi E. A. Kosasih.

Metode penelitian ini menggunakan jarum suntik untuk membuat tetesan bahan bakar yang diletakkan pada termokopel. Kemudian dialirkan udara dengan variasi kecepatan pada temperatur 50 °C dan 75 °C. Setelah dianalisa akan didapat hubungan antara bilangan Reynold (Re), Prandtl (Pr), Schmidt (Sc), Nusselt (Nu) dan bilangan Sherwood (Sh). Model Modifikasi oleh E. A. Kosasih ternyata mempunyai korelasi yang lebih kuat 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

Yoppi Sutrisna
NPM 08 06 36 89 12
Mechanical Engineering Departement

Counsellor
Dr. Ir. Engkos A. Kosasih, MT

EVAPORATION OF PREMIUM DROPLET IN TEMPERATURE 50 °C AND 75 °C

ABSTRACT

Fuel droplet evaporation rate sprayed in combustion chamber is important to know for combustion process. The simulation in combustion chamber in many research use DNS or Open Foam software. The simulation using DNS and OpenFoam apply analogy of Ranz-Marshall with model of stagnant film approach as basis for calculating fuel evaporation rate. This study aimed to see whether the analogy model can be used on premium which has Lewis numbers 3,6 and compare with model modification (E.A Kosasih).

This research is using a nozzle to results fuel droplet on thermocouple. Afterward the air is given with variations of velocity at temperature range 50 °C and 75 °C. After being analized, the relations between Reynold number (Re), Prandtl (Pr), Schmidt (Sc), Nusselt (Nu) and Sherwood number (Sh) will be found. The value of Sherwood and Nusselt number with modification model has stronger correlation than stagnant film model.

Keyword : 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 TERIMAKASIH.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	vi
ABSTRAK.....	vii
<i>ABSTRACT</i>	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
DAFTAR NOTASI.....	iv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Metodologi Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Bensin.....	6
2.2. Bilangan Oktan (<i>Octane Number</i>).....	7
2.3. Prinsip Dasar.....	8
2.4. Lapisan Batas Kecepatan.....	8
2.5. Lapisan Batas Termal.....	9
2.6. Lapisan Batas Konsentrasi.....	10
2.7. Perpindahan Kalor.....	10
2.7.1 Konveksi.....	10
2.7.2 Konduksi.....	11
2.7.3 Radiasi.....	12
2.7.4 Fluks Perpindahan Panas.....	13
2.7.2 Kalor Laten Penguapan.....	13
2.8. Perpindahan Massa.....	14

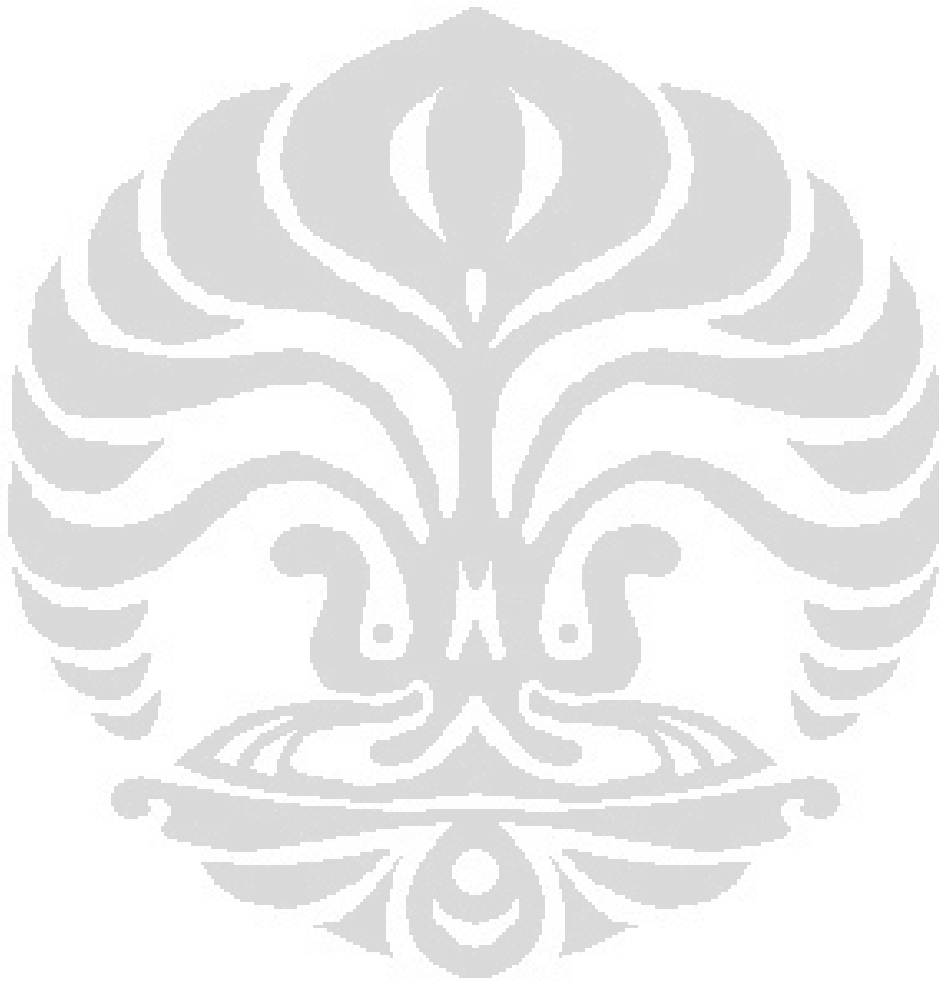
2.8.1	Koefisien Perpindahan Massa.....	14
2.8.2	Difusi dalam Gas.....	14
2.8.3	Fluks Perpindahan Massa	15
2.9.	Karakteristik Udara.....	16
2.10.	Bilangan Tak Berdimensi	18
2.10.1	Bilangan Reynolds	18
2.10.2	Bilangan Schmidt.....	20
2.10.3	Bilangan Prandtl.....	20
2.10.4	Bilangan Nusselt	21
2.10.5	Bilangan Sherwood.....	21
2.10.6	Bilangan Lewis	22
2.11.	Persamaan Ranz-Marshall	22
2.12.	Model Analogi Stagan Film	23
2.12.1	Bilangan Nusselt Model Analogi Stagnan Film	23
2.12.2	Sherwood Model Stagnan Film (Sh_{StF}).....	24
2.12.3	Sherwood Model Pendekatan Baru (Sh_{Mod}).....	25
2.12.3	Bilangan Nusselt Model Pendekatan Baru	26
BAB III METODE PENELITIAN		
3.1.	Prinsip Alat Pengujian	27
3.2.	Komponen Alat Pengujian.....	27
3.2.1	<i>Blower</i>	27
3.2.2	<i>Heater</i>	28
3.2.3	<i>Pyrex</i>	29
3.2.4	<i>Digital Controller</i>	29
3.2.5	<i>Temperature display</i>	30
3.2.6	<i>Feeder</i>	31
3.2.7	<i>Inverter</i>	31
3.3.	Prosedur Kalibrasi dan Pengambilan Data	32
3.3.1	Pengambilan Data Foto Tetesan (<i>Droplet</i>)	32
3.3.2	Pengambilan Data Kecepatan	35
3.3.3	Pengolahan Data Tetesan (<i>Droplet</i>).....	37
3.3.4	Pengolahan Data Kecepatan	39
3.4.	Perhitungan Data	41
BAB IV ANALISA DAN HASIL		
4.1.	Analisa Perbandingan Nilai Sherwood Antar Model	56
4.2.	Analisa Perbandingan Nilai Nusselt Antar Model	57
4.3.	Analisa Perbandingan Diameter Tetesan (<i>Droplet</i>) Terhadap Waktu.....	59
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		60
DAFTAR PUSTAKA		

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1	Kurva Temperatur-Penguapan Untuk Bensin.....	7
Gambar II.2	Lapisan Batas Kecepatan Pada Suatu Permukaan.....	9
Gambar II.3	Lapisan Batas Termal Pada Suatu Permukaan.....	10
Gambar II.4	Lapisan Batas Konsentrasi Pada Suatu Permukaan.....	10
Gambar II.5	Model Film Stagnan.....	23
Gambar III.1	Skema Alat Uji.....	27
Gambar III.2	<i>Blower</i>	28
Gambar III.3	<i>Heater</i>	29
Gambar III.4	<i>Pyrex</i>	30
Gambar III.5	Tabung <i>Digital controller</i>	31
Gambar III.6	Skema <i>Auto Tuning</i>	31
Gambar III.7	<i>Temperature Display</i>	32
Gambar III.8	<i>Feeder</i>	32
Gambar III.9	<i>Display Inverter SJ200</i>	33
Gambar III.10	Posisi <i>Feeder</i> dan Tetesan.....	34
Gambar III.11	Panel Sistem Listrik.....	34
Gambar III.12	Tetesan (<i>Droplet</i>).....	35
Gambar III.13	Rangkaian Baterai.....	37
Gambar III.14	<i>High Speed Camera</i>	37
Gambar III.15	Kawat Tembaga.....	38
Gambar IV.1	Perbandingan Bilangan Sherwood antar Model pada Premium...56	
Gambar IV.2	Perbandingan Bilangan Nusselt antar Model pada Premium.....58	
Gambar IV.3	Perbandingan Diameter Tetesan pada Temperatur 50 °C frekuensi 5 Hz.....	59

DAFTAR TABEL

Tabel II.1	Kondisi Aliran Fluida	20
Tabel IV.1	Hasil Perhitungan Sherwood	57
Tabel IV.1	Hasil Perhitungan Nusselt	58



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 TABEL SIFAT UDARA PADA TEKANAN ATMOSFER

