



UNIVERSITAS INDONESIA

PENGUAPAN TETESAN BIO PERTAMAX

SKRIPSI

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

RYAN FIRMANSYAH

06 06 07 35 62

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

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Ryan Firmansyah

NPM : 0606073562

Tanda Tangan :

Tanggal : 29 Desember 2010

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Ryan Firmansyah

NPM : 0606073562

Program Studi : Teknik Mesin

Judul Skripsi : **PENGUAPAN TETESAN BIO PERTAMAX**

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Ir. E. A. Kosasih, MT (.....)

Penguji : Ir. Imansyah Ibnu Hakim, M.Eng (.....)

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

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

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 29 Desember 2010

UCAPAN TERIMA KASIH

Rasa syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, karena atas rahmat dan hidayah-Nya, saya dapat menulis dan menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Skripsi merupakan sebuah proses yang dapat di analogikan seperti perjalanan panjang. Perjalanan panjang tersebut sangat menyita banyak waktu, tenaga, dan pikiran. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk merampungkan 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, 15 Desember 2010

Penulis

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Ryan Firmansyah
NPM : 0606073562
Program Studi : Teknik Mesin
Departemen : Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

demikian 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 BIO PERTAMAX

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 29 Desember 2010

Yang menyatakan

(Ryan Firmansyah)

ABSTRAK

Ryan Firmansyah
NPM 06 06 07 35 62
Departemen Teknik Mesin

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

PENGUAPAN TETESAN BIO PERTAMAX

ABSTRAK

Banyak peneliti di seluruh dunia meneliti cara untuk meningkatkan efisiensi dalam pemakaian bahan bakar minyak bumi. Hal ini harus dilakukan karena persediaan sumber minyak bumi semakin lama semakin sedikit dan nantinya suatu saat akan habis. Oleh karena itu setiap tetesan minyak bumi sangatlah berarti mengingat minyak bumi merupakan bahan bakar yang masih belum dapat tergantikan dalam penggunaan bahan bakar saat ini.

Simulasi - simulasi combustion saat ini menggunakan *software* yang menggunakan model analogi Ranz-Marshall dan pendekatan stagnan film sebagai dasar untuk menghitung laju perpindahan panas dan massa. Penelitian ini bertujuan untuk melihat apakah model analogi tersebut dapat digunakan pada Biopertamax serta membandingkan dengan model modifikasi E. A. Kosasih.

Penelitian ini menggunakan alat berupa jarum yang berisi Bio Pertamax. Setelah itu 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.

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

ABSTRACT

Ryan Firmansyah
NPM 06 06 07 35 62
Departemen Teknik Mesin

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

BIO PERTAMAX DROPLET EVAPORATION

ABSTRACT

Lots of researchers almost all over the world researching ways to improve efficiency in the use of petroleum fuel. This must be done because the supply of petroleum resources are increasingly few and will one day be exhausted. Therefore, every drop of petroleum is very significant considering oil is a fuel that still can not be replaced in the current fuel use. Simulation - simulation of combustion is currently using software that uses the analogy model Ranz-Marshall and stagnant film approach as the basis for calculating the rate of heat transfer and mass. This study aimed to see whether the analogy model can be used in biopertamax and compare with model modification E. A. Kosasih.

This study used a needle tool containing Bio Pertamina. After it dropped into the thermocouple, then the air flow speed and temperature vary. Having analyzed the relationship will be obtained between Reynolds number (Re), Prandtl (Pr), Schmidt (Sc), Nusselt (Nu) and Sherwood number (Sh). Model Modifications by E. A. Kosasih turned out to have a stronger correlation than the stagnant film model.

Keywords: Evaporation of droplets; analogy Ranz-Marshall; stagnant film model; new approach stagnant film model (EA Kosasih, 2006)

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
UCAPAN TERIMA KASIH.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	v
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	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
1.5 METODOLOGI PENELITIAN.....	2
1.6 SISTEMATIKA PENULISAN.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 PRINSIP DASAR	5
2.2 PERPINDAHAN MASSA.....	5
2.2.1 Koefisien Perpindahan Massa.....	5
2.2.2 Difusi Dalam Gas.....	6
2.2.4 Fluks Perpindahan Massa (Rx)	7
2.3 PERPINDAHAN KALOR.....	7
2.3.1 Konveksi	7
2.3.2 Konduksi	7
2.3.3 Radiasi.....	8
2.3.4 Fluks Perpindahan Panas	8

2.3.5 Kalor Laten Penguapan	8
2.4 KARAKTERISTIK UDARA	9
2.5 LAPIS BATAS	11
2.6 BILANGAN TAK BERDIMENSI	12
2.6.1 Bilangan Reynolds	13
2.6.2 Bilangan Schmidt	14
2.6.3 Bilangan Prandtl	14
2.6.4 Bilangan Nusselt	15
2.6.5 Bilangan Sherwood	15
2.6.6 Bilangan Lewis	15
2.7 PERSAMAAN RANZ – MARSHALL	15
2.8 MODEL ANALOGI FILM STAGNAN	16
2.8.1 Bilangan Nusselt Model Analogi Film stagnan	17
2.8.2 Sherwood Model Film stagnan	17
2.9 MODEL ANALOGI PENDEKATAN BARU FILM STAGNAN	18
2.9.1 Sherwood Model Pendekatan Baru	19
2.9.2 Bilangan Nusselt Model Pendekatan Baru	19
BAB III METODE PENELITIAN	21
3.1 KOMPONEN SISTEM	21
3.1.1 Blower	21
3.1.1 Heater	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 Pengambilan Data Kecepatan	26
3.2.2 Kalibrasi Foto Kecepatan Udara	27

3.2.3 Pengambilan Data Droplet.....	27
3.2.4 Kalibrasi Foto Droplet	29
3.3 PENGOLAHAN DATA	30
3.3.1 Pengolahan Data Foto	30
3.3.2 Pengolahan Data Kecepatan.....	30
3.3.3 Contoh Perhitungan.....	31
BAB IV HASIL DAN ANALISA	42
4.1 ANALISA PERBANDINGAN NILAI SHERWOOD ANTAR MODEL	42
4.2 ANALISA PERBANDINGAN NILAI NUSSELT ANTAR MODEL	43
4.3 ANALISA SIMULASI PENGURANGAN DIAMETER	45
BAB V KESIMPULAN.....	46
5.1 KESIMPULAN.....	46
DAFTAR PUSTAKA	47
LAMPIRAN.....	49

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.5 Model Film Stagnan	16
Gambar III.1 <i>Blower</i>	21
Gambar III.2 Skema <i>Heater</i>	21
Gambar III.3 <i>Pyrex</i>	22
Gambar III.4 <i>Digital Controller</i>	22
Gambar III.5 Skema <i>Auto Tunning</i>	23
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 Alat Pembuat Asap.....	25
Gambar III.10 Sistem Pengujian.....	25
Gambar III.11 Posisi Jarum dan Tetesan	27
Gambar III.12 Panel Sistem Listrik	28
Gambar III.13 Tetesan Bio Pertamina.....	28
Gambar IV.1 Perbandingan Bilangan Sherwood antar Model pada BioPertamax	41
Gambar IV.3 Perbandingan Bilangan Nusselt antar Model pada Bio Pertamina	42

