



UNIVERSITAS INDONESIA

**Penguapan Tetesan Premium:
Perbandingan Antara Model Film Stagnan dan Model Modifikasi**

SKRIPSI

PUJI HARTONO

0906605044

FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

DEPOK

JULI 2012



UNIVERSITAS INDONESIA

**Penguapan Tetesan Premium:
Perbandingan Antara Model Film Stagnan dan Model Modifikasi**

SKRIPSI

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

PUJI HARTONO

0906605044

FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

DEPOK

JULI 2012

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Puji Hartono

NPM : 0906605044

Tanda Tangan : 

Tanggal : 3 Juli 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Puji Hartono

NPM : 0906605044


Program Studi : Teknik Mesin

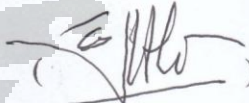
Judul Skripsi : **Penguapan Tetesan Premium:
Perbandingan Antara Model Film Stagnan dan
Model Modifikasi**

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Ir. Engkos Achmad Kosasih M.T. ()

Sekretaris : Ir. Imansyah Ibnu Hakim M.Eng ()

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

Penguji : Dr. Ir. Ahmad Indra Siswantara ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 3 Juli 2012

UCAPAN TERIMA KASIH

Assalamu'alaikum Wr.Wb.

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah Yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang atas segala nikmat karunia yang dianugerahkan kepada kita semua, utamanya nikmat kuliah di Universitas Indonesia dan nikmat dalam menyelesaikan skripsi dengan judul **Penguapan Tetesan Premium: Perbandingan Antara Model Film Stagnan dan Model Modifikasi.**

Penulis juga sadar masih banyak kekurangan dan kelemahan dalam menyusun skripsi ini, penulis tidak menutup diri dari kritik dan saran dari berbagai pihak, khususnya hal-hal yang berhubungan dengan skripsi ini.

Alhamdulillah 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 kepada Bp. Engkos Achmad Kosasih selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu, tenaga, serta pikiran dalam menyelesaikan skripsi ini. Kemudian dengan kerendahan dan ketulusan hati, penulis ucapkan terima kasih kepada Ibunda tercinta yang telah membesarkan, mendidik serta motivasi kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Kami juga mengucapkan terima kasih atas bantuan yang telah diberikan baik secara moril ataupun materi pengetahuan, yaitu kepada:

1. Keluarga, karena doa dan motivasi sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
2. Dosen Universitas Indonesia yang telah memberikan ilmu pengetahuan dan teknologi selama penulis menjalani perkuliahan yang menjadi bekal dimasa yang akan datang.
3. Segenap staf dan teknisi laboratorium *Heat Transfer* yang telah bersedia meminjamkan alat-alat.
4. Segenap staf dan karyawan Jurusan Teknik Mesin Universitas Indonesia.

5. Ahmad Haudi yang telah membantu dalam pembuatan skripsi dan inspirasi untuk selalu semangat.
6. Teman kost Kukusan yang selalu memberi support dan semangat (Rino dan Hari)
7. Dian OC sahabat terbaik yang telah menjadi inspirasi dan harapan dalam mewujudkan mimpi dimasa depan dengan penuh semangat.
8. Teman-teman angkatan 2009 ekstensi Universitas Indonesia sebagai teman seperjuangan
9. Seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, terima kasih atas bantuannya kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Insyallah jasa baik dan pengorbanan yang telah diberikan kepada penulis menjadi amal shaleh yang mendapat balasan setimpal dari Allah SWT.

Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang berkepentingan dan menjadi ladang ilmu untuk memperluas wawasan dalam menjalani kehidupan.

Depok, 3 Juli 2012

Penulis

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Puji Hartono
NPM : : 0906605044
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:

Penguapan Tetesan Premium:

Perbandingan Antara Model Film Stagnan dan Model Modifikasi

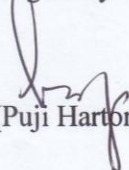
beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan skripsi saya tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 3 Juli 2012

Yang menyatakan,


(Puji Hartono)

ABSTRAK

Puji Hartono
NPM 0906605044
Departemen Teknik Mesin

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Engkos Achmad Kosasih, M.T

Penguapan Tetesan Premium:

Perbandingan Antara Model Film Stagnan dan Model Modifikasi

ABSTRAK

Laju penguapan tetesan (*droplet*) 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 OpenFoam. Simulasi pada *software* DNS dan OpenFoam menerapkan analogi Ranz-Marshall dengan pendekatan Stagnan Film 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 – 3,9 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, 75 °C dan 100 °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 Stagnan Film.

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

ABSTRACT

Puji Hartono
NPM 0906605044
Mechanical Engineering Departement

Counsellor
Dr. Ir. Engkos Achmad Kosasih, M.T

Evaporation of Premium Droplet:

A Comparison Between Film Stagnant Model and Modified Model

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 – 3,9 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, 75 °C and 100 °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; Droplet evaporation; Ranz-Marshall analogy; Stagnant film model; Dimensionless number; The new model (E.A. Kosasih, 2006)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
UCAPAN TERIMAKASIH.....	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	vii
ABSTRAK.....	viii
<i>ABSTRACT</i>	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
DAFTAR NOTASI.....	xv
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.....	5
2.2. Bilangan Oktan (<i>Octane Number</i>).....	7
2.3. Prinsip Dasar.....	8
2.4. Lapisan Batas Kecepatan.....	9
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.....	11
2.7.4 Fluks Perpindahan Panas.....	12
2.7.5 Kalor Laten Penguapan.....	12

2.8.	Perpindahan Massa	13
2.8.1	Koefisien Perpindahan Massa	13
2.8.2	Difusi dalam Gas.....	13
2.8.3	Fluks Perpindahan Massa	14
2.9.	Karakteristik Udara.....	14
2.10.	Bilangan Tak Berdimensi	17
2.10.1	Bilangan Reynolds	17
2.10.2	Bilangan Schmidt	18
2.10.3	Bilangan Prandtl.....	19
2.10.4	Bilangan Nusselt	19
2.10.5	Bilangan Sherwood	19
2.10.6	Bilangan Lewis	20
2.11.	Persamaan Ranz-Marshall	20
2.12.	Model Analogi Stagnan Film.....	21
2.12.1	Bilangan Nusselt Model Analogi Stagnan Film	21
2.12.2	Sherwood Model Stagnan Film (Sh_{stF}).....	23
2.12.3	Sherwood Model Pendekatan Baru (Sh_{Mod}).....	24
2.12.3	Bilangan Nusselt Model Pendekatan Baru (Nu_{Mod})	24
 BAB III METODE PENELITIAN		
3.1.	Sistem Kerja Alat Uji.....	26
3.2.	Komponen Alat Uji.....	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
3.2.8	<i>High Speed Camera</i>	32
3.3.	Kalibrasi dan Pengambilan Data	32
3.3.1	Pengambilan Data Foto Tetesan	32
3.3.2	Pengambilan Data Kecepatan	34
3.3.3	Pengolahan Data Tetesan	37
3.3.4	Pengolahan Data Kecepatan	38
3.4.	Perhitungan Data	40
 BAB IV ANALISA DAN HASIL		
4.1.	Analisa Perbandingan Nilai Sherwood Antar Model	54
4.2.	Analisa Perbandingan Nilai Nusselt Antar Model	56
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		58
 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	9
Gambar II.4	Lapisan Batas Konsentrasi Pada Suatu Permukaan	10
Gambar II.5	Model Film Stagnan	21
Gambar III.1a	Skema Alat Uji	26
Gambar III.1b	Alat Uji	27
Gambar III.2	<i>Blower</i>	27
Gambar III.3	<i>Heater</i>	28
Gambar III.4	<i>Pyrex</i>	29
Gambar III.5	<i>Digital controller</i>	29
Gambar III.6	Skema <i>Auto Tuning</i>	30
Gambar III.7	<i>Temperature Display</i>	30
Gambar III.8	<i>Feeder</i>	31
Gambar III.9	<i>Display Inverter</i>	31
Gambar III.10	<i>Feeder dan Pyrex</i>	33
Gambar III.11	<i>Droplet</i>	34
Gambar III.12	Rangkaian Baterai.....	35
Gambar III.13	<i>High Speed Camera</i>	36
Gambar III.14	Pengukuran Perpindahan Asap.....	39
Gambar III.15	Tetes Detik ke-satu	41
Gambar III.16	Tetes Detik ke-duapuluh satu	41
Gambar IV.1	Perbandingan Bilangan Sherwood antar Model pada Premium	54
Gambar IV.2	Perbandingan Bilangan Sherwood antar Model pada Premium (simpangan baku)	55
Gambar IV.3	Perbandingan Bilangan Nusselt antar Model pada Premium.....	56
Gambar IV.4	Perbandingan Bilangan Nusselt antar Model pada Premium (simpangan baku)	57

