



UNIVERSITAS INDONESIA

LAJU PENGUAPAN BAHAN BAKAR PREMIUM

SKRIPSI

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

**Ageng Amarendra
0606072894**

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN**

**DEPOK
DESEMBER 2010
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS**

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

Nama : Ageng Amarendra

NPM : 0606072894

Tanda Tangan :

Tanggal : 29 Desember 2010

Universitas Indonesia

HALAMAN PENGESAHAN

skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Ageng Amarendra

NPM : 0606072894

Program Studi : Teknik Mesin

Judul Skripsi : Laju Penguapan Bahan Bakar Premium

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. 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

Universitas Indonesia

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan YME, karena atas berkat dan anugerah-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari, skripsi yang saya tulis ini bukan merupakan suatu yang *instant*. Itu buah dari suatu proses yang panjang, menyita segenap tenaga dan pikiran. Yang pasti, tanpa segenap motivasi, kesabaran, kerja keras, dan do'a – mustahil saya sanggup untuk menjalani tahap demi tahap dalam kehidupan akademik saya di Teknik Mesin-UI. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

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

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

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

Depok, 29 Desember 2010

Penulis

Universitas Indonesia

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

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

Nama : Ageng Amarendra
NPM : :0606072894
Program Studi : Teknik Mesin
Departemen : Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

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

LAJU PENGUAPAN BAHAN BAKAR PREMIUM

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 29 Desember 2010

Yang menyatakan

(Ageng Amarendra)

Universitas Indonesia

ABSTRAK

Ageng Amarendra NPM 06 06 07 289 4 Departemen Teknik Mesin	Dosen Pembimbing Dr. Ir. Engkos A. Kosasih, MT
LAJU PENGUAPAN BAHAN BAKAR PREMIUM	
ABSTRAK	
<p>Laju penguapan pada <i>droplet</i> penting untuk diketahui dalam melakukan simulasi pada <i>combustion</i>. Yosuo Moriyoshi dan Yasuo Imai melakukan penelitian tentang pengukuran distribusi konsentrasi tekanan uap pada bahan bakar dalam phase gas dan <i>liquid</i>[9]. Christopher J. Rutland and Yunliang Wang melakukan simulasi terhadap semprotan campuran cairan turbulen menggunakan <i>software</i> DNS. Banyak simulasi <i>combustion</i> menggunakan <i>software</i> Fluent ataupun DNS yang menggunakan model analogi Ranz-Marshall pendekatan stagnan film sebagai dasar untuk menghitung laju perpindahan panas dan massa. Penelitian ini bertujuan untuk melihat apakah model analogi tersebut dapat digunakan pada premium dan pertamax yang memiliki bilangan lewis besar (3-4) serta membandingkan dengan model E. A. Kosasih.</p> <p>Penelitian ini menggunakan alat berupa jarum yang berisi tetesan bahan bakar. Setelah bahan bakar ditetaskan pada termokopel, kemudian dialirkan udara dengan kecepatan dan temperatur bervariasi. 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</p>	
Kata Kunci : Penguapan tetesan; Analogi Ranz-Marshall; Model film stagnan; Pendekatan baru model film stagnan (E. A. Kosasih, 2006)	

ABSTRACT

Ageng Amarendra NPM 06 06 07 289 4 Mechanical Engineering Department	Counsellor Dr. Ir. Engkos A. Kosasih, MT
EVAPORATION OF PREMIUM DROPLET	
<i>ABSTRACT</i>	
<p>Evaporation rate on the droplets is important to note in doing simulation on combustion. Yosuo Imai Yasuo Moriyoshi and conducts research on measurement of concentration distribution in the fuel vapor pressure in the gas and liquid phase. Christopher J. Rutland and Wang Yunliang simulation of Turbulent liquid spray mixing and combustion by using DNS software. Many combustion simulation using FLUENT software or DNS which uses the analogy of Ranz-Marshall model of stagnant film approach as a basis for calculating the rate of heat and mass transfer. This study aimed to see whether the analogy model can be used on premium and pertamax which has a large Lewis numbers (3-4) and compare with model modification E.A Kosasih.</p> <p>This research is using a nozzle filled with solution. After the solution is injected on thermocouple, then air flow is given with some velocity and temperature variations. After being analized, the relations between Reynold number (Re), Prandtl (Pr), Schmidt (Sc), Nusselt (Nu) and Sherwood number (Sh) will be found. The modification model E. A. Kosasih has stronger correlation than stagnant film model.</p>	
<p>Keywords : Droplet Evaporation; Ranz-Marshall analogy; Stagnant film model; The new model (E. A. Kosasih, 2006).</p>	

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	II
HALAMAN PENGESAHAN	III
UCAPAN TERIMA KASIH.....	IV
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	V
ABSTRAK	VI
ABSTRACT	VII
DAFTAR ISI	VIII
DAFTAR GAMBAR.....	XI
DAFTAR TABEL.....	XII
DAFTAR LAMPIRAN	XIII
DAFTAR NOTASI	XIV
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 LATAR BELAKANG.....	1
1.2 PERUMUSAN MASALAH.....	2
1.3 TUJUAN PENELITIAN	2
1.4 BATASAN MASALAH	2
1.5 METODOLOGI PENELITIAN	3
1.6. SISTEMATIKA PENULISAN	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 PRINSIP DASAR.....	5
2.2 PERPINDAHAN KALOR	5
2.2.1 Konveksi.....	5
2.2.2 Konduksi.....	6

2.2.3 Radiasi.....	6
2.2.4 Fluks Perpindahan Panas	7
2.2.5 Kalor Laten Penguapan	7
2.3 PERPINDAHAN MASSA	7
2.3.1 Koefisien Perpindahan Massa	7
2.3.2 Difusi Dalam Gas.....	8
2.3.3 Fluks Perpindahan Massa (R_x).....	9
2.4 KARAKTERISTIK UDARA	9
2.5 LAPIS BATAS	11
2.5.1 Lapis Batas Konsentrasi.....	11
2.5.2 Lapis Batas Termal.....	12
2.5.3 Lapis Batas Kecepatan.....	12
2.5 BILANGAN TAK BERDIMENSI	13
2.6.1 Bilangan Reynolds.....	13
2.6.2 Bilangan Schmidt	14
2.6.3 Bilangan Prandtl.....	15
2.6.4 Bilangan Nusselt	15
2.6.5 Bilangan Sherwood	15
2.6.6 Bilangan Lewis.....	16
2.7 PERSAMAAN RANZ – MARSHALL.....	16
2.8 MODEL ANALOGI FILM STAGNAN	16
2.8.1 Bilangan Nusselt Model Analogi Film stagnan	17
2.8.2 Sherwood Model Film stagnan (Sh_{StF}).....	18
2.9 MODEL ANALOGI PENDEKATAN BARU FILM STAGNAN	18
2.9.1 Sherwood Model Pendekatan Baru (Sh_{Mod}).....	19
2.9.2 Bilangan Nusselt Model Pendekatan Baru	20
BAB III METODE PENELITIAN	21
3.1 KOMPONEN SISTEM	21
3.1.1 Heater.....	21

3.1.2 Blower	21
3.1.3 Pyrex.....	22
3.1.4 Digital Controller.....	22
3.1.5 Temperature Display	23
3.1.6 Alat Suntik	23
3.1.7 Inverter.....	24
3.1.8 Alat Pembuat Asap.....	25
3.2 PROSEDUR KALIBRASI DAN PENGAMBILAN DATA.....	25
3.2.1 Kalibrasi Kecepatan.....	25
3.2.2 Pengambilan Data.....	26
3.2.2.1 Droplet Evaporation	26
3.2.2.2 Data Kecepatan Aliran Udara.....	28
3.2.3 Kalibrasi Jarum Suntik.....	29
3.2.4 Kalibrasi Menggunakan Mata Bor	29
3.3 PENGOLAHAN DATA.....	30
3.3.1 Pengolahan Data Foto Droplet.....	30
3.3.2 Pengolahan Data Kecepatan	30
3.3.3 Contoh Perhitungan.....	30
BAB IV HASIL DAN ANALISA.....	42
4.1 ANALISA PERBANDINGAN NILAI SHERWOOD ANTAR MODEL	42
4.2 ANALISA PERBANDINGAN NILAI NUSSELT ANTAR MODEL.....	44
4.3 SIMULASI PENGURANGAN DIAMETER	45
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	47
5.1 KESIMPULAN	47
5.2 SARAN	47
DAFTAR PUSTAKA	49

DAFTAR GAMBAR

GAMBAR II.1 LAPIS BATAS KONSENTRASI	11
GAMBAR II.2 LAPIS BATAS TERMAL	12
GAMBAR II.3 LAPIS BATAS KECEPATAN	12
GAMBAR II.4 MODEL FILM STAGNAN	16
GAMBAR III.1 <i>HEATER</i>	21
GAMBAR III.2 <i>BLOWER</i>	21
GAMBAR III.3 PIPA <i>PYREX</i>	22
GAMBAR III.4 <i>DIGITAL CONTROLLER</i>	22
GAMBAR III.5 SKEMA <i>AUTO TUNNING</i>	22
GAMBAR III.6 <i>TEMPERATURE DISPLAY</i>	23
GAMBAR III.7 ALAT SUNTIK	24
GAMBAR III.8 <i>DISPLAY INVERTER ST200</i>	24
GAMBAR III.9 SKEMA SISTEM PENGUJIAN LAJU PENGUAPAN	25
GAMBAR III.10 POSISI JARUM DAN TETESAN	26
GAMBAR III.11 PANEL SISTEM LISTRIK	27
GAMBAR III.12 TETESAN	27
GAMBAR IV.1 PERBANDINGAN BILANGAN SHERWOOD ANTAR MODEL	42
GAMBAR IV.3 PERBANDINGAN BILANGAN NUSSELT ANTAR MODEL	44