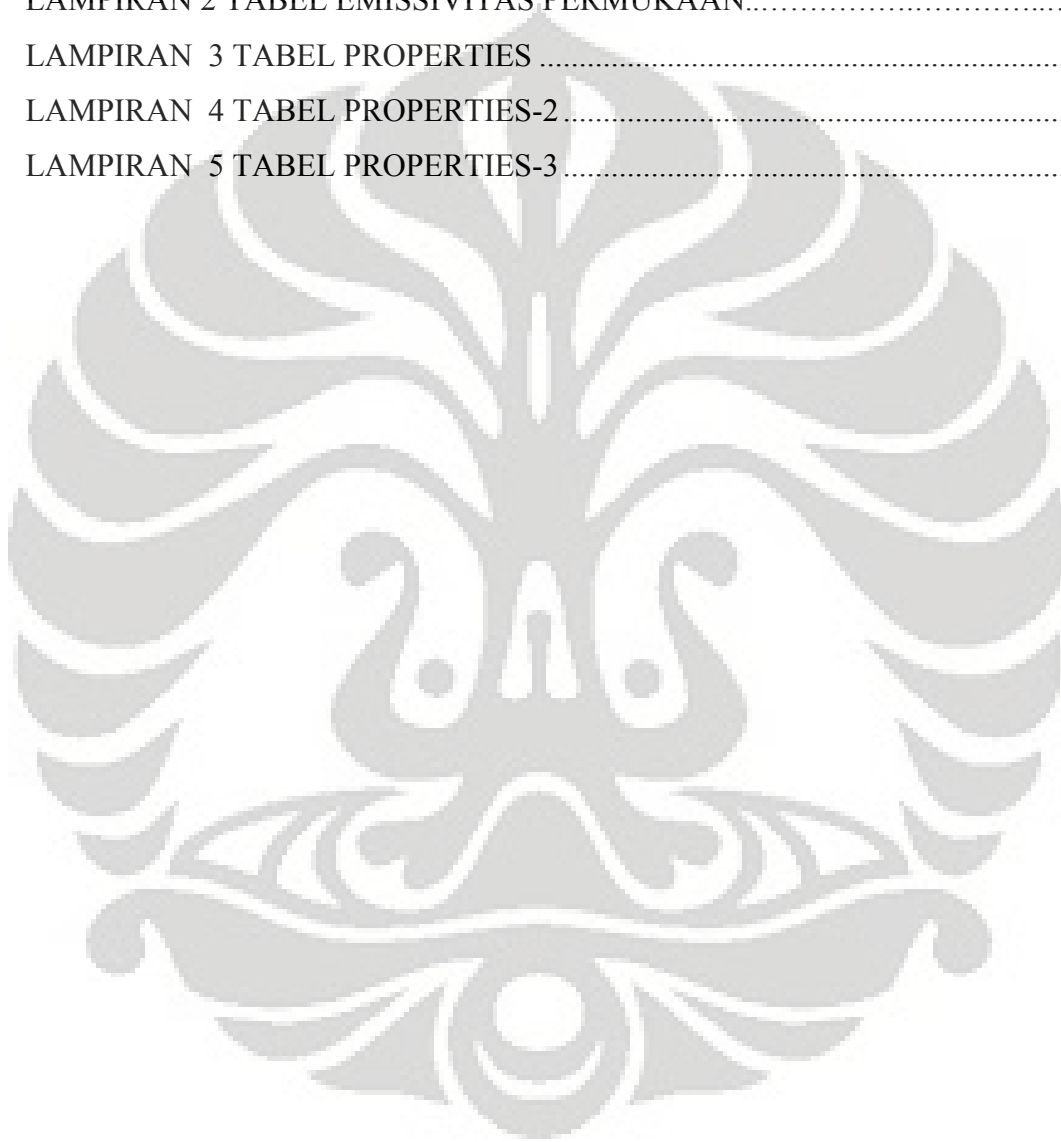
DAFTAR TABEL

Tabel II.1 Kondisi Aliran Fluida.....	13
Tabel IVV.1 Hasil perhitungan sherwood	43
Tabel IVV.2 Hasil perhitungan nusselt.....	45



DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 TABEL SIFAT UDARA PADA TEKANAN ATMOSFER.....	48
LAMPIRAN 2 TABEL EMISSIVITAS PERMUKAAN.....	49
LAMPIRAN 3 TABEL PROPERTIES.....	50
LAMPIRAN 4 TABEL PROPERTIES-2.....	51
LAMPIRAN 5 TABEL PROPERTIES-3.....	52



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]
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

Banyak peneliti di seluruh dunia meneliti cara untuk meningkatkan efisiensi dalam pemakaian bahan bakar minyak bumi. Hal ini harus dilakukan karena persediaan sumber minyak bumi semakin lama semakin sedikit dan nantinya suatu saat akan habis. Oleh karena itu setiap tetesan minyak bumi sangatlah berarti mengingat minyak bumi merupakan bahan bakar yang masih belum dapat tergantikan dalam penggunaan bahan bakar saat ini.

Fenomena pembakaran dalam ruang bakar adalah suatu fenomena penyalan bahan bakar yang tercampur dengan udara bertekanan tinggi. Pada fenomena *combustion*, sangatlah penting untuk mengetahui laju penguapan dari bahan bakar yang digunakan karena yang terbakar pada fenomena *combustion* adalah uap dari bahan bakar tersebut. Dengan mengetahui laju penguapan dari bahan bakar maka usaha peningkatan efisiensi dapat dilakukan kedepannya.

Untuk mengetahui laju penguapan bahan bakar dapat dilakukan dengan berbagai metode. Salah satu metode penelitian yang digunakan adalah penguapan tetesan (*droplet evaporation*). Ranz W E dan 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 dapat di aplikasikan terhadap perpindahan massa.

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

1.2 PERUMUSAN MASALAH

Rumusan masalah yang akan dibahas adalah mengetahui laju penguapan pada bahan bakar. Bahan bakar yang digunakan adalah Bio Pertamina yang diproduksi oleh P.T Pertamina. Bio Pertamina merupakan bahan bakar campuran dari Pertamina dengan 5% ethanol. Laju penguapan akan diuji dengan menggunakan droplet dari bahan yang dialiri oleh udara panas. Penelitian ini juga menggunakan variasi flow yang diatur oleh inventer dengan variasi 0,2 m/s sampai 2 m/s.

1.3 TUJUAN PENELITIAN

Meninjau hasil pengolahan data dengan menggunakan pemodelan dengan analogi Ranz-Marshall dan film stagnan untuk bahan uji Bio Pertamina yang memiliki bilangan Lewis besar (antara 1 sampai 3) lalu membandingkannya dengan pemodelan dengan analogi E. A. Kosasih. Serta membuat simulasi pengurangan diameter dengan Ms.Excel yang membandingkan pengurangan diameter dengan model analogi stagnan film, model analogi E. A. Kosasih, dan pengurangan diameter yang didapat dari hasil eksperimen.

1.4 BATASAN MASALAH

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

1. Fluida yang dipakai adalah BioPertamax
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 kecepatan aliran berkisar antara 0,2 m/s sampai 2 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-buku literatur, jurnal-jurnal yang berkaitan, skripsi-skripsi yang berkaitan, dan melalui pengunduhan data dari internet.

2. E. A. Kosasih alat uji

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

3. Pengambilan data

Data yang diambil berupa kecepatan aliran, suhu aliran, suhu tetesan dan foto dari tetesan dalam periode tertentu. Tetesan kemudian difoto menggunakan kamera Nikon D70 menggunakan lensa makro dengan jarak fokus 60mm, untuk selanjutnya dikalibrasi sehingga didapat data diameter tetesan. Untuk pengambilan data kecepatan aliran menggunakan asap yang di hasilkan oleh pembakaran oli di seutas tembaga kemudian difoto dengan menggunakan high speed camera dengan lensa makro.

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 penulisan dan sistematika penulisan.