DAFTAR TABEL

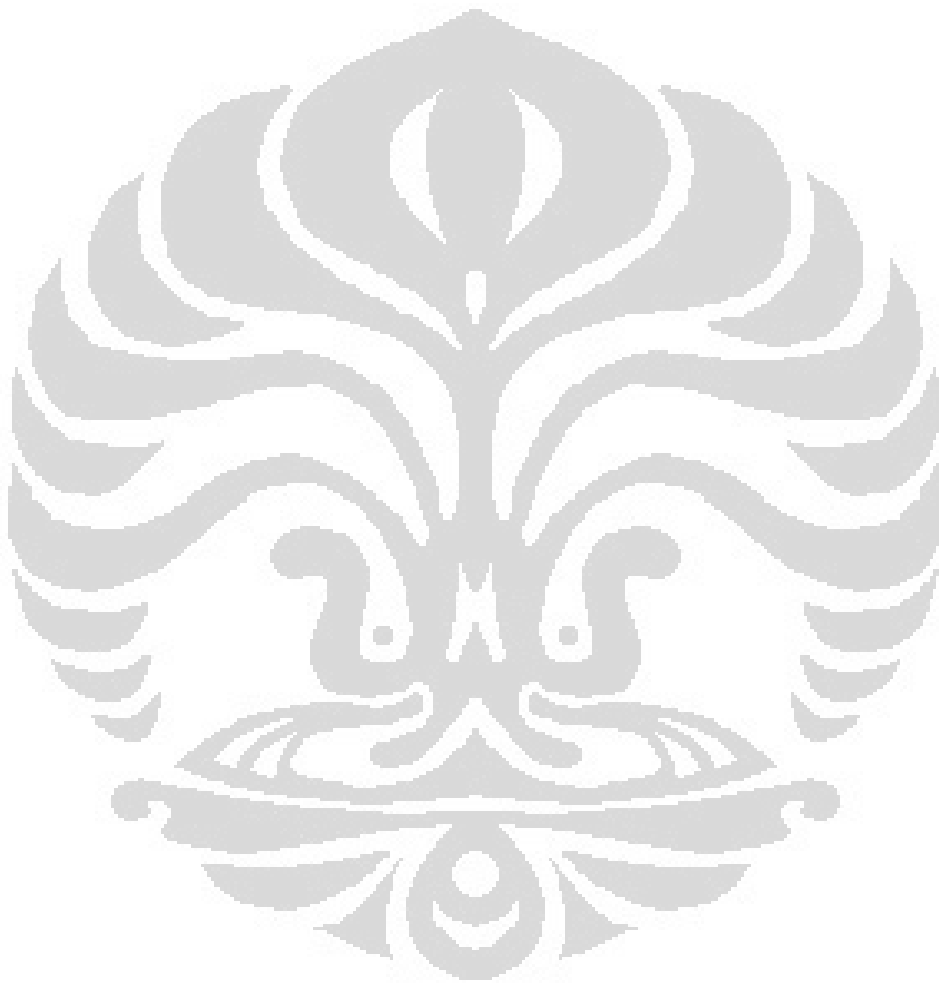
Tabel II.1	Kondisi Aliran Fluida	18
Tabel IV.1	Hasil Perhitungan Sherwood	54
Tabel IV.2	Hasil Perhitungan Sherwood (simpangan baku).....	55
Tabel IV.3	Hasil Perhitungan Nusselt.....	56
Tabel IV.4	Hasil Perhitungan Nusselt (simpangan baku)	57



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 TABEL SIFAT UDARA PADA TEKANAN ATMOSFER

Lampiran 2 TABEL EMISSIVITAS PERMUKAAN



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	[J/kg.K]
R_v	Tetapan gas untuk uap air	[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

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 Stagnan Film untuk menghitung besarnya laju perpindahan panas dan perpindahan massa. Ranz WE & Marshall WR telah melakukan studi experimental mengenai penguapan tetesan (*droplet evaporation*) kemudian menyimpulkan bahwa proses penguapan tetesan merupakan analogi 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 *Fluent* untuk simulasi laju penguapan bahan bakar pada ruang bakar.

Salah satu syarat analogi Ranz-Marshall adalah memiliki bilangan Lewis bernilai 1 (difusivitas termal sama dengan difusivitas massa). Sedangkan bilangan Lewis premium bernilai 3,6 -3,9; sehingga penggunaan analogi Ranz-Marshall yang dikombinasikan dengan Stagnan Film untuk premium perlu diuji. 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 Stagnan Film memiliki perhitungan yang jauh tidak sesuai, 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 pada bahan bakar. Bahan bakar yang diujikan dalam penelitian ini adalah jenis premium yang diproduksi oleh PT. Pertamina. Pengujian laju penguapan ini dilakukan dengan cara memanaskan tetesan pada temperatur 50, 75 dan 100 °C menggunakan *inverter* untuk mengatur kecepatan aliran dengan variasi frekwensi 5, 10 dan 20 Hz.

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk meninjau hasil perhitungan analogi Ranz-Marshall dan Stagnan Film, serta meninjau korelasi terdekat antara hasil perhitungan menggunakan Stagnan Film dan model analogi E.A. Kosasih terhadap analogi Ranz-Marshall untuk bahan uji berupa premium.

1.4 Batasan Masalah

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

1. Bahan bakar yang digunakan adalah jenis premium yang di produksi oleh PT. Pertamina.
2. Asumsi tetesan yang terbentuk adalah berbentuk bola.
3. Diameter tetesan yang digunakan berada pada nilai 1,0 – 1,5 mm.
4. Variasi temperatur yang digunakan pada 50, 75 dan 100 °C.
5. Variasi dari frekwensi aliran sebesar 5, 10 dan 20 Hz.

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, *e-book* 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 dengan jarak fokus 100 mm. Gambar tetesan diambil dalam waktu tertentu sehingga dapat diketahui pengurangan diameter tetesan. Pengambilan gambar tetesan divariasikan terhadap temperatur dan kecepatan aliran. Data yang diambil berupa kecepatan aliran, temperatur aliran, temperatur tetesan dan foto dari tetesan untuk selanjutnya dikalibrasi sehingga didapatkan data diameter tetesan.

4. Pencitraan tetesan

Pencitraan gambar tetesan dilakukan agar dapat diketahui kecepatan penguapan tetesan. Besaran nilai kecepatan penguapan tetesan diperoleh dari perubahan diameter tetesan terhadap satuan waktu. Pencitraan gambar tetesan dilakukan di *pyrex* dan menggunakan *High Speed Camera*.

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 sub-bab 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 (BBM) bensin merupakan nama umum untuk beberapa jenis BBM yang diperuntukkan untuk mesin dengan pembakaran yang memakai sistem 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 *crankshaft* sebagai output dari mesin. Selanjutnya *crankshaft* dihubungkan ke sistem transmisi oleh sebuah poros untuk mentransmisikan daya atau energi putaran mekanis.

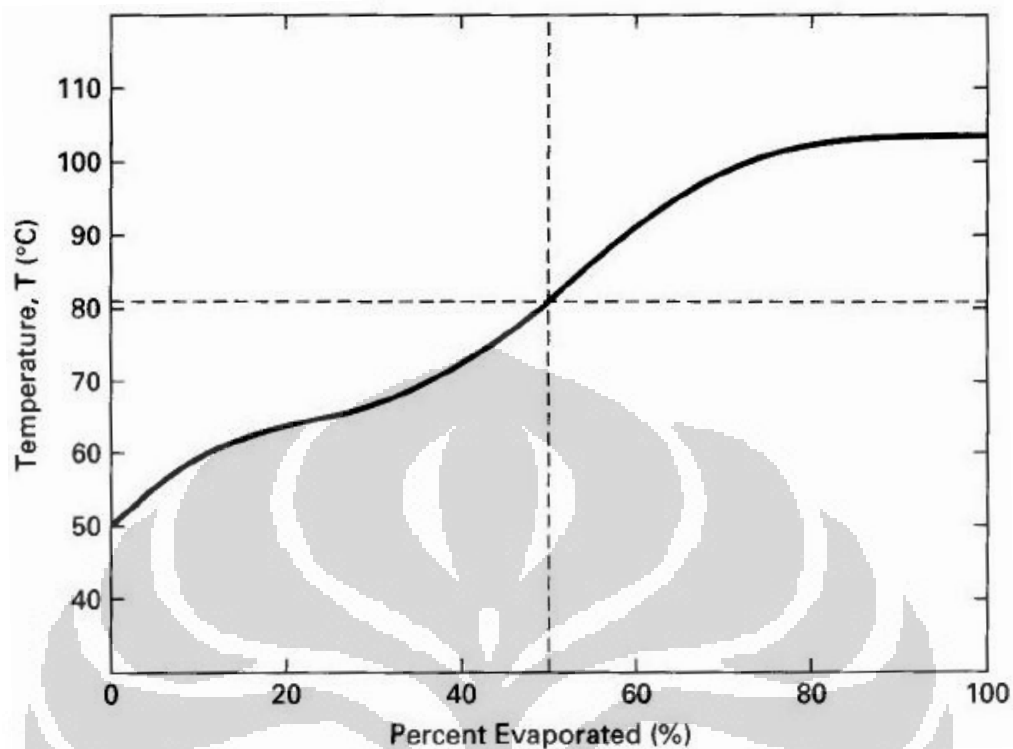
Indonesia memiliki beberapa jenis bahan bakar bensin yang memiliki nilai mutu pembakaran berbeda. Nilai mutu jenis BBM bensin ini dihitung berdasarkan nilai RON (*Research Octane Number*). Berdasarkan RON tersebut maka BBM bensin dibedakan menjadi 3 jenis yaitu:

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 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 dengan oktan 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 (IWWFC)*. Ditujukan untuk kendaraan yang berteknologi mutakhir yang mempersyaratkan penggunaan bahan bakar ber-oktan tinggi dan ramah lingkungan. *Pertamax Plus* sangat direkomendasikan untuk kendaraan yang memiliki kompresi ratio > 11 dan juga yang menggunakan teknologi *Electronic Fuel Injection (EFI)*, *Variable Valve Timing Intelligent (VVTI)*, *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 dan juga menggambarkan persentase penguapan yg terjadi.