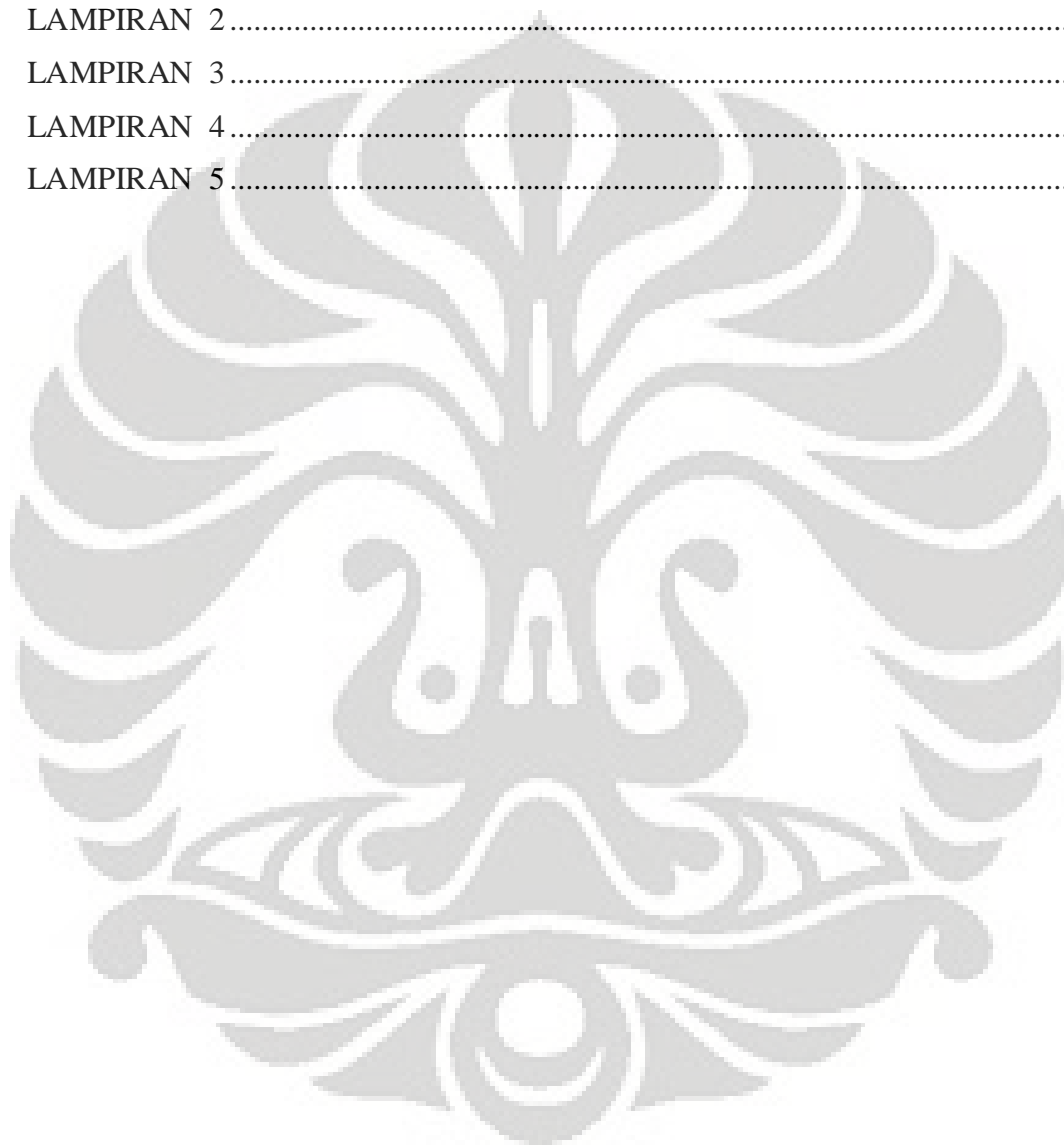
DAFTAR TABEL

TABEL II.1 KONDISI ALIRAN FLUIDA.....	14
TABEL IV.1 HASIL PERHITUNGAN SHERWOOD	43
TABEL IV.2 HASIL PERHITUNGAN NUSSOLT	45



DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1	51
LAMPIRAN 2	52
LAMPIRAN 3	53
LAMPIRAN 4	54
LAMPIRAN 5	55



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	[K mole]
n_{da}	Mole udara kering	[K mole]
n_v	Mole uap air	[K mole]
P_t	Tekanan atmosfer = $p_a + p_s$	[Pa]
p_{da}	Tekanan parsial udara kering	[Pa]
p_w	Tekanan parsial uap air dalam keadaan jenuh	[Pa]
R_{da}	Tetapan gas untuk udara kering = 287	[J/kg.K]
R_v	Tetapan gas untuk uap air = 461,5	[J/kg.K]

Universitas Indonesia

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	<i>Bilangan Prandtl</i>	

BAB I PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Pada fenomena *combustion* di dalam sebuah ruang bakar, proses masuknya bahan bakar (dalam hal ini premium) dalam bentuk tetesan (*droplet*) adalah suatu hal yang masih terus diteliti dan dikembangkan untuk dapat menghasilkan pembakaran yang sempurna. Prinsip utama dari proses pembakaran itu sendiri adalah terbakarnya bahan bakar yang bercampur dengan udara bertekanan tinggi. Pada fenomena ini, sangatlah penting untuk mengetahui besarnya laju penguapan dari bahan bakar yang digunakan karena uap dari bahan bakar tersebut lah yang pertama kali terbakar dalam sebuah ruang bakar. Dengan mengetahui laju penguapan dari bahan bakar tersebut maka peningkatan efisiensi diharapkan dapat dilakukan kedepannya.

Untuk menghitung nilai laju penguapan yang terjadi masih banyak ilmuwan di dunia yang menggunakan analogi Ranz W E & Marshall W R atau analogi Film stagnan. Bahkan di salah satu *software* yang sering digunakan untuk simulasi *combustion* yaitu Fluent dan DNS, juga masih menggunakan analogi tersebut. Christopher J. Rutland dan Yunliang Wang yang menggunakan *software* DNS untuk melihat simulasi semprotan campuran cairan turbulen yang menggunakan analogi Ranz-Marshall dengan pendekatan film stagnan untuk menghitung laju perpindahan kalor dan massa.

Dalam kurun waktu 25 tahun ke belakang, banyak penelitian telah dilakukan mengenai proses penguapan pada pengeringan. Salah satu metode penelitian yang sering digunakan adalah penguapan tetesan (*droplet evaporation*). Ranz W E & Marshall W R, telah melakukan studi *experimental* mengenai penguapan tetesan (*droplet evaporation*) dan menyimpulkan bahwa proses penguapan tetesan merupakan analogi (hubungan) perpindahan kalor dan perpindahan massa. Inti dari analogi ini adalah memanfaatkan hubungan similaritas antara bilangan Sherwood dan bilangan Nusselt, sehingga solusi perpindahan kalor aplikatif terhadap perpindahan massa.

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

1.2 PERUMUSAN MASALAH

Pada penelitian, rumusan masalah yang akan dibahas adalah untuk mengetahui laju penguapan yang terjadi pada bahan bakar. Bahan bakar yang digunakan adalah Premium yang merupakan salah satu produk dari P.T Pertamina. Laju penguapan akan dilakukan dengan menguji menggunakan droplet yang berasal dari bahan bakar yang dipanaskan oleh udara dengan variasi temperatur 100°C dan 150°C . Penelitian ini juga menggunakan aliran kecepatan udara yang diatur oleh inventer dengan nilai 5 Hz, 10 Hz dan 20 Hz.

1.3 TUJUAN PENELITIAN

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk meninjau kembali hasil dari perhitungan model analogi Ranz-Marshall dan film stagnan dengan bahan uji premium yang memiliki bilangan Lewis besar (3-4). Serta membandingkannya dengan model analogi E. A. Kosasih.

1.4 BATASAN MASALAH

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

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

1.5 METODOLOGI PENELITIAN

Adapun tahapan-tahapan yang diambil dalam penelitian ini adalah :

1. Studi Literatur

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

2. Alat uji E. A. Kosasih

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

3. Pengambilan data

Data yang diambil dalam penelitian adalah kecepatan aliran, suhu aliran, suhu tetesan dan foto dari tetesan dalam periode tertentu. Untuk mengambil data tetesan digunakan kamera D-SLR Nikon tipe D70 dengan jarak fokus 60mm, untuk selanjutnya tetesan tersebut difoto dan dilakukan kalibrasi sehingga didapat data akhir berupa dimensi tetesan. Sedangkan untuk mengambil data kecepatan aliran udara digunakan *high speed camera* untuk mengambil gambar pergerakan asap dari pelumas yang menguap akibat *hot wire* yang telah dirancang sesuai kebutuhan penelitian.

4. Penyusunan laporan

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

1.6. SISTEMATIKA PENULISAN

Agar laporan tugas akhir ini memiliki struktur yang baik dan tujuan penulisan dapat tercapai dengan baik, maka penulisan tugas akhir ini akan mengikuti sistematika penulisan sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

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

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas tentang konsep-konsep yang menjadi dasar teori dalam pengujian dan dasar teori untuk perhitungan.

BAB III METODE PENELITIAN.

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

BAB IV ANALISA DATA

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

BAB V KESIMPULAN

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

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 PRINSIP DASAR

Proses penyalan yang dilakukan oleh *spark plug* yang akan menyulut bahan bakar yang telah menguap adalah sebuah fenomena yang terjadi di dalam ruang bakar. Proses penyalan tersebut meliputi perpindahan kalor dan massa secara transien serta beberapa laju proses, seperti transformasi fisik atau kimia.

Pada proses pembakaran, masuknya bahan bakar yang disemprotkan oleh *nozzle* akan masuk dalam bentuk tetesan (*droplet*). *Droplet* yang telah masuk ke dalam ruang bakar akan menguap dan akan tersulut oleh api yang dihasilkan oleh *spark plug*. Hal yang harus diperhatikan agar mengetahui laju penguapan dengan model film stagnan E. A. Kosasih (E.A Kosasih) dengan acuan analogi Ranz-Marshall adalah perpindahan kalor dan perpindahan massa yang terjadi pada saat penguapan.

2.2 PERPINDAHAN KALOR

Bila dua benda atau lebih terjadi kontak termal maka akan terjadi aliran kalor dari benda yang bertemperatur lebih tinggi ke benda yang bertemperatur lebih rendah, hingga tercapainya keseimbangan termal. Proses perpindahan kalor ini berlangsung dalam 3 mekanisme, yaitu : konveksi, konduksi dan radiasi.

2.2.1 Konveksi

Konveksi adalah perpindahan kalor yang terjadi karena adanya pergerakan fluida, dimana dalam penelitian yang dilakukan fluida yang bergerak adalah udara yang dihembuskan melalui *blower* yang mengalirkan panas dari *heater* menuju objek.

Persamaan konveksi:

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

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

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

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

2.2.2 Konduksi

Proses perpindahan kalor secara konduksi bisa dilihat secara atomik merupakan energi kinetik antar molekul, dimana partikel yang energinya rendah dapat meningkat dengan menumbuk partikel dengan energi yang lebih tinggi.