BAB II DASAR TEORI

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

BAB III METODE PENELITIAN.

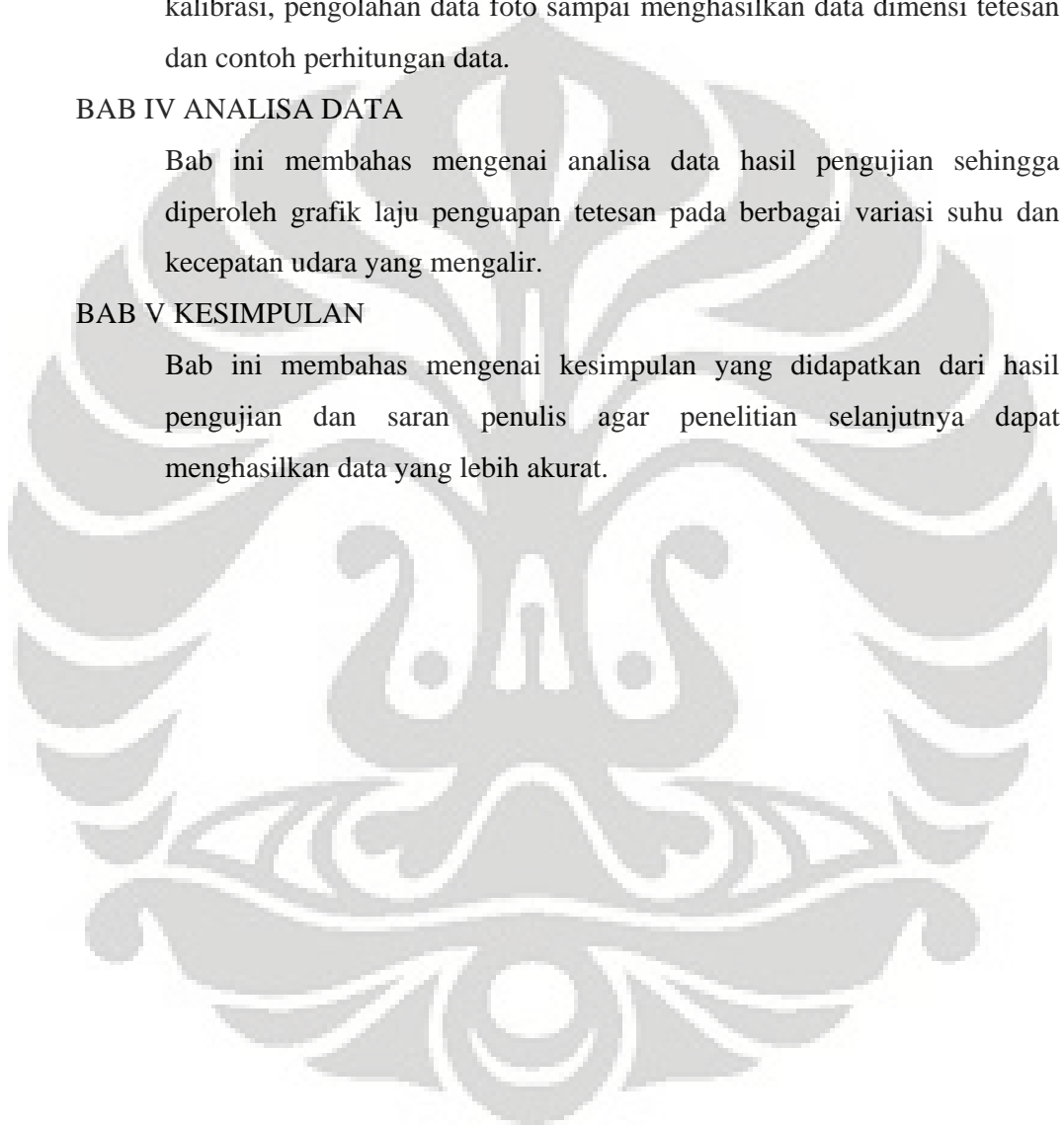
Bab ini membahas mengenai prosedur pengambilan data meliputi kalibrasi, pengolahan data foto sampai menghasilkan data dimensi tetesan dan contoh perhitungan data.

BAB IV ANALISA DATA

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

BAB V KESIMPULAN

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



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 PRINSIP DASAR

Ignition adalah suatu proses penyalaan yang dilakukan oleh *spark plug* dengan memicu bahan bakar yang telah pada fase uap untuk terbakar yang diakibatkan oleh percikan api. Proses pembakaran meliputi perpindahan panas dan massa secara transien serta beberapa laju proses, seperti transformasi fisik atau kimia.

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

2.2 PERPINDAHAN MASSA

2.2.1 Koefisien Perpindahan Massa

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

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

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

m = fluks massa difusi komponen A [kg/s]

k_c = koefisien konveksi massa [m/s]

ρ_s = berat jenis uap pada permukaan [kg/m³]

ρ_{∞} = berat jenis invinite [kg/m^3]

Sh = bilangan Sherwood

D = difusivitas [m^2/s]

d = diameter dalam lapisan air [m]

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

2.2.2 Difusi Dalam Gas

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

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

P = tekanan kritis (bar)

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

\sum_v = nilai schoreder

T = temperatur droplet (K)

Laju difusi molal :

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

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

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

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

N = laju difusi molal [mol/s]

M = berat molekul [kg]

m = laju massa aliran (kg/s)

2.2.4 Fluks Perpindahan Massa (R_x)

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

R_X = fluks perpindahan massa.....

x₀ = fraksi mol uap pada permukaan droplet

x_{A0} = fraksi mol uap pada lingkungan

2.3 PERPINDAHAN KALOR

2.3.1 Konveksi

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

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

h = koefisien konveksi [W/m².°C]

T_s = temperatur permukaan [°C]

T_∞ = temperatur ambient [°C]

2.3.2 Konduksi

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

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

Jika dimasukkan konstanta proporsionalitas maka persamaannya akan menjadi seperti berikut :

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

q = laju perpindahan kalor [J/s]

k = konduktivitas termal [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).

2.3.3 Radiasi

Radiasi berarti transmisi gelombang, objek atau informasi dari sebuah sumber ke medium atau tujuan sekitarnya. Radiasi termal adalah radiasi elektromagnetik yang dipancarkan suatu benda karena suhu benda tersebut. Rumus radiasi yang digunakan ^[5]:

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

Q = radiasi [W]

A = luas permukaan [m^2]

α = absorptivitas

σ = konstanta stefant boltzman [$W/m^2 K^4$]

Tu = temperatur sumber radiasi [K]

Td = temperatur *droplet* [K]

2.3.4 Fluks Perpindahan Panas

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

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

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]

2.3.5 Kalor Laten Penguapan

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

$$\Delta H_{vb} = RT_c T_{br} \frac{0.4343 \ln P_c - 0.69431 + 0.89584 T_{br}}{0,37691 - 0,37306 T_{br} + 0.15075 P_c^{-1} T_{br}^{-2}} \quad (2.15)$$

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)

2.4 KARAKTERISTIK UDARA

Faktor yang sangat berperan penting dalam laju penguapan tetesan adalah udara. Komposisi udara kering diperkirakan berdasarkan volumenya terdiri dari : 79.08 % Nitrogen, 20.95 % Oksigen, 0.93 % Argon, 0.03 % Karbon Dioksida, 0.01 % lain-lain gas (seperti neon, sulfur dioksida). Kandungan 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 (℞) 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 [m³]

m = massa udara basah [kg]

R_a = konstanta gas [kJ/kg.K]

T = temperatur udara basah [K]