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 iso-oktana (*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 sebagai berikut:

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

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

2.3 Prinsip Dasar

Dalam proses pembakaran, bahan bakar yang dikirim ke dalam silinder untuk mesin harus 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.

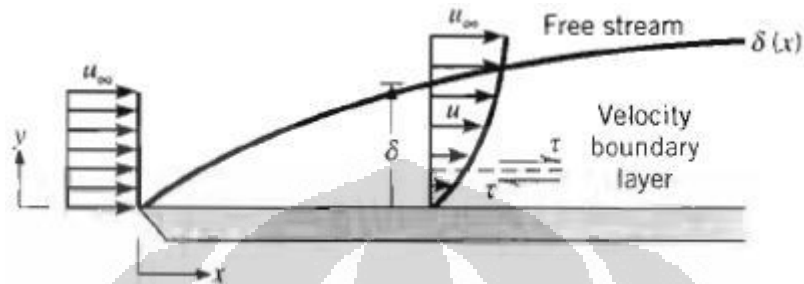
Pada saat campuran udara dan bahan bakar masuk ke dalam *intake system*, temperaturnya meningkat dari kondisi lingkungan (*ambient*) ke temperatur yang ditentukan. Hal ini terjadi karena dinding *intake manifold* lebih panas (karena faktor desain atau posisinya dekat dengan ruang bakar) dari pada gas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

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 Stagnan Film, E.A. Kosasih dengan acuan analogi Ranz-Marshall.

2.4 Lapisan Batas Kecepatan

Ketika suatu fluida mengalir di atas sebuah plat datar, partikel-partikel fluida yang bersentuhan dengan permukaan plat diasumsikan memiliki kecepatan 0 (nol). Partikel-partikel fluida memperlambat pergerakan dari partikel-partikel lapisan fluida yang berada di atasnya, dan terus menghambat

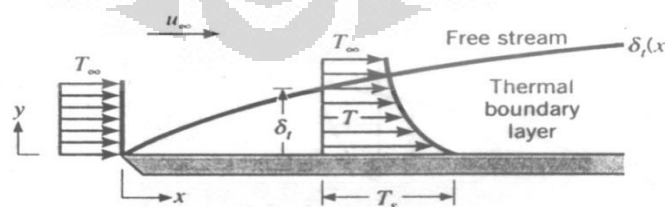
lapisan fluida lain yang berada di atasnya hingga pada suatu jarak $y = \delta$ dari permukaan plat. Besaran δ merupakan ketebalan lapisan batas yang didefinisikan sebagai nilai dari y dimana $u = 0,99 u_{\infty}$. Daerah pada aliran di atas plat yang dibatasi oleh δ disebut lapisan batas kecepatan (*velocity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



Gambar II.2 Lapisan batas kecepatan pada suatu permukaan

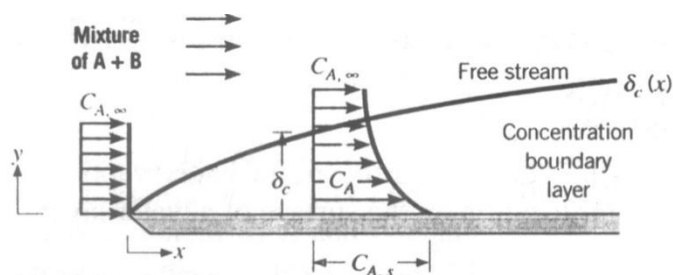
2.5 Lapisan Batas Termal

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 Lapis 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:

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

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 dan 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 menuju bagian yang bersuhu rendah dengan cara konduksi. Laju perpindahan ini berbanding lurus 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 perpindahan kalor [m]

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

2.7.3 Radiasi

Radiasi merupakan 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:

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

Q = radiasi [W]

A = luas permukaan [m^2]

α = absorbtivitas

σ = konstanta Stefan Boltzman [$W/m^2 K^4$]

T_u = temperatur sumber radiasi [K]

T_d = temperatur tetesan [K]

2.7.4 Fluks Perpindahan Panas

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

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

R_T = fluks perpindahan panas

Φ = faktor 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, rumus yang dipakai adalah dari Vetere yang memiliki error dibawah 2%. Rumus kalor laten penguapan yaitu:

$$\Delta H_{vb} = RT_c T_{br} \frac{0.4343 \ln P_c - 0.69431 + 0.89584 T_{br}}{0.37691 - 0.37306 T_{br} + 0.15075 P_c^{-1} T_{br}^{-2}} \quad (2.7)$$

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, yaitu:

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

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

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 infinite [kg/m³]

Sh = bilangan Sherwood

D = difusivitas [m²/s]

d = diameter dalam lapisan air [m]

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

2.8.2 Difusi Dalam Gas

Pada perhitungan difusi gas, rumus yang dipakai adalah dari Fuller:

$$D_{ab} = \frac{0,00143 T^{1,75}}{P M_{ab}^{1/2} [(\sum v_a)^{1/3} + (\sum v_b)^{1/3}]^2} \quad (2.10)$$

P = tekanan kritis (Bar)

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

\sum_v = nilai Schoreder

T = temperatur tetesan (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

Salah satu 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% gas lain-lain (sulfur dioksida, neon). Kandungan bahan bakar pada udara basah adalah 0 (nol).

Faktor yang sangat berperan dalam laju penguapan tetesan 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:

$$R_{da} = \frac{8.314,5}{28,9} = 287,7 \text{ [J/kg.K]} \quad (2.18)$$

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

$$R_v = \frac{8.314,5}{18} = 461,9 \text{ [J/kg.K]} \quad (2.19)$$

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]

Untuk menghitung P_o pada bahan bakar menggunakan rumus yang direkomendasikan oleh Lee dan Kesler:

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

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

(2.22)

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

(2.23)

P_{vp} = tekanan pada permukaan

$f^{(0)}$ dan $f^{(1)}$ = fungsi penambah dari Lee dan Kessler

ω = *acentric factor*

Untuk menghitung *acentric* faktor (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 dari rumus:

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

(2.25)

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

(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 *critis* (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 antara gaya inersia dan gaya viskos dan dipakai untuk menentukan apakah suatu aliran laminar, turbulen atau transisi. Tetapi tekstur permukaan dan sifat fluida yang mengalir juga menentukan aliran fluida. 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 aliran 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, 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 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 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 adalah:

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

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 WE & Marshall WR pada tahun 1953, merupakan analogi 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 persamaan Ranz-Marshall:

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

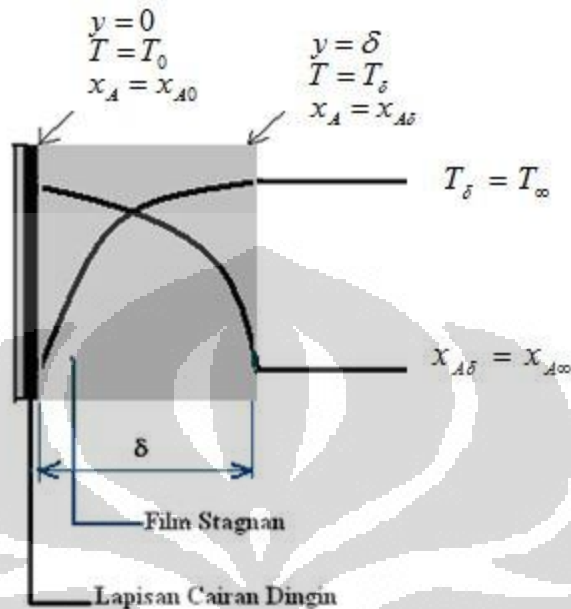
Analogi untuk perpindahan massa:

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

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* (EA. Kosasih, 2006) serta pendekatan secara eksperimental.

2.12 Model Analogi Film Stagnan

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



Gambar IL5 Model film stagnan

Pada gambar memperlihatkan lapisan cairan dingin yang menguap disekitar udara panas. Film stagnan adalah film khayal yang diasumsikan bahwa diluar film tersebut tidak terdapat beda potensial perpindahan.

2.12.1 Bilangan Nusselt Model Analogi Film Stagnan

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

$$h_{L_StF} = \frac{h}{\theta_{T_StF}} \quad (2.38)$$

$$\theta_{T_StF} = \frac{h}{h_L} \quad (2.39)$$

$$\theta_{T_StF} = \frac{\ln(1 + R_T)}{R_T} \quad (2.40)$$

Nu_{StF} = bilangan Nusselt film stagnan

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

d = diameter *droplet* [m]

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

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

θ_{T_StF} = faktor koreksi perpindahan panas

R_T = fluks perpindahan panas

2.12.2 Sherwood Model Film Stagnan (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* film stagnan

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

d = diameter *droplet* [m]

D_{AB} = difusivitas massa

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

θ_{X_StF} = faktor koreksi perpindahan massa (film stagnan)

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 (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 disini 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* modifikasi

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

d = diameter *droplet* [m]

D_{AB} = difusivitas massa

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

θ_{X_Mod} = faktor koreksi perpindahan massa

R_x = fluks perpindahan massa

C_1 = parameter perpindahan massa

2.12.4 Bilangan Nusselt Model Pendekatan Baru

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

$$h_{LMod} = \frac{h}{\theta_{T_Mod}} \quad (2.51)$$

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

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

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

Nu_{Mod} = bilangan Nusselt film stagnan

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

d = diameter *droplet* [m]