Lampiran 2 TABEL EMISSIVITAS PERMUKAAN

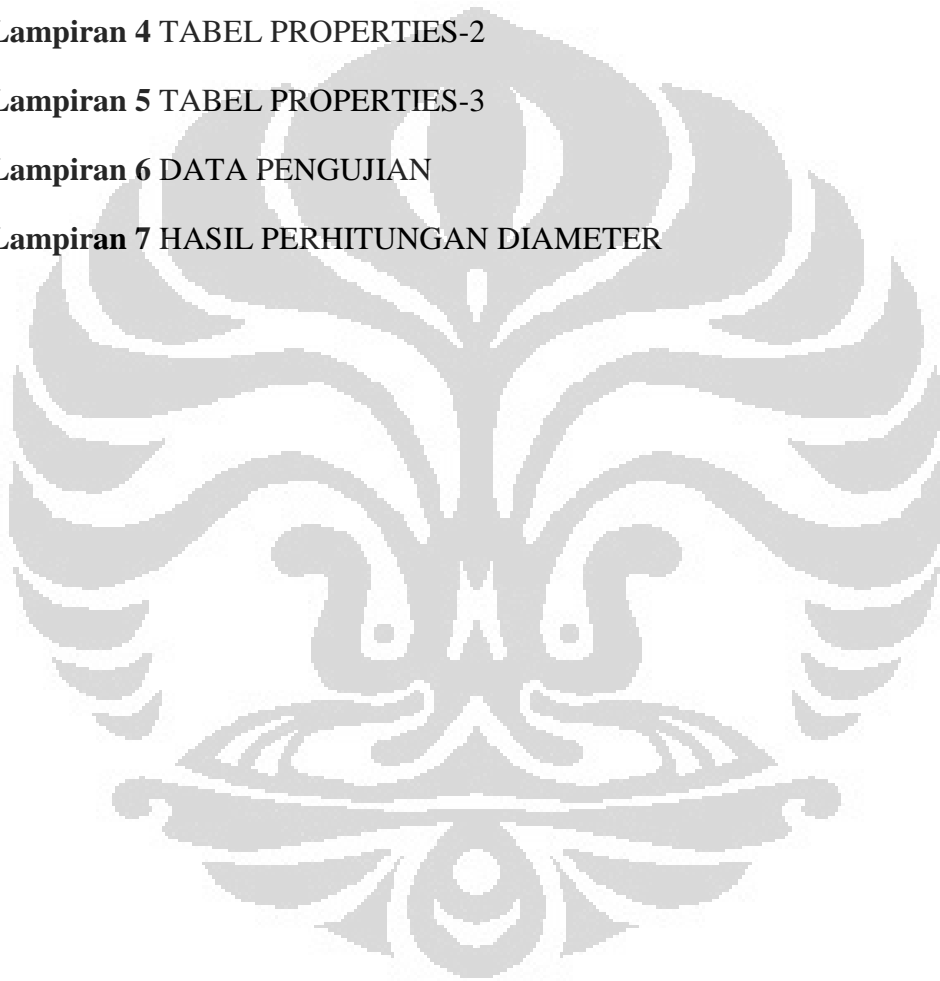
Lampiran 3 TABEL PROPERTIES

Lampiran 4 TABEL PROPERTIES-2

Lampiran 5 TABEL PROPERTIES-3

Lampiran 6 DATA PENGUJIAN

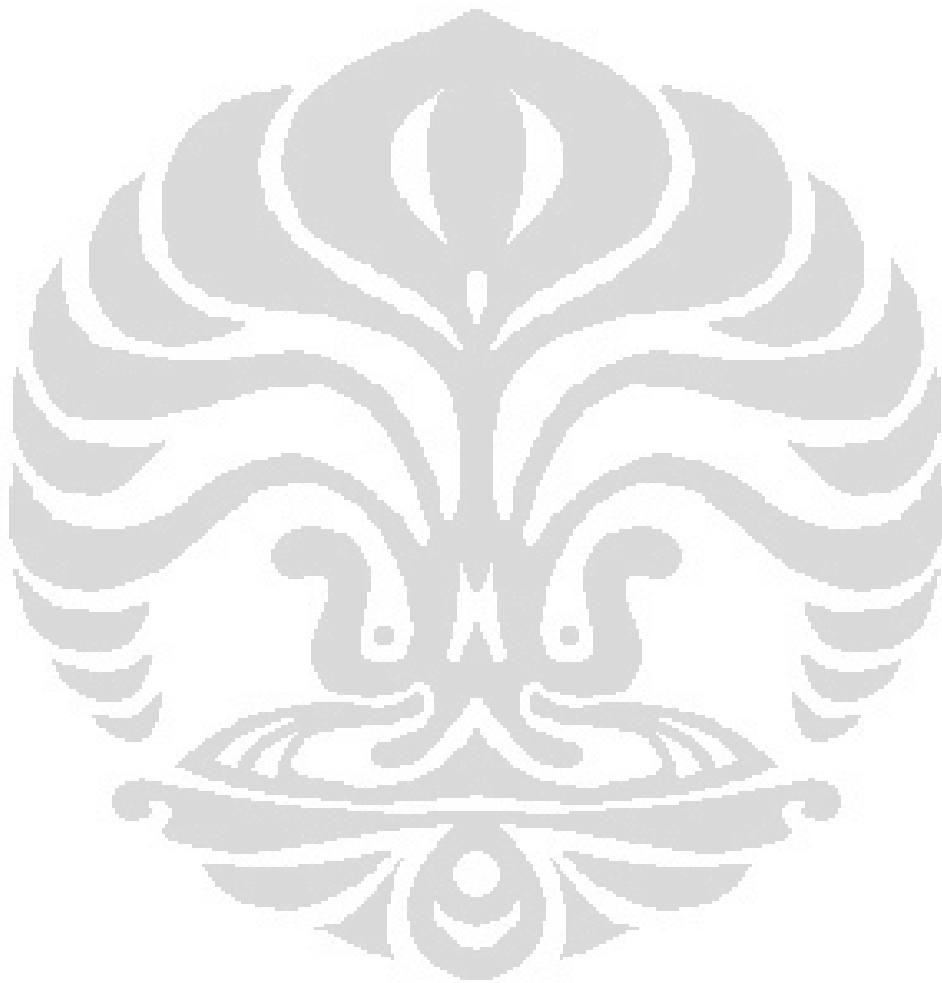
Lampiran 7 HASIL PERHITUNGAN DIAMETER



DAFTAR NOTASI

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

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



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada umumnya, mekanisme pembakaran bahan bakar cair diawali dengan tahapan proses atomisasi yaitu proses pemecahan semprotan bahan bakar (dalam hal ini premium) menjadi butiran-butiran dalam bentuk tetesan (*droplet*) yang bercampur dengan udara. Tahapan berikutnya yang terjadi adalah proses pembakaran (reaksi pembakaran dan pembentukan emisi), proses pembakaran terjadi pada daerah-daerah yang terisi dengan campuran yang tepat antara uap bahan bakar dan udara bertekanan. Uap dari bahan bakar yang bercampur dengan udara akan terbakar lebih dahulu. Kemudian daerah-daerah lain, yang belum terbakar akan segera terbakar karena pengaruh perpindahan panas dari daerah yang sudah terbakar. Peristiwa atomisasi bahan bakar dalam bentuk tetesan adalah hal yang masih terus diteliti untuk dapat menghasilkan pembakaran yang sempurna, sehingga penting untuk mengetahui laju penguapan dari bahan bakar yang digunakan untuk dapat meningkatkan efisiensi pembakaran.

Pada penelitian laju penguapan yang terjadi didalam ruang bakar, masih banyak menggunakan model analogi Ranz-Marshall untuk mendapatkan nilai koefisien perpindahan panas suatu tetesan yang kemudian dikombinasikan dengan model film stagnan untuk menghitung besarnya laju perpindahan panas dan perpindahan massa. 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. Penggunaan model analogi Ranz-Marshall diterapkan pada beberapa *software*, seperti DNS dan *OpenFoam* untuk simulasi laju penguapan bahan bakar pada ruang bakar.

Salah satu syarat analogi Ranz-Marshall adalah memiliki bilangan Lewis satu (difusifitas termal sama dengan difusifitas massa). Sedangkan bilangan Lewis premium bernilai 3, sehingga penggunaan analogi Ranz-Marshall yang dikombinasikan dengan film stagnan untuk premium perlu diuji. 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

Perumusan masalah yang akan dibahas pada penelitian ini yaitu untuk mengetahui laju penguapan tetesan (*droplet*) pada bahan bakar. Bahan bakar yang diujikan dalam penelitian ini adalah premium yang diproduksi oleh PT. PERTAMINA. Pengujian laju penguapan ini dilakukan dengan cara memanaskan tetesan pada temperatur 50 °C dan 75 °C. pada penelitian ini menggunakan inverter untuk mengatur kecepatan aliran dengan variasi 0,3 – 1,2 m/s.

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk meninjau hasil perhitungan analogi Ranz-Marshall dan film stagnan, serta meninjau korelasi terdekat antara hasil perhitungan menggunakan film stagnan dan model analogi E.A. Kosasih terhadap analogi Ranz-Marshall untuk bahan uji berupa premium. Penelitian ini juga bertujuan untuk membandingkan diameter hasil perhitungan menggunakan model analogi film stagnan dan model analogi modifikasi E. A. Kosasih dengan diameter hasil pengujian.

1.4 Batasan Masalah

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

1. Bahan bakar yang digunakan adalah premium yang di produksi PT. PERTAMINA.
2. Asumsi tetesan (*droplet*) yang terbentuk adalah berbentuk bola.
3. Diameter tetesan (*droplet*) yang digunakan berada pada nilai 1,3 – 1,5 mm.

4. Variasi temperatur yang digunakan pada 50 °C dimana bahan bakar mulai menguap dan temperatur 75 °C, saat terjadi penguapan 10% dari volumenya.
5. Variasi dari kecepatan aliran sebesar 0,3 m/s – 1,2 m/s, karena syarat bilangan Reynold pada analogi Ranz-Marshall ≤ 200 . Sehingga jenis aliran yang mengalir adalah aliran merayap (*creeping flow*).

1.5 Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur
Metode ini meliputi pencarian data-data literatur seperti buku referensi, tugas akhir, jurnal, artikel, dan data *download* dari internet yang berkaitan dengan laju penguapan tetesan.
2. Modifikasi alat pengujian.
Mengganti beberapa komponen alat pengujian agar dapat dipergunakan sesuai dengan tuntutan pengujian yang membutuhkan beberapa variasi dalam pengujiannya.
3. Pengambilan data
Pengambilan data laju penguapan dilakukan menggunakan kamera lensa makro Nikon D70 dengan jarak fokus 60 mm. Gambar tetesan (*droplet*) diambil dalam waktu tertentu sehingga dapat diketahui pengurangan diameter tetesan (*droplet*). Pengambilan gambar tetesan (*droplet*) divariasikan terhadap temperatur dan kecepatan aliran. Data yang diambil berupa kecepatan aliran, suhu aliran, suhu tetesan (*droplet*) dan foto dari tetesan (*droplet*), untuk selanjutnya dikalibrasi sehingga didapat data diameter tetesan.
4. Pencitraan tetesan
Pencitraan gambar tetesan dilakukan agar dapat diketahui kecepatan penguapan tetesan (*droplet*). Besaran nilai kecepatan penguapan tetesan diperoleh dari perubahan diameter tetesan terhadap satuan waktu. Pencitraan gambar tetesan dilakukan di pyrex dan menggunakan kamera Nikon D70 dengan lensa makro.

5. Penyusunan Laporan

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

1.6 Sistematika Penulisan

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

BAB 1 PENDAHULUAN

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

BAB 2 DASAR TEORI

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

BAB 3 METODE PENELITIAN

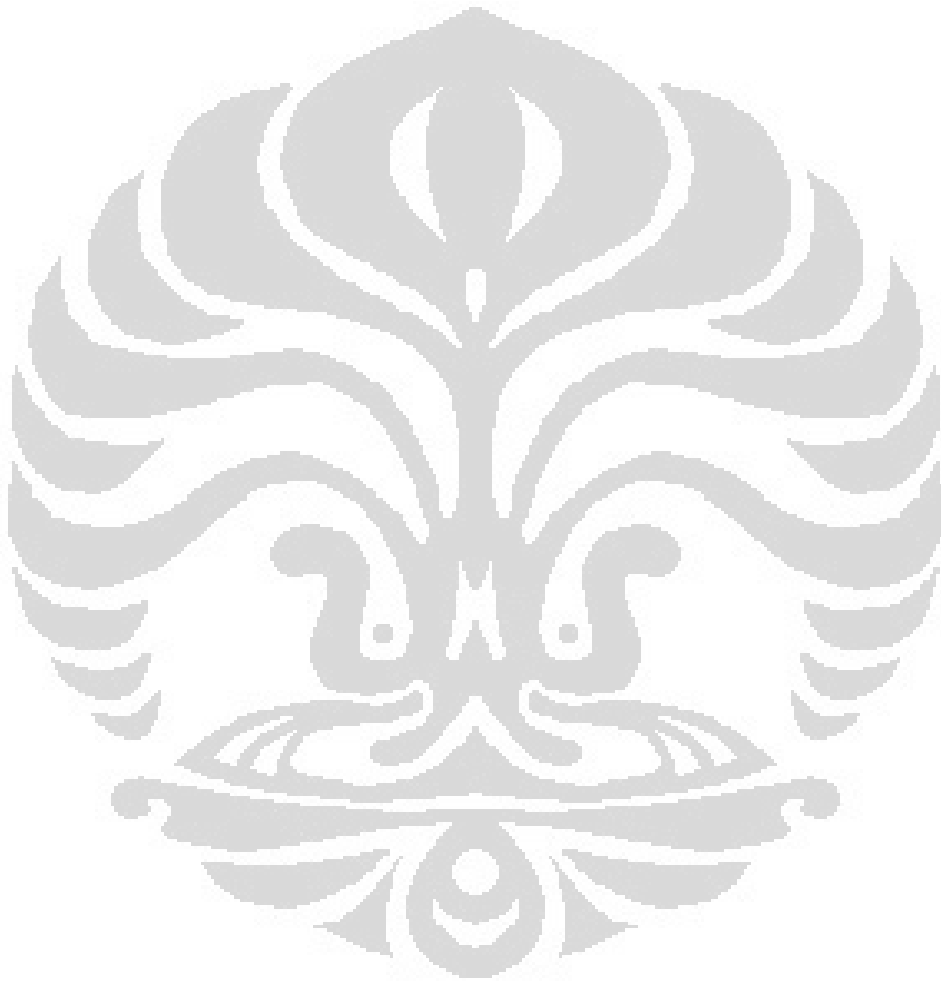
Bab ini membahas mengenai prosedur pengambilan data, kalibrasi alat, pencitraan tetesan, dan langkah-langkah perhitungan.

BAB 4 ANALISA DATA

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

BAB 5 KESIMPULAN

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



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Bensin

Jenis bahan bakar minyak bensin merupakan nama umum untuk beberapa jenis BBM yang diperuntukkan untuk mesin dengan pembakaran dengan pengapian. Bensin mengandung energi kimia. Energi ini diubah menjadi energi panas melalui proses pembakaran (oksidasi) dengan udara didalam mesin atau motor bakar. Energi panas ini meningkatkan temperatur dan tekanan gas pada ruang bakar. Gas bertekanan melakukan ekspansi sistem mekanik pada mesin. Ekspansi itu diubah oleh penghubung mekanik menjadi putaran *carnkshaft* sebagai output dari mesin. Selanjutnya *carnkshaft* dihubungkan ke sistem transmisi oleh sebuah poros untuk mentransmisikan daya atau energi putaran mekanis. Energi ini kemudian dimanfaatkan sesuai dengan keperluan, misalnya untuk menggerakkan roda motor atau mobil

Di Indonesia terdapat beberapa jenis bahan bakar jenis bensin yang memiliki nilai mutu pembakaran berbeda. Nilai mutu jenis BBM bensin ini dihitung berdasarkan nilai RON (*Research Octane Number*). Berdasarkan RON tersebut maka BBM bensin dibedakan menjadi 3 jenis yaitu:

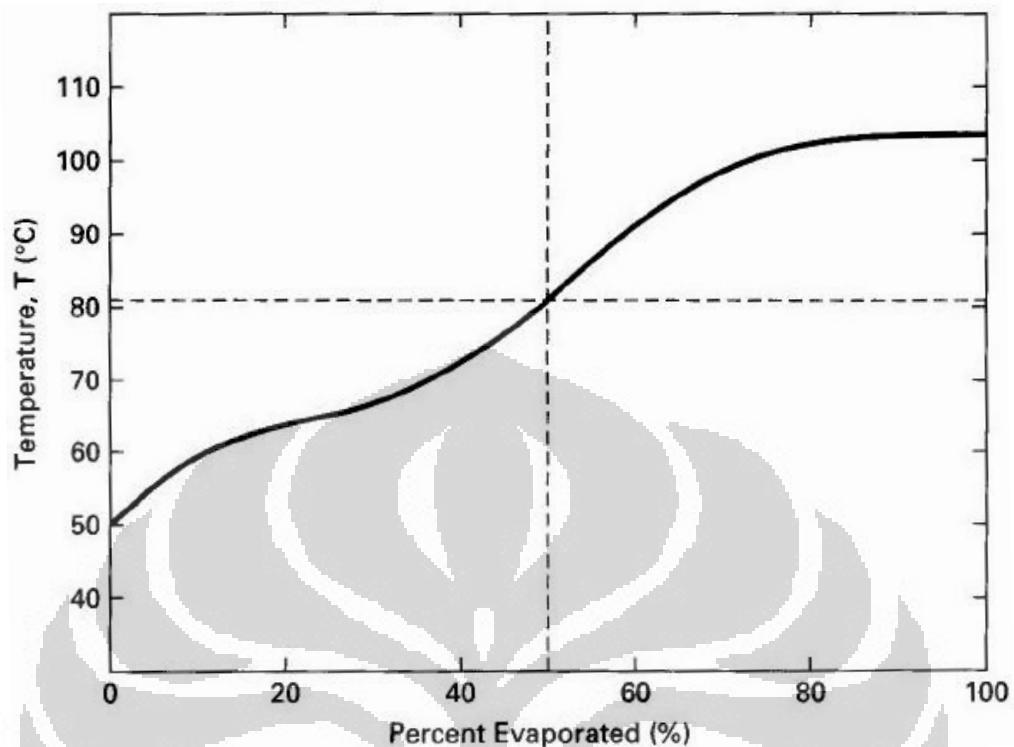
1. Premium (RON 88) : Premium adalah bahan bakar minyak jenis distilat berwarna kekuningan yang jernih. Warna kuning tersebut akibat adanya zat pewarna tambahan (*dye*). Penggunaan premium pada umumnya adalah untuk bahan bakar kendaraan bermotor bermesin bensin, seperti : mobil, sepeda motor, motor tempel dan lain-lain. Bahan bakar ini sering juga disebut motor gasoline atau petrol.
2. *Pertamax* (RON 92) : ditujukan untuk kendaraan yang mempersyaratkan penggunaan bahan bakar beroktan tinggi dan tanpa timbal (*unleaded*). *Pertamax* juga direkomendasikan untuk kendaraan yang diproduksi diatas

tahun 1990 terutama yang telah menggunakan teknologi setara dengan electronic fuel injection dan catalytic converters.