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

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

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

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

P_{vp} = Tekanan pada permukaan

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

ω = *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 dengan rumus :

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

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

P_c = tekanan kritis

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

Dimana θ adalah hasil pembagian dari temperatur *droplet* dan temperatur kritis bahan bakar yang digunakan :

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

T_d = Temperatur *droplet* (T_d)

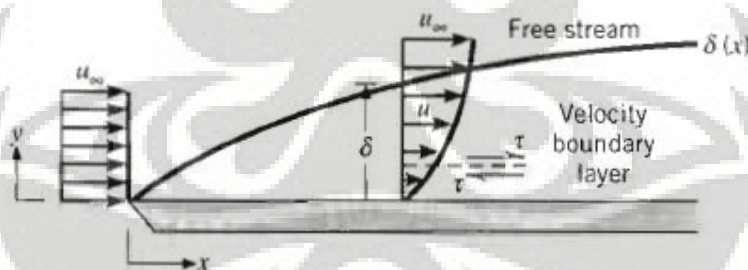
T_c = temperatur kritis (T_c)

2.5 LAPIS BATAS

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

2.5.1 Lapisan Batas Kecepatan

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 diatas plat yang dibatasi oleh δ disebut lapisan batas kecepatan (*velocity boundary layer*).

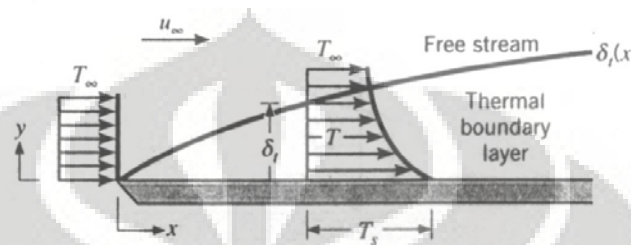


Gambar II.1 Lapisan Batas Kecepatan Pada Suatu Permukaan

2.5.2 Lapisan Batas Termal

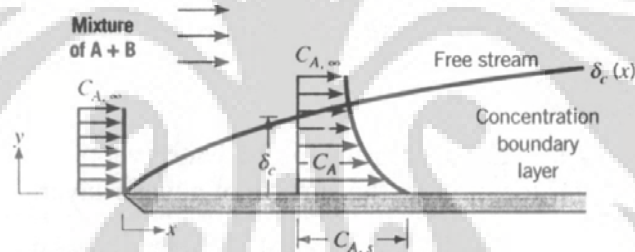
Lapisan batas termal akan berkembang pada suatu permukaan jika ada perbedaan temperatur antara fluida yang mengalir dengan permukaan. Misalkan, suatu fluida mengalir dengan temperatur yang seragam T_∞ diatas sebuah plat datar isothermal T_s . Partikel-partikel fluida yang bersentuhan mengalami kesetimbangan

termal dengan permukaan. Pertukaran energi partikel-partikel fluida terjadi dengan lapisan yang berada di atasnya dan selanjutnya sehingga membentuk suatu daerah 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.2 Lapisan Batas Termal Pada Suatu Permukaan

2.5.3 Lapis Batas Konsentrasi



Gambar II.3 Lapisan Batas Konsentrasi Pada Suatu Permukaan

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

2.6 BILANGAN TAK BERDIMENSI

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

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

2.6.1 Bilangan Reynolds

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

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

ρ = massa jenis fluida [kg/m^3]

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

Tabel II.1 Kondisi Aliran Fluida

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

2.6.2 Bilangan Schmidt

Bilangan Schmidt adalah bilangan tak berdimensi yang merupakan perbandingan antara viskositas kinematik dengan difusivitas massa. Bilangan Schmidt (Sc) adalah suatu nilai atau harga yang digunakan untuk menentukan distribusi konsentrasi pada suatu aliran 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

2.6.3 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 :

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

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

2.6.4 Bilangan Nusselt

Bilangan Nusselt merupakan bilangan yang menggambarkan karakteristik proses perpindahan panas.

$$Nu_x = \frac{hx}{k} \quad (2.31)$$

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.

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

2.6.6 Bilangan Lewis

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

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

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

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 $Re \leq 200$.

Bilangan Lewis $Le \left(\frac{Sc}{Pr} \right)$ bernilai satu dan nilai $Re \leq 200$.

Berikut adalah pers. Ranz - Marshall :

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

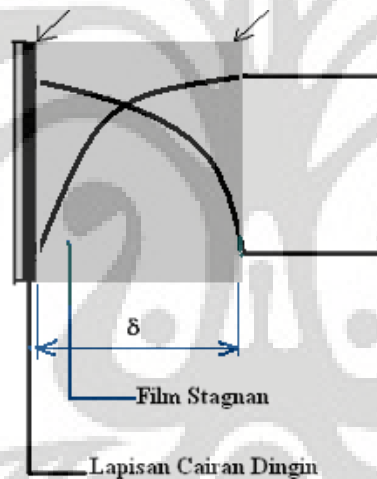
Sehingga dengan analogi untuk perpindahan massa berlaku :

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

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

2.8 MODEL ANALOGI FILM STAGNAN

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



Gambar II.1 Model Film Stagnan

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

2.8.1 Bilangan Nusselt Model Analogi Film stagnan

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

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

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

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

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

2.8.2 Sherwood Model Film stagnan

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

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

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

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

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

R_x = fluks perpindahan massa

2.9 MODEL ANALOGI PENDEKATAN BARU FILM STAGNAN

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

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

2.9.1 Sherwood Model Pendekatan Baru

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

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

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

$$\theta_{X_Mod} = \frac{Ln(1 + R_x) - C_1}{R_x} \quad (2.49)$$

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

Sh_{Mod} = bilangan *sherwood* film stagnan

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

d = diameter droplet [m]

D_{AB} = Difusivitas massa

kc = 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

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

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

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

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

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

Nu_{Mod} = bilangan nusselt film stagnan

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

d = diameter droplet [m]

- k = konduktivitas panas udara [W/m.°C]
 h = koefisien perpindahan panas [W/m².°C]
 θ_{T_Mod} = faktor koreksi perpindahan panas
 R_T = fluks perpindahan panas
 C_2 = parameter perpindahan panas



BAB III METODE PENELITIAN

3.1 KOMPONEN SISTEM

3.1.1 Blower

Udara dialirkan kedalam sistem dengan bantuan oleh blower yang dipasang sebelum heater. Tipe yang dipakai adalah *blower* sentrifugal, dengan debit $400 \text{ m}^3/\text{jam}$. Untuk mengatur kecepatan aliran tersebut akan digunakan inverter yang akan dijelaskan di sub-bab berikutnya.



Gambar III.1 *Blower*

3.1.1 Heater

Penelitian ini menggunakan aliran udara panas, maka dari itu dibutuhkan *heater* untuk memanaskan udara. Daya maksimal yang dapat dicapai oleh heater yang digunakan adalah 3 kW, pada tegangan 220 VAC. Pada outlet *heater* dipasang termokopel sebagai *feedback* ke *Digital Controller* agar temperatur yang dihasilkan oleh heater dapat terukur dan dapat dilakukan penyesuaian dengan temperature yang diinginkan.