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

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

θ_{T_Mod} = faktor koreksi perpindahan panas

R_T = fluks perpindahan panas

C_2 = parameter perpindahan panas

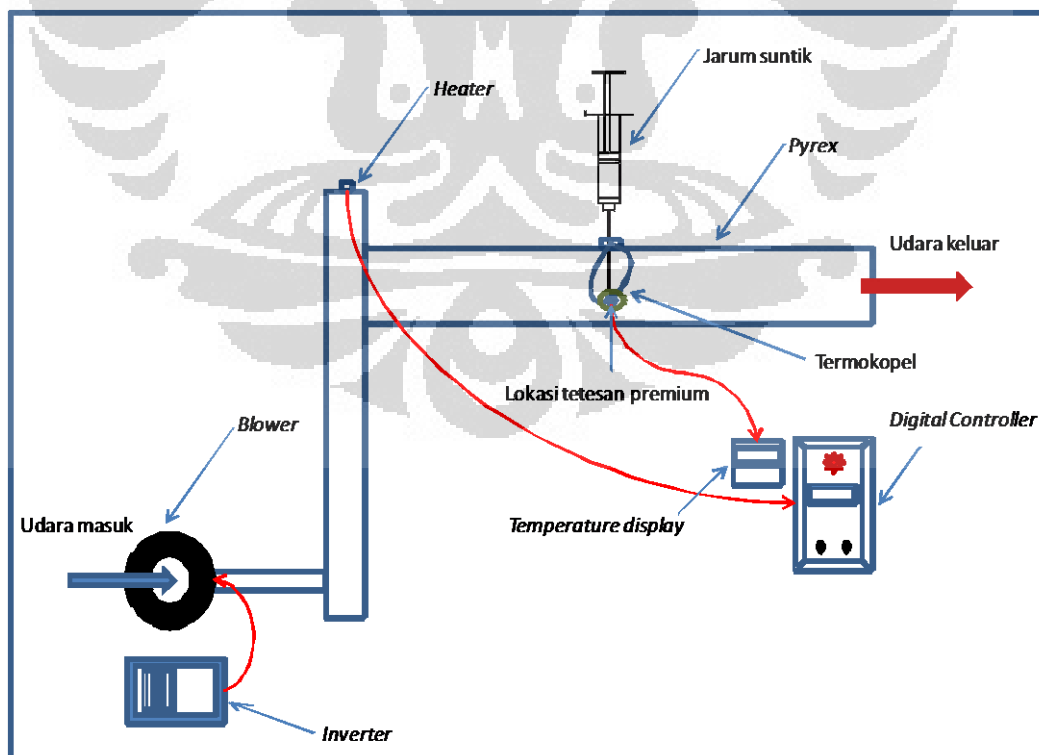
BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 SISTEM KERJA ALAT UJI

Sistem kerja alat uji ini dengan menghisap udara yang ada pada bagian sisi masuk *blower* yang diteruskan melalui sisi keluar *blower*. Udara diteruskan kedalam *heater* kemudian dipanaskan sehingga aliran udara yang mengalir dalam *pyrex* adalah udara panas yang dimanfaatkan untuk menguapkan *droplet* yang berada dalam *pyrex*. Pengujian ini dilakukan terhadap beberapa variasi temperatur dan kecepatan aliran udara. Proses terjadinya penyusutan diameter *droplet* ini di foto menggunakan kamera Nikon dan high speed camera MotionXtra HG-SE. Data berupa gambar penyusutan diameter *droplet* bahan bakar diolah dengan menggunakan *software ImageJ* untuk menentukan dimensi berupa luasan *droplet* yang kemudian dikonversi dalam formula untuk menentukan diameter *droplet*.

Berikut bagan untuk alat pengujian yang dimaksud:



Gambar III.1 a Skema alat uji



Gambar III.1 b Alat uji

3.2 KOMPONEN ALAT UJI

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. Kecepatan aliran yang dialirkan blower dihasilkan oleh putaran impelernya. Putaran pada impeler mengakibatkan tekanan yang rendah dibagian sisi masuk dari *blower* sehingga udara sekitar yang bertekanan lebih tinggi mengalir masuk kedalam sisi hisap dari *blower* dan dialirkan keluar melalui sisi keluar *blower*. Kecepatan diatur menggunakan *inverter* yang ditunjukkan dalam bentuk frekwensi.



Gambar III.2 *Blower*

3.2.2 Heater

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. Temperatur yang digunakan dalam pengujian laju penguapan premium ini bervariasi antara 50, 75 dan 100°C.



Gambar 3.3 Heater

3.2.3 Pyrex

Untuk mengukur laju penguapan premium dilakukan pada *test section* berupa pipa *pyrex*. Pemilihan pipa *pyrex* ini karena mempunyai ketahanan terhadap panas yang baik terhadap variasi temperatur yang akan diujikan. Dimensi pipa *pyrex* ini mempunyai diameter dalam sebesar 96 mm dengan panjang 1.500 mm. Pada bagan pipa *pyrex* disajikan sesuai gambar dibawah, bagian tengah dari *pyrex* dibentuk lubang yang berfungsi sebagai tempat untuk memasukkan *feder* dan *wire-probe thermocouple*. Lubang ini yang menjadi *test section* pada pengujian laju penguapan.



Gambar III.4 Pyrex

3.2.4 Digital Controller

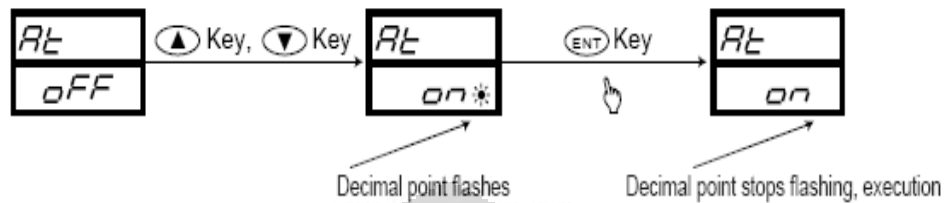
Digital controller digunakan untuk mengatur temperatur *heater* yang diinginkan dengan proses *auto-tuning*. Selain untuk membantu *heater* mencapai kondisi stabil, komponen ini juga digunakan untuk mengatur kerja dari *heater* agar tidak *over heat* pada saat melakukan proses pengujian, sehingga *heater*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



Gambar III.5 Digital controller

Digital controller melakukan penyesuaian secara otomatis terhadap input temperatur yang dimasukkan dengan mode *auto tuning*. *Digital controller* itu akan bekerja menstabilkan temperatur sesuai dengan kondisi yang diinginkan.

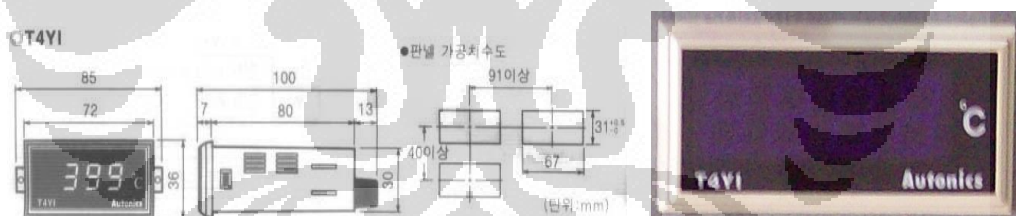
Berikut ini skema pengaturan dengan mode *auto tuning*.



Gambar III.6 Skema *auto tuning*

3.2.5 Temperature Display

Komponen ini dihubungkan dengan *wire probe thermocouple*, sehingga temperatur tetesan pada setiap aliran panas yang melaluinya dapat terukur. Menggunakan merk Autonics T4YI 220 VAC. *Temperature 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

Alat uji selanjutnya yaitu menggunakan *feeder* dan *wire probe thermocouple*. *Feeder* atau 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 pada *pyrex* yang mempunyai diameter 96 mm.

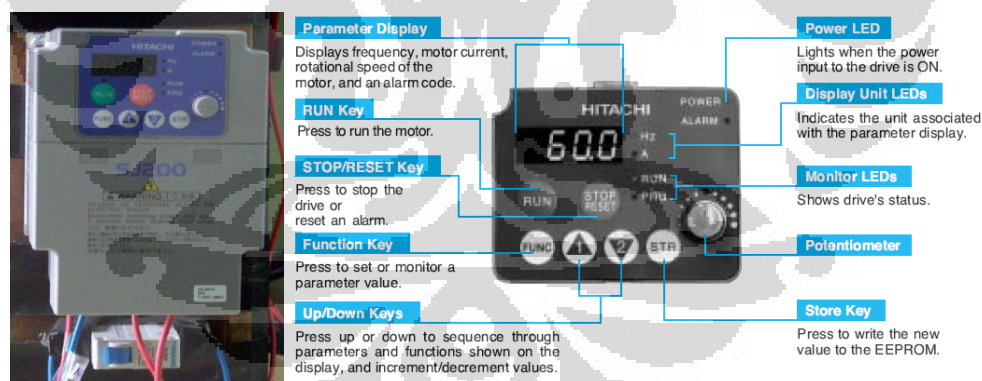


Gambar III.8 Feeder

3.2.7 Inverter

Penggunaan *inverter* dalam pengujian ini untuk mendapatkan variasi kecepatan udara dari *blower*. Proses untuk mendapatkan variasinya adalah dengan cara mengatur frekwensi listrik yang masuk ke *blower* dari frekwensi tegangan rendah sampai batas frekwensi tegangan PLN yang ditampakkan dengan pengaturan frekwensi (hertz), sehingga putaran *blower* bisa diatur. 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 frekwensi pengaturan, jadi setelah menetapkan frekwensi pengaturan jangan langsung digunakan untuk melakukan pengujian tapi harus ditunggu beberapa saat agar kondisinya mencapai stabil.