3. *Pertamax Plus (RON 95)* : Jenis BBM ini telah memenuhi standar performance *International World Wide Fuel Charter* (WWFC). Ditujukan untuk kendaraan yang berteknologi mutakhir yang mempersyaratkan penggunaan bahan bakar beroktan tinggi dan ramah lingkungan. *Pertamax Plus* sangat direkomendasikan untuk kendaraan yang memiliki kompresi ratio > 10,5 dan juga yang menggunakan teknologi *Electronic Fuel Injection* (EFI), *Variable Valve Timing Intelligent* (VVTI), (VTI), *Turbochargers* dan *catalytic converters*.

Proses penguapan yang terjadi didalam campuran bahan bakar dan udara dipengaruhi berat molekul dalam bagian-bagian yang menyusun campuran tersebut. Bagian dari campuran yang memiliki berat molekul yang kecil akan mendidih pada temperatur yang rendah (*front-end volatility*) dan bagian yang memiliki berat molekul yang lebih besar akan mendidih pada temperatur yang lebih tinggi (*high-end volatility*). Jika didalam campuran bahan bakar mengandung terlalu banyak bagian *front-end volatility* maka dapat menimbulkan masalah yaitu berkurangnya efisiensi volumetris karena bahan bakar menguap terlalu cepat sehingga mengurangi kerapatan dari bahan bakar. Untuk dapat memaksimalkan efisiensi volumetris, menguapnya bahan bakar seharusnya terjadi dalam langkah kompresi dan dalam langkah pembakaran. oleh karena itu perlu menambahkan komponen dengan berat molekul tinggi kedalam campuran bensin. Penambahan *high-end volatility* yang terlalu banyak mengakibatkan bahan bakar tidak dapat menguap dan berakhir sebagai polutan pada gas buang. Suatu cara yang biasa digunakan untuk menggambarkan besarnya penguapan suatu bensin adalah menggunakan tiga temperatur yaitu temperatur pada 10 % penguapan, temperatur pada 50 % penguapan, temperatur pada 90 % penguapan. Pada gambar

kurva temperatur-penguapan, bensin diklasifikasikan menjadi 57-81-103 °C .



Gambar II.1 Kurva Temperatur-Penguapan Untuk Bensin

2.2 Bilangan Oktan (*Octane Number*)

Sifat bahan bakar yang menggambarkan seberapa baik suatu bahan bakar akan atau tidak akan terbakar dengan sendirinya (*self-ignite*) adalah bilangan oktan (*octane number*). Skala numerik ini dihasilkan dengan membandingkan karakteristik *self ignition* bahan bakar terhadap nilai suatu bahan bakar acuan dalam mesin tertentu yang dioperasikan pada suatu kondisi. Dua bahan bakar yang menjadi acuan adalah isooktana (*isooctane*) (*2,2,4 trimethylpentane*), yang tidak mudah terbakar memberikan bilangan oktan 100 dan n-heptana (*n-heptane*) yang mudah terbakar memberikan bilangan oktan 0. Semakin tinggi bilangan oktan suatu bahan bakar maka semakin sedikit kemungkinan terjadi *self-ignite*. Mesin dengan rasio kompresi rendah dapat menggunakan bahan bakar dengan bilangan oktan yang rendah, tetapi mesin dengan rasio kompresi yang tinggi harus menggunakan bahan bakar dengan bilangan oktan yang tinggi untuk mencegah terjadinya *self-ignition* dan *knock*. Suatu bensin dengan campuran 22% n-heptana dan 88% isooktana memiliki bilangan oktan:

$$\text{bilangan oktan} = \left(\frac{22}{100} \times 0 \right) + \left(\frac{88}{100} \times 100 \right)$$

$$\text{bilangan oktan} = 88$$

2.3 Prinsip Dasar

Pada proses pembakaran, bahan bakar yang dikirim ke dalam silinder untuk mesin harus ada dalam kondisi mudah terbakar agar dapat menghasilkan efisiensi tenaga yang maksimum. Bensin sedikit sulit terbakar bila tidak diubah ke dalam bentuk gas. Oleh karena bensin hanya terbakar dalam fase uap, maka bensin harus diuapkan sebelum dibakar dalam silinder mesin kendaraan.

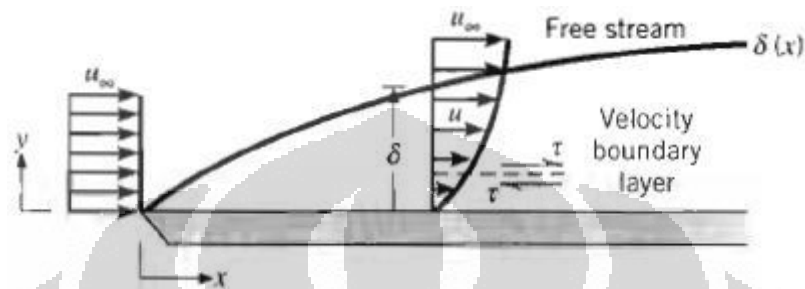
Saat campuran udara-bahan bakar masuk ke dalam *intake system*, temperaturnya meningkat dari kondisi lingkungan (*ambient*) ke temperatur yang ditentukan. Hal ini terjadi karena dinding *intake manifold* lebih panas (karena faktor desain atau posisinya dekat dengan ruang bakar) dari pada gas yang mengalir, sehingga memanaskan campuran gas secara konveksi. Efek dari pemanasan ini adalah tetesan (*droplet*) semakin menguap, menghasilkan campuran yang lebih homogen. Tetesan (*droplet*) bahan bakar yang telah bercampur dengan udara dan dipanaskan masuk ke dalam ruang bakar. Tetesan (*droplet*) akan menguap di dalam ruang bakar dan terbakar karena percikan bunga api yang dihasilkan oleh busi.

Proses pembakaran meliputi perpindahan panas dan massa secara transien serta beberapa laju proses, seperti transformasi fisik atau kimia. Perpindahan kalor dan perpindahan massa merupakan hal yang harus diperhatikan agar mengetahui laju penguapan dengan model film stagnan E. A. Kosasih dengan acuan analogi Ranz-Marshall.

2.4 Lapisan Batas Kecepatan

Ketika suatu fluida mengalir di atas sebuah plat rata, partikel-partikel fluida yang bersentuhan dengan permukaan plat diasumsikan memiliki kecepatan nol. Partikel-partikel fluida ini memperlambat pergerakan dari partikel-partikel lapisan

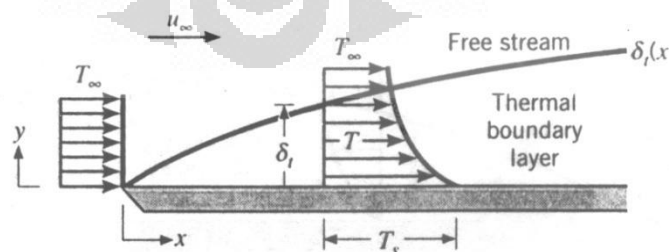
fluida yang berada di atasnya, dan terus menghambat lapisan fluida lain yang berada di atasnya hingga pada suatu jarak $y = \delta$ dari permukaan plat. Besaran δ merupakan ketebalan lapisan batas yang didefinisikan sebagai nilai dari y dimana $u = 0,99 u_{\infty}$. Daerah pada aliran di atas plat yang dibatasi oleh δ disebut lapisan batas kecepatan (*velocity boundary layer*).



Gambar II.2 Lapisan Batas Kecepatan Pada Suatu Permukaan

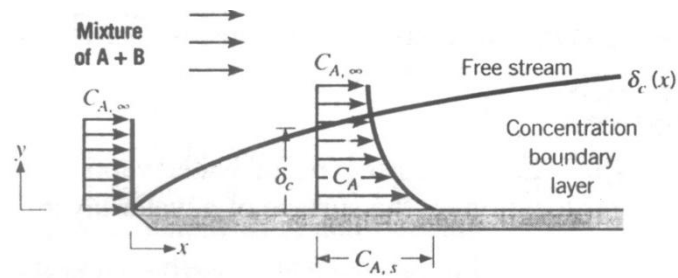
2.5 Lapisan Batas Termal

Lapisan batas termal akan berkembang pada suatu permukaan jika ada perbedaan temperatur antara fluida yang mengalir dengan permukaan. Misalkan, suatu fluida mengalir dengan temperatur yang seragam T_{∞} di atas sebuah plat datar isothermal T_s . Partikel-partikel fluida yang bersentuhan mengalami kesetimbangan termal dengan permukaan. Pertukaran energi partikel-partikel fluida terjadi dengan lapisan yang berada di atasnya dan selanjutnya sehingga membentuk suatu daerah di atas permukaan dengan variasi temperatur dari T_s hingga ke temperatur tak hingga T_{∞} . Besaran δ_t merupakan ketebalan lapisan batas termal sepanjang permukaan yang didefinisikan sebagai jarak dari permukaan.



Gambar II.3 Lapisan Batas Termal Pada Suatu Permukaan

2.6 Lapisan Batas Konsentrasi



Gambar II.4 Lapisan Batas Konsentrasi Pada Suatu Permukaan

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

2.7 Perpindahan Kalor

2.7.1 Konveksi

Konveksi adalah perpindahan kalor antara suatu permukaan dengan fluida (gas dan cairan) yang bergerak pada permukaan tersebut. Peristiwa konveksi ini mencakup kombinasi antara perpindahan kalor secara konduksi dan pergerakan fluida. Persamaan konveksi menggunakan hukum Newton tentang pendinginan^[5]:

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

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

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

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

Koefisien perpindahan kalor konveksi h dapat didefinisikan sebagai laju perpindahan kalor antara suatu permukaan padat dan fluida per satuan luas penampang per satuan beda temperatur. Besarnya nilai h diperoleh dari perhitungan analitis dari suatu sistem. Perpindahan kalor konveksi bergantung pada viskositas fluida dan sifa-sifat termal fluida itu (konduktifitas termal, kalor

spesifik, densitas). Viskositas mempengaruhi profil kecepatan sehingga mempengaruhi laju perpindahan energi di daerah dinding.

2.7.2 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).

2.7.3 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 ^[5]:

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

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]

2.7.4 Fluks Perpindahan Panas

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

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

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

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]

2.7.5 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 eror dibawah 2 %. Rumus kalor laten penguapan itu :

$$\Delta H_{vb} = RT_c T_{br} \frac{0.4343 \ln P_c - 0.69431 + 0.89584 T_{br}}{0,37691 - 0,37306 T_{br} + 0.15075 P_c^{-1} T_{br}^{-2}} \quad (2.7)$$

R = tetapan gas universal J/Kg K

T_c = temperatur kritis (K)

T_{br} = perbandingan T_d dan T_c

P_c = tekanan kritis (Bar)

2.8 Perpindahan Massa

2.8.1 Koefisien Perpindahan Massa

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

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

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

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 invinite [kg/m³]

Sh = bilangan Sherwood

D = difusivitas [m^2/s]

d = diameter dalam lapisan air [m]

A = luas permukaan yang dibasahi air (πdL) [m^2]

2.8.2 Difusi Dalam Gas

Pada perhitungan difusi gas, saya mengambil rumus yang diusulkan oleh Fuller et al. :

$$D_{ab} = \frac{0,00143T^{1,75}}{PM_{ab}^{1/2}[(\sum_{va})^{1/3} + (\sum_{vb})^{1/3}]^2} \quad (2.10)$$

P = tekanan kritis (bar)

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

\sum_v = nilai schoreder

T = temperatur droplet (K)

Laju difusi molal :

$$N = \frac{\dot{m}}{M} \quad (2.11)$$

$$N = \frac{-dm/dt}{18.A} \quad (2.12)$$

Dimana $\frac{-dm}{dt} = \rho \frac{-dV}{dt}$ (2.13)

Dan $\frac{-dv}{dt} = Ax \frac{-dr}{dt}$ (2.14)

N = laju difusi molal [mol/s]

M = berat molekul [kg]

m = laju massa aliran (kg/s)

2.8.3 Fluks Perpindahan Massa (R_x)

$$R_x = \frac{x_0 - x_{A\infty}}{1 - x_{A\infty}} \quad (2.15)$$

R_x = fluks perpindahan massa

x_0 = fraksi mol uap pada permukaan droplet

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

2.9 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 bahan bakar pada udara basah adalah 0.

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 :

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

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 :

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

$$f^{(0)} = 5,92714 - \frac{6,09648}{T_r} - 1,28862 \ln T_r + 0,16934T_r^6 \quad (2.22)$$

$$f^{(1)} = 15,2518 - \frac{15,6875}{T_r} - 13,4721 \ln T_r + 0,43577T_r^6 \quad (2.23)$$

P_{vp} = Tekanan pada permukaan

$f^{(0)}$ dan $f^{(1)}$ = fungsi penambah dari lee dan kessler

ω = *eccentric factor*

Untuk menghitung *eccentric factor* (ω) maka rumus yang digunakan:

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

α dan β = faktor korelasi dengan tekanan

Dimana α dan β diperoleh dengan menghitung dengan rumus :

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

$$\beta = 15,2518 - 15,6875 \theta^{-1} - 13,3721 \ln \theta - 0,43577 \theta^6 \quad (2.26)$$

P_c = tekanan kritis

θ = perbandingan temperatur *droplet* (T_d) dengan temperatur kritis (T_c)

Dimana θ 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)

2.10 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.

2.10.1 Bilangan Reynolds

Bilangan Reynolds didefinisikan sebagai 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. Namanya diambil dari Osborne Reynolds (1842–1912) yang mengusulkannya pada tahun 1883. Bentuk persamaan tersebut adalah :

$$Re = \frac{\text{gaya inersia}}{\text{gaya viskos}} = \frac{\rho V^2 / L}{\mu V / L^2} = \frac{\rho V L}{\mu} \quad (2.28)$$

ρ = massa jenis fluida [kg/m^3]

V = kecepatan alir fluida [m/s]

L = panjang karakteristik, berupa diameter pipa [m^2]

μ = viskositas dinamik [m^3/kg]

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 δ 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	$Re > 3 \times 10^6$	$Re > 4000$

2.10.2 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 juga Digunakan untuk menentukan karakter aliran fluida bila ada momentum secara simultan dan difusi massa selama proses konveksi.