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

Jika dimasukkan konstanta proporsionalitas maka persamaannya akan menjadi seperti berikut :

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

q = laju perpindahan kalor [J/s]

k = konduktivitas termal [W/m.°C]

A = luas penampang [m²]

T = temperatur [°C]

x = jarak (panjang) perpindahan kalor [m]

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

2.2.3 Radiasi

Pada proses radiasi, energi termal diubah menjadi energi radiasi. Energi ini termuat dalam gelombang elektromagnetik, khususnya daerah inframerah (700 nm – 100nm). Saat gelombang elektromagnetik tersebut berinteraksi dengan materi, energi radiasi berubah menjadi energi termal. Rumus radiasi yang digunakan :

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

Q = radiasi [W]

A = luas permukaan [m²]

α = absorptivitas

σ = konstanta stefant boltzman [W/m² K⁴]

Tu = temperatur sumber radiasi [K]

Td = temperatur *droplet* [K]

2.2.4 Fluks Perpindahan Panas

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

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

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

2.2.5 Kalor Laten Penguapan

Kalor laten penguapan pada bahan bakar berbeda dengan kalor laten penguapan pada air, maka dari itu digunakan rumus yang dihasilkan oleh Vetere yang memiliki eror dibawah 2 %. Rumus kalor laten penguapan itu adalah :

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

- 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)

2.3 PERPINDAHAN MASSA

2.3.1 Koefisien Perpindahan Massa

Koefisien perpindahan massa (*mass transfer coefficient*) dapat di definisikan seperti halnya dengan koefisien perpindahan kalor, maka :

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

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

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 [m²/s]

d = diameter dalam lapisan air [m]

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

2.3.2 Difusi Dalam Gas

Pada perhitungan difusi gas, digunakan rumus yang diusulkan oleh Fuller et al, yaitu sebagai berikut :

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

P = tekanan kritis (bar)

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

$\sum v$ = nilai schoreder

T = temperatur droplet (K)

Laju difusi molal :

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

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

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

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

N = laju difusi molal [mol/s]

M = berat molekul [kg]

m = laju massa aliran (kg/s)

2.3.3 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

2.4 KARAKTERISTIK UDARA

Faktor yang sangat berperan penting dalam penelitian laju penguapan tetesan adalah udara. Komposisi udara kering berdasarkan volumenya diperkirakan 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 digunakan rumus yang direkomendasikan oleh lee dan kesler, yaitu :

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

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

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

P_{vp} = Tekanan pada permukaan

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

ω = *eccentric factor*

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

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

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 adalah :

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

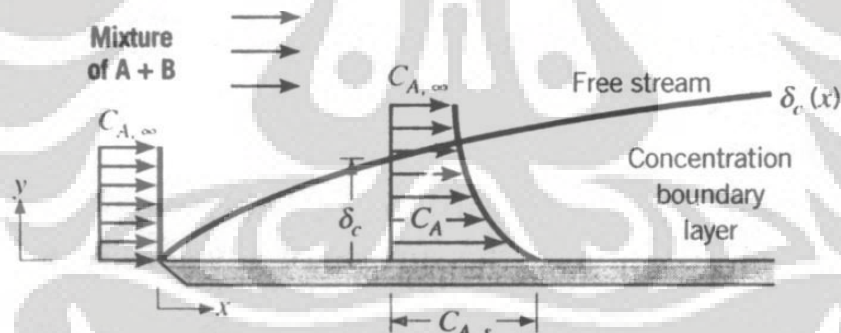
T_d = Temperatur *droplet* (T_d)

T_c = temperatur kritis (T_c)

2.5 LAPIS BATAS

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

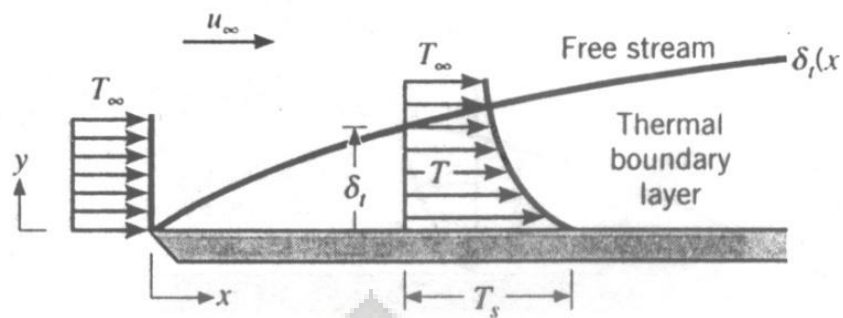
2.5.1 Lapis Batas Konsentrasi



Gambar II.1 Lapis Batas Konsentrasi

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

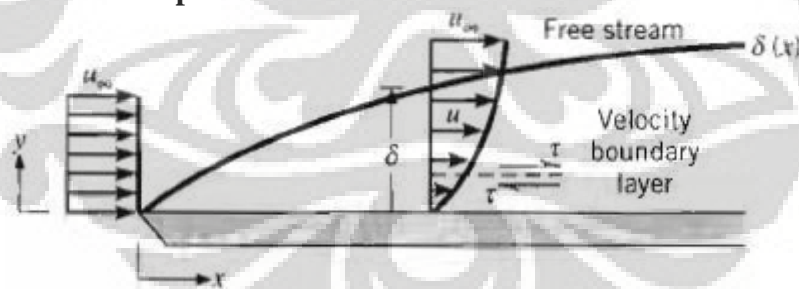
2.5.2 Lapis Batas Termal



Gambar II.2 Lapis 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_∞ diatas 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 diatas 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.

2.5.3 Lapis Batas Kecepatan



Gambar II.3 Lapis Batas Kecepatan Pada Suatu Permukaan

Ketika suatu fluida mengalir diatas 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*).

2.5 BILANGAN TAK BERDIMENSI

Bilangan tak berdimensi (*non-dimensional number*) berguna untuk mengetahui kondisi atau karakteristik suatu aliran fluida. Bilangan tak berdimensi bermanfaat pada metode penelitian suatu sistem yang sama dengan sistem lain namun dalam dimensi yang berbeda seperti pada model pesawat terbang, mobil, kapal laut dan sebagainya.

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

2.6.1 Bilangan Reynolds

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. Nama bilangan itu sendiri diambil dari seorang yang bernama Osborne Reynolds (1842–1912) yang mengusulkannya pada tahun 1883. Bentuk persamaan tersebut adalah :

$$Re = \frac{ux}{\nu} \quad (2.29)$$

u = kecepatan [m/s]

ν = viskositas kinematik [m²/s]

x = jarak [m]

$$Re = \frac{\text{gaya inersia}}{\text{gaya viskos}} = \frac{\rho V^2 / L}{\mu V / L^2} = \frac{\rho V L}{\mu} \quad (2.30)$$

ρ = massa jenis fluida [kg/m³]

V = kecepatan alir fluida [m/s]

- L = panjang karakteristik, berupa diameter pipa [m^2]
 μ = viskositas dinamik

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.

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

Tabel II.1 Kondisi Aliran Fluida

2.6.2 Bilangan Schmidt

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

Persamaan yang digunakan adalah :

$$Sc = \frac{\nu}{D} \quad (2.31)$$

ν = viskositas kinematik

D = difusivitas massa

2.6.3 Bilangan Prandtl

Bilangan Prandtl (Pr) merupakan suatu nilai / harga yang dipakai untuk menentukan distribusi temperatur pada suatu aliran. Ludwig Prandtl mendefinisikan bilangan Prandtl sebagai bilangan tak berdimensi yang merupakan perbandingan antara viskositas kinematik dengan difusivitas termal. Dalam kasus perpindahan kalor, Pr menentukan ketebalan relatif dari lapisan batas hidro dinamik dan termal *boundary layer*.

Persamaannya yaitu :

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} \quad (2.32)$$

ν = viskositas kinematik

α = difusivitas termal

Nilai tipikal dari Pr adalah sebagai berikut :

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

2.6.4 Bilangan Nusselt

Bilangan Nusselt merupakan bilangan yang menggambarkan karakteristik proses perpindahan kalor.

$$Nu_x = \frac{hx}{k} \quad (2.33)$$

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

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

2.6.5 Bilangan Sherwood

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

$$Sh = \frac{k_c \cdot L}{D_{AB}} \quad (2.34)$$

2.6.6 Bilangan Lewis

Bilangan Lewis merupakan perbandingan antara difusivitas termal dan difusivitas massa, digunakan untuk menentukan karakteristik aliran fluida dimana terjadi perpindahan kalor dan perpindahan massa secara simultan yang disebabkan oleh konveksi.

$$Le = \frac{\alpha}{D_{AB}} \quad (2.35)$$

$$Le = \frac{Sc}{Pr} \quad (2.36)$$

2.7 PERSAMAAN RANZ – MARSHALL

Persamaan Ranz - Marshall diperkenalkan pertama kali oleh Ranz W E & Marshall W R, Jr. pada tahun 1953, merupakan analogi (hubungan) perpindahan massa dengan perpindahan kalor. Analogi ini mempunyai persyaratan bilangan Lewis Le

$\left(\frac{Sc}{Pr}\right)$ bernilai satu dan nilai $Re \leq 200$. Berikut adalah pers. Ranz - Marshall :

$$Nu = 2 + (0,6 \times Re^{1/2} Pr^{1/3}) \quad (2.37)$$

Sehingga dengan analogi untuk perpindahan massa berlaku :

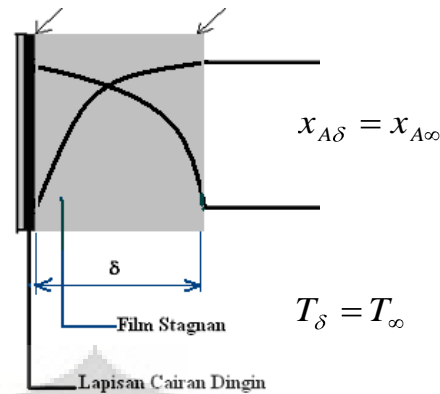
$$Sh = 2 + (0,6 \times Re^{1/2} Sc^{1/3}) \quad (2.38)$$

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 kalor yakni rumus model umum, *stagnant film model* dan pendekatan baru pada *stagnant film model* (E. A. Kosasih, 2006) serta pendekatan secara eksperimental.