Berikut bagan dari *inverter* yang dimaksud:



Gambar III.9 Display inverter

Spesifikasi *Inverter*:

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

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

3.2.8. High Speed Camera

Kamera yang digunakan yaitu memakai Nikon D70 dan high speed camera dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Merk : REOLAKE
- Mfg : AOS Technologies AG
- Range : 12 VDC / 15W

Hasil dari pembacaan high speed camera ini ditransfer dengan laptop untuk diolah menjadi bagian-bagian tertentu (*frame to frame*) yang akan digunakan untuk analisa selanjutnya.

3.3. KALIBRASI DAN PROSES PENGAMBILAN DATA

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

3.3.1 Pengambilan Data Foto *Droplet*

Pengambilan data dimensi *droplet* dengan mengambil foto *droplet* pada selang waktu tertentu. Langkah-langkahnya adalah 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.



Gambar III.10 Feeder dan Pyrex

2. Melakukan pengaturan kecepatan aliran pada *blower* dengan mengoperasikan *inverter* pada kecepatan aliran yang diinginkan. Pengujian dilakukan dengan variasi kecepatan aliran 5, 10 dan 20 Hz.
3. Menghidupkan mode *auto-tuning* pada *heater* melalui *digital controller* temperatur. Masukkan input temperatur pada *digital controller*, kemudian tunggu hingga mencapai temperatur yang diinginkan. Variasi temperatur yang akan dicapai untuk proses pengambilan data berada pada rentang temperatur 50, 75 dan 100 °C.
4. Mencatat temperatur udara yang terbaca pada *temperature display*
5. Selanjutnya adalah meneteskan *droplet* dengan menekan jarum suntik pada *test section* sampai terbentuk *droplet* yang baik. Sebelum menekan jarum suntik untuk mendapatkan *droplet*, temperatur pada *digital controller* harus dipastikan dalam keadaan yang stabil.



Gambar III.11 Droplet

6. Catat temperatur *droplet* yang terhubung *wire probe thermocouple* dan ditampilkan pada *digital controller*.
7. *Droplet* yang dihasilkan dalam *test section* difoto menggunakan kamera Nikon. Pengambilan gambar *droplet* dilakukan dengan interval 1 detik setiap gambar sampai bentuk *droplet* mempunyai ukuran diameter *droplet* mulai mengecil.
8. Mengulangi langkah nomor 2 sampai dengan 6 untuk variasi temperatur 50, 75 dan 100 °C pada frekuensi 5 Hz.
9. Mengulangi langkah nomor 2 sampai dengan 6 untuk variasi temperatur 50, 75 dan 100 °C pada frekuensi 10 Hz.
10. Mengulangi langkah nomor 2 sampai dengan 6 untuk variasi temperatur 50, 75 dan 100 °C pada frekuensi 20 Hz.

3.3.2 Pengambilan Data Kecepatan

Frekwensi ini merupakan frekwensi 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 yang 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 dan 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 padaudukan 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.12 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 1.000 *frame* per-detik pada *software* yang dioperasikan dengan laptop yang terhubung dengan *high speed camera*.



Gambar IIL13 High Speed Camera

3. Frekwensi awal pengujian dilakukan pada 5 Hz. Masukkan input frekwensi ini dengan mengatur frekwensi 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.
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.
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, 75 dan 100 °C.

10. Mengulangi langkah pada nomor 3 hingga nomor 7 dengan memasukkan frekwensi 20 Hz pada temperatur 50, 75 dan 100 °C.

3.3.3 Pengolahan Data *Droplet*

Pengolahan data foto penyusutan diameter *droplet* bahan bakar premium menggunakan *software ImageJ* untuk mendapatkan ukuran luas dan kemudian mendapatkan ukuran diameter dari *droplet*. Langkah awal agar mendapatkan ukuran sebenarnya pada *droplet* adalah melakukan konversi ukuran *pixel* hasil foto kamera kedalam satuan meter. Untuk melakukan konversi ini, dilakukan kalibrasi menggunakan jarum suntik berdiameter 0,5 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 *droplet*.
2. File foto jarum suntik diameter 0,5 mm, diproses menggunakan *software ImageJ* 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 membuat draft gambar *droplet* sesuai luasan *droplet* tersebut. Kemudian dari luasan *droplet* tersebut diolah lagi untuk menentukan diameter dari *droplet* tersebut.
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 ImageJ* untuk mendapatkan ukuran *droplet* dalam besaran *pixel*.
2. Pengukuran diameter *droplet* dilakukan dengan cara menentukan batasan terluar dari diameter *droplet*. Pengukuran dilakukan dengan mencari luasan *droplet* yang kemudian dijadikan acuan untuk menentukan diameter *droplet* tersebut.
3. Setelah mendapatkan ukuran diameter *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 *droplet* dalam besaran meter.
4. Setelah mendapatkan data dari semua hasil pengujian, kemudian besarnya perubahan diameter dimasukkan kedalam perhitungan.

3.3.4 Pengolahan Data Kecepatan

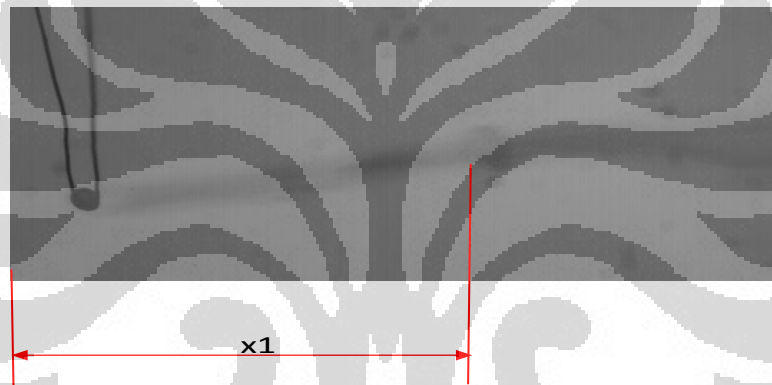
Seperti halnya pengolahan pada data *droplet*, pengolahan data kecepatan dengan menggunakan media asap untuk mengetahui kecepatan dalam daerah *test section* pada *pyrex*. Langkah awal sebelum mengolah foto dari asap, yaitu melakukan konversi besaran *pixel* yang dihasilkan *high speed camera* ke dalam satuan meter. Untuk melakukan konversi ini, dilakukan kalibrasi menggunakan mata bor berukuran 2 mm. Langkah-langkah kalibrasi dapat dijelaskan 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 *droplet*.
2. Foto mata bor diameter 2 mm diproses menggunakan *software ImageJ*, 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 mengukur diameter mata bor 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, maka 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 adalah sebagai berikut:

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



Gambar III.14 Pengukuran perpindahan 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 x_1 merupakan perpindahan asap yang akan diukur berawal dari titik 0 sampai dengan titik x_1 tersebut.
3. Dengan asumsi pengukuran asap tersebut dari letupan asap, jarak asap dapat dihitung dengan menggunakan *software ImageJ* 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 ImageJ* 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.

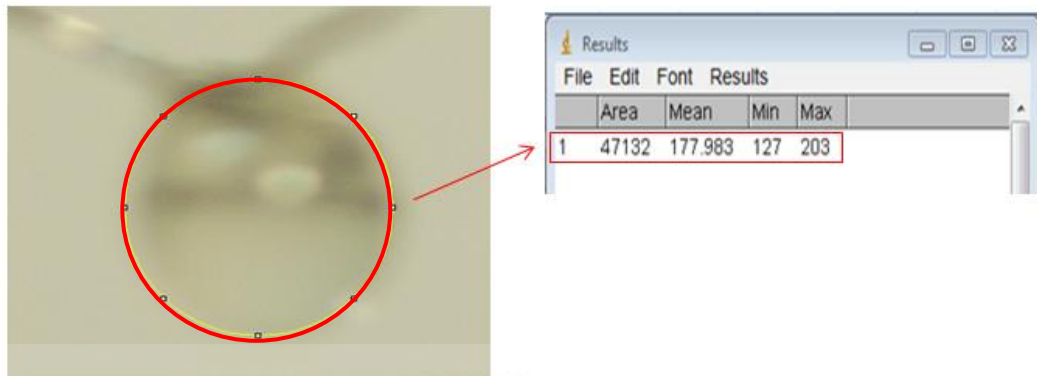
3.4 Perhitungan Data

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 , frekwensi *inverter* = 5 Hz
3. $T_{\text{udara pada termokopel}} = 50^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{droplet}} = 22^{\circ}\text{C}$
4. Waktu (t) yang dibutuhkan = 21 detik
5. Berdasarkan hasil pengukuran diperoleh dimensi *droplet*:

Gambar tetesan pada detik ke satu (gbr. DSC-2560):



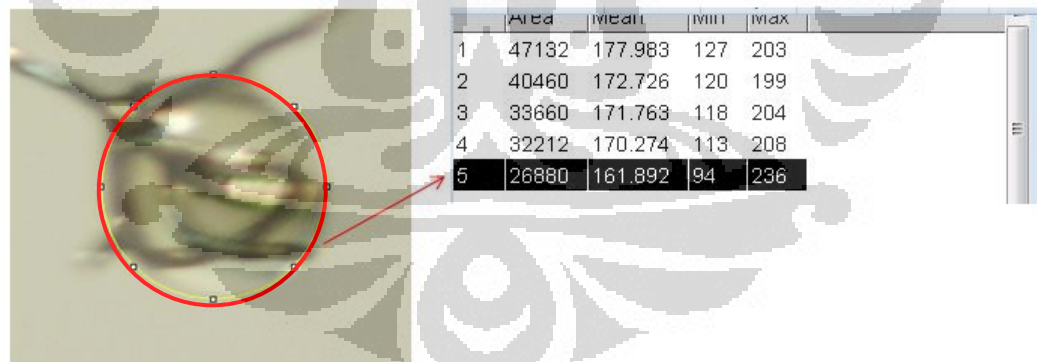
$$L = \pi \cdot r^2 \quad \rightarrow \quad d = (4 \cdot L / \pi)^{0.5}$$