Gambar III.2 Skema *Heater*

3.1.3 Pyrex

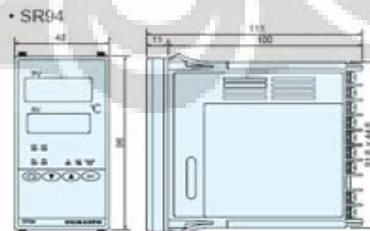
Test Section berupa pipa pyrex. Pyrex memiliki diameter dalam 98 mm dan panjang 1500 mm. Pipa pyrex ini dipilih karena kemampuan menahan panasnya cukup tinggi sehingga pada saat dialirkan udara panas sebagai media penguapan pada pipa pyrex tersebut diharapkan tidak menimbulkan kerusakan serta tidak menimbulkan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



Gambar III.3 Pyrex

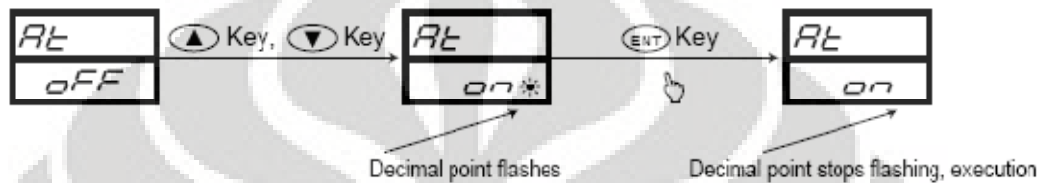
3.1.4 Digital Controller

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



Gambar III.4 Digital Controller

Proses penyesuaian dengan menggunakan digital controller ini dilakukan secara otomatis pada mode *auto tuning*, yakni controller itu akan bekerja menstabilkan temperature sesuai dengan kondisi yang diinginkan, dengan menyesuaikan input tegangan yang diatur menggunakan sistem PID controller sehingga penyesuaian akan dilakukan secara perlahan. Oleh karena itu, prosesnya akan membutuhkan waktu yang lebih lama karena harus menyesuaikan dengan suhu yang diinginkan. Berikut ini skema pengaturan dengan mode *auto tuning*.



Gambar III.5 Skema Auto Tuning

3.1.5 Temperature Display

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



Gambar III.6 Temperature Display

3.1.6 Alat Suntik

Untuk membentuk tetesan maka 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.

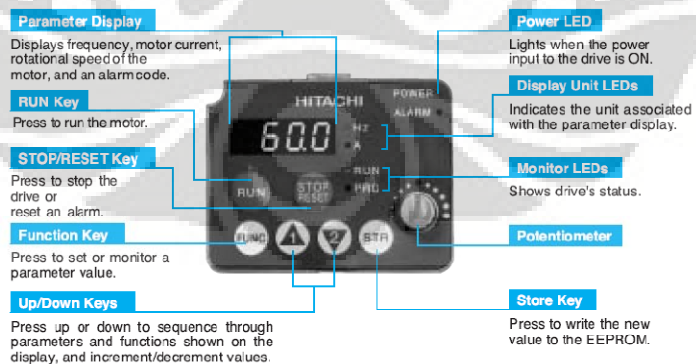


Gambar III.7 Alat Suntik

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

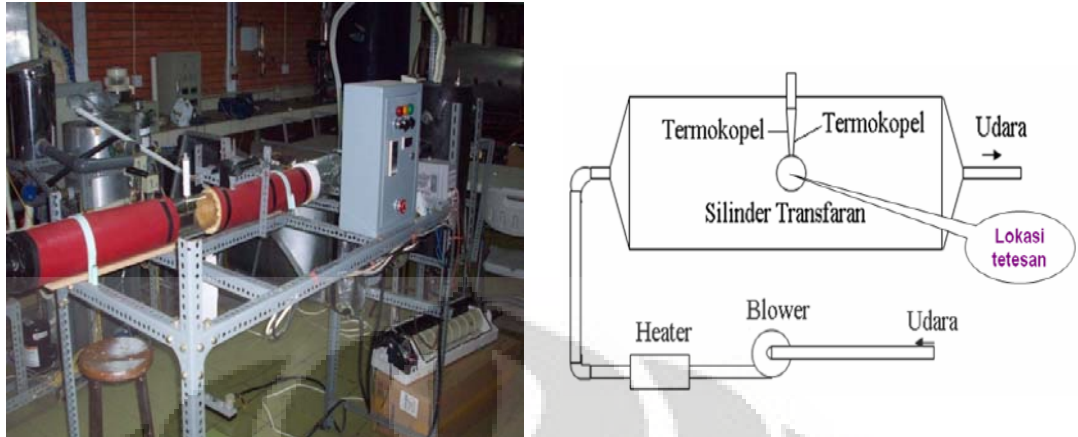
Alat pembuat asap ini digunakan pada saat pengambilan data kecepatan. Alat ini disusun dari 10 buah baterai 1.5 volt ukuran AA yang terangkai paralel dan dihubungkan dengan seutas kawat serabut tembaga. Cara kerja alat ini adalah dengan mencelupkan kawat tembaga kedalam oli, lalu aliran listrik disambungkan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



Gambar III.9 Alat Pembuat Asap

3.2 PROSEDUR KALIBRASI DAN PENGAMBILAN DATA

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



Gambar III.10 Sistem Pengujian

3.2.1 Pengambilan Data Kecepatan

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

1. Posisikan alat pembuat asap pada tabung pyrex tempat pengambilan data.
2. Mempersiapkan high speed 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 alat pembuat asap, sehingga terlihat gambar ujung jarum dan *wire probe thermocouple*.
3. *Blower* dihidupkan dan diatur pada frekuensi sebesar 5 Hz dengan menggunakan *inverter*.
4. *Heater* dihidupkan dan diatur pada temperatur 100°C, ditunggu sampai keadaan menjadi tunak.
5. Setelah keadaan tunak aliran listrik pada alat pembuat asap dinyalakan bersamaan dengan menekan shutter kamera karena proses terjadinya asap berlangsung cepat.

6. Hasil pengambilan gambar dengan high speed kamera merupakan sebuah video, tentukan batasan waktu video dengan menggunakan software Vitcam dimana saat asap yang diinginkan terjadi.
7. Ubah data video tersebut menjadi kumpulan foto-foto dengan menggunakan software yang sama.
8. Lakukan langkah 3 sampai 7 dengan frekuensi 10 Hz dan 20 Hz.
9. Lakukan langkah 3 sampai 7 dengan temperatur 150°C.

3.2.2 Kalibrasi Foto Kecepatan Udara

Untuk mengubah besaran pada foto yang masih berupa *pixel* menjadi meter, dilakukanlah pengkalibrasian dengan menggunakan 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 kecepatan.
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 $1 \text{ pixel} = 0.0000278 \text{ mm}$.

3.2.3 Pengambilan Data Droplet

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*.



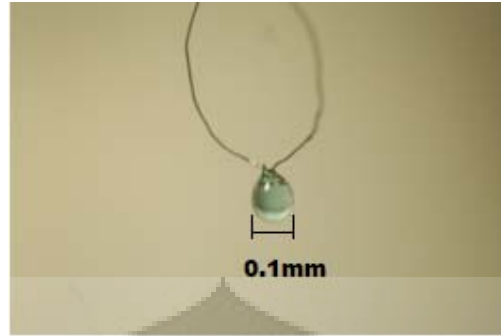
Gambar III.11 Posisi Jarum dan Tetesan

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.12 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 °C 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.13 Tetesan Bio Pertamax

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

3.2.4 Kalibrasi Foto Droplet

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

5. Melakukan proses foto pada "jarum suntik" dengan ukuran 0.5 mm.
6. Proses pengkalibrasian dilakukan dengan kondisi (posisi dan *zoom*) kamera yang sama dengan saat pengambilan data droplet.
7. Setelah mendapatkan gambar, kemudian dilakukan *image processing* untuk mendapatkan besaran *pixel* dari gambar "jarum suntik" tersebut.
8. 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.