2.8 MODEL ANALOGI FILM STAGNAN

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

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



Gambar II.4 Model Film Stagnan

Pada gambar diatas memperlihatkan lapisan cairan dingin yang menguap disekitar udara panas. Film stagnan sendiri adalah film khayal atau batas yang tidak nyata, dimana diasumsikan bahwa di luar film tersebut tidak terdapat beda potensial perpindahan, baik perpindahan kalor maupun perpindahan massa.

2.8.1 Bilangan Nusselt Model Analogi Film stagnan

$$Nu_{StF} = \frac{h_{L_{StF}} \times d}{k} \quad (2.39)$$

$$h_{L_{StF}} = \frac{h}{\theta_{T_{StF}}} \quad \dots\dots\dots (2.40)$$

$$\theta_{T_{StF}} = \frac{h}{h_L} \quad \dots\dots\dots (2.41)$$

$$\theta_{T_{StF}} = \frac{Ln(1 + R_T)}{R_T} \quad \dots\dots\dots (2.42)$$

Nu_{StF} = bilangan nusselt film stagnan

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

d = diameter droplet [m]

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

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

$\theta_{T_{StF}}$ = faktor koreksi perpindahan panas

R_T = fluks perpindahan panas

2.8.2 Sherwood Model Film stagnan (Sh_{StF})

$$Sh_{StF} = \frac{k_{cLSIF} \times diameter}{D_{AB}} \quad (2.43)$$

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

$$\theta_{X_StF} = \frac{k_c}{k_{cL}} \quad (2.45)$$

$$\theta_{X_StF} = \frac{Ln(1 + R_x)}{R_x} \quad (2.46)$$

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

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

θ_{X_StF} = faktor koreksi perpindahan massa

R_X = fluks perpindahan massa

2.9 MODEL ANALOGI PENDEKATAN BARU FILM STAGNAN

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

Model film stagnan perpindahan massa yang diterapkan pada model analogi

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

2.9.1 Sherwood Model Pendekatan Baru (Sh_{Mod})

$$Sh_{Mod} = \frac{k_{cLMod} \times d}{D_{AB}} \quad (2.47)$$

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

$$\theta_{X_Mod} = \frac{k_c}{k_{cL}} \quad (2.49)$$

$$\theta_{X_Mod} = \frac{\ln(1 + R_x) - C_1}{R_x} \quad (2.50)$$

$$C_1 = -0,0011 \times \left(\frac{u_{udara} - T_{droplet}}{T_{udara} - T_0} \right) - 1,0082 \times \left(\frac{A_{\infty} - x_0}{A_{\infty}} \right) \quad (2.51)$$

Sh_{Mod} = bilangan *sherwood* film stagnan

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

d = diameter droplet [m]

D_{AB} = Difusivitas massa

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

θ_{X_Mod} = faktor koreksi perpindahan massa

R_x = fluks perpindahan massa

C_1 = parameter perpindahan massa

2.9.2 Bilangan Nusselt Model Pendekatan Baru

$$Nu_{Mod} = \frac{h_{LMod} \times diameter}{k} \quad (2.52)$$

$$h_{LMod} = \frac{h}{\theta_{T_Mod}} \quad (2.53)$$

$$\theta_{T_Mod} = \frac{h}{h_L} \quad (2.54)$$

$$\theta_{T_Mod} = \frac{\ln(1 + R_T)}{R_T} + \frac{C_{pA}}{k \times R_T} \cdot C_2 \quad (2.55)$$

$$C_2 = 0,4633E^{-09} \times (T_{udara} - T_{droplet}) + 0,16E^{-06} \times (T_{A\infty} - x_0) \quad (2.56)$$

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 KOMPONEN SISTEM

3.1.1 Heater

Pada penelitian ini dibutuhkan aliran udara panas untuk menguapkan tetesan (*droplet*) yang telah di siapkan, oleh karena itu dibutuhkan *heater* untuk memanaskan udara yang dihembuskan oleh blower. Daya maksimal yang dapat dicapai oleh *heater* tersebut adalah 3 kW pada tegangan 220 VAC. Pada jalur keluar *heater* telah dipasang termokopel sebagai *feedback* ke *Digital Controller* agar temperatur yang dihasilkan oleh *heater* dapat terukur dan dapat dilakukan penyesuaian dengan temperatur yang diinginkan.



Gambar III.1 Heater

3.1.2 Blower

Udara dialirkan kedalam sistem dengan bantuan *blower* yang telah dipasang sebelum skema *heater*. Tipe yang dipakai pada penelitian ini adalah tipe *blower* sentrifugal, dengan debit 400 m³/jam. Untuk mengatur kecepatan aliran tersebut digunakan inverter yang akan dijelaskan di sub-bab berikutnya.



Gambar III.2 Blower

3.1.3 Pyrex

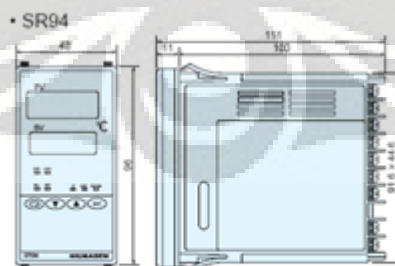
Test Section yang digunakan pada penelitian ini berupa pipa pyrex. Pyrex tersebut memiliki diameter dalam 98 mm dan panjang 1500 mm. Pipa pyrex ini dipilih karena kemampuan menahan panasnya cukup tinggi sehingga pada saat dialirkan udara panas sebagai media penguapan pada pipa pyrex tersebut diharapkan tidak menimbulkan kerusakan serta tidak menimbulkan gangguan pada saat melakukan pengambilan data uji. Pada skema tersebut dapat dilihat pada bagian tengah pyrex dibentuk lubang yang berfungsi untuk memasukkan suntikan dan *wire-probe thermocouple*. Pada lubang inilah yang dijadikan tempat untuk meletakkan sampel uji yang akan diuapkan.



Gambar III.3 Pipa Pyrex

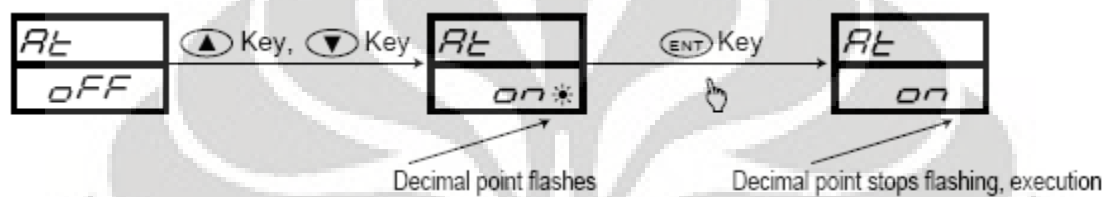
3.1.4 Digital Controller

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



Gambar III.4 Digital Controller

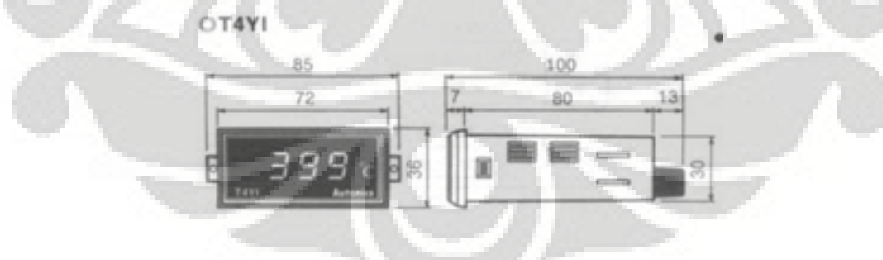
Proses penyesuaian dengan menggunakan *digital controller* ini dilakukan secara otomatis pada mode *auto tuning*, yakni controller itu akan menstabilkan temperatur sesuai dengan kondisi yang diinginkan, dengan menyesuaikan input tegangan yang diatur menggunakan sistem PID controller sehingga penyesuaian 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.5 Skema Auto Tunning

3.1.5 Temperature Display

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



Gambar III.6 Temperature Display

3.1.6 Alat Suntik

Untuk membentuk tetesan yang akan diuji diperlukan alat bantu berupa suntikan dan *wire-probe thermocouple*. Suntikan yang digunakan adalah jenis *spinal needle 23*, yang memiliki dimensi dengan panjang 90 mm dan diameter suntikan 0.5

mm. Jenis suntikan ini dipilih karena mempunyai panjang yang mencukupi untuk diletakan di pyrex yang mempunyai diameter 98 mm. Alat suntik ini dipergunakan untuk membuat tetesan yang akan dijatuhkan pada *wire-probe thermocouple* kemudian temperature tetesan dapat terukur dan bentuk tetesan dapat terlihat.

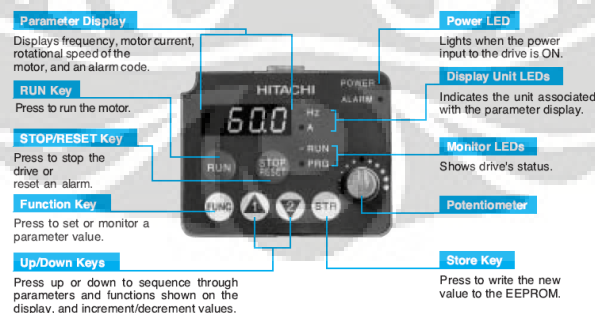


Gambar III.7 Alat Suntik

3.1.7 Inverter

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

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



Gambar III.8 Display Inverter ST200

Spesifikasi Inverter :

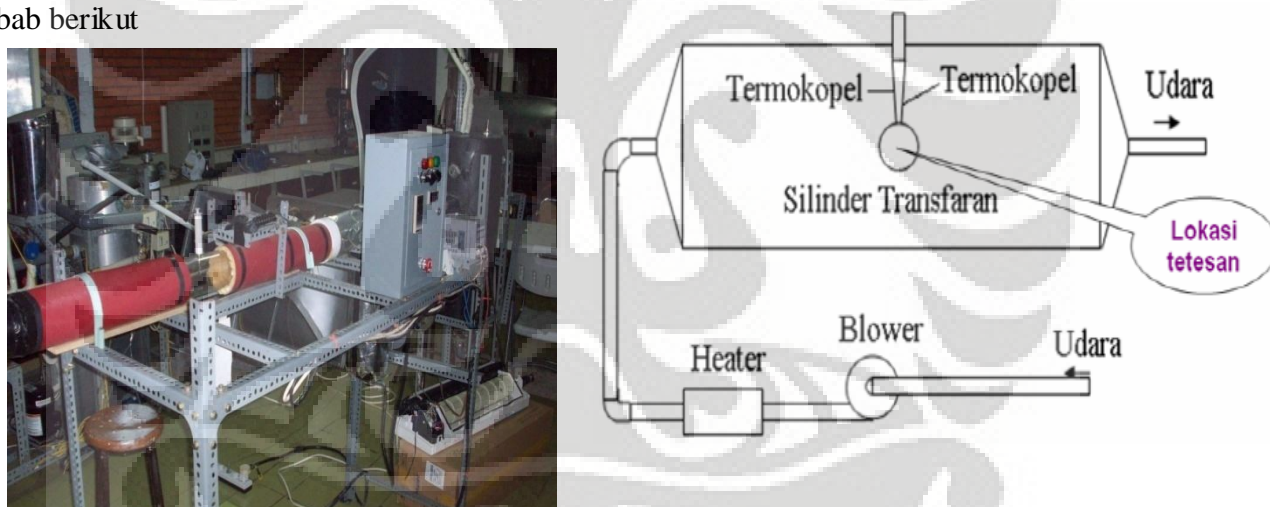
- Tipe : AC Drivers
- Range : 0.75 kW (220 VAC)
- Merk : Hitachi, SJ200