Luas Area = 47132 pixel

d = 245,03 pixel

Gambar. III.15. Tetesan detik ke-satu

Gambar tetesan pada detik ke duapuluh satu (gbr. DSC-2580):



$$L = \pi \cdot r^2 \quad \rightarrow \quad d = (4 \cdot L / \pi)^{0.5}$$

Luas Area = 26880 pixel

d = 185,05 pixel

Gambar. III.16. Tetesan detik ke-duapuluh satu

Selanjutnya bisa dilakukan langkah-langkah analisa perhitungan sebagai berikut:

1. Menghitung d (diameter rata-rata tetesan)

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

$$d = \frac{245,03 + 185,05}{2}$$

$$d = 215,04 \text{ pixel}$$

karena besarnya diameter rata-rata *droplet* masih dalam ukuran pixel, maka dilakukan konversi ke dalam besaran meter yaitu mengalikan dengan $6,49351 \times 10^{-6}$ m. Sehingga dihasilkan perhitungan:

$$d = 215,04 \times 6,49351 \times 10^{-6} \text{ m}; = 1,39636 \times 10^{-3} \text{ m.}$$

2. Menghitung diameter peluruhan *droplet* pada $\frac{dr}{dt}$

$$\frac{dr}{dt} = \frac{(\Delta d)}{2} \times 6,49351 \times 10^{-6}$$

$$\frac{dr}{dt} = \frac{(245,03 - 185,05) / (21 - 1)}{2} \times 6,49351 \times 10^{-6}$$

$$\frac{dr}{dt} = 9,73 \times 10^{-6} \text{ m/s}$$

3. Menghitung laju difusi molar (N)

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

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

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

$$N = \frac{\rho_{air} x \, dr/dt}{M}$$

$$N = \frac{998 \times 9,73 \times 10^{-6}}{18}$$

$$N = 5,39 \times 10^{-4} \text{ Kmole/s.m}^2$$

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

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:

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

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

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

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

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

Sehingga nilai α dan β berdasarkan perhitungan diatas adalah:

$$\alpha = -0,7389$$

$$\beta = -2,3568$$

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

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

$$T_r = \frac{22 + 273}{562} = 0,525$$

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

$$f^{(0)} = -4,847$$

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

$$f^{(1)} = -5,933$$

Jadi P_{vp} adalah:

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

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

$$P_{vp} = \text{EXP}(-6,7) = 0,0012213 \text{ bar} = 122,13 \text{ pascal}$$

$$X_0 = 122,13/101325 = 0,00083$$

5. Menghitung konsentrasi total udara (C)

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

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

$$t_f = 273 + \left(\frac{50 + 22}{2}\right)$$

$$t_f = 309 \text{ K}$$

$$C \text{ diperoleh dari: } C = \frac{n}{V} = \frac{P}{RT}$$

$$C = \frac{101325}{8314,5 \times 309}$$

$$C = 0,039$$

6. Menghitung fluks perpindahan massa (R_x)

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

$$R_x = \frac{0,001205 - 0}{1 - 0}$$

$$R_x = 0,001206$$

7. Menghitung koefisien perpindahan massa (k_c)

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

$$k_c = \frac{5,39 \times 10^{-4}(1 - 0)}{0,039(0,00083 - 0)}$$

$$k_c = 11,343 \text{ Kmole/s.m}^2$$

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

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

$$\theta_{x_{StF}} = \frac{\ln(1 + 0,001206)}{0,001206}$$

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

9. Menghitung koefisien laju perpindahan massa model Film Stagnan k_c menuju k_{cLstF} ketika N_{A0} menuju nol adalah:

$$k_{cLstF} = \frac{k_c}{\theta_{stF}}$$

$$k_{cLstF} = \frac{1,149}{0,999} \qquad k_{cLstF} = 1,15$$

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

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

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

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

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

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

$$D_{ab} = 0,0567 \text{ cm}^2/\text{s} = 5,67 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

11. Menghitung Sherwood model Film Stagnan (Sh_{stF})

$$Sh_{stF} = \frac{k_{cLstF} \times d}{D_{ab}} \qquad Sh_{stF} = \frac{1,15 \times 0,00139}{5,67 \times 10^{-6}} = 283,29$$

12. Menentukan parameter perpindahan massa (C_1)

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

$$C_1 = -0,0011 \times (50 - 22) - 1,0082 \times (0 - 0,001205)$$

$$C_1 = -0,029584$$

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

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

$$\theta_{x_{Mod}} = \frac{\ln(1 + 0,000586) - (-0,0346)}{0,0001206}$$

$$\theta_{x_{Mod}} = 25,513$$

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

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

$$k_{cLMod} = \frac{1,149}{25,513}$$

$$k_{cLMod} = 0,045$$

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

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

$$Sh_{Mod} = \frac{0,045 \times 0,00139}{6,148 \times 10^{-06}}$$

$$Sh_{Mod} = 11,096$$

16. Mencari angka Reynold (Re) pada *droplet*

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

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

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* = 0,44647887 m/s.

$$U_{\max} = 0,44647887 \text{ m/s dan } \nu = 1,765 \times 10^{-05} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$Re = \frac{0,44647887 \times 0,00139}{1,765 \times 10^{-05}}$$

$$Re = 37,61$$

17. Menghitung bilangan Schmidt

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

$$Sc = \frac{1,65 \times 10^{-5}}{5,6 \times 10^{-6}}$$

$$Sc = 2,92$$

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

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

$$Sh = 2 + (0,55 \times 37,61^{1/2} \times 2,92^{1/3})$$

$$Sh = 6,8$$

Langkah- langkah Mencari Perpindahan Panas:

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

$$k = \rho \times c_p \times \alpha$$

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

$$k = 0,026$$

20. Menghitung q_{radiasi}/A

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

$$\frac{Q_{\text{radiasi}}}{A} = 0,96 \times 0,5669E^{-07} \times ((273 + 50)^4 - (273 + 22)^4)$$

$$\frac{Q_{\text{radiasi}}}{A} = 180,2$$

21. Menghitung q_0/A , dengan konduksi dari termokopel $Q_{\text{konduksi}} = 125,932$ dan kalor laten pada temperature *droplet* 22 °C sebesar $h_{\text{fg}} = 39840$ KJ/Kmol dari tabel sifat air jenuh

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

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

$$\frac{q_0}{A} = -1926,37 \text{ W/m}^2$$

22. Menghitung koefisien perpindahan panas h

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

$$h = \frac{-1926,37}{-28}$$

$$h = -68,79 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

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

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

$$h_l = \frac{(2 \times 0,55 \times 37,61^{1/2} \times 0,71^{1/3})}{0,00139} \times 0,026$$

$$h_l = 68,79$$

24. Menghitung panas jenis molal udara C_{pA}

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

$$C_{pa} = 1007,46 \times 28,9$$

$$C_{pa} = 29115,58$$

25. Menghitung faktor kecepatan perpindahan panas (Φ)

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

$$\phi = \frac{-1,97E^{-05} \times 29115,58}{68,79} \quad \phi = -0,2284$$

26. Menghitung fluks perpindahan panas (R_T)

$$RT = e^{\phi} - 1 \quad RT = e^{-0,2284} - 1$$

$$RT = -0,2109$$

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

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

$$\theta_{T_{StF}} = \frac{\ln(1 + (-0,01014))}{-0,01014}$$

$$\theta_{T_{StF}} = 1,0051$$

28. Menghitung parameter perpindahan panas (C_2)

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

$$C_2 = 0,4633E^{-09} x (50 - 22) + 0,16E^{-06} x (0 - 0,02364)$$

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

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

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

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

$$\theta_{T_{Mod}} = 2,4169$$

30. Menghitung koefisien laju perpindahan panas model Film Stagnan h menuju $h_{L_{StF}}$ ketika N_{A0} menuju nol

$$h_{L_{Stf}} = \frac{h}{\theta_{T_{stf}}} \quad h_{L_{Stf}} = \frac{68,799}{1,0051}$$

$$h_{L_{Stf}} = 68,4499 \text{ watt/m}^2 \text{K}$$

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

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

$$h_{l_{mod}} = \frac{68,799}{2,4169}$$

$$h_{l_{mod}} = 28,465 \text{ watt/m}^2\text{K}$$

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)