3.3 PENGOLAHAN DATA

3.3.1 Pengolahan Data Foto

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 :

1. Membuka file gambar dengan menggunakan *software image processing* (dalam hal ini saya menggunakan *Paint*).
2. Setelah file terbuka, dilakukan pembesaran bidang yang diinginkan. Kemudian dilakukan pengaturan skala untuk memperjelas batas yang akan dipilih.
3. Setelah ditentukan batasnya, pada *software* tersebut dapat jarak perpindahan asap secara langsung dengan cara menarik garis dari batas yang sudah ditentukan.

4. Kemudian dilakukan pencatatan jarak asap yang berpindah (*pixel*) dari gambar asap tersebut.
5. Dari data jarak tersebut dapat kita bagi dengan waktu sehingga dapat data kecepatan.
6. Menyimpan hasil pencatatan data dalam bentuk tabel excel agar dapat diolah dengan sistematis.

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 , $T_{droplet} = 73$ °C
4. Dari hasil pengukuran diperoleh dimensi droplet :

o Gambar 1 :

Lebar = 228 pixel Tinggi = 293 pixel
 $d \text{ rata-rata} = (228+293)/2 = 260,5 \text{ pixel}$

o Gambar 2 :

Lebar = 215 pixel Tinggi = 215 pixel
 $d \text{ rata-rata} = (215+215)/2 = 215 \text{ pixel}$

Selanjutnya bisa dilakukan langkah-langkah analisa perhitungan sebagai berikut :

1. Menghitung d (diameter rata-rata tetesan)

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

$$d = \frac{260,5 + 215}{2}$$

$$d = 237,75 \text{ pixel} = 2,377 \times 10^{-3} \text{ m}$$

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

$$\frac{dd}{dt} = \frac{(260.5 - 215)0,00001}{6}$$

$$\frac{dd}{dt} = 7,583e^{-5}$$

3. Menghitung laju difusi molal (N)

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

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

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

$$\frac{dr}{dt} = \frac{7,583e^{-5}}{2}$$

$$\frac{dr}{dt} = 3,791e^{-5}$$

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

$$N = \frac{\rho_{air} 3,7 \times 10^{-5}}{144}$$

$$N = \frac{705 \times 3,7 \times 10^{-5}}{144}$$

$$N = 18,12e^{-5} \text{ Kmole/s.m}^2$$

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

Tekanan uap (P_v) pada temperatur droplet 73°C adalah :

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

Dimana ω adalah aceentric faktor yang diperoleh dari :

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

$$\omega = \frac{-0,8625}{-2,369} = 0,363$$

Dimana α dan β diperoleh dari :

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

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

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

$$\theta = \frac{447,3}{617,7} = 0,72$$

$$\alpha = -\ln 20,92 - 5,97214 + 6,09648 \times 0,695^{-1} + 1,28861 \ln 0,72 - 0,169347 \times 0,72^6$$

$$\beta = 15,2518 - 15,6875 \times 0,72^{-1} - 13,3721 \ln 0,72 - 0,43577 \times 0,72^6$$

$$\alpha = -0,99242$$

$$\beta = -2,05005$$

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

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

$$T_r = \frac{73 + 273}{617,7} = 0,560142$$

$$f^{(0)} = 5,92714 - \frac{6,09648}{0,560142} - 1,28862 \ln 0,560142 + 0,16934 \times 0,5560142^6$$

$$f^{(0)} = -6,8135$$

$$f^{(1)} = 15,2518 - \frac{15,6875}{0,560142} - 13,4721 \ln 0,560142 +$$

$$0,43577 \times 0,560142^6$$

$$f^{(1)} = -4,93306$$

Jadi P_{vp} adalah :

$$\ln P_{vp} = -6,8135 + 0,363 \times -6,8135$$

$$P_{vp} = EXP - 6,858 = 0,00137 \text{ bar} = 137,04 \text{ pascal}$$

$$X_0 = 137,04/101325 = 0,0136$$

$$X_0 = X_{0pertamax} + X_{0ethanol} = 0,0007806$$

5. Menghitung konsentrasi total udara (C)

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

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

$$t_f = 273\left(\frac{73 + 100}{2}\right)$$

$$t_f = 359.5 \text{ k}$$

C diperoleh dari :

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

$$C = \frac{101325}{8314,5 \times 359.5}$$

$$C = 0,034$$

6. Menghitung fluks perpindahan massa (R_x)

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

$$R_x = \frac{0,0010 - 0}{1 - 0}$$

$$R_x = 0.001004$$

7. Menghitung koefisien perpindahan massa (k_c)

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

$$k_c = \frac{1,9E - 05(1 - 0,0010)}{0,039(0,0010 - 0)}$$

$$k_c = 0,49 \text{ kmole/s.m}^2$$

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

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

$$\theta_{x_{stF}} = \frac{\ln(1 + 0,0010)}{0,0010}$$

$$\theta_{x_{stF}} = 0,9996$$

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

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

$$k_{cLstF} = \frac{0,49}{0,9996}$$

$$k_{cLstF} = 0,495$$

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

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

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

$$\Sigma_{vb} = (10 \times 15,9) + (24 \times 2,31) = 214,44$$

$$M_{ab} = 2[(1/114 + 1/29)]^{-1} = 46,2$$

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

$$D_{ab} = 6,5E^{-06} m^2/s$$

$$D_{campuran}$$

$$= \frac{1}{\text{fraksi mol}_{\text{pertamax}}/D_{ab_{\text{pertamax}}} + \text{fraksi mol}_{\text{ethanol}}/D_{ab_{\text{ethanol}}}}$$

$$D_{campuran} = 6,4E^{-06} m^2/s$$

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

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

$$Sh_{stF} = \frac{0,495 \times 0,00224}{6,5E^{-06}} = 170,13$$

12. Menentukan parameter perpindahan massa (C_1)

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

$$C_1 = -0,0011 \times (50 - 24) - 1,0082 \times (0 - 0,0010)$$

$$C_1 = -0,027$$

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

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

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

$$\theta_{Mod} = 28,4$$

14. Menghitung koefisien laju perpindahan massa model pendekatan baru k_c menuju k_{cLMod} ketika NA_0 menuju nol

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

$$k_{cLMod} = \frac{0,49}{28,4}$$

$$k_{cLMod} = 0,017$$

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

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

$$Sh_{Mod} = \frac{0,017 \times 0,00224}{6,5E^{-06}}$$

$$Sh_{Mod} = 5,9$$

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)

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

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

$$Re = \frac{0,472 \times 0,00224}{1,6E^{-05}}$$

$$Re = 31,70$$

17. Menghitung bilangan Schmidt

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

$$Sc = \frac{1,67E^{-05}}{6,5E^{-06}}$$

$$Sc = 2,55$$

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

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

$$Sh = 6,15$$

Langkah-langkah Mencari Perpindahan Panas

19. Menghitung nilai konduktivitas campuran (K) dengan $T_f = 310 \text{ K}$ sehingga dapat dicari nilai rapat massa udara (ρ), panas jenis udara (cp) dan difusivitas termal (α) dari table sifat-sifat udara

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

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

$$k = 0,026$$

20. Menghitung q_{radiasi}/A

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

$$\frac{Q_{\text{radiasi}}}{A} = 0,96 \times 0,5669E^{-07} \times ((273 + 50)^4 - (273 + 24)^4)$$

$$\frac{Q_{\text{radiasi}}}{A} = 168,92$$

21. Menghitung q_0/A , dengan konduksi dari termokopel $Q_{\text{koduksi}} = 125,932$ dan kalor laten pada temperature droplet 24°C sebesar $h_{\text{fg}} = 39840$ KJ/Kmol dari table sifat air jenuh