3.1.8 Alat Pembuat Asap

Alat pembuat asap ini digunakan pada saat pengambilan data kecepatan. Alat ini disusun dari 10 buah baterai 1.5 volt ukuran AA yang terangkai paralel dan dihubungkan dengan seutas kawat serabut tembaga. Cara kerja alat ini adalah dengan mencelupkan kawat tembaga kedalam oli, lalu aliran listrik disambungkan dan terciptalah asap dari oli yang terpanaskan oleh kawat tembaga akibat adanya aliran listrik.

3.2 PROSEDUR KALIBRASI DAN PENGAMBILAN DATA

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



Gambar III.9 Skema Sistem Pengujian Laju Penguapan

3.2.1 Kalibrasi Kecepatan

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

1. Mengukur diameter dalam saluran buang dari blower, dari pengukuran tersebut didapat diameter saluran sebesar 72 mm, kemudian ditentukan titik tengah ($r = 0$ mm) dari saluran tersebut.

2. *Blower* dihidupkan dan diatur pada frekuensi sebesar 5 Hz dengan menggunakan *inverter*.
3. *Heater* dihidupkan dan diatur pada temperatur 50°C, ditunggu sampai keadaan menjadi tunak.
4. Meletakkan *hot wire anemometer* di radius 0, 5, 10, 15, 20 mm saluran.
5. Pada beberapa posisi anemometer diatas, didapatkan pembacaan temperatur dan kecepatan pada *hot wire anemometer*.
6. Lakukan pencatatan terhadap bacaan anemometer dan temperatur termokopel.
7. Lakukan langkah 2 sampai 6 dengan frekuensi 10 Hz dan 20 Hz.
8. Lakukan langkah 3 sampai 6 dengan temperatur 75°C, dan 100°C.

3.2.2 Pengambilan Data

3.2.2.1 Droplet Evaporation

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

1. Mempersiapkan kamera dan tripod yang akan dipasang didepan *test section*. Mengatur ketinggian kamera agar diperoleh posisi yang sesuai dengan ketinggian *test section*. Mempersiapkan lampu pencahayaan agar foto yang dihasilkan lebih jelas kemudian mengatur fokus kamera agar diperoleh fokus terhadap jarum, sehingga terlihat gambar ujung jarum dan *wire probe thermocouple*.



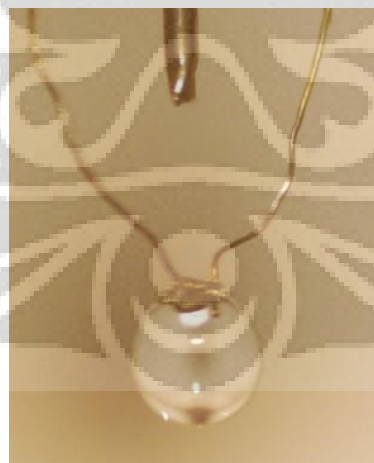
Gambar III.10 Posisi Jarum dan Tetesan

2. Menghidupkan panel sistem listrik utama kemudian menyalakan blower yang diatur oleh *inverter*. Pada *inverter* terdapat pengatur kecepatan blower yang diatur agar sesuai keinginan yaitu 5hz.



Gambar III.11 Panel Sistem Listrik

3. *Heater* dihidupkan dan dengan mode *auto tuning setup* melalui *digital controller* temperatur *heater* akan diatur mencapai kondisi yang diinginkan. Range temperatur yang akan dicapai untuk proses pengambilan data adalah : 100 dan 150 °C.
4. Setelah temperatur *digital controller* menunjukkan angka yang relatif konstan sesuai dengan temperatur yang diinginkan, maka suntikan ditekan sampai terbentuk tetesan yang baik.



Gambar III.12 Tetesan

5. Menekan *shutter* kamera digital dengan interval 1 detik, hal ini dikarenakan penguapan bahan bakar sangat cepat. Waktu pengambilan foto hanya diperkirakan

dengan melihat tetesan bahan bakar yang sudah terlihat kecil. catat penunjukan suhu pada *wire probe-thermocouple display* sebagai temperatur tetesan pada saat pengujian dan kemudian catat juga waktu pengambilan foto yang ada di kamera digital.

6. Mengulangi langkah nomor 2 sampai dengan 5 untuk frekuensi 5 Hz, 10 Hz dan 20 Hz.
7. Mengulangi langkah nomor 2 sampai dengan 6 untuk variasi suhu 100 dan 150 °C.

3.2.2.2 Data Kecepatan Aliran Udara

Pengambilan data kecepatan aliran udara dengan melakukan pengambilan foto 1000 frame perdetik. Langkah – langkahnya sebagai berikut :

1. Mempersiapkan High Speed Camera dan tripod didepan test section. Mengatur ketinggian kamera agar diperoleh posisi yang sesuai dengan ketinggian *test section*. Mempersiapkan lampu pencahayaan agar foto yang dihasilkan lebih jelas kemudian mengatur fokus kamera agar diperoleh fokus terhadap kawat, sehingga gambar kawat terlihat jelas.
2. Menghidupkan panel sistem listrik utama kemudian menyalakan blower yang diatur oleh *inverter*. Pada *inverter* terdapat pengatur kecepatan blower yang diatur agar sesuai keinginan yaitu 5hz.
3. *Heater* dihidupkan dan dengan mode *auto tuning setup* melalui *digital controller* temperatur *heater* akan diatur mencapai kondisi yang diinginkan. Range temperatur yang akan dicapai untuk proses pengambilan data adalah : 100°C , dan 150 °C.
4. Setelah temperatur *digital controller* menunjukkan angka yang relatif konstan sesuai dengan temperatur yang diinginkan, maka nyalakan dengan memakai battery kapasitas 9V agar kawat yang telah dicelupkan kedalam oli terbakar dan menghasilkan asap.
5. Menekan *shutter* kamera untuk pengambilan foto asap,waktu pengambilan foto hanya sebentar dikarenakan asap dari oli yang terbakar terjadi dalam waktu yang sangat singkat.

6. Mengulangi langkah nomor 2 sampai dengan 5 untuk temperatur 100°C dan 150°C.

3.2.3 Kalibrasi Jarum Suntik

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

1. Melakukan proses foto pada "jarum suntik" dengan ukuran 0.5 mm.
2. Proses pengkalibrasian dilakukan dengan kondisi (posisi dan *zoom*) kamera yang sama dengan saat pengambilan data.
3. Setelah mendapatkan gambar, kemudian dilakukan *image processing* untuk mendapatkan besaran *pixel* dari gambar "jarum suntik" tersebut.
4. Setelah didapatkan besaran *pixel*, selanjutnya tinggal membagi ukuran nyata dari "jarum suntik" dalam satuan milimeter (mm) dengan besaran *pixel* dari hasil *image processing*, sehingga akan didapatkan konversi 1 *pixel* = 0.00001 mm.

3.2.4 Kalibrasi Menggunakan Mata Bor

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

1. Melakukan proses foto pada "mata bor" dengan ukuran 2 mm.
2. Proses pengkalibrasian dilakukan dengan kondisi (posisi dan *zoom*) kamera yang sama dengan saat pengambilan data.
3. Setelah mendapatkan gambar, kemudian dilakukan *image processing* untuk mendapatkan besaran *pixel* dari gambar "mata bor" tersebut.
4. Setelah didapatkan besaran *pixel*, selanjutnya tinggal membagi ukuran nyata dari "mata bor" dalam satuan milimeter (mm) dengan besaran *pixel* dari hasil *image processing*, sehingga akan didapatkan konversi 1 *pixel* = 0.00001 mm.

3.3 PENGOLAHAN DATA

3.3.1 Pengolahan Data Foto *Droplet*

Hasil yang didapatkan dalam bentuk foto akan diolah oleh *software image processing* untuk mengetahui dimensi dari tetesan tersebut seperti diameter tetesan tersebut, maka dari itu dilakukan hal seperti berikut :

1. Membuka file gambar dengan menggunakan *software image processing* (dalam hal ini saya menggunakan *Paint*).
2. Setelah file terbuka, dilakukan pembesaran bidang *droplet*. Kemudian dilakukan pengaturan skala untuk memperjelas batas yang akan dipilih.
3. Setelah ditentukan batasnya, pada *software* tersebut dapat mengukur diameter *droplet* secara langsung dengan cara menarik garis dari batas yang sudah ditentukan (sumbu x dan sumbu y).
4. Kemudian dilakukan pencatatan besaran diameter (*pixel*), baik untuk lebar (sumbu-x) dan panjang (sumbu-y) dari gambar tetesan (*droplet*) tersebut.
5. Menyimpan hasil pencatatan data dalam bentuk tabel excel agar dapat diolah dengan sistematis.

3.3.2 Pengolahan Data Kecepatan

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

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

$$Q = V \cdot A$$

Lalu didapat Q total di *dehumidifier*.

Untuk menghitung Q pada *pyrex* digunakan rumus :

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

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

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

3.3.3 Contoh Perhitungan

Setelah didapat diameter *droplet* dan kecepatan rata-rata pada *pyrex* untuk

setiap kondisi kecepatan dan suhu, selanjutnya dapat dilakukan pengolahan data. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat dari contoh perhitungan dibawah ini.