Persamaannya yaitu :

$$Sc = \frac{\nu}{D} \quad (2.29)$$

ν = viskositas kinematik

D = difusivitas massa

2.10.3 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 hidro dinamik dan termal *boundary layer*.

Persamaannya yaitu :

$$\text{Pr} = \frac{\nu}{\alpha} \quad (2.30)$$

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

2.10.4 Bilangan Nusselt

Bilangan Nusselt menunjukkan perbandingan antara konveksi terhadap konduksi. Semakin besar bilangan Nusselt, maka konveksi yang terjadi lebih dominan dibandingkan dengan konduksi.

$$\frac{\dot{q}_{konveksi}}{\dot{q}_{konduksi}} = \frac{h\Delta T}{k\Delta T/L} = \frac{hL}{k} = Nu \quad (2.31)$$

2.10.5 Bilangan Sherwood

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

$$Sh = \frac{k_c \cdot L}{D_{AB}} \quad (2.32)$$

2.10.6 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.

$$Le = \frac{\alpha}{D_{AB}} \quad (2.33)$$

$$Le = \frac{Sc}{Pr} \quad (2.34)$$

2.11 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 :

$$Nu = 2 + 0,55 Re^{1/2} Pr^{1/3} \quad (2.35)$$

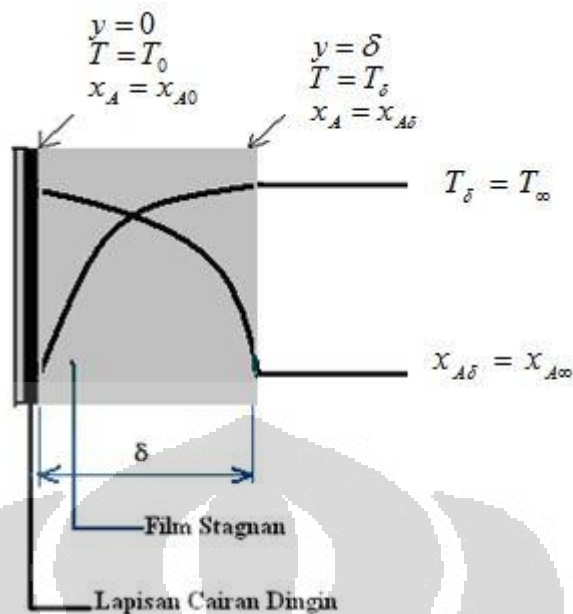
Sehingga dengan analogi untuk perpindahan massa berlaku :

$$Sh = 2 + 0,55 Re^{1/2} Sc^{1/3} \quad (2.36)$$

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.

2.12 Model Analogi Stagnan Film

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



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.

2.12.1 Bilangan Nusselt Model Analogi Stagnan Film

$$Nu_{StF} = \frac{h_{L,StF} \times d}{k} \quad (2.37)$$

$$h_{L,StF} = \frac{h}{\theta_{T,StF}} \quad (2.38)$$

$$\theta_{T,StF} = \frac{h}{h_L} \quad (2.39)$$

$$\theta_{T,StF} = \frac{\ln(1 + R_T)}{R_T} \quad (2.39)$$

$$Nu_{StF} = \text{bilangan nusselt stagnan film} \quad (2.40)$$

Nu_{StF} = bilangan nusselt stagnan film

$h_{L,StF}$ = koefisien perpindahan panas menuju nol [$\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$]

d = diameter droplet [m]

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

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

θ_{T_StF} = faktor koreksi perpindahan panas

R_T = fluks perpindahan panas

2.12.2 Sherwood Model Stagnan Film (Sh_{StF})

$$Sh_{StF} = \frac{k_{cLStF} \times diameter}{D_{AB}} \quad (2.41)$$

$$k_{cL_StF} = \frac{k_c}{\theta_{StF}} \quad (2.42)$$

$$\theta_{X_StF} = \frac{k_c}{k_{cL}} \quad (2.43)$$

$$\theta_{X_StF} = \frac{Ln(1 + R_x)}{R_x} \quad (2.44)$$

Sh_{StF} = bilangan *sherwood* stagnan film

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

d = diameter droplet [m]

D_{AB} = Difusivitas massa

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

θ_{X_StF} = faktor koreksi perpindahan massa

R_x = fluks perpindahan massa

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.

2.12.3 Sherwood Model Pendekatan Baru (Sh_{Mod})

$$Sh_{Mod} = \frac{k_{cLMod} \times d}{D_{AB}} \quad (2.45)$$

$$k_{cLMod} = \frac{k_c}{\theta_{Mod}} \quad (2.46)$$

$$\theta_{x_Mod} = \frac{k_c}{k_{cL}} \quad (2.47)$$

$$\theta_{x_Mod} = \frac{\ln(1 + R_x) - C_1}{R_x} \quad (2.48)$$

$$C_1 = -0,0011 \times (T_{udara} - T_{droplet}) - 1,0082 \times (x_{A\infty} - x_0) \quad (2.49)$$

Sh_{Mod} = bilangan *sherwood* stagnan film

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

d = diameter droplet [m]

D_{AB} = Difusivitas massa

kc = 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

2.12.4 Bilangan Nusselt Model Pendekatan Baru

$$Nu_{Mod} = \frac{h_{L_{Mod}} \times diameter}{k} \quad (2.50)$$

$$h_{L_{Mod}} = \frac{h}{\theta_{T_{Mod}}} \quad (2.51)$$

$$\theta_{T_{Mod}} = \frac{h}{h_L} \quad (2.52)$$

$$\theta_{T_{Mod}} = \frac{Ln(1 + R_T)}{R_T} + \frac{C_{pA}}{k \times R_T} \cdot C_2 \quad (2.53)$$

$$C_2 = 0,4633E^{-09} \times (T_{udara} - T_{droplet}) + 0,16E^{-06} \times (x_{A\infty} - x_0) \quad (2.54)$$

Nu_{Mod} = bilangan nusselt stagnan film

$h_{L_{Mod}}$ = koefisien perpindahan panas menuju nol [$W/m^2 \cdot ^\circ C$]

d = diameter droplet [m]

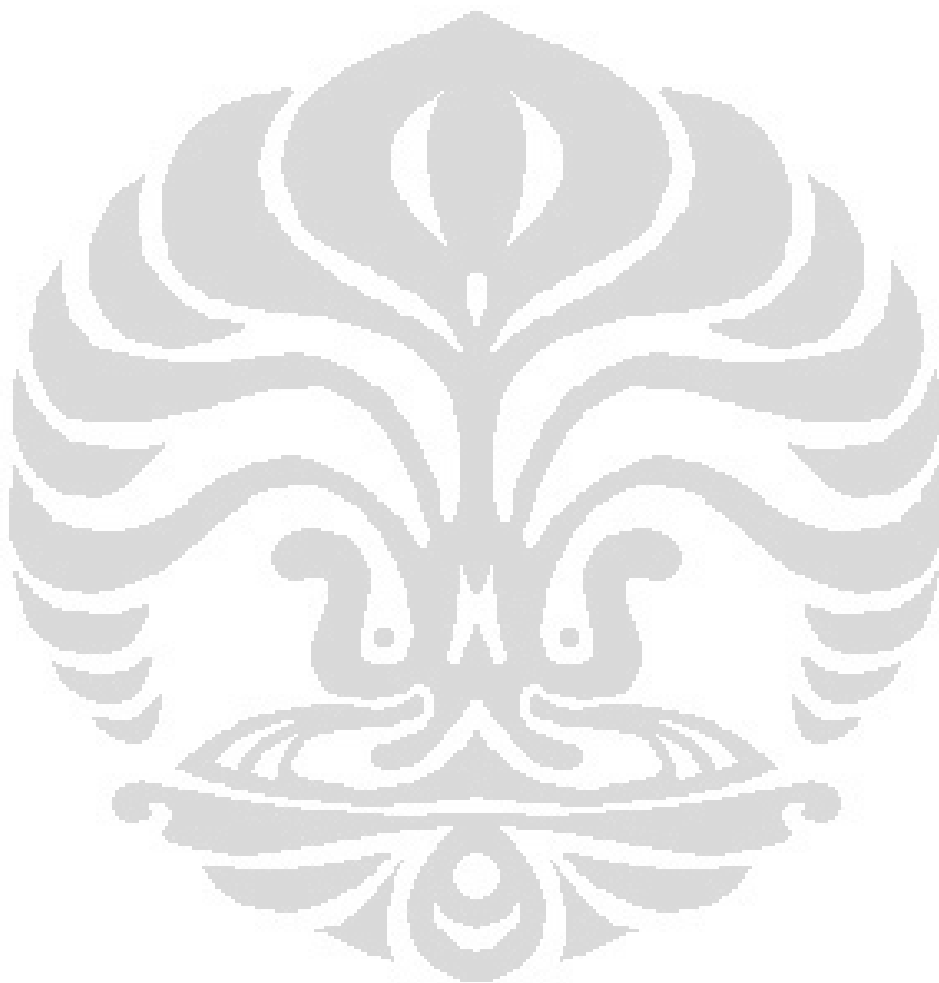
k = konduktivitas panas udara [$W/m \cdot ^\circ C$]

h = koefisien perpindahan panas [$W/m^2 \cdot ^\circ C$]

θ_{T_Mod} = faktor koreksi perpindahan panas

R_T = fluks perpindahan panas

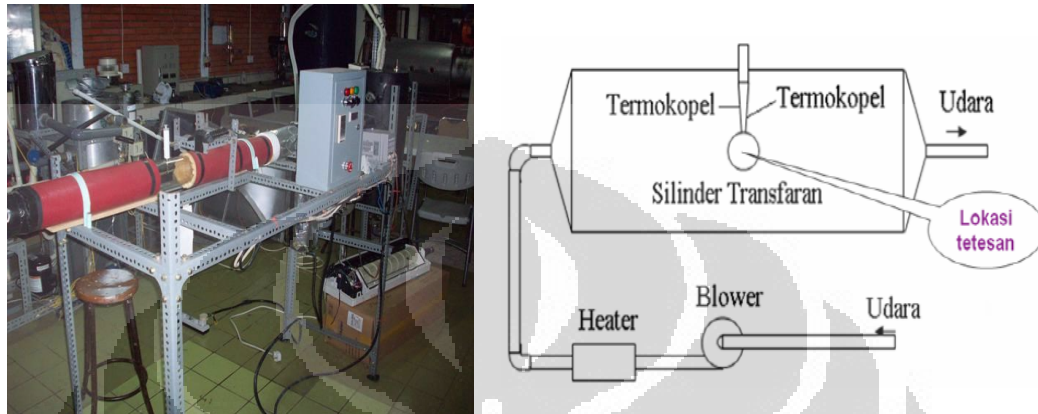
C_2 = parameter perpindahan panas



BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Prinsip Alat Pengujian



Gambar III.1 Skema Alat Uji

Prinsip kerja alat pengujian ini dengan cara menghisap udara yang ada disekitar sisi masuk *blower* yang kemudian diteruskan melalui sisi keluar *blower*. Udara diteruskan kedalam *heater* udara kemudian dipanaskan sehingga aliran udara yang mengalir dalam *pyrex* adalah udara panas yang dimanfaatkan untuk menguapkan tetesan (*droplet*) yang berada dalam *pyrex*. Pengujian ini dilakukan terhadap beberapa variasi temperatur dan kecepatan aliran udara. Proses terjadinya penyusutan diameter tetesan (*droplet*) ini difoto menggunakan kamera Nikon D70. Data berupa gambar penyusutan diameter tetesan (*droplet*) bahan bakar diolah dengan metode tidak langsung menggunakan *software paint* untuk mengukur panjang, lebar, dan diameter dari tetesan (*droplet*).

3.2 Komponen Alat Pengujian

3.2.1 *Blower*

Kecepatan aliran yang dihasilkan pada sistem dalam pengujian ini memanfaatkan aliran udara dari *blower*. *Blower* yang dipakai adalah jenis *blower* sentrifugal dengan debit $400 \text{ m}^3/\text{jam}$. Kecepatan aliran yang dialirkan *blower* dihasilkan oleh putaran impelernya. Putaran pada impeler mengakibatkan tekanan

yang rendah di bagian sisi masuk dari blower sehingga udara sekitar yang bertekanan lebih tinggi mengalir masuk ke dalam sisi hisap dari blower dan dialirkan keluar melalui sisi keluar blower. Kecepatan pada blower diatur menggunakan inverter yang ditunjukkan dalam bentuk 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. Pada *outlet heater* dipasang termokopel, agar temperatur yang dihasilkan *heater* dapat terbaca pada *temperature display* sehingga dapat dilakukan penyesuaian temperatur yang diinginkan. Panas yang digunakan dalam pengujian laju penguapan premium ini bervariasi antara 50°C dan 75°C.



Gambar III.3 Heater

3.2.3 *Pyrex*

Pengujian laju penguapan premium dilakukan pada *test section* berupa pipa *pyrex*. Pemilihan pipa *pyrex* ini karena mempunyai ketahanan terhadap panas yang cukup tinggi terhadap variasi temperatur yang akan diujikan. Dimensi pipa *pyrex* ini mempunyai diameter dalam sebesar 96 mm dengan panjang 1500 mm. skema pipa *pyrex* disajikan pada gambar dibawah, dimana bagina tengah dari *pyrex* dibentuk lubang yang berfungsi sebagai tempat untuk memasukkan *feeder* dan *wire-probe thermocouple*. Lubang ini yang menjadi *test section* pada pengujian laju penguapan.