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

$$Nu = 2 + \left(0,55 \times 37,6^{\frac{1}{2}} \times 0,71^{\frac{1}{3}}\right)$$

$$Nu = 5,01$$

34. Menghitung bilangan Nusselt model analogi film stagnan

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

$$Nu_{stf} = \frac{68,4499 \times 0,00139}{0,026}$$

$$Nu_{stf} = 3,57$$

35. Menghitung bilangan Nusselt model pendekatan baru

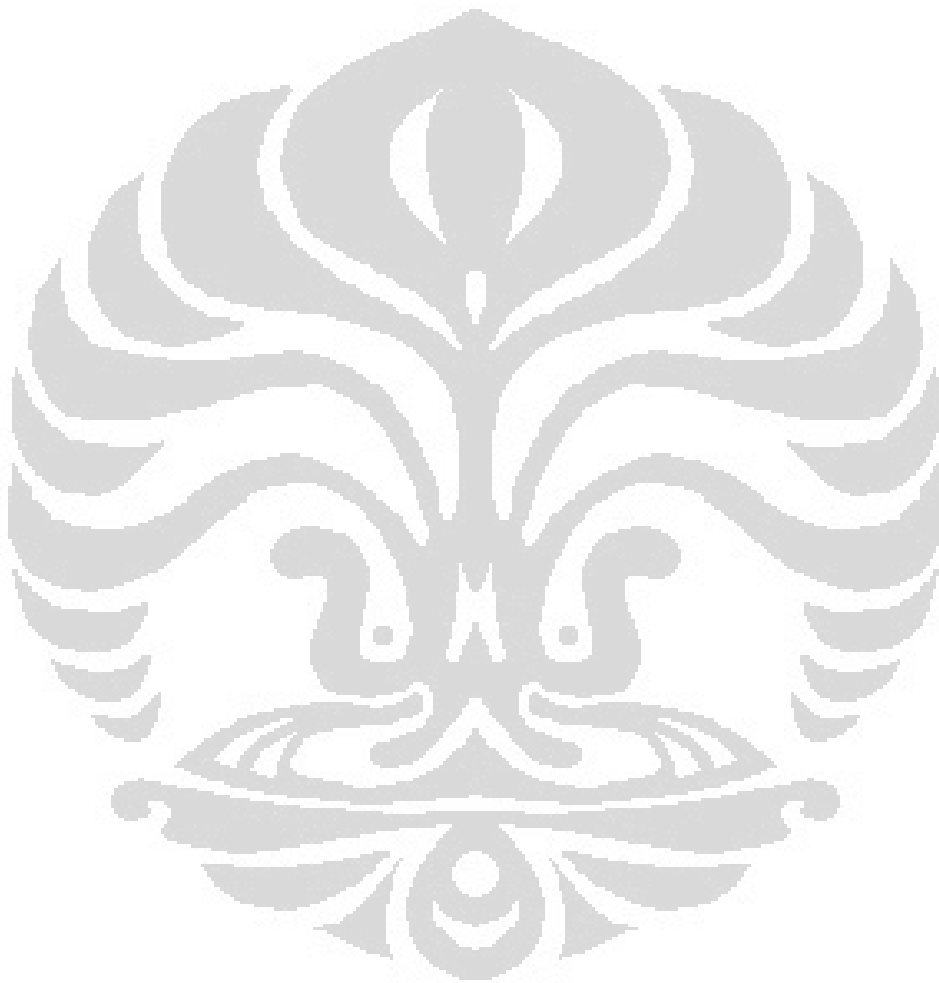
$$Nu_{mod} = \frac{h_{l_{mod}} \times diameter}{k}$$

$$Nu_{mod} = \frac{28,46 \times 0,00139}{0,026}$$

$$Nu_{mod} = 1,484$$

36. Menghitung bilangan Lewis

$$Le = \frac{Sc}{Pr} = \frac{2,92}{0,71} = 4,1$$

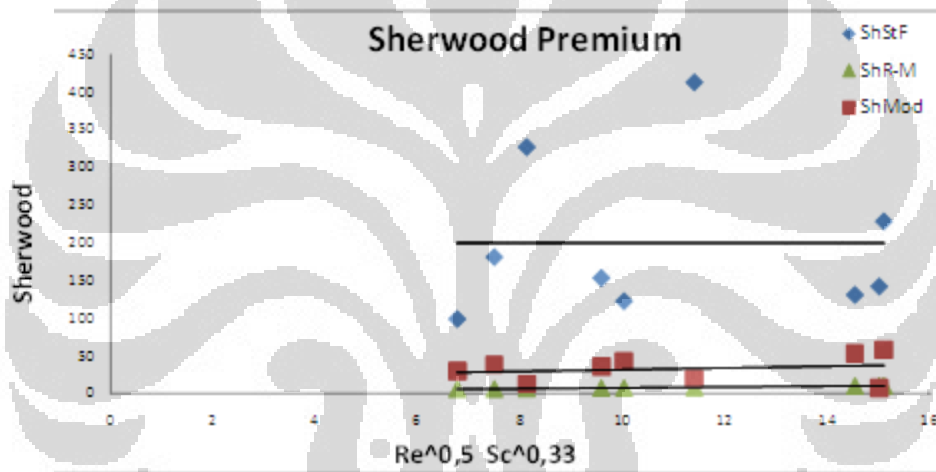


BAB IV

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

Tabel IV.1. Hasil perhitungan Sherwood

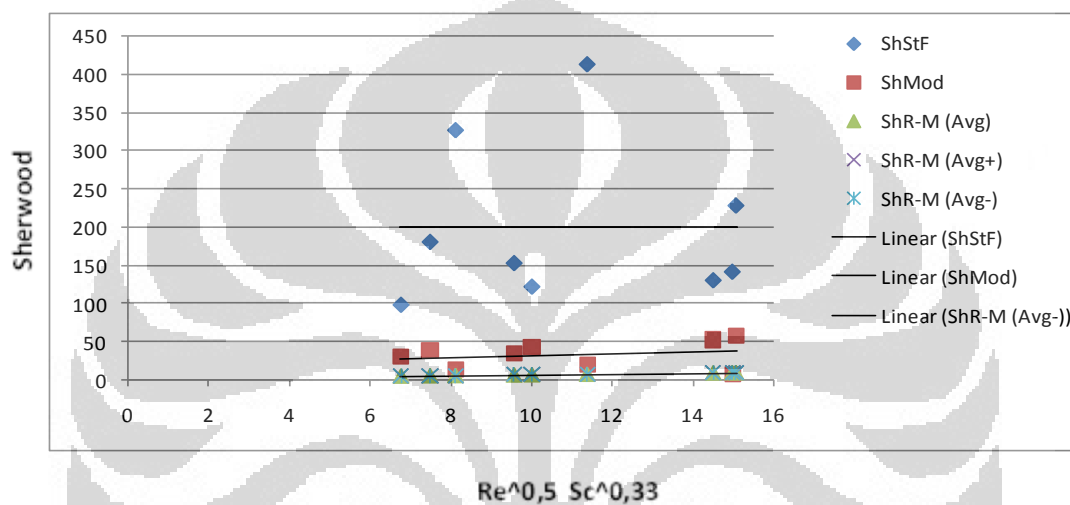
KcL-StF	KcL-Mod	ReSc	ShStF	ShMod	ShR-M
1,43883	0,05636	8,119152	326,77520	12,79996	6,46553
1,82242	0,08533	11,395150	412,69361	19,32419	8,26733
0,65477	0,03357	15,007383	142,12999	7,28775	10,25406
0,96658	0,20578	7,485962	181,08820	38,55276	6,11728
1,02273	0,23778	9,577219	153,43807	35,67416	7,26747
1,27323	0,32392	15,098529	228,50285	58,13374	10,30419
0,67886	0,20646	6,761450	99,06296	30,12777	5,71880
0,87950	0,30844	10,020396	122,72537	43,03920	7,51122
0,83130	0,33756	14,533081	131,01826	53,20118	9,99319

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 (k_{CL_StF}) yang nilainya lebih besar jika dibandingkan dengan nilai koefisien perpindahan massa modifikasi (k_{CL_Mod}) yang lebih kecil.

Grafik – Sherwood Premium (simpangan baku):



Gambar IV.2. Perbandingan bilangan Sherwood antar model pada premium (simpangan baku)

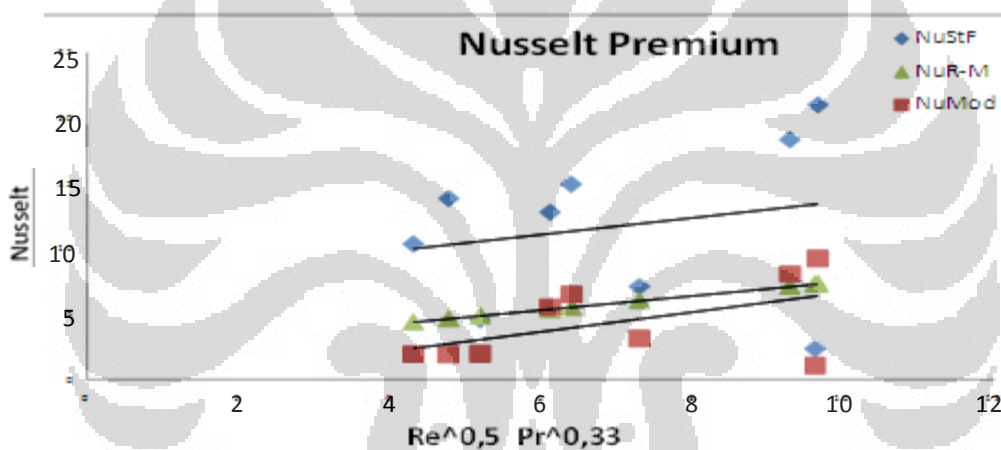
Tabel IV.2. Hasil perhitungan Sherwood (simpangan baku)

ShStF	ShMod	ShR-M (Avg)	ShR-M (Avg+)	ShR-M (Avg-)
326,78	12,80	6,47	6,71	6,20
412,69	19,32	8,27	8,86	7,61
142,13	7,29	10,25	10,50	10,01
181,09	38,55	6,12	6,40	5,82
153,44	35,67	7,27	7,65	6,85
228,50	58,13	10,30	10,69	9,90
99,06	30,13	5,72	5,92	5,50
122,73	43,04	7,51	7,82	7,18
131,02	53,20	9,99	10,53	9,42

Pada dasarnya model analogi Ranz-Marshall digunakan untuk laju perpindahan panas, tetapi dapat dipakai untuk menghitung laju perpindahan panas dengan syarat memiliki bilangan l. Sedangkan besarnya bilangan lewis pada bahan uji premium memiliki besar 3,6 – 3,9 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.