Mengambil satu contoh perhitungan data :

1. Larutan Premium
2. Temperatur = 100 °C Frekuensi *inverter* = 5 Hz
3. T_{udara} pada termokopel = 100 °C , $T_{droplet}$ = 72 °C
4. Dari hasil pengukuran diperoleh dimensi droplet :

- Gambar 1 :



Lebar = 218 pixel

Tinggi = 190,5 pixel

d rata-rata = $(218+190)/2 = 231,875$ pixel

- Gambar 2 :



Lebar = 218 pixel

Tinggi = 190,5 pixel

d rata-rata = $(218+190,5)/2 = 204,5$ pixel

Selanjutnya bisa dilakukan langkah-langkah analisa perhitungan sebagai berikut :

1. Menghitung d (diameter rata-rata tetesan)

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

$$d = \frac{218 + 190,5}{2}$$

$$d = 204,5 \text{ pixel} = 2,04 \times 10^{-3} \text{ m}$$

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

$$\frac{dd}{dt} = \frac{(231 - 205)0,00001}{20}$$

$$\frac{dd}{dt} = 2,28E - 05$$

3. Menghitung laju difusi molal (N)

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

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

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

$$\frac{dr}{dt} = \frac{2,28E - 05}{2}$$

$$\frac{dr}{dt} = 1,371E - 05$$

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

$$N = \frac{\rho \times 5,7 \times 10^{-6}}{114}$$

$$N = \frac{705 \times 5,7 \times 10^{-6}}{114}$$

$$N = 7,03E - 05 \text{ K mole} / \text{ s. m}^2$$

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

Tekanan uap (P_v) pada temperatur droplet 72°C adalah :

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

Dimana ω adalah aceentric faktor yang diperoleh dari :

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

$$\omega = \frac{-0,932}{-2,356} = 0,395$$

Dimana α dan β diperoleh dari :

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

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

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

$$\theta = \frac{390,9}{561,7} = 0,695$$

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

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

$$\alpha = -0,932$$

$$\beta = -2,356$$

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

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

$$T_r = \frac{72 + 273}{561,7} = 0,614$$

$$f^{(0)} = 5,92714 - \frac{6,09648}{0,614} - 1,28862 \ln 0,614 + 0,16934 \times 0,614^6$$

$$f^{(0)} = -3,6144$$

$$f^{(1)} = 15,2518 - \frac{15,6875}{0,614} - 13,4721 \ln 0,614 + 0,43577 \times 0,614^6$$

$$f^{(1)} = -3,6992$$

Jadi P_{vp} adalah :

$$\ln P_{vp} = -3,6144 + (0,395 \times (-3,699))$$

$$P_{vp} = EXP - 6,858 = 0,010875 \text{ bar} = 1087,50 \text{ pascal}$$

$$X_0 = 1087,50/101325 = 0,01073$$

5. Menghitung konsentrasi total udara (C)

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

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

$$t_f = 273 + \left(\frac{100 + 72}{2} \right)$$

$$t_f = 359 \text{ k}$$

C diperoleh dari :

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

$$C = \frac{101325}{8314,5 \times 359}$$

$$C = 0,0339$$

6. Menghitung fluks perpindahan massa (R_x)

$$R_x = \frac{x_0 - x_o}{1 - x_o}$$

$$R_x = \frac{0,0107 - 0}{1 - 0}$$

$$R_x = 0.01084$$

7. Menghitung koefisien perpindahan massa (k_c)

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

$$k_c = \frac{7,03E - 05(1 - 0,0107)}{0,0339(0,0107 - 0)}$$

$$k_c = 0,1910 \text{ kmole/s.m}^2$$

8. Menghitung faktor koreksi perpindahan massa untuk model analogi film stagnan (θ_{stF}):

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

$$\theta_{x_{stF}} = \frac{\ln(1 + 0,0107)}{0,0107}$$

$$\theta_{x_{stF}} = 0,9946$$

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

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

$$k_{clstF} = \frac{0,1910}{0,9946}$$

$$k_{clstF} = 0,19204$$

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

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

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

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

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

$$D_{ab} = \frac{0,00143297^{1,75}}{101325/100000 \times 46,2^{1/2} \left[(1,97)^{\frac{1}{3}} + \left(168,78^{\frac{1}{3}} \right) \right]^2}$$

$$D_{ab} = 7,99E^{-06} m^2/s$$

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

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

$$Sh_{stF} = \frac{0,1920 \times 0,00204}{7,99E^{-06}} = 49,069$$

12. Menentukan parameter perpindahan massa (C_1)

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

$$C_1 = -0,0011 \times (100 - 72) - 1,0082 \times (0 - 0,0107)$$

$$C_1 = -0,0199$$

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

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

$$\theta_{x_{Mod}} = \frac{\ln(1 + 0,001004) - (-0,027)}{0,001004}$$

$$\theta_{x_{Mod}} = 2,83$$

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

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

$$k_{cLMod} = \frac{0,1910}{2,83}$$

$$k_{cLMod} = 0,067$$

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

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

$$Sh_{Mod} = \frac{0,067 \times 0,00204}{7,99E^{-06}}$$

$$Sh_{Mod} = 17,20$$

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)

Kecepatan di droplet = 0,236 kecepatan rata-rata *pyrex*.

$$U_{\max} = 0,472 \text{ m/s dan } \nu = 1,3E^{-05} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$Re = \frac{0,472 \times 0,00204}{1,6E^{-05}}$$

$$Re = 31,70$$

17. Menghitung bilangan Schmidt

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

$$Sc = \frac{1,67E^{-05}}{7,99E^{-06}}$$

$$Sc = 2,70$$

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

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

$$Sh = 2,0387$$

Langkah- langkah Mencari Perpindahan Panas

19. Menghitung nilai konduktivitas campuran (K) dengan $T_f = 359$ K sehingga dapat dicari nilai rapat massa udara (ρ), panas jenis udara (cp) dan difusivitas termal (α) dari table sifat-sifat udara

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

$$k = 0,981 \times 1010,7 \times 3,6E^{-05}$$

$$k = 0,0303$$

20. Menghitung q_{radiasi}/A

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

$$\frac{Q_{\text{radiasi}}}{A} = 0,96 \times 0,5669E^{-07} \times ((273 + 100)^4 - (273 + 72)^4)$$

$$\frac{Q_{\text{radiasi}}}{A} = 282,4483$$

21. Menghitung q_0/A , dengan konduksi dari termokopel $Q_{\text{konduksi}} = 149,123$ dan kalor laten pada temperature droplet 72°C sebesar $h_{fg} = 39840$ KJ/Kmol dari table sifat air jenuh

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

$$\frac{q_0}{A} = -1,95E^{-05} \times 39850168 + 149,1239 + 282,4483$$

$$\frac{q_0}{A} = -2189,31$$

22. Menghitung koefisien perpindahan panas h

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

$$h = \frac{-2189,31}{-28}$$

$$h = 78,1896$$

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

$$h_l = \frac{(2 \times 0,6 \times Re^{\frac{1}{2}} Pr^{\frac{1}{3}})}{d} \times k$$

$$h_1 = \frac{(2 \times 0,6 \times 4,9)}{0,00224} \times 0,0268$$

$$h_1 = 56,513$$

24. Menghitung panas jenis molal udara C_{pA}

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

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

$$C_{pa} = 2911,78$$

25. Menghitung factor kecepatan perpindahan panas (Φ)

$$\varphi = \frac{-N \times C_{pa}}{h_1}$$

$$\varphi = \frac{-1,9E^{-05} \times 29117,032}{56,513}$$

$$\varphi = -0,01038$$

26. Menghitung fluks perpindahan panas (R_T)

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

$$RT = e^{-0,01038} - 1$$

$$RT = -0,010193$$

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

$$\theta_{T_StF} = \frac{h}{h_1} = \frac{\ln(1-RT)}{RT}$$

$$\theta_{T_StF} = \frac{\ln(1-(-0,01032))}{-0,01032}$$

$$\theta_{T_StF} = 1,005$$

28. Menghitung parameter perpindahan panas (C_2)

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

$$C_2 = 0,4633E^{-09} \times (100 - 72) + 0,16E^{-06} \times (-0,00103)$$

$$C_2 = -1,5E^{-08}$$

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

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

$$\theta_{T_{Mod}} = \frac{\ln(1 \pm 0,010193)}{-0,010193} + \frac{2911,78}{0,0268 \times -0,010193} \times -1,5E^{-08}$$

$$\theta_{T_{Mod}} = 2,392$$

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

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

$$h_{L_{Stf}} = \frac{61,52}{1,005}$$

$$h_{L_{Stf}} = 61,21 \text{ watt/m}^2\text{K}$$

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

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

$$h_{L_{Mod}} = \frac{61,52}{2,392}$$

$$h_{L_{Mod}} = 25,717 \text{ watt/m}^2\text{K}$$

32. Menghitung bilangan Prandtl (Pr)

Dengan $T_f = 359 \text{ K}$ dapat dicari nilai Pr dari table sifat-sifat udara tekanan atmosfer pada lampiran

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

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

$$Pr = 0,705$$

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

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

$$Nu = 2 + (0,55 \times 4,93)$$

$$Nu = 5,13$$

34. Menghitung bilangan Nusselt model analogi film stagnan

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

$$Nu_{stf} = \frac{61,212 \times 0,00204}{0,0303}$$

$$Nu_{stf} = 4,120$$

35. Menghitung bilangan Nusselt model pendekatan baru

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

$$Nu_{mod} = \frac{25,717 \times 0,00204}{0,0303}$$

$$Nu_{mod} = 1,730$$

36. Menghitung bilangan Lewis

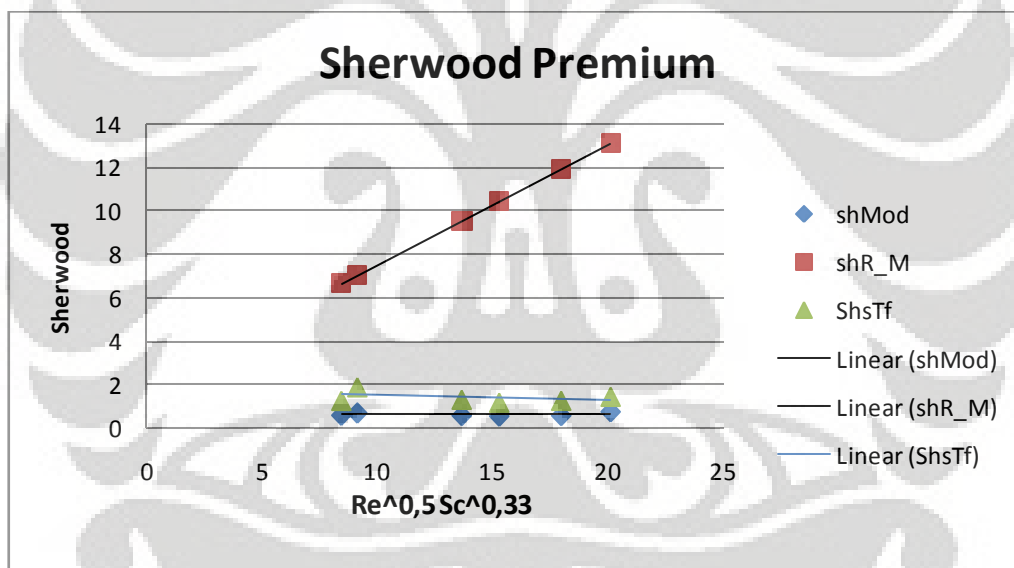
$$Le = \frac{Sc}{Pr} = \frac{2,7}{0,71} = 3,8$$