Gambar III.4 Pyrex

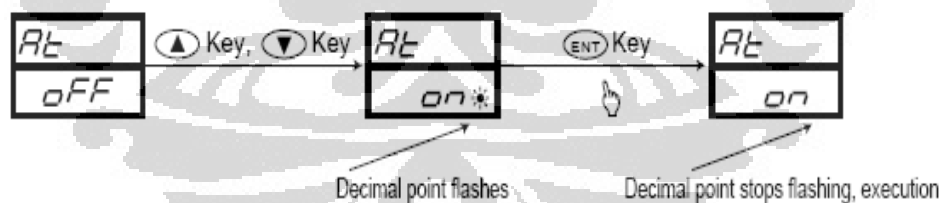
3.2.4 *Digital Controller*

Digital controller digunakan untuk mengatur temperatur heater 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.5 Tabung *Digital controller*

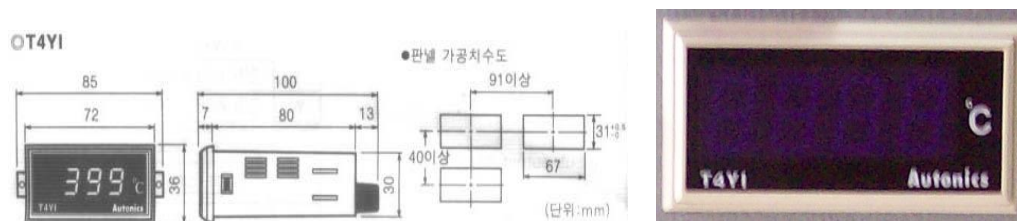
Digital controller melakukan penyesuaian secara otomatis terhadap input temperatur yang dimasukkan dengan mode auto tuning. *Controller* itu akan bekerja menstabilkan temperatur sesuai dengan kondisi yang diinginkan, dengan menyesuaikan input tegangan yang diatur menggunakan sistem *PID controller* sehingga 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 mengatur suhu seperti *digital controller*.



Gambar III.7 Temperature Display

3.2.6 Feeder

Tetesan (droplet) yang dihasilkan pada pengujian diperoleh menggunakan *feeder* dan *wire-probe thermocouple*. Suntikan yang digunakan adalah jenis *spinal needle 23*, yang memiliki dimensi dengan panjang 90 mm dan diameter jarum suntik 0.5 mm. Jenis suntikan ini dipilih karena mempunyai panjang yang mencukupi untuk diletakkan di pyrex yang mempunyai diameter 96 mm. *feeder* kemudian diisi dengan cairan bahan bakar premium yang diproduksi PT. PERTAMINA.

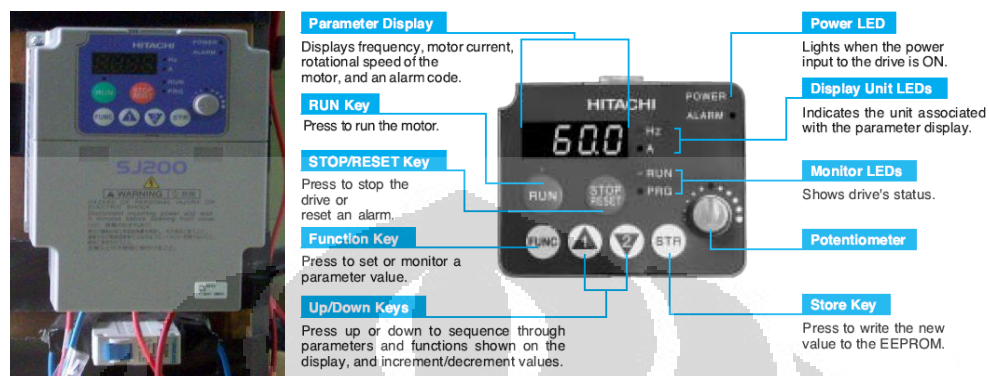


Gambar III.8 Feeder

3.2.7 Inverter

Penggunaan *inverter* dalam pengujian ini 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 ditampakkan dengan pengaturan frekuensi (hertz), sehingga putaran *blower* bisa diatur. Sebagai batas pengaturan dari inverter ini berkisar antara nilai 0 s/d 50 Hz. Tetapi yang harus diperhatikan pada saat melakukan pengaturan adalah *inverter* ini membutuhkan waktu pada saat menetapkan suatu frekuensi pengaturan, jadi setelah menetapkan frekuensi pengaturan jangan langsung digunakan untuk melakukan pengujian tapi harus ditunggu beberapa saat agar kondisinya mencapai stabil.

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



Gambar III.9 Display Inverter SJ200

Spesifikasi *Inverter* :

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

Inverter tersebut 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

Perubahan dimensi tetesan didalam *pyrex* yang terjadi karena aliran dari udara panas dari *blower* merupakan data yang diperoleh dalam pengujian. Beberapa tahapan pengujian untuk mendapatkan dimensi tetesan (*droplet*) dijelaskan dalam sub-bab berikut.

3.3.1 Pengambilan Data Foto Tetesan (*Droplet*)

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

1. Mengatur posisi kamera digital yang diletakkan pada tripod tepat didepan test section. Kemudian mengatur pencahayaan pada test section agar didapatkan gambar yang lebih jelas. Mengatur *zoom* dan fokus pada kamera yang diupayakan sampai pada kemampuan maksimalnya agar gambar tersebut dapat terlihat pada pixel yang besar sehingga diharapkan kesalahan pada pixelnya lebih kecil.



Gambar III.10 Posisi *Feeder* dan Tetesan

2. Melakukan pengaturan kecepatan aliran pada *blower* dengan mengoperasikan *inverter* pada kecepatan aliran yang diinginkan. pengujian dilakukan dengan variasi kecepatan aliran 0,3 m/s – 1,2 m/s.

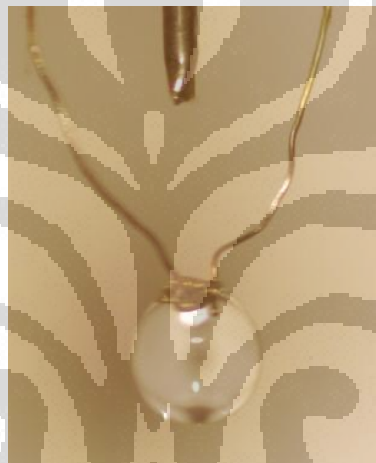


Gambar III.11 Panel Sistem Listrik

3. Menghidupkan mode *auto-tuning* pada *Heater* melalui *digital controller* temperatur. Masukkan input temperatur pada digital controller lalu tunggu hingga mencapai temperatur yang diinginkan. Variasi temperatur yang

akan dicapai untuk proses pengambilan data berada pada rentang temperatur 50 dan 75°C.

4. Mencatat temperatur udara yang terbaca pada *temperature display*
5. Selanjutnya adalah meneteskan *droplet* dengan menekan jaum suntik pada *test section* sampai terbentuk tetesan (*droplet*) yang baik. Sebelum menekan jarum suntik untuk mendapatkan tetesan (*droplet*), temperatur pada *digital controller* harus dipastikan dalam keadaan yang relatif stabil.



Gambar III.12 Tetesan (*Droplet*)

6. Catat temperatur tetesan (*droplet*) yang terhubung *wire probe-thermocouple* ditampilkan *digital controller*.
7. Tetesan (*droplet*) yang dihasilkan dalam *test section* difoto menggunakan kamera Nikon D70. Pengambilan gambar tetesan dilakukan dengan interval 1 detik setiap gambar sampai bentuk tetesan (*droplet*) sampai ukuran diameter tetesan *droplet* mulai mengecil.
8. Mengulangi langkah nomor 2 sampai dengan 6 untuk variasi temperatur 50 dan 75 °C pada frekuensi 5 Hz.
9. Mengulangi langkah nomor 2 sampai dengan 6 untuk variasi temperatur 50 dan 75°C pada frekuensi 10 Hz.

10. Mengulangi langkah nomor 2 sampai dengan 6 untuk variasi temperatur 50 dan 75°C pada frekuensi 20 Hz.

3.3.2 Pengambilan Data Kecepatan

Kecepatan yang dilakukan pada pengujian berkisar pada kecepatan 0,3 m/s – 1,2 m/s. Frekuensi ini merupakan frekuensi listrik yang masuk ke *blower* dari tegangan listrik PLN. Agar memperoleh data kecepatan dalam satuan meter per detik, maka dilakukan pengujian kecepatan dengan cara mengalirkan asap pada *test section*. Prinsip kerjanya adalah menggunakan baterai sebagai sumber listrik untuk memanaskan kawat tembaga dililitkan dengan kabel yang terhubung dengan rangkaian baterai. Baterai disusun secara paralel dengan jumlah baterai sebanyak 10 buah. Tegangan masing-masing baterai adalah 1,5 volt karena disusun paralel tegangan totalnya 1,5 volt tetap tetapi jumlah arusnya merupakan arus total seluruh baterai. Oli digunakan sebagai media untuk menimbulkan asap pada *test section* dengan memanaskannya memanfaatkan energi listrik yang mengalir pada kawat tembaga. Dengan menggunakan *high speed camera*, rekam perpindahan asap yang terjadi pada *test section*. Penyusunan rangkaian dengan 10 buah baterai secara paralel karena pengujian dilakukan dalam waktu yang lama sehingga ditujukan untuk mengurangi efek polarisasi pada baterai yang dapat memutuskan aliran listrik. Untuk memperoleh besarnya kecepatan aliran yang mengalir dalam *test section*, maka dilakukan langkah-langkah pengujian sebagai berikut :

1. Menyusun baterai dalam rangkaian paralel lalu meletakkan pada dudukan baterai yang terbuat dari kayu. Rangkaian ini dihubungkan dengan kabel yang dililitkan pada kawat tembaga. Dimana satu bagian dari kabel yang terhubung ke kawat tembaga difungsikan sebagai saklar.



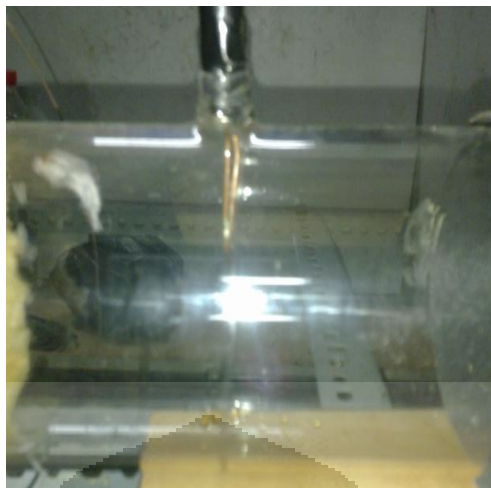
Gambar III.13 Rangkaian Baterai

2. Mengatur posisi *high speed camera* yang ditempatkan pada tripod dan ditempatkan didepan *test section*. Pengaturan pencahayaan pada test section bertujuan agar mendapatkan gambar dapat terlihat dalam pixel yang lebih besar. Kemudian mengatur kapasitas pengambilan gambar sebesar 1000 *frame per detik* pada *software* yang dioperasikan dengan laptop yang terhubung dengan *high speed camera*.



Gambar III.14 High Speed Camera

3. Frekuensi awal pengujian dilakukan pada 5 Hz. Masukkan input frekuensi ini dengan mengatur frekuensi pada inverter sebesar 5 Hz.
4. Masukkan temperatur 50 °C sebagai input pada *digital controller*.
5. Kawat tembaga dicelupkan kedalam oli lalu diletakkan pada *test section*. Hubungkan kabel yang berfungsi sebagai saklar agar aliran listrik dapat mengalir dari kutub negatif baterai melalui kawat tembaga.



Gambar III.15 Kawat Tembaga

6. Setelah listrik dialirkan pada kawat tembaga, rekam perpindahan asap yang dihasilkan dari oli dengan menggunakan *high speed camera*.
7. Data yang dihasilkan dalam format video yang kemudian di konversi dalam bentuk foto atau *file bitmap*.
8. Mengulangi langkah pada nomor 3 hingga nomor 7 dengan memasukkan variasi temperatur pada 75 dan 100°C.
9. Mengulangi langkah pada nomor 3 hingga nomor 7 dengan memasukkan frekuensi 10 Hz pada temperatur 50 dan 75 °C.
10. Mengulangi langkah pada nomor 3 hingga nomor 7 dengan memasukkan frekuensi 20 Hz pada temperatur 50 dan 75°C.

3.3.3 Pengolahan Data Tetesan (*Droplet*)

Pengolahan data foto penyusutan diameter tetesan (*droplet*) bahan bakar premium menggunakan metode tidak langsung dengan memanfaatkan *software paint* untuk mendapatkan ukuran panjang, lebar, dan diameter dari tetesan (*droplet*). Langkah awal agar mendapatkan ukuran sebenarnya pada tetesan (*droplet*) adalah melakukan konversi ukuran pixel hasil foto kamera kedalam satuan meter. Untuk melakukan konversi ini, dilakukan kalibrasi menggunakan

mata bor berdiameter 2 mm. Langkah-langkah kalibrasi dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Jarum suntik diameter 0,5 mm diletakkan pada test section dan dilakukan pengambilan gambar dengan besar pengaturan lensa yang sama saat melakukan pengambilan data dari tetesan (*droplet*).
2. File foto jarum suntik diameter 0,5 mm, diproses menggunakan *software paint*, Untuk mengetahui besar jarum suntik dalam ukuran pixel. Kemudian dilakukan pengaturan skala perbesaran untuk memperjelas batas yang akan dipilih.
3. Setelah ditentukan batasnya, pada *software* tersebut dapat mengukur diameter droplet dengan cara menarik garis dari batas yang sudah ditentukan (sumbu x dan sumbu y).
4. Setelah mendapatkan ukuran jarum suntik dalam besaran pixel, kemudian membagi ukuran jarum suntik dalam satuan milimeter dengan ukuran jarum suntik dalam ukuran pixel. Berdasarkan perhitungan, didapatkan ukuran untuk 1 pixel = $6,49351 \times 10^{-6}$ 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 $6,49351 \times 10^{-6}$ m sehingga didapatkan ukuran 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

Seperti halnya pengolahan pada data tetesan (*droplet*), pengolahan data kecepatan dengan menggunakan media asap untuk mengetahui kecepatan dalam daerah *test section* pada *pyrex*. Langkah awal sebelum mengolah *file* foto dari asap, yaitu melakukan konversi besaran pixel yang dihasilkan high speed camera ke dalam satuan meter. langkah-langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Mata bor diameter 2 mm diletakkan pada *test section* dan dilakukan pengambilan gambar dengan besar pengaturan lensa yang sama saat melakukan pengambilan data dari tetesan (*droplet*).
2. File foto mata bor diameter 2 mm diproses menggunakan *software paint*, untuk mengetahui besar mata bor dalam ukuran pixel. Kemudian dilakukan pengaturan skala perbesaran untuk memperjelas batas yang akan dipilih.
3. Setelah ditentukan batasnya, pada *software* tersebut dapat mengatur diameter droplet secara langsung dengan cara menarik garis dari batas yang sudah ditentukan (sumbu x dan sumbu y).
4. Setelah mendapatkan ukuran mata bor dalam besaran pixel, kemudian membagi ukuran mata bor dalam satuan milimeter dengan ukuran mata bor dalam ukuran pixel. Berdasarkan perhitungan, didapatkan ukuran untuk 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 Pengukuran 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. Jarak d merupakan diameter asap yang akan diukur perindahannya.
3. Dengan mangasumsikan letupan asap berbentuk bola, besarnya diameter dari asap dapat dihitung dengan menggunakan *software paint* sehingga diperoleh besarnya perpindahan dalam arah sumbu x .
4. 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.