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

$$\frac{q_0}{A} = -1,95E^{-05} \times 39850168 + 125,934 + 168,929$$

$$\frac{q_0}{A} = -483,305$$

22. Menghitung koefisien perpindahan panas h

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

$$h = \frac{-483,205}{-26}$$

$$h = 18,58$$

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

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

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

$$h_l = 56,513$$

24. Menghitung panas jenis molal udara C_{pA}

$$Cpa = cp \times 28,9$$

$$Cpa = 1007,51 \times 28,9$$

$$Cpa = 29117,032$$

25. Menghitung factor kecepatan perpindahan panas (Φ)

$$\varphi = \frac{-N \times Cpa}{h_l}$$

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

$$\varphi = -0,01038$$

26. Menghitung fluks perpindahan panas (R_T)

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

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

$$RT = -0,01032$$

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

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

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

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

28. Menghitung parameter perpindahan panas (C_2)

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

$$C_2 = 0,4633E^{-09} \times (50 - 24) + 0,16E^{-06} \times (-0,00103)$$

$$C_2 = -1,2E^{-08}$$

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

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

$$\theta_{T_{Mod}} = \frac{\ln(1 \pm 0,01032)}{-0,01032} + \frac{29117,032}{0,0268 x - 0,01032} x - 1,2E^{-08}$$

$$\theta_{T_{Mod}} = 2,28$$

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

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

$$h_{L_{Stf}} = \frac{18,58}{1,005}$$

$$h_{L_{Stf}} = 18,49 \text{ watt/m}^2\text{K}$$

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

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

$$h_{L_{mod}} = \frac{18,58}{2,28}$$

$$h_{L_{mod}} = 8,12 \text{ watt/m}^2\text{K}$$

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)

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

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

$$Nu = 4,76$$

34. Menghitung bilangan Nusselt model analogi film stagnan

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

$$Nu_{stf} = \frac{18,49 \times 0,00224}{0,0268}$$

$$Nu_{stf} = 1,54$$

35. Menghitung bilangan Nusselt model pendekatan baru

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

$$Nu_{mod} = \frac{8,12 \times 0,00224}{0,0268}$$

$$Nu_{mod} = 0,67$$

36. Menghitung bilangan Lewis

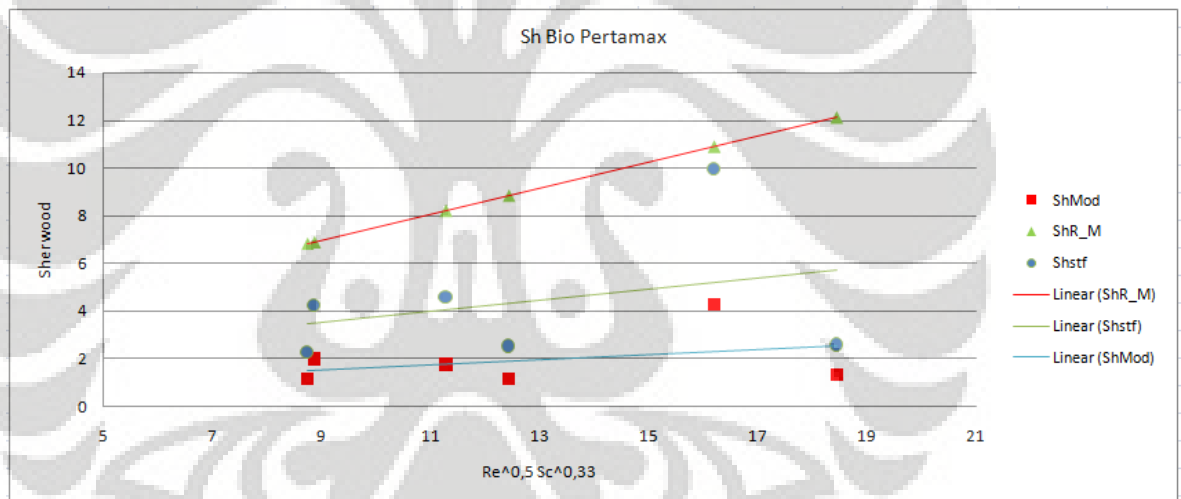
$$Le = \frac{Sc}{Pr} = \frac{2,55}{0,71} = 3,59$$

BAB IV HASIL DAN ANALISA

4.1 ANALISA PERBANDINGAN NILAI SHERWOOD ANTAR MODEL

Semua data yang diperoleh dari percobaan diolah dengan metode perhitungan seperti pada contoh perhitungan. 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 analogi Ranz-Marshall dan model analogi pendekatan baru serta metode analogi film stagnan.

Berikut adalah grafik hasil perbandingan antar model untuk bilangan Sherwood pada Bio Pertamax:



Gambar IV.1 Perbandingan Bilangan Sherwood antar Model pada BioPertamax

Dari grafik diatas dapat dilihat nilai Sherwood antar model, penyebaran nilai Sherwood pada model film Stagnan cenderung lebih kecil nilainya dari pada Ranz-Marshall. Begitu juga penyebaran nilai Sherwood pada model modifikasi. Nilai Sherwood mempengaruhi besarnya nilai kcL yang merupakan koefisien perpindahan massa menuju nol. Makin besar nilai Sherwood maka nilai kcL akan semakin besar. Tabel berikut menunjukkan bahwa nilai Sherwood berbanding lurus dengan nilai kcL :

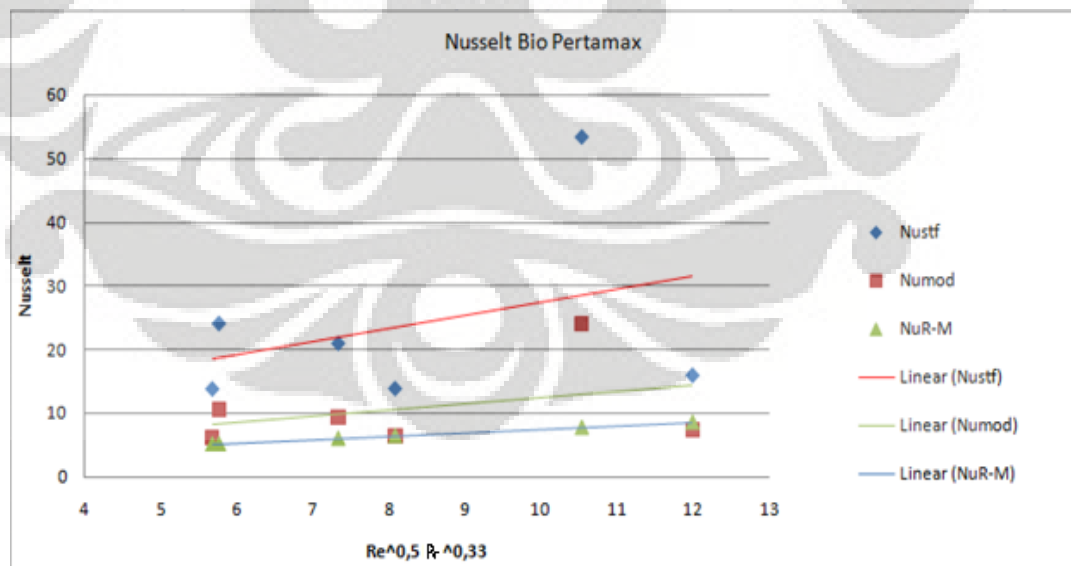
Tabel IV.1 Hasil perhitungan sherwood

kclSTF	kclMOD	ShSTF	ShMOD	ShR-M
0.015059	0.006972	4.253004	1.969216	6.873917
0.016198	0.00613	4.595416	1.739199	8.200154
0.033334	0.014256	9.953552	4.256693	10.9076
0.008868	0.004406	2.29517	1.140413	6.803785
0.011179	0.005051	2.544976	1.149862	8.837198
0.011725	0.005928	2.603494	1.316216	12.14453

Pada grafik dapat dilihat juga perbedaan persebaran data. Persebaran data model film stagnan penyimpangannya terhadap garis trendline lebih besar dibandingkan dengan model modifikasi. Hal ini disebabkan pada model modifikasi menambahkan faktor koreksi. Oleh karena model modifikasi memiliki penyimpangan lebih kecil terhadap garis trendline.