BAB IV HASIL DAN ANALISA

4.1 ANALISA PERBANDINGAN NILAI SHERWOOD ANTAR MODEL

Data yang diperoleh dari hasil percobaan akan diolah dengan menggunakan cara perhitungan seperti contoh perhitungan. semua perhitungan akan menghasilkan seperti tabel yang terdapat di lampiran. Menggunakan hasil perhitungan tersebut maka akan diperoleh nilai nusselt ataupun sherwood yang beragam tergantung metode yang digunakan. Hasil tersebut akan dianalisa melalui grafik yang akan membandingkan penggunaan metode Film dengan analogi Ranz-Marshall dan model analogi pendekatan baru serta metode analogi film stagnan.

Berikut adalah grafik hasil perbandingan antar model untuk bilangan Sherwood pada bahan bakar Premium:



Gambar IV.1 Perbandingan bilangan Sherwood antar model

Dari grafik diatas dapat dilihat nilai Sherwood E. A. Kosasih (modifikasi) dan Film stagnan berada dibawah penyebaran nilai Sherwood yang menggunakan Ranz-Marshall. Akan tetapi nilai Sherwood yang didapat dengan analogi film stagnan lebih dekat dengan acuan analogi Ranz Marshall. Hal ini dikarenakan karena pada model analogi film stagnan menggunakan nilai k_{sF} yang nilainya cenderung besar jika dibandingkan dengan nilai k_{Mod} yang lebih kecil. Perbedaan ini memberikan

perbedaan nilai yang signifikan pada nilai sherrwood, seperti yang terlihat pada tabel berikut :

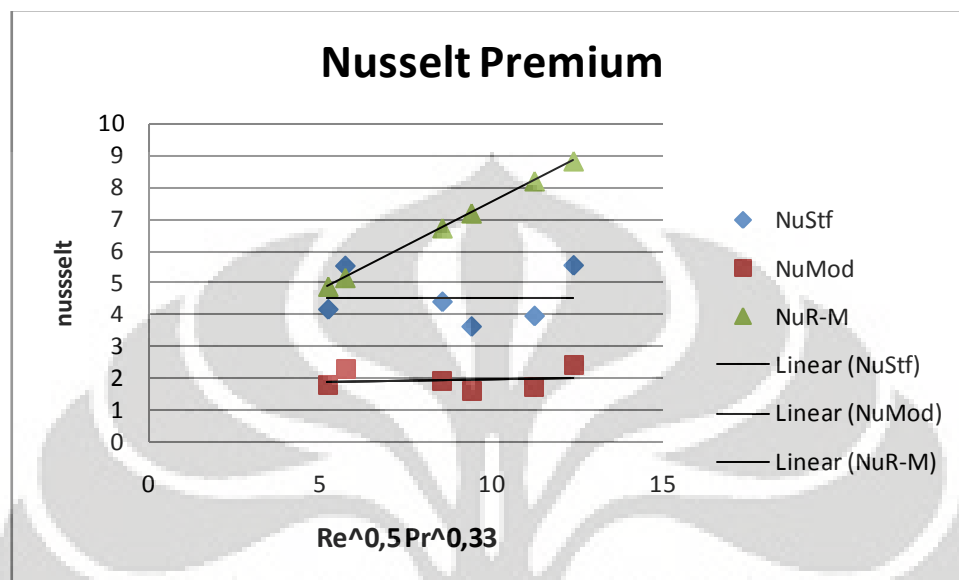
kcLStF	kcLMod	ReSc	ShStFDat	ShModDat
0.006881	0.002413004	9.1261	1.884853	0.661008842
0.005352	0.002260293	13.644	1.307486	0.552174748
0.004565	0.001998057	17.951	1.258761	0.55098693
0.004823	0.002169	8.4339	1.253845	0.563921152
0.004606	0.002070363	15.269	1.168321	0.525158711
0.005867	0.002923967	20.091	1.442929	0.719157136

Tabel IV.1 Hasil perhitungan sherwood

Perbedaan nilai yang signifikan pada nilai kc_{LStF} dan nilai kc_{LMod} terjadi pada parameter perpindahan massa yaitu θ_{stf} dan θ_{mod} . Pada model analogi E. A. Kosasih telah dimasukkan faktor C_1 untuk menghitung nilai θ_{mod} . Nilai C_1 membuat model analogi film stagnan lebih mendekati nilai model analogi Ranz-Marshall. Akan tetapi model analogi Ranz-Marshall tidak dapat digunakan karena memiliki syarat bilangan Lewis 1. Pada premium bilangan Lewis yang didapat adalah kisaran 4, jadi analogi Ranz-Marshall tidak aplikatif pada bahan uji ini. Pada dasarnya model analogi Ranz-Marshall memang untuk laju perpindahan panas, lalu analoginya dipakai untuk perpindahan massa tapi dengan syarat bilangan Lewis 1.

4.2 ANALISA PERBANDINGAN NILAI NUSSELT ANTAR MODEL

Untuk Bilangan Nusselt diperoleh grafik sebagai berikut :



Gambar IV.2 Perbandingan Bilangan Nusselt antar Model

Pada grafik diatas ditampilkan perbandingan Nusselt menggunakan model analogi Ranz-Marshall, model analogi film stagnan dan model analogi E. A. Kosasih. Dimana penyebaran nilai model E. A. Kosasih lebih baik dibandingkan dengan model film stagnan pada bahan bakar premium. Hal ini terjadi karena memang perbedaan properties pada premium dapat mempengaruhi penyebaran nilai Nusselt. Model E. A. Kosasih memiliki faktor koreksi C_2 mempengaruhi nilai penyebaran pada model E. A. Kosasih lebih baik dibandingkan film stagnan. Nilai Nusselt film stagnan dan E. A. Kosasih dapat dilihat ditabel berikut.

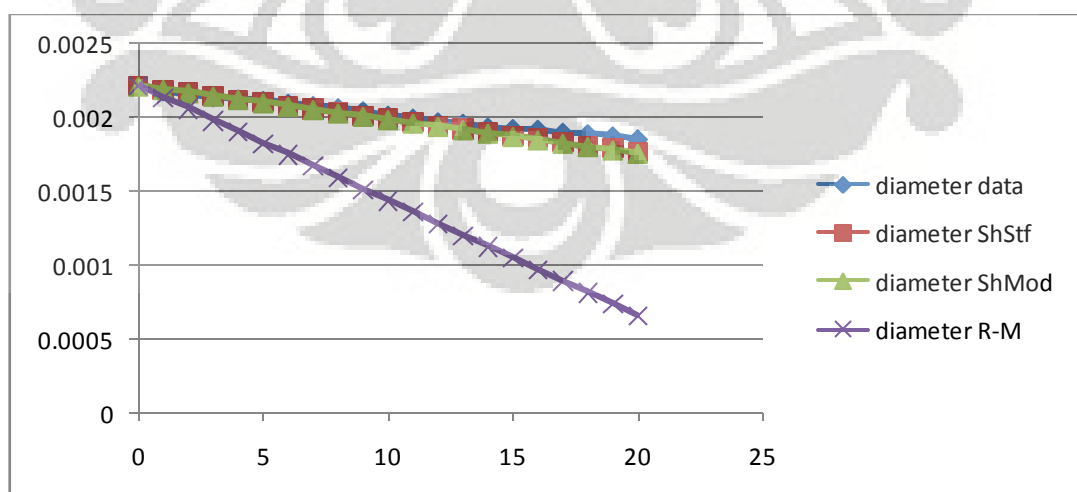
hLstf	hLmod	RePr	Nustf	Numod
81.85763	34.39059	5.702677	5.509723	2.314782
72.54663	30.87387	8.54757	4.39392	1.869933
57.6542	24.81564	11.24605	3.952702	1.70133
62.43315	26.15435	5.202932	4.157028	1.741452
55.62706	24.13585	9.400385	3.622145	1.571601
86.91743	37.98297	12.38938	5.528673	2.416034

Tabel IV.2 Hasil perhitungan nusselt

Jika memperhatikan nilai Nusselt model E. A. Kosasih (modifikasi) dan film stagnan pada premium maka dapat kita lihat bahwa model E. A. Kosasih lebih memiliki trendline yang lebih baik pendekatannya. Dikarenakan model E. A. Kosasih memiliki nilai R^2 lebih baik dibandingkan model film stagnan. model E. A. Kosasih hanya berlaku pada bilangan Reynold dari 0 sampai dengan 122 dan temperatur sampai 200 °C. Melihat syarat yang diberikan model analogi E. A. Kosasih dapat digunakan untuk menghitung laju penguapan.