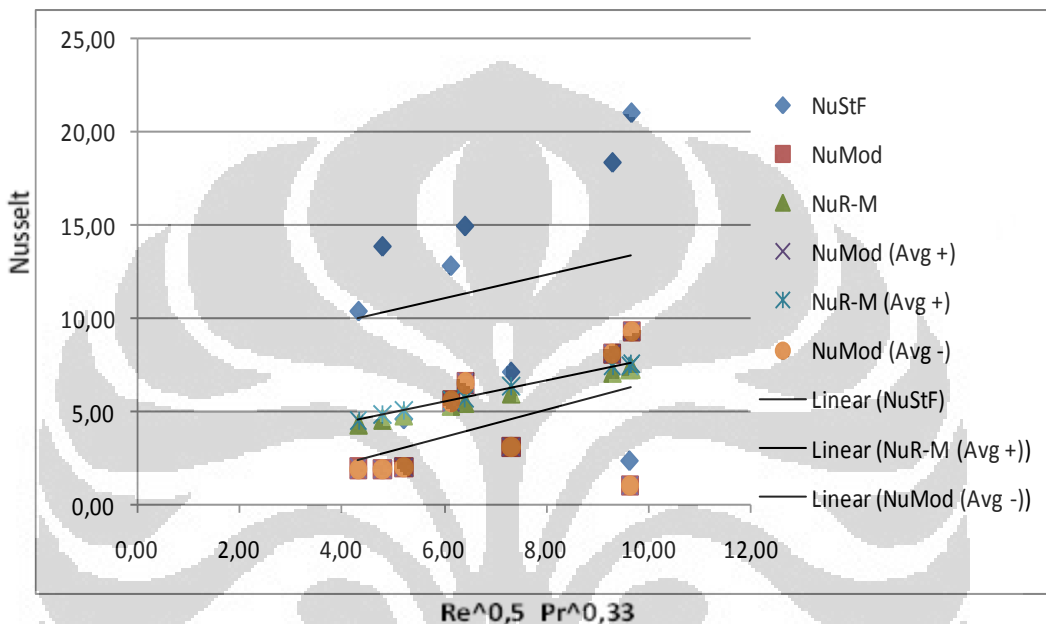


Gambar IV.3. Perbandingan bilangan Nusselt antar model pada premium

Tabel IV.3. Hasil perhitungan Nusselt

hL-StF	hL-Mod	RePr	NuStF	NuMod	NuR-M
87,92194	37,78780	5,20857	4,58494	1,97055	4,86471
136,32841	59,67140	7,30943	7,10906	3,11166	6,02019
46,88592	20,78681	9,62602	2,34697	1,04053	7,29431
297,51229	40,93766	4,79198	13,84480	1,90504	4,63559
343,10912	148,59211	6,13049	12,80350	5,54488	5,37177
470,11394	207,49918	9,66448	21,01377	9,27507	7,31546
270,50230	50,37772	4,32428	10,37102	1,93147	4,37835
406,36768	177,14179	6,40833	14,93722	6,51136	5,52458
440,75491	193,95792	9,29404	18,34659	8,07357	7,11172

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}).



Gambar. IV.4. Perbandingan bilangan Nusselt antar model pada premium (simpangan baku)

Tabel IV.4. Hasil perhitungan Nusselt (simpangan baku)

NuStF	NuMod	NuR-M	NuMod (Avg +)	NuR-M (Avg +)	NuMod (Avg -)	NuR-M (Avg -)
4,58	1,97	4,86	1,98	5,02	1,96	4,70
7,11	3,11	6,02	3,13	6,40	3,09	5,60
2,35	1,04	7,29	1,04	7,45	1,04	7,13
13,84	1,91	4,64	1,92	4,81	1,89	4,44
12,80	5,54	5,37	5,57	5,62	5,52	5,10
21,01	9,28	7,32	9,29	7,56	9,25	7,05
10,37	1,93	4,38	1,94	4,51	1,92	4,24
14,94	6,51	5,52	6,53	5,72	6,49	5,32
18,35	8,07	7,11	8,10	7,45	8,05	6,75

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

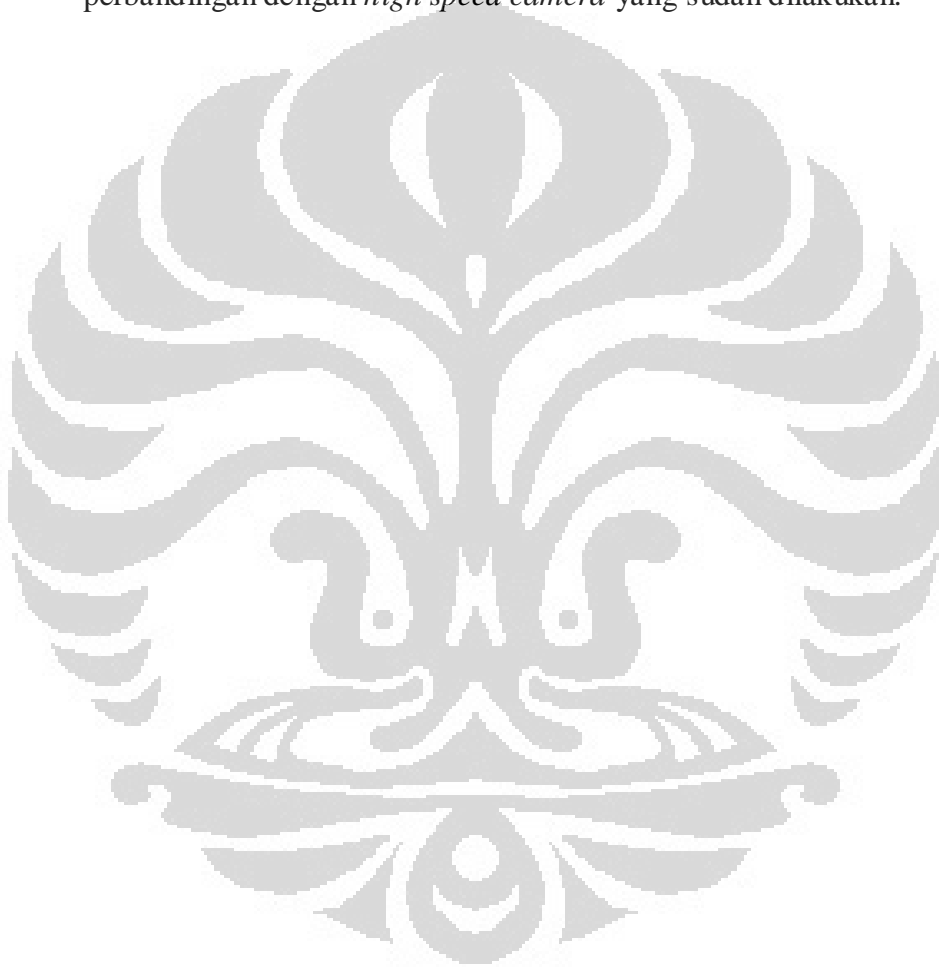
Pengujian tetesan premium pada alat uji dengan menggunakan analogi Ranz-Marshall yang dikombinasikan dengan model Stagnan Film dan Modifikasi E.A. Kosasih, memberikan kesimpulan sebagai berikut:

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 – 3,9. 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. Pada bilangan Sherwood, untuk model Stagnan Film dan model Modifikasi memiliki nilai yang sama. Sedangkan model Ranz-Marshall memiliki bilangan Sherwood yang berbeda pada variasi kecepatan dan suhu.

5.2 Saran

1. Pengukuran kecepatan pada *test section* sebaiknya menggunakan alat ukur dengan ketelitian yang lebih baik, rekomendasi memakai PIV (*Partikel Image Velocimetry*).

2. Pada pengambilan foto *droplet*, perlu ditambahkan skala ukur pada *background*-nya sehingga dapat membantu untuk mendapatkan diameter *droplet*.
3. Pengambilan data lebih banyak lagi untuk menambah tingkat keyakinan keberhasilan hasil percobaan.
4. Memakai kamera lain dengan *pixel* yang tinggi dalam rangka perbandingan dengan *high speed camera* yang sudah dilakukan.



DAFTAR PUSTAKA

- [1] Cengel, Yunus A., Michael A.Boles, *Thermodynamics An Engineering Approach*, (New York: McGraw Hill, 1994)
- [2] 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.
- [3] Holman , J.P., *Perpindahan Kalor*, terj. E.Jasjfi (Jakarta: Erlangga, 1991).
- [4] Incropera, Frank P., David P. De Witt, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, (New York: John Wiley & Sons, 1996).
- [5] Luo, K., O Dejardinsy., Pitsch, H, DNS of droplet evaporation and Combustion in a swirling combustor, Center for Turbulence Research, Annual Research Brief, 2008.
- [6] Kosasih, E.A., “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
- [7] Reynolds, William C., Henry Perkins, *Termodinamika Teknik*, terj.Filino Harahap (Jakarta: Erlangga, 1991).
- [8] Robert, C., Reid, Jhon, M., Prausnitz, Bruce, E., Poling, *The Properties of GASES & LIQUIDS*, (New York: Robert, C., Reid & Virginia Sherwood, 1986)

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