



UNIVERSITAS INDONESIA

**LAJU PENGUAPAN TETESAN BIO PERTAMAX PADA
TEMPERATUR 50°C DAN 75°C**

SKRIPSI

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

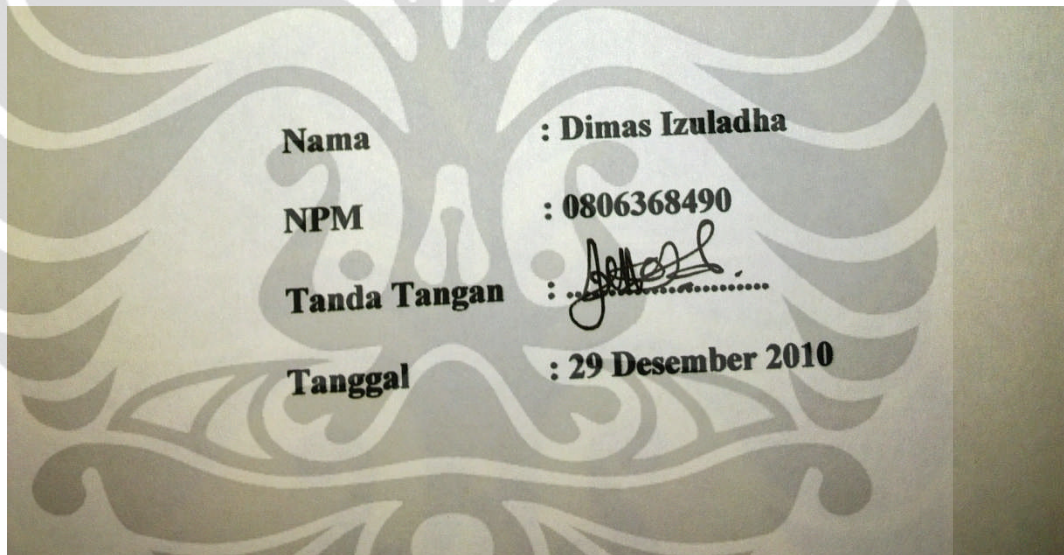
DIMAS IZULDHA

0806368490

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

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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



HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Dimas Izuladha
NPM : 0806368490
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : **LAJU PENGUAPAN TETESAN BIO
PERTAMAX PADA TEMPERATUR 50⁰C DAN 75⁰C**

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, Meng.	(.....)
Penguji	: Ir. Rusdy Malin, MME.	(.....)
Penguji	: Dr. Ir. Warjito, Meng.	(.....)
Ditetapkan di	: Depok	
Tanggal	: 29 Desember 2010	

UCAPAN TERIMA KASIH

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

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

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

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

Depok, Desember 2010

Penulis

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

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

Nama : Dimas Izuladha
NPM : : 0806368490
Program Studi : Teknik Mesin
Departemen : Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

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

**LAJU PENGUAPAN TETESAN BIO PERTAMAX
PADA TEMPERATUR 50⁰C DAN 75⁰C**

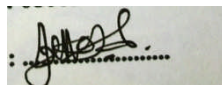
beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non eksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : Desember 2010

Yang menyatakan



(Dimas Izuladha)

ABSTRAK

Dimas Izuladha
NPM 0806368490
Departemen Teknik Mesin

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

PENGUAPAN TETESAN BIO PERTAMAX

ABSTRAK

Laju penguapan pada *droplets* penting untuk diketahui dalam melakukan simulasi pada *combustion*. Yosuo Moriyoshi dan Yasuo Imai melakukan penelitian tentang pengukuran distribusi konsentrasi tekanan uap pada bahan bakar dalam phase gas dan *liquid*[9]. Christopher J. Rutland and Yunliang Wang melakukan simulasi terhadap semprotan campuran cairan turbulen menggunakan *software* DNS[10]. Banyak simulasi *combustion* menggunakan *software* 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 [6].

Penelitian ini menggunakan alat berupa jarum yang berisi larutan. Setelah larutan diteteskan 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

Dimas Izuladha
NPM 0806368490
Mechanical Engineering Department

Counsellor
Dr. Ir. Engkos A. Kosasih, MT

EVAPORATION OF PREMIUM AND PERTAMAX DROPLETS

ABSTRACT

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[9]. Christopher J. Rutland and Wang Yunliang simulation of Turbulent liquid spray mixing and combustion by using DNS software[10]. 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[6].

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 analyzed, 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.