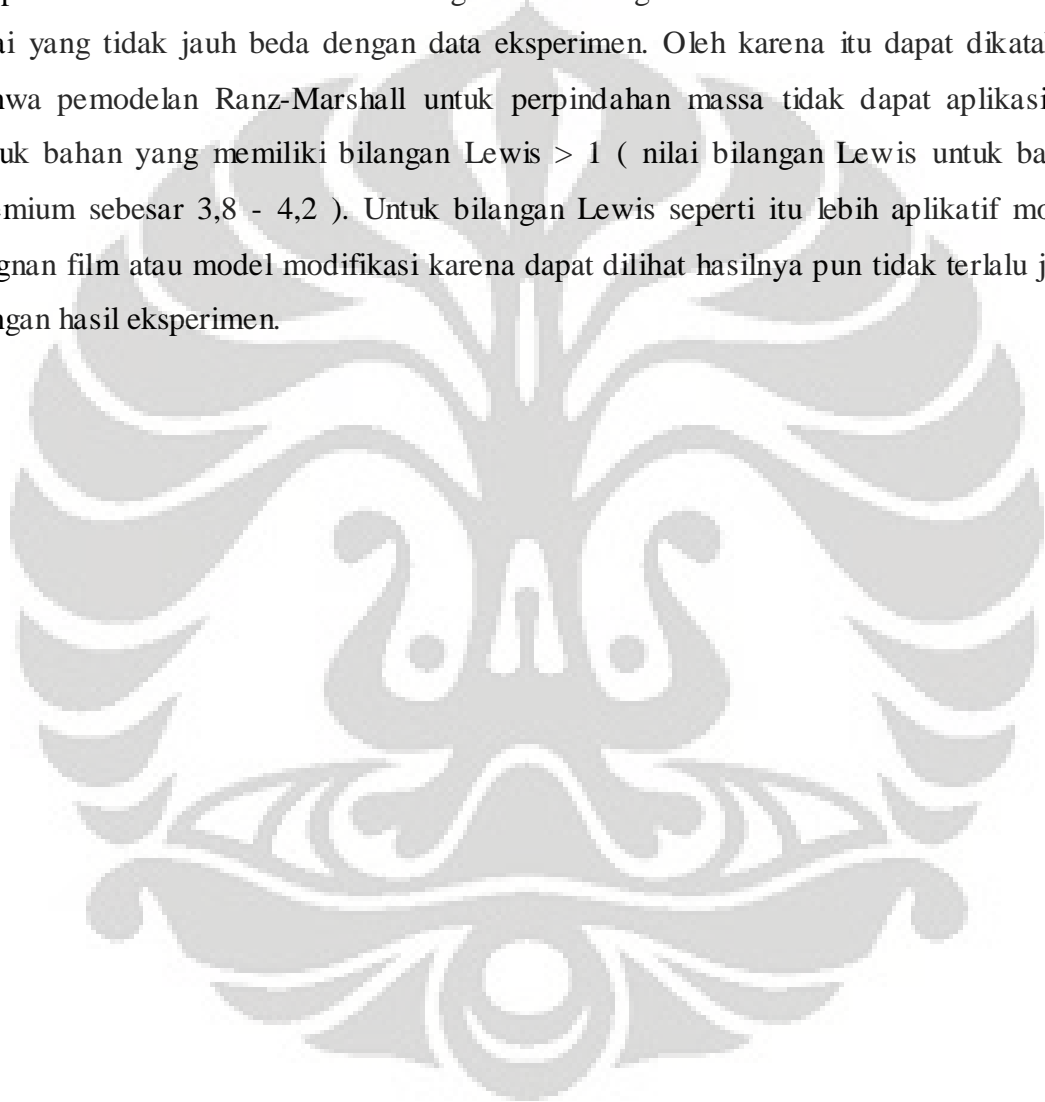
4.3 SIMULASI PENGURANGAN DIAMETER

Dalam perhitungan simulasi pengurangan diameter didapatkan grafik sebagai berikut :



Gambar IV.3 Hasil Simulasi Laju Pengurangan Antar Model

Dari grafik dapat dilihat perbedaan simulasi antar model. Hasil simulasi pengurangan diameter dengan menggunakan model Ranz-Marshall (diameter R-M) merupakan hasil yang paling jauh dari hasil pengurangan diameter yang dari data eksperimen. Untuk hasil simulasi dengan model stagnan film dan modifikasi memiliki nilai yang tidak jauh beda dengan data eksperimen. Oleh karena itu dapat dikatakan bahwa pemodelan Ranz-Marshall untuk perpindahan massa tidak dapat aplikasikan untuk bahan yang memiliki bilangan Lewis > 1 (nilai bilangan Lewis untuk bahan Premium sebesar 3,8 - 4,2). Untuk bilangan Lewis seperti itu lebih aplikatif model stagnan film atau model modifikasi karena dapat dilihat hasilnya pun tidak terlalu jauh dengan hasil eksperimen.



B AB 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. Model modifikasi mempunyai korelasi yang lebih kuat dibandingkan dengan model film stagnan.
2. 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.
3. Nilai bilangan Sherwood pada model modifikasi memiliki penyimpangan dengan trendline lebih kecil dengan model film stagnan.
4. Nilai bilangan Nusselt pada model modifikasi memiliki penyimpangan dengan trendline lebih kecil dengan model film stagnan.
5. Pada simulasi pengurangan diameter bahan model modifikasi dan model film stagnan lebih baik daripada model Ranz-Marshall.
6. Dibutuhkan perhitungan lebih lanjut dalam pemodelan droplet untuk bahan bakar (bahan-bahan yang memiliki bilangan Lewis > 1) agar pemodelannya makin mendekati kondisi sebenarnya.

5.2 SARAN

1. Proses pengambilan foto lebih baik menggunakan kamera yang memiliki pixel yang lebih besar, sehingga dalam pengolahan data *droplet* dapat dilakukan lebih teliti.
2. Dibutuhkan alat ukur kecepatan yang sangat mendukung terutama alat ukur yang dapat beroperasi dengan baik pada temperatur tinggi.

3. Dalam pengambilan data *droplet*, ujung Termokopel sebaiknya tidak dililit terlalu banyak agar tetesan yang terjadi berada diluar termokopel sehingga diameter tetesan dapat diukur dengan lebih akurat.
4. Dalam pengambilan data aliran kecepatan udara sebaiknya menggunakan rangkaian baterai yang lebih baik, sehingga tidak akan menghambat ketika sedang dilakukan pengambilan data.
5. Pada pengambilan foto tetesan, perlu ditambahkan skala ukur pada *background*-nya sehingga dapat membantu untuk mendapatkan diameter tetesan.



DAFTAR PUSTAKA

Bennett C.O., Myers J.E. *Momentum, Heat and Mass Transfer*, (New York: McGraw Hill, 1982)

Cengel, Yunus A., Michael A.Boles, *Thermodynamics An Engineering Approach*, (New York : McGraw Hill, 1994)

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

Holman , J.P., *Perpindahan Kalor*, terj.E.Jasjfi (Jakarta: Erlangga, 1991).

Incropera, Frank P., David P. De Witt, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, (New York: John Wiley & Sons, 1996).

Kosasih, EA., “Perpindahan Panas dan Massa Dalam Proses Penguapan Tetesan : Suatu Pendekatan Baru pada Model Film Stagnan”, Sinopsis Disertasi, Program Pasca Sarjana Bidang Ilmu Teknik, Fakultas Teknik UI, Depok, 2006

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

Robert, C., Reid, Jhon, M., Prausnitz, Bruce, E., Poling, *The Properties of GASES & LIQUIDS*, (New York: Robert, C., Reid & Virginia Sherwood, 1986)

Yosuo Moriyoshi, Yosuo Imai. (2005). Quasi 2-D Measurements of Gaseous and Liquid Fuel Concentrations Using Two-Color Laser Beam Scanning Technique. Japan.

Christopher J. Rutland and Yunliang Wang . (2006). *Turbulent liquid spray mixing and combustion – fundamental simulations*. University of Wisconsin, Madison.

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-1

No	Formula	Name	MolWt	Tfp K	Tb K	Tc K	Pc bar	Vc cm ³ /mol	Zc	Omega	Dipm debye
476	C8H16	cyclonoctane	112.216	287.6	422.	647.2	35.6	410.	0.271	0.236	
477	C8H16	1-octene	112.216	171.4	394.4	566.7	26.2	464.	0.26	0.386	0.3
478	C8H16	2-octene-trans	112.216	185.4	398.1	580.	27.7			0.350	
479	C8H16O2	isoamyl propionate	144.214		433.4	611.					
480	C8H16O2	isobutyl butyrate	144.214		430.1	603.	24.5				
481	C8H16O2	isobutyl isobutyrate	144.214		421.8	594.	24.6				
482	C8H16O2	n-propyl isovalerate	144.214		429.1	609.					
483	C8H18	n-octane	114.232	216.4	398.8	568.8	24.9	492.	0.259	0.398	0.0
484	C8H18	2-methylheptane	114.232	164.	390.8	559.6	24.8	488.	0.261	0.378	
485	C8H18	3-methylheptane	114.232	152.7	392.1	563.7	25.5	464.	0.252	0.370	
486	C8H18	4-methylheptane	114.232	152.2	390.9	561.7	25.4	476.	0.259	0.371	
487	C8H18	2,2-dimethylhexane	114.232	152.	380.0	549.9	25.3	478.	0.264	0.338	
488	C8H18	2,3-dimethylhexane	114.232		388.8	563.5	26.3	468.	0.263	0.346	
489	C8H18	2,4-dimethylhexane	114.232		382.6	553.5	25.6	472.	0.262	0.343	
490	C8H18	2,5-dimethylhexane	114.232	181.9	382.3	550.1	24.9	482.	0.262	0.356	
491	C8H18	3,3-dimethylhexane	114.232	147.	385.1	562.0	26.5	443.	0.251	0.320	
492	C8H18	3,4-dimethylhexane	114.232		390.9	568.9	26.9	466.	0.265	0.338	
493	C8H18	3-ethylhexane	114.232		391.7	565.5	26.1	455.	0.252	0.361	
494	C8H18	2,2,3-trimethylpentane	114.232	160.9	383.0	563.5	27.3	436.	0.254	0.297	
495	C8H18	2,2,4-trimethylpentane	114.232	165.8	372.4	544.0	25.7	468.	0.266	0.303	
496	C8H18	2,3,3-trimethylpentane	114.232	172.5	387.9	573.6	28.2	455.	0.269	0.290	
497	C8H18	2,3,4-trimethylpentane	114.232	163.9	386.6	566.4	27.3	461.	0.267	0.315	
498	C8H18	2-methyl-3-ethylpentane	114.232	158.2	388.8	567.1	27.0	443.	0.254	0.330	
499	C8H18	3-methyl-3-ethylpentane	114.232	182.3	391.4	576.6	28.1	455.	0.267	0.303	
500	C8H18	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	158.285	280.1	506.1	687.	22.2	600.	0.230		1.8
572	C11H10	1-methylnaphthalene	142.201	242.7	517.9	772.	36.	462.	0.234	0.310	0.5
573	C11H10	2-methylnaphthalene	142.201	307.7	514.3	761.	35.	462.	0.26	0.382	0.4
574	C11H14O2	butyl benzoate	178.232	251.	523.	723.	26.	561.	0.25	0.58	
575	C11H16	pentamethylbenzene	148.249	327.5	504.6	719.					

LAMPIRAN 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.