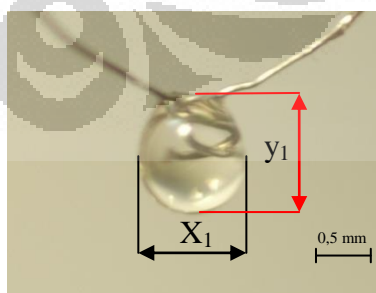
5. Melakukan langkah 1 sampai 3 untuk semua data kecepatan pada masing-masing variasi kecepatan aliran dan temperatur.
6. Setelah mendapatkan seluruh data kecepatan untuk masing-masing variasi aliran dan temperatur, langkah berikutnya adalah memasukkan data-data kecepatan itu kedalam perhitungan.

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 :

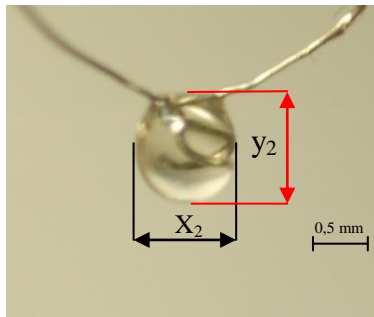
1. Larutan premium
2. Temperatur = 50 °C, Frekuensi *inverter* = 5 Hz
3. T_{udara} pada termokopel = 50 °C , T_{droplet} = 24 °C
4. Waktu (t) yang dibutuhkan = 24 detik
5. Berdasarkan hasil pengukuran diperoleh dimensi tetesan (*droplet*) :
 - Gambar tetesan pada detik ke satu :



Lebar (x_1) = 225 pixel

Tinggi (y_1) = 221 pixel

- o Gambar tetesan pada detik ke dua puluh lima :



Lebar (x_2) = 191 pixel

Tinggi (y_2) = 186 pixel

Lebar (d_1) antara gambar 1 dan gambar 2 :

$$d_1 = \frac{x_1 + x_2}{2} = \frac{225 + 191}{2} = 208$$

Tinggi (d_2) antara gambar 1 dan gambar 2:

$$d_2 = \frac{y_1 + y_2}{2} = \frac{221 + 186}{2} = 203,5$$

Selanjutnya bisa dilakukan langkah-langkah analisa perhitungan sebagai berikut:

1. Menghitung d (diameter rata-rata tetesan)

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

$$d = \frac{208 + 203,5}{2}$$

$$d = 205,8 \text{ pixel}$$

karena besarnya diameter rata-rata tetesan (droplet) masih dalam ukuran pixel, maka dilakukan konversi ke dalam besaran meter dengan mengalikan dengan $6,5 \times 10^{-6}$ m. Sehingga dihasilkan $d = 0,001336039 \text{ m} = 1,3 \times 10^{-3} \text{ m}$

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

$$\frac{dd}{dt} = \frac{((\Delta y + \Delta x)/24)}{2} \times 6,5 \times 10^{-6}$$

$$\frac{dd}{dt} = \frac{(221 - 186) + (225 - 191)}{24} \times 6,5 \times 10^{-6}$$

$$\frac{dd}{dt} = 9,3 \times 10^{-6} \text{ m/s}$$

3. Menghitung laju difusi molal (N)

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

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

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

$$\frac{dr}{dt} = \frac{9,3 \times 10^{-6}}{2}$$

$$\frac{dr}{dt} = 4,7 \times 10^{-6}$$

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

$$N = \frac{\rho_{air} \times 4,7 \times 10^{-6}}{114}$$

$$N = \frac{998 \times 4,7 \times 10^{-6}}{114}$$

$$N = 4,1 \times 10^{-5} \text{ K mole/s.m}^2$$

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

Tekanan uap (P_{vp}) pada temperatur droplet 18°C adalah:

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

Dimana ω adalah accentric faktor yang diperoleh dari:

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

$$\omega = \frac{-0,8625}{-2,369} = 0,39$$

Dimana α dan β diperoleh dari:

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

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

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

$$\theta = \frac{390,9}{561,7} = 0,7$$

$$\alpha = -\ln 25,067 - 5,97214 + 6,09648 \times 0,695^{-1} + 1,28861 \ln 0,695 - 0,169347 \times 0,695^6$$

$$\beta = 15,2518 - 15,6875 \times 0,695^{-1} - 13,3721 \ln 0,695 - 0,43577 \times 0,695^6$$

Sehingga nilai α dan β berdasarkan perhitungan diatas adalah:

$$\alpha = -0,933$$

$$\beta = -2,357$$

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

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

$$T_r = \frac{24 + 273}{561,7} = 0,53$$

$$f^{(0)} = 5,92714 - \frac{6,09648}{0,53} - 1,28862 \ln 0,53 + 0,16934 \times 0,53^6$$

$$f^{(0)} = -4,8$$

$$f^{(1)} = 15,2518 - \frac{15,6875}{0,53} - 13,4721 \ln 0,53 + 0,43577 \times 0,53^6$$

$$f^{(1)} = -5,8$$

Jadi P_{vp} adalah :

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

$$\ln P_{vp} = (-4,8) + 0,39(-5,8)$$

$$P_{vp} = EXP - 7,06 = 0,00083 \text{ bar} = 83,9 \text{ pascal}$$

$$X_0 = 83,9/101325 = 0,00083$$

5. Menghitung konsentrasi total udara (C)

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

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

$$t_f = 273 + \left(\frac{50 + 24}{2} \right)$$

$$t_f = 310 \text{ k}$$

C diperoleh dari :

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

$$C = \frac{101325}{8314,5/29 \times 310}$$

$$C = 1,14$$

6. Menghitung fluks perpindahan massa (R_x)

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

$$R_x = \frac{0,000586 - 0}{1 - 0}$$

$$R_x = 0.00586$$

7. Menghitung koefisien perpindahan massa (k_c)

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

$$k_c = \frac{4,1 \times 10^{-5}(1 - 0)}{1,14(0,000586 - 0)}$$

$$k_c = 0,06 \text{ kmole/s.m}^2$$

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

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

$$\theta_{x_{StF}} = \frac{\ln(1 + 0,000586)}{0,000586}$$

$$\theta_{x_{StF}} = 0,999$$

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

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

$$k_{clstF} = \frac{0,06}{0,999}$$

$$k_{clstF} = 0,06$$

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

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

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

$$\Sigma_{vb} = (8 \times 15,9) + (18 + 2,31) = 168,78$$

$$M_{ab} = 2 \left[\left(\frac{1}{114} + \frac{1}{29} \right) \right]^{-1} = 46,2$$

$$D_{ab} = \frac{0,00143(273 + 18)^{1,75}}{101325/100000 \times 46,2^{1/2} \left[(19,7)^{1/3} + (168,78)^{1/3} \right]^2}$$

$$D_{ab} = 0,063 \text{ cm}^2/\text{s} = 6,3 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

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

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

$$Sh_{stF} = \frac{0,06 \times 0,00133}{6,3 \times 10^{-6}} = 12,6$$

12. Menentukan parameter perpindahan massa (C_1)

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

$$C_1 = -0,0011 \times (50 - 18) - 1,0082 \times (0 - 0,00586)$$

$$C_1 = -0,0346$$

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

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

$$\theta_{x_{Mod}} = \frac{\ln(1 + 0,000586) - (-0,0346)}{0,000586}$$

$$\theta_{x_{Mod}} = 60$$

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

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

$$k_{cLMod} = \frac{0,06}{60}$$

$$k_{cLMod} = 0,006$$

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

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

$$Sh_{Mod} = \frac{0,006 \times 0,00133}{6,3 \times 10^{-6}}$$

$$Sh_{Mod} = 1,27$$

16. 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)

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 $\nu = 1,6 \text{ E}^{-05} \text{ m}^2/\text{s}$

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

$$Re = 26,88$$

17. Menghitung bilangan Schmidt

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

$$Sc = \frac{1,67 \times 10^{-5}}{6,3 \times 10^{-6}}$$

$$Sc = 2,6$$

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

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

$$Sh = 2 + (0,55 \times 26,88^{1/2} \times 2,65^{1/3})$$

$$Sh = 5,9$$

Langkah-langkah Mencari Perpindahan Panas

19. Menghitung nilai konduktivitas campuran (K) dengan $T_f = 307$ K sehingga dapat dicari nilai rapat massa udara (ρ), panas jenis udara (cp) dan difusivitas termal (α) 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 $q_{radiasi}/A$

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

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

$$\frac{Q_{radiasi}}{A} = 202,11$$

21. Menghitung q_0/A , dengan konduksi dari termokopel $Q_{konduksi} = 125,932$ dan kalor laten pada temperature tetesan (*droplet*) 18°C sebesar $h_{fg} = 39840$ KJ/Kmol dari tabel sifat air jenuh

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

$$\frac{q_0}{A} = (-1,97E^{-05} \times 39850168) + 125,934 + 202,11$$

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

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_L ketika N_{A0} menuju nol

$$h_l = \frac{(2 \times 0,55 \times Re^{\frac{1}{2}} Pr^{\frac{1}{3}})}{d} \times k$$

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

$$h_l = 161,65$$

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 (Φ)

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

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

$$\varphi = -0,00356$$

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 (θ_{StF})

$$\theta_{T_{StF}} = \frac{h}{h_l} = \frac{\ln(1 + R_T)}{R_T}$$

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

$$\theta_{T_{StF}} = 1,002$$

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 (θ_{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 $h_{L_{Stf}}$ ketika N_{A0} menuju nol

$$h_{L_{Stf}} = \frac{h}{\theta_{T_{Stf}}}$$

$$h_{L_{Stf}} = \frac{34,784}{1,002}$$

$$h_{L_{Stf}} = 34,7145 \text{ watt}/m^2K$$

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

$$h_{L_{mod}} = \frac{h}{\theta_{T_{mod}}}$$

$$h_{L_{mod}} = \frac{34,784}{4,47591}$$

$$h_{L_{mod}} = 7,77138 \text{ watt}/m^2K$$

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)

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

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

$$Nu = 4,55$$

34. Menghitung bilangan Nusselt model analogi film stagnan

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

$$Nu_{stf} = \frac{34,7145 \times 0,00132}{0,026}$$

$$Nu_{stf} = 1,76$$

35. Menghitung bilangan Nusselt model pendekatan baru

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

$$Nu_{mod} = \frac{7,77138 \times 0,00132}{0,026}$$

$$Nu_{mod} = 0,39455$$

36. Menghitung bilangan Lewis

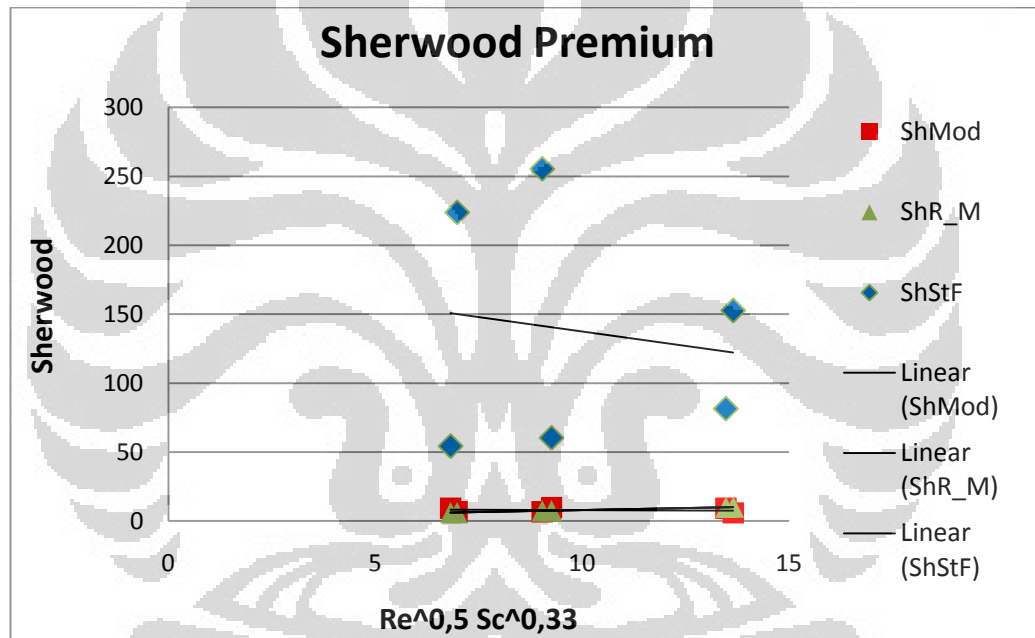
$$Le = \frac{Sc}{Pr} = \frac{3,6}{0,71} = 3,6$$

BAB IV

HASIL DAN ANALISA

4.1 Analisa Perbandingan Nilai Sherwood Antar Model

Data-data yang diperoleh dari pengujian setelah diolah menggunakan contoh perhitungan akan disajikan dalam bentuk grafik. Grafik yang disajikan merupakan perbandingan antara nilai bilangan Sherwood dari masing-masing metode yang digunakan. Metode Ranz-Marshall menjadi acuan yang digunakan untuk perhitungan perpindahan massa dari metode stagnan film dan pendekatan baru E.A Kosasih.



Gambar IV.1 Perbandingan Bilangan Sherwood antar Model pada Premium

Dari grafik diatas dapat diketahui bahwa penyebaran nilai Sherwood modifikasi memiliki korelasi yang lebih kuat dibandingkan dengan nilai Sherwood stagnan film. Selain itu penyebaran nilai Sherwood modifikasi lebih dekat dengan nilai Ranz-Marshall dibandingkan dengan penyebaran nilai Sherwood stagnan film.