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

DAFTAR ISI

UNIVERSITAS INDONESIA.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS... Error! Bookmark not defined.	
HALAMAN PENGESAHAN..... Error! Bookmark not defined.	
UCAPAN TERIMA KASIH..... Error! Bookmark not defined.	
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI Error! Bookmark not defined.	
ABSTRAK.....	ii
<i>ABSTRACT</i>	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
DAFTAR NOTASI.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	16
1.1 LATAR BELAKANG.....	16
1.2 PERUMUSAN MASALAH.....	17
1.3 TUJUAN PENELITIAN.....	17
1.4 BATASAN MASALAH.....	17
1.5 METODOLOGI PENELITIAN.....	18
1.6 SISTEMATIKA PENULISAN.....	18
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	20
2.1 PRINSIP DASAR.....	20
2.2 PERPINDAHAN MASSA.....	22
2.2.1 Koefisien Perpindahan Massa.....	22
2.2.2 Difusi Dalam Gas.....	22
2.2.3 Fluks Perpindahan Massa (Rx).....	23
2.3 PERPINDAHAN KALOR.....	23
2.2.1 Konveksi.....	23
2.2.2 Konduksi.....	23
2.2.3 Radiasi.....	24

2.2.4	Fluks Perpindahan Panas.....	24
2.4	KARAKTERISTIK UDARA.....	25
2.5	LAPIS BATAS.....	27
2.5.1	Lapis Batas Konsentrasi.....	27
2.5.2	Lapis Batas Termal	28
2.5.3	Lapis Batas Hidrodinamik	28
2.6	BILANGAN TAK BERDIMENSI	29
2.6.1	Bilangan Reynolds	29
2.6.2	Bilangan Schmidt.....	30
2.6.3	Bilangan Prandtl.....	31
2.6.4	Bilangan Nusselt	31
2.6.5	Bilangan Sherwood	32
2.6.6	Bilangan Lewis.....	32
2.7	PERSAMAAN RANZ – MARSHALL	32
2.8	MODEL ANALOGI FILM STAGNAN.....	33
2.8.1	Bilangan Nusselt Model Analogi Film stagnan	33
2.8.2	Sherwood Model Film stagnan (Sh_{StF}).....	34
2.9	MODEL ANALOGI PENDEKATAN BARU FILM STAGNAN.....	34
2.9.1	Sherwood Model Pendekatan Baru (Sh_{Mod}).....	35
2.9.2	Bilangan Nusselt Model Pendekatan Baru.....	36
BAB III	METODE PENELITIAN.....	37
3.1	KOMPONEN SISTEM.....	37
3.1.1	<i>Heater</i>	37
3.1.2	<i>Blower</i>	37
3.1.3	<i>Pyrex</i>	38
3.1.4	<i>Digital Controller</i>	38
3.1.5	<i>Temperature Display</i>	39
3.1.6	Alat Suntik	39
3.1.7	Inverter	40
3.1.8	Tabung Dehumidifier	40
3.2	PROSEDUR KALIBRASI DAN PENGAMBILAN DATA.....	41
3.2.1	Kalibrasi Kecepatan	42

3.2.2 Pengambilan Data	42
3.2.3 Kalibrasi Jarum Suntik.....	44
3.3 PENGOLAHAN DATA	45
3.3.1 Pengolahan Data Foto	45
3.3.2 Pengolahan Data Kecepatan.....	45
3.3.3 Contoh Perhitungan.....	46
BAB IV ANALISA DAN HASIL	58
4.1 ANALISA PERBANDINGAN NILAI SHERWOOD ANTAR MODEL .	41
4.2 ANALISA PERBANDINGAN NILAI NUSSELT ANTAR MODEL	43
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	46
5.1 KESIMPULAN	46
5.2 SARAN	46
DAFTAR PUSTAKA	47
LAMPIRAN.....	49

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1 Lapis Batas	27
Gambar II.2 Lapis Batas Konsentrasi	28
Gambar II.3 Lapis Batas Termal	28
Gambar II.4 Lapis Batas Hidrodinamik	28
Gambar II.5 Model Film Stagnan	33
Gambar III.1 Heater	21
Gambar III.2 <i>Blower</i>	21
Gambar III.3 <i>Pyrex</i>	38
Gambar III.4 <i>Digital Controller</i>	38
Gambar III.5 Skema <i>Auto Tunning</i>	39
Gambar III.6 <i>Temperature Display</i>	39
Gambar III.7 Alat Suntik.....	40
Gambar III.8 <i>Display Inverter ST200</i>	40
Gambar III.9 Tabung Dehumidifier	41
Gambar III.10 Sistem Pengujian	41
Gambar III.11 Posisi Jarum dan Tetesan	43
Gambar III.12 Panel Sistem Listrik	43
Gambar III.13 Tetesan	44
Gambar IV.1 Perbandingan Bilangan Sherwood antar Model pada Premium	41
Gambar IV.2 Perbandingan Bilangan Sherwood antar Model pada Pertamina.....	42
Gambar IV.3 Perbandingan Bilangan Nusselt antar Model pada Premium.....	43
Gambar IV.4 Perbandingan Bilangan Nusselt antar Model pada Pertamina.....	44