4.2 ANALISA PERBANDINGAN NILAI NUSSELT ANTAR MODEL

Untuk Bilangan Nusselt diperoleh grafik sebagai berikut :



Gambar IV.3 Perbandingan Bilangan Nusselt antar Model pada Bio Pertamax

Pada grafik hasil perhitungan Nusselt dapat dilihat juga perbedaan persebaran data. Persebaran data model film stagnan penyimpangannya terhadap garis trendline lebih besar dibandingkan dengan model modifikasi. Hal ini disebabkan pada model modifikasi menambahkan faktor koreksi dalam perhitungan Nusselt. Oleh karena model modifikasi memiliki penyimpangan lebih kecil terhadap garis linier. Dengan simpangan yang makin kecil dengan garis trendline kita dapat mengestimasi nilai selanjutnya tanpa harus melakukan eksperimen.

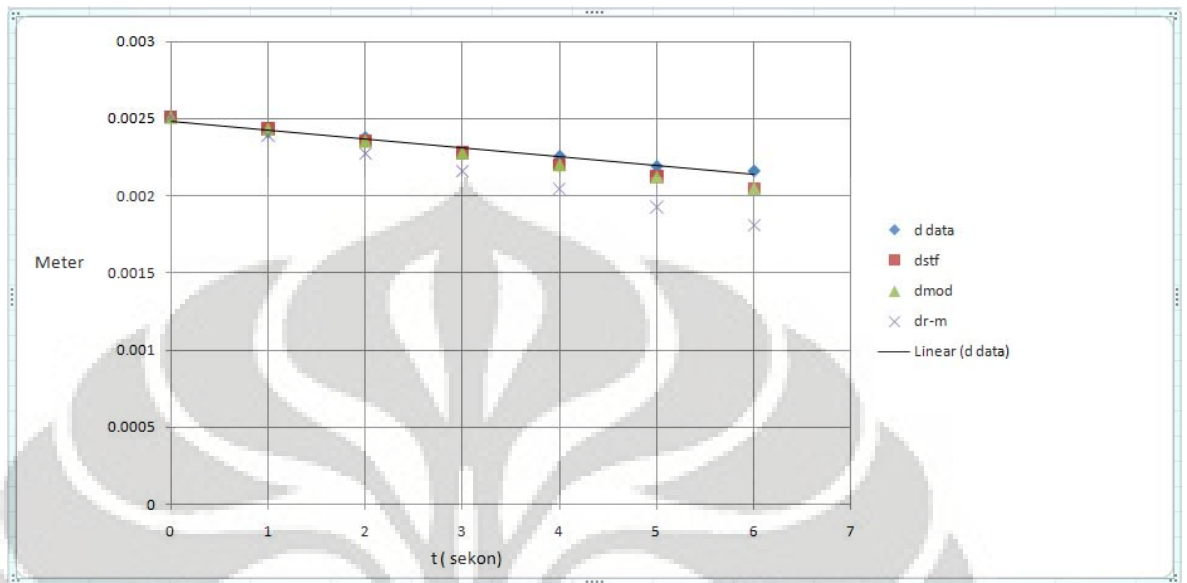
Nilai Nusselt model film stagnan dan model modifikasi dapat dilihat ditabel berikut:

Tabel IV.2 Hasil perhitungan nusselt

hLstf	hLmod	Nustf	Numod
308.6065	133.9247	24.15142	10.48089
269.0758	119.7621	21.04233	9.365667
645.5929	289.9741	53.34678	23.9612
180.3706	80.4628	13.90167	6.201492
204.6999	93.9007	13.9624	6.404883
240.4963	111.2626	16.03792	7.419744
308.6065	133.9247	24.15142	10.48089

Dari tabel dapat kita lihat besarnya Nusselt berbanding lurus dengan besarnya hL atau koefisien perpindahan panas menuju nol. Semakin besar nilai Nusselt maka nilai hL semakin besar pula

4.3 ANALISA SIMULASI PENGURANGAN DIAMETER



Gambar IV.4 Grafik hasil simulasi antar model

Dari grafik dapat dilihat perbedaan simulasi antar model. Hasil simulasi pengurangan diameter dengan menggunakan model Ranz-Marshall (dr-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 BioPertamax sebesar 3.6). Untuk bilangan Lewis seperti itu lebih aplikatif model stagnan film atau model modifikasi karena dapat dilihat hasilnya pun tidak terlalu jauh dengan hasil eksperimen.

BAB V KESIMPULAN

5.1 KESIMPULAN

1. Model modifikasi mempunyai korelasi yang lebih kuat dibandingkan dengan model film stagnan.
2. Model analogi Ranz-Marshall tidak aplikatif untuk menghitung laju perpindahan massa karena bahan bakar memiliki bilangan Lewis (Le) diantara 3-4.
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 telaah lebih lanjut dalam pemodelan droplet untuk bahan bakar (atau bahan – bahan yang memiliki bilangan Lewis > 1) agar pemodelannya makin mendekati kondisi real.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bennett C.O., Myers J.E. *Momentum, Heat and Mass Transfer*, (New York: McGraw Hill, 1982)
- [2] Cengel, Yunus A., Michael A.Boles, *Thermodynamics An Engineering Approach*, (New York : McGraw Hill, 1994)
- [3] Henry Nasution, *Bab II Psikometrik*, hal 1. Diakses 1 Juni 2009, dari www.he4si.com/Pendingin/BAB2.pdf
- [4] Holman , J.P., *Perpindahan Kalor*, terj.E.Jasjfi (Jakarta: Erlangga, 1991).
- [5] Incropera, Frank P., David P. De Witt, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, (New York: John Wiley & Sons, 1996).
- [6] 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
- [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)
- [9] Yosuo Moriyoshi, Yosuo Imai. (2005). Quasi 2-D Measurements of Gaseous and Liquid Fuel Concentrations Using Two-Color Laser Beam Scanning Technique. Japan.
- [10] Christopher J. Rutland and Yunliang Wang . (2006). *Turbulent liquid spray mixing and combustion – fundamental simulations*. University of Wisconsin, Madison.

- [11] 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_D , dan Pr tidak terlalu bergantung pada tekanan dan dapat digunakan untuk rentang tekanan yang cukup luas.

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

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

LAMPIRAN 2

TABEL EMISSIVITAS PERMUKAAN

Surface	Temperature, °F	Emissivity
Polished aluminum	73	0.040
Polished copper	242	0.023
Polished iron	800-1800	0.144-0.377
Cast iron, newly turned	72	0.435
Oxidized iron	212	0.736
Asbestos board	74	0.96
Red brick	70	0.93
Sixteen different oil paints, all colors	212	0.92-0.96
Water	32-212	0.95-0.963

LAMPIRAN 3

TABEL PROPERTIES

No	Formula	Name	MolWt	Tfp K	Tb K	Tc K	Pc bar	Vc cm ³ /mol	Zc	Omega	Dipm debye
476	C8H16	cyclooctane	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.