Hal ini dikarenakan karena pada model analogi film stagnan menggunakan nilai koefisien perpindahan massa (kc_{L_StF}) yang nilainya lebih besar jika dibandingkan dengan nilai koefisien perpindahan massa modifikasi (kc_{L_Mod}) yang lebih kecil.

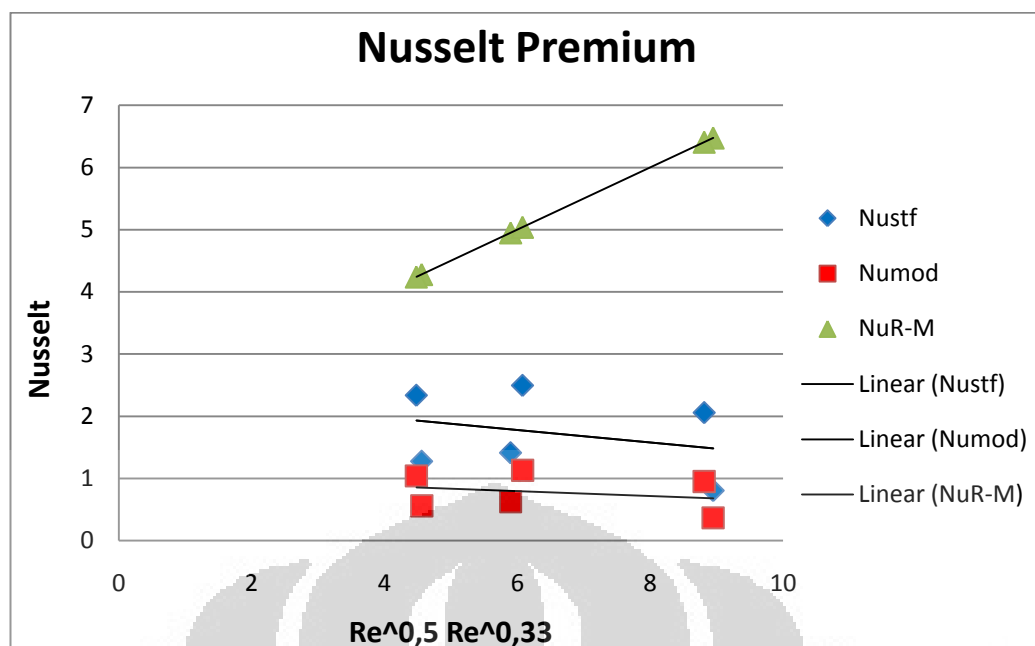
Tabel IV.1 Hasil perhitungan Sherwood

kc_{L_StF}	kc_{L_Mod}	Sh_{StF}	Sh_{Mod}
1,095422542	0,03269288	223,8705253	6,681414713
1,046504168	0,027601155	255,3960801	6,735975813
0,673050476	0,026052403	152,7241035	5,911636621
0,295753905	0,050250167	54,36447793	9,236815024
0,292052084	0,047255877	60,42516606	9,777174617
0,394038501	0,044653017	81,526867	9,238743424

Pada dasarnya model analogi Ranz-Marshall digunakan untuk laju perpindahan panas, tetapi dapat dipakai untuk menghitung laju perpindahan panas dengan syarat memiliki bilangan 1. Sedangkan besarnya bilangan Lewis pada bahan uji premium memiliki besar 3,6 sehingga tidak aplikatif pada bahan uji premium.

4.2 Analisa Perbandingan Nilai Nusselt Antar Model

Perbandingan nilai Nusselt menggunakan model stagnan film memberikan nilai korelasi yang lebih baik dibandingkan dengan model modifikasi terhadap model analogi Ranz-Marshall. Tetapi penyebaran nilai stagnan film lebih dekat ke nilai model analogi Ranz-Marshall.



Gambar IV.2 Perbandingan Bilangan Nusselt antar Model pada Premium

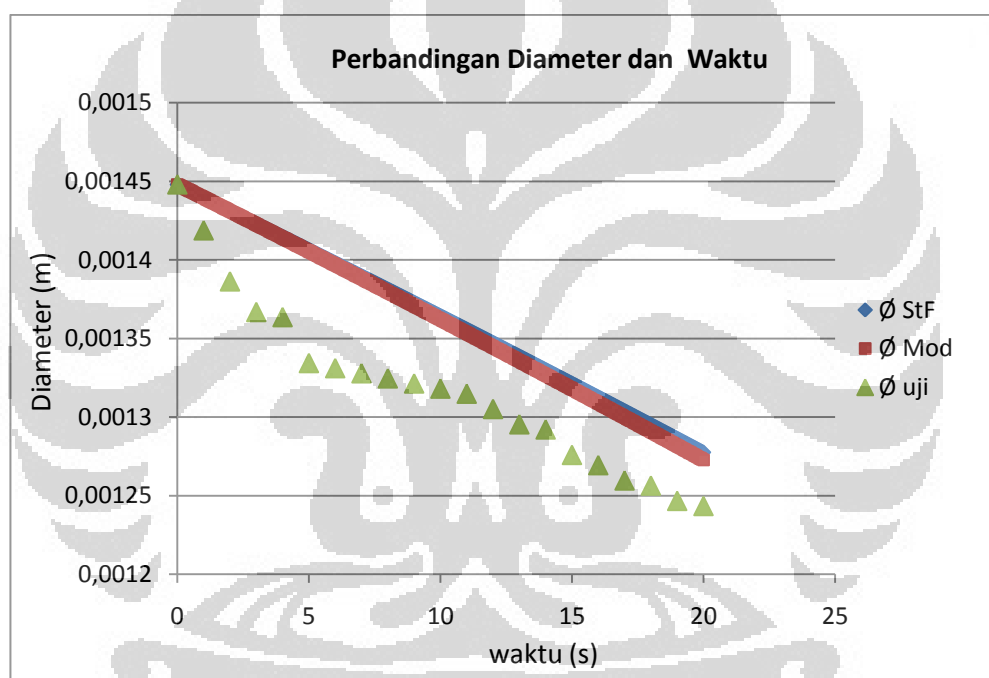
Tabel IV.2 Hasil Perhitungan Nusselt

hL_{StF}	hL_{Mod}	Nu_{StF}	Nu_{Mod}
25,67830645	11,26388951	1,277670475	0,560455148
23,90729114	10,6200918	1,414100382	0,628171372
14,43477008	6,575071494	0,808250892	0,36816017
47,35525326	21,09182962	2,337438502	1,041085228
44,97548305	20,38262242	2,49566888	1,131022349
37,72858953	17,44339988	2,059080957	0,951993514

Hal ini karena pada perhitungan faktor koreksi Modifikasi (θ_{Mod}) menambahkan 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_Mod}).

4.3 Analisa Perbandingan Diameter Tetesan (*Droplet*) Terhadap Waktu

Perbandingan antara diameter terhadap waktu menggunakan model stagnan film dan model modifikasi menunjukkan bahwa, nilai diameter hasil perhitungan masih berada diatas nilai diameter hasil pengujian dan nilai diameter pengujian lebih kecil dibandingkan dengan diameter hasil perhitungan model stagnan film dan modifikasi. Hal ini dapat menjelaskan bahwa laju penguapan yang terjadi sebenarnya lebih cepat dibandingkan dengan laju penguapan berdasarkan perhitungan. Akan tetapi nilai diameter hasil perhitungan menggunakan model modifikasi lebih mendekati nilai diameter pengujian dibandingkan dengan hasil perhitungan model stagnan film.



Gambar IV.3 Perbandingan Diameter Tetesan pada Temperatur 50 °C frekuensi 5 Hz

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

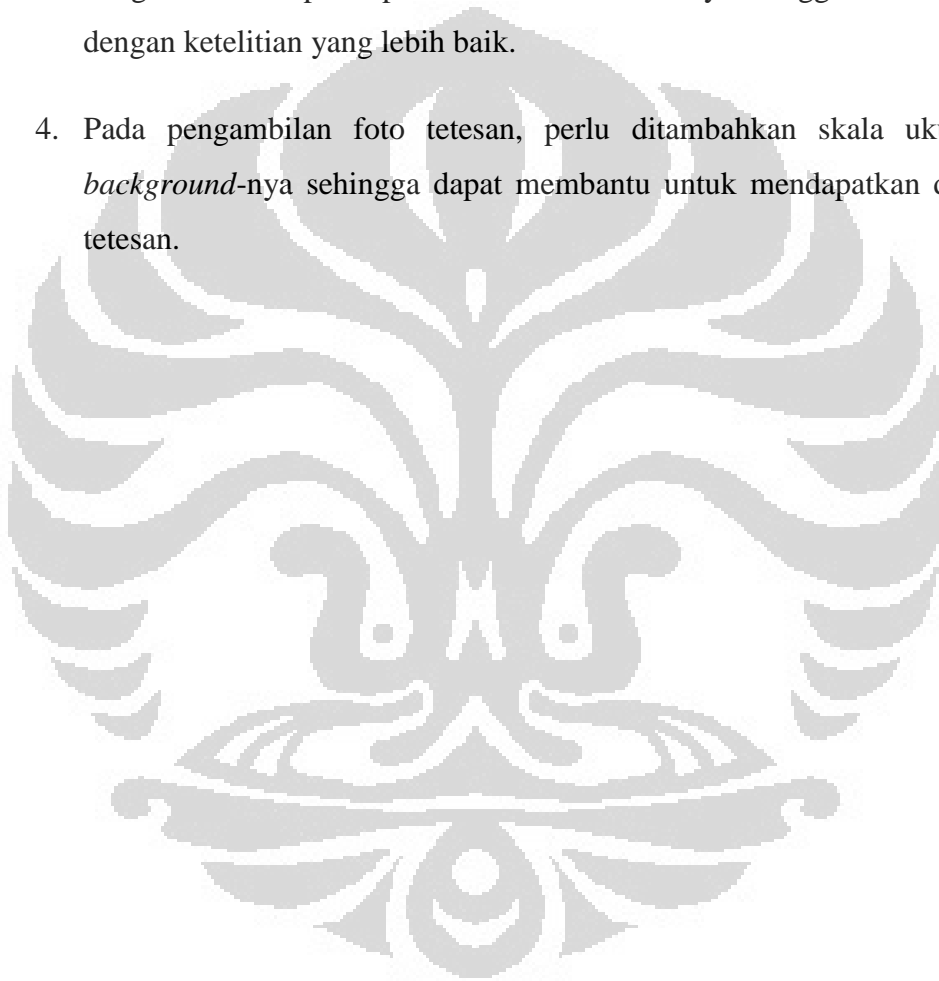
5.1 Kesimpulan

Pengujian tetesan (*droplet*) premium pada alat uji dengan menggunakan analogi Ranz-Marshall yang dikombinasikan dengan model stagnan film dan modifikasi E. A. Kosasih, memberikan kesimpulan sebagai berikut:

1. Untuk menghitung laju perpindahan massa dengan menggunakan analogi Ranz-Marshall tidak dapat digunakan pada bahan uji premium, karena bahan uji premium memiliki nilai bilangan Lewis 3,6. Dimana penggunaan analogi Ranz-Marshall memiliki syarat bilangan Lewis 1.
2. Penyebaran nilai bilangan Sherwood model modifikasi lebih dekat dan lebih kuat korelasinya terhadap model Ranz-Marshall.
3. Nilai bilangan Nusselt pada model stagnan film lebih kuat korelasinya dengan analogi Ranz-Marshall dibandingkan dengan model modifikasi. Akan tetapi penyebaran nilai bilangan Sherwood pada model modifikasi lebih baik dibandingkan dengan model stagnan film.
4. Nilai diameter hasil perhitungan dengan menggunakan model modifikasi dan film stagnan masih berada diatas nilai diameter hasil pengujian. Akan tetapi nilai diameter hasil perhitungan dengan model modifikasi lebih dekat penyebarannya ke diameter hasil pengujian dibandingkan dengan model film stagnan.
5. Laju penguapan yang terjadi sebenarnya lebih cepat dibandingkan dengan hasil perhitungan menggunakan model modifikasi dan stagnan film.
6. Besarnya kecepatan pada test section mempengaruhi nilai diameter hasil perhitungan model film stagnan dan model modifikasi E. A. Kosasih.

5.2 Saran

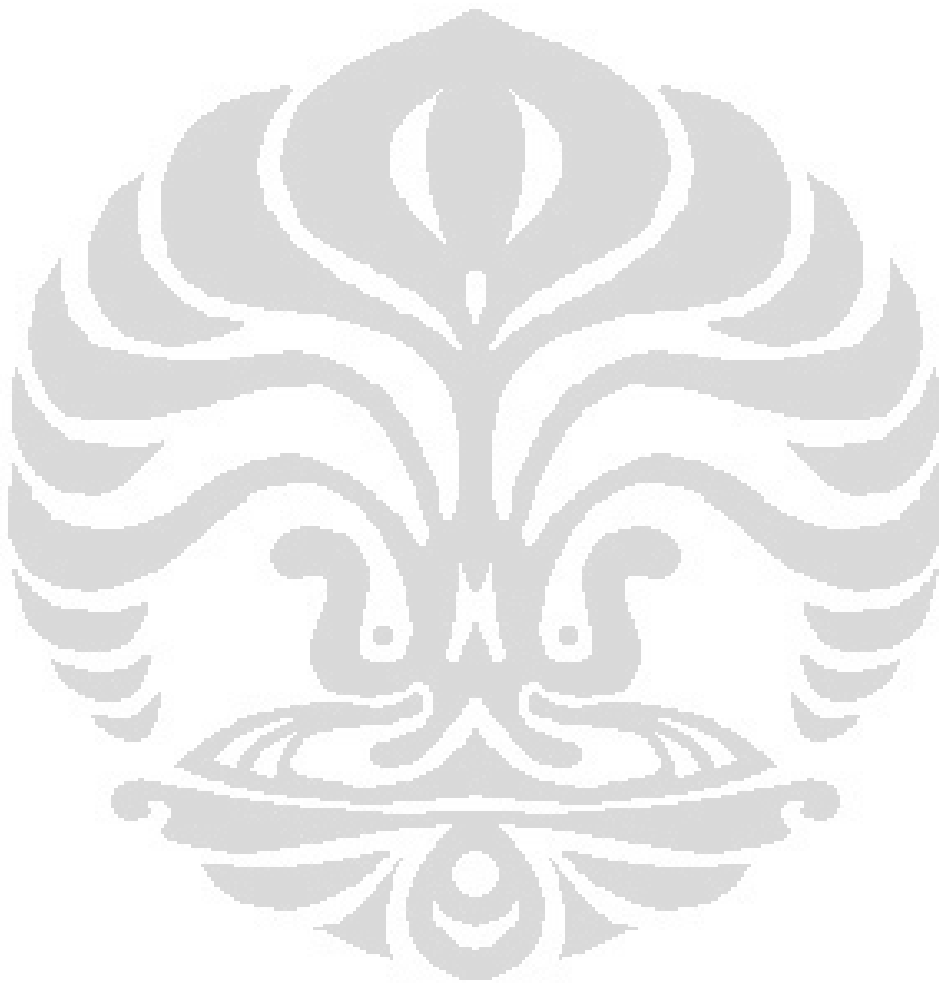
1. Proses pengambilan gambar pada lebih baik menggunakan kamera dengan pixel yang lebih teliti.
2. Proses pengambilan gambar sebaiknya dilakukan dengan menggunakan alat bantu shutter, sehingga foto yang dihasilkan lebih baik.
3. Pengukuran kecepatan pada test section sebaiknya menggunakan alat ukur dengan ketelitian yang lebih baik.
4. Pada pengambilan foto tetesan, perlu ditambahkan skala ukur pada *background*-nya sehingga dapat membantu untuk mendapatkan diameter tetesan.



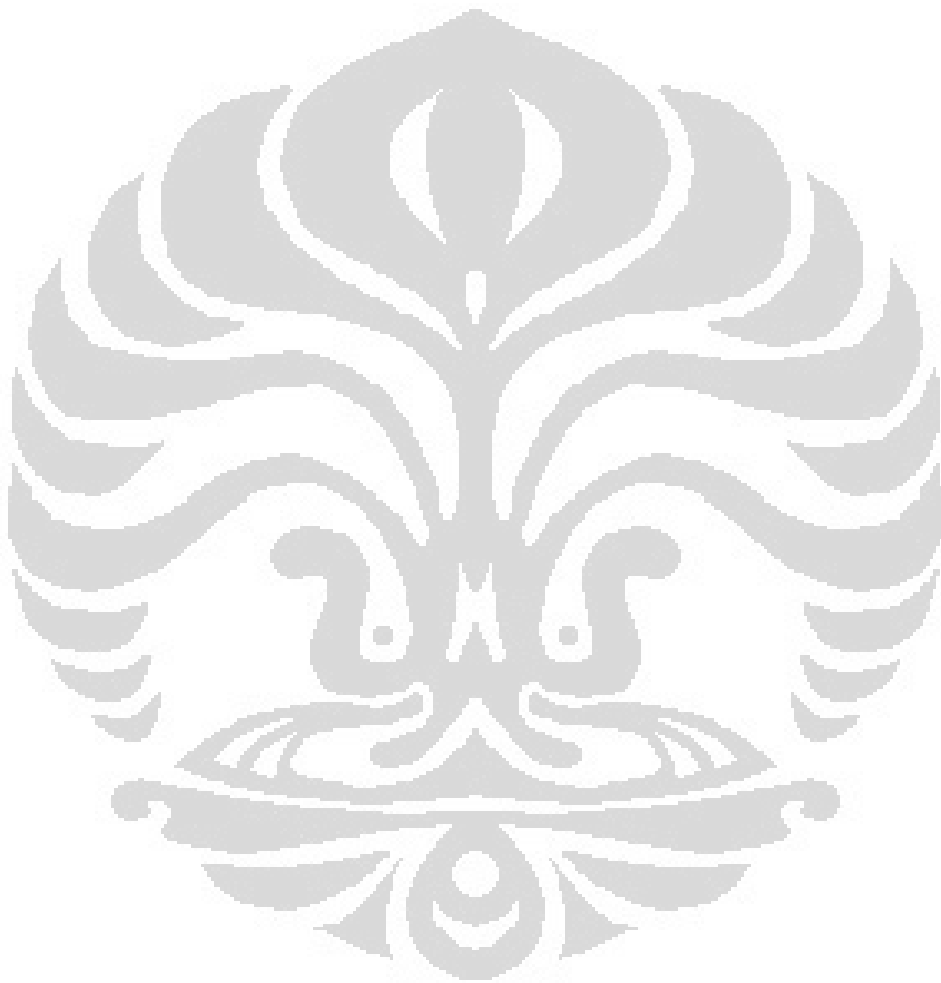
DAFTAR PUSTAKA

- [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] D'Errico, G., D, Lucchini, T, Comparison of Sombustion and Pollutant Emission Models for DI Diesel Engine, Politecnico di Milano, Dipartimento di Energetica-Milano, Italy.
- [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 9th Quality in Research (QIR) International Conference, Indonesia, 2006.



LAMPIRAN



LAMPIRAN 1

TABEL SIFAT UDARA PADA TEKANAN ATMOSFER

Sifat-sifat Udara pada Tekanan Atmosfer†

Nilai μ , k , c_p , dan Pr tidak terlalu bergantung pada tekanan dan dapat digunakan untuk rentang tekanan yang cukup luas.

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

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

LAMPIRAN 2

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 3

TABEL PROPERTIES

No	Formula	Name	MolWt	Tfp K	Tb K	Tc K	Pc bar	Vc cm ³ /mol	Zc	Omega	Dipm debye
476	C ₈ H ₁₆	cyclonoctane	112.216	287.6	422.	647.2	35.6	410.	0.271	0.236	
477	C ₈ H ₁₆	1-octene	112.216	171.4	394.4	566.7	26.2	464.	0.26	0.386	0.3
478	C ₈ H ₁₆	2-octene-trans	112.216	185.4	398.1	580.	27.7			0.350	
479	C ₈ H ₁₆ O ₂	isoamyl propionate	144.214		433.4	611.					
480	C ₈ H ₁₆ O ₂	isobutyl butyrate	144.214		430.1	603.	24.5				
481	C ₈ H ₁₆ O ₂	isobutyl isobutyrate	144.214		421.8	594.	24.6				
482	C ₈ H ₁₆ O ₂	n-propyl isovalerate	144.214		429.1	609.					
483	C ₈ H ₁₈	n-octane	114.232	216.4	398.8	568.8	24.9	492.	0.259	0.398	0.0
484	C ₈ H ₁₈	2-methylheptane	114.232	164.	390.8	559.6	24.8	488.	0.261	0.378	
485	C ₈ H ₁₈	3-methylheptane	114.232	152.7	392.1	563.7	25.5	464.	0.252	0.370	
486	C ₈ H ₁₈	4-methylheptane	114.232	152.2	390.9	561.7	25.4	476.	0.259	0.371	
487	C ₈ H ₁₈	2,2-dimethylhexane	114.232	152.	380.0	549.9	25.3	478.	0.264	0.338	
488	C ₈ H ₁₈	2,3-dimethylhexane	114.232		388.8	563.5	26.3	468.	0.263	0.346	
489	C ₈ H ₁₈	2,4-dimethylhexane	114.232		382.6	553.5	25.6	472.	0.262	0.343	
490	C ₈ H ₁₈	2,5-dimethylhexane	114.232	181.9	382.3	550.1	24.9	482.	0.262	0.356	
491	C ₈ H ₁₈	3,3-dimethylhexane	114.232	147.	385.1	562.0	26.5	443.	0.251	0.320	
492	C ₈ H ₁₈	3,4-dimethylhexane	114.232		390.9	568.9	26.9	466.	0.265	0.338	
493	C ₈ H ₁₈	3-ethylhexane	114.232		391.7	565.5	26.1	455.	0.252	0.361	
494	C ₈ H ₁₈	2,2,3-trimethylpentane	114.232	160.9	383.0	563.5	27.3	436.	0.254	0.297	
495	C ₈ H ₁₈	2,2,4-trimethylpentane	114.232	165.8	372.4	544.0	25.7	468.	0.266	0.303	
496	C ₈ H ₁₈	2,3,3-trimethylpentane	114.232	172.5	387.9	573.6	28.2	455.	0.269	0.290	
497	C ₈ H ₁₈	2,3,4-trimethylpentane	114.232	163.9	386.6	566.4	27.3	461.	0.267	0.315	
498	C ₈ H ₁₈	2-methyl-3-ethylpentane	114.232	158.2	388.8	567.1	27.0	443.	0.254	0.330	
499	C ₈ H ₁₈	3-methyl-3-ethylpentane	114.232	182.3	391.4	576.6	28.1	455.	0.267	0.303	
500	C ₈ H ₁₈	2,2,3,3-tetramethylbutane	114.232	374.	379.6	567.8	28.7	461.	0.280	0.251	

LAMPIRAN 4

TABEL PROPERTIES-2

No	Formula	Name	MolWt	Tfp K	Tb K	Tc K	Pc bar	Vc cm ³ /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	158.286	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 5

TABEL PROPERTIES-3

Physical Properties of Water (SI Units)^a

Temperature (°C)	Density, ρ (kg/m ³)	Specific Weight ^b , γ (kN/m ³)	Dynamic Viscosity, μ (N·s/m ²)	Kinematic Viscosity, ν (m ² /s)	Surface Tension ^c , σ (N/m)	Vapor Pressure, p_v [N/m ² (abs)]	Speed of Sound ^d , c (m/s)
0	999.9	9.806	1.787 E - 3	1.787 E - 6	7.56 E - 2	6.105 E + 2	1403
5	1000.0	9.807	1.519 E - 3	1.519 E - 6	7.49 E - 2	8.722 E + 2	1427
10	999.7	9.804	1.307 E - 3	1.307 E - 6	7.42 E - 2	1.228 E + 3	1447
20	998.2	9.789	1.002 E - 3	1.004 E - 6	7.28 E - 2	2.338 E + 3	1481
30	995.7	9.765	7.975 E - 4	8.009 E - 7	7.12 E - 2	4.243 E + 3	1507
40	992.2	9.731	6.529 E - 4	6.580 E - 7	6.96 E - 2	7.376 E + 3	1526
50	988.1	9.690	5.468 E - 4	5.534 E - 7	6.79 E - 2	1.233 E + 4	1541
60	983.2	9.642	4.665 E - 4	4.745 E - 7	6.62 E - 2	1.992 E + 4	1552
70	977.8	9.589	4.042 E - 4	4.134 E - 7	6.44 E - 2	3.116 E + 4	1555
80	971.8	9.530	3.547 E - 4	3.650 E - 7	6.26 E - 2	4.734 E + 4	1555
90	965.3	9.467	3.147 E - 4	3.260 E - 7	6.08 E - 2	7.010 E + 4	1550
100	958.4	9.399	2.818 E - 4	2.940 E - 7	5.89 E - 2	1.013 E + 5	1543

^aBased on data from *Handbook of Chemistry and Physics*, 69th Ed., CRC Press, 1988.

^bDensity and specific weight are related through the equation $\gamma = \rho g$. For this table, $g = 9.807 \text{ m/s}^2$.

^cIn contact with air.

^dFrom R. D. Blevins, *Applied Fluid Dynamics Handbook*. Van Nostrand Reinhold Co., Inc., New York, 1984.

LAMPIRAN 6

HASIL PERHITUNGAN

Temp (°C)	Frek (Hz)	Diameter Rata-Rata		Peluruhan dd/dt [pix/s]	td [C]	Tf (°C)	ReSc	ShStF	ShMod	ShR_M	RePr	Nustf	Numod	NuR-M
		(Pixel)	(meter)											
50	5	205,750	0,001	1,438	18	307	7,398	383,106	6,384	6,069	4,601	1,759	0,721	4,531
50	10	244,250	0,002	1,300	20	308	9,235	1867,153	6,640	7,079	5,925	1,868	0,814	5,259
50	20	232,500	0,002	1,038	23	310	14,031	1163,100	5,589	9,717	9,001	1,373	0,612	6,950
75	5	219,000	0,001	2,313	38	329	7,149	935,350	8,399	5,932	4,579	2,525	1,114	4,518
75	10	246,500	0,002	1,586	46	334	9,596	457,698	7,969	7,278	6,144	2,166	0,976	5,379
75	20	241,250	0,002	1,795	50	336	13,766	407,869	10,195	9,571	8,813	2,948	1,352	6,847

LAMPIRAN 7

HASIL PERHITUNGAN DIAMETER

Temperatur 50 °C frekuensi 5 Hz

detik	Ø stagnan film	Ø Modifikasi	Ø uji	dd/dt Stagnan film	dd/dt Modifikasi
0	0,001448053	0,001448053	0,001448053	8,18415E-06	8,41148E-06
1	0,001439854	0,001439626	0,001418832	8,2152E-06	8,44428E-06
2	0,001431624	0,001431166	0,001386364	8,24668E-06	8,47756E-06
3	0,001423362	0,001422672	0,001366884	8,27861E-06	8,51131E-06
4	0,001415068	0,001414145	0,001363637	8,31098E-06	8,54556E-06
5	0,001406742	0,001405583	0,001334416	8,34382E-06	8,58031E-06
6	0,001398382	0,001396986	0,00133117	8,37714E-06	8,61558E-06
7	0,001389989	0,001388353	0,001327923	8,41094E-06	8,65138E-06
8	0,001381562	0,001379685	0,001324676	8,44524E-06	8,68772E-06
9	0,0013731	0,001370979	0,001321429	8,48005E-06	8,72462E-06
10	0,001364603	0,001362237	0,001318183	8,51539E-06	8,7621E-06
11	0,001356071	0,001353457	0,001314936	8,55126E-06	8,80016E-06
12	0,001347502	0,001344638	0,001305196	8,58769E-06	8,83883E-06
13	0,001338897	0,001335781	0,001295455	8,62468E-06	8,87812E-06
14	0,001330255	0,001326884	0,001292208	8,66226E-06	8,91805E-06
15	0,001321574	0,001317947	0,001275975	8,70044E-06	8,95863E-06
16	0,001312855	0,001308969	0,001269481	8,73923E-06	8,99989E-06
17	0,001304098	0,001299949	0,001259741	8,77865E-06	9,04185E-06
18	0,0012953	0,001290887	0,001256494	8,81872E-06	9,08452E-06
19	0,001286462	0,001281782	0,001246754	8,85946E-06	9,12793E-06
20	0,001277583	0,001272633	0,001243507	8,90089E-06	9,17209E-06