DAFTAR TABEL

Tabel II.1 Kondisi Aliran Fluida.....	30
Tabel IV.1 Hasil Perhitungan Sherwood	42
Tabel IV.2 Hasil Perhitungan Nusselt.....	44



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 TABEL SIFAT UDARA PADA TEKANAN ATMOSFER

Lampiran 2 TABEL EMISSIVITAS PERMUKAAN

Lampiran 3 TABEL PROPERTIES

Lampiran 4 TABEL PROPERTIES

Lampiran 5 DATA PENGUJIAN

Lampiran 6 HASIL PERHITUNGAN



DAFTAR NOTASI

Simbol	Keterangan	Dimensi
h	Entalpi udara basah	[KJ/kg]
h_{da}	Entalpi udara kering	[KJ/kg]
h_w	Entalpi uap air	[KJ/kg]
h_f	Entalpi spesifik fasa fluida	[KJ/Kg]
h_g	Entalpi spesifik fasa uap	[KJ/Kg]
h_{fg}	Selisih entalpi spesifik fasa fluida dan uap	[KJ/Kg]
ρ	Massa jenis	[Kg/m ³]
g	Percepatan gravitasi	[m/s ²]
P	Tekanan atmosfer udara basah	[Pa]
V	Volume udara basah	[m ³]
m	Massa udara basah	[Kg]
R_a	Konstanta gas	[KJ/kg.K]
T	Temperatur udara	[K]
T_s	Temperatur permukaan	[°C]
T_∞	Temperatur ambien	[°C]
m_{da}	Massa udara kering	[Kg]
m_v	Massa uap air	[Kg]
n	Mole udara basah	[Kmole]
n_{da}	Mole udara kering	[Kmole]
n_v	Mole uap air	[Kmole]
P_t	Tekanan atmosfer = $p_a + p_s$	[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

Laju penguapan pada saat ini sudah menjadi trend untuk menentukan kemampuan dari menguapnya suatu bahan bakar dalam satuan waktu. kemampuan bahan bakar untuk menguap satuan waktu akan menimbulkan karakteristik yang berbeda-beda pula. Karena pada fenomena pembakaran saat terjadinya pembakaran, ada peristiwa yang di sebut dengan atomisasi atau masuknya bahan bakar dalam bentuk droplet. Sebenarnya proses pembakaran adalah terjadinya nyala api atau juga di sebut *ignition* yang sudah tercampur oleh udara yang bertekanan tinggi.

Sedangkan sendiri bahan bakar saat ini ada premium, bio-premium, pertamax, bio-pertamax, dll. dari semua bahan tersebut ada yang di sebut dengan bio pertamax. Bio pertamax itu sendiri pula adalah bahan bakar dari pertamax yang di campur dengan bahan bakar alami atau seperti ethanol. Pokonya yang mengandung bahan yang baik untuk alam. Dengan campuran ini membuat nilai octane lebih besar dan akan membuat pembakaran lebih baik. Untuk membuktikannya di lakukanlah penelitian dengan menggunakan drop plate untuk mengetahui laju penguapan dari perpindahan masa dan panas.

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

Selama 25 tahun belakangan ini, telah banyak dilakukan penelitian terhadap proses penguapan pada pengeringan. Salah satu metode penelitian yang digunakan adalah penguapan tetesan (*droplet evaporation*). Ranz W E & Marshall W R, telah melakukan studi experimental mengenai penguapan tetesan (*droplet*

evaporation) dan menyimpulkan bahwa proses penguapan tetesan merupakan analogi (hubungan) perpindahan kalor dan perpindahan massa. Inti dari analogi ini adalah memanfaatkan hubungan similaritas antara bilangan Sherwood dan bilangan Nusselt, sehingga solusi perpindahan kalor aplikatif terhadap perpindahan massa.

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

1.2 PERUMUSAN MASALAH

Pada Penelitian, rumusan masalah yang akan dibahas, yaitu mengetahui laju penguapan pada bahan bakar. Bahan bakar yang digunakan adalah Premium dan Pertamina yang diproduksi oleh P.T Pertamina. Laju penguapan akan diuji dengan menggunakan droplet dari bahan yang dipanaskan oleh udara dengan variasi temperatur sebanyak 4 variasi yaitu 50⁰C, 75⁰C 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 perhitungan model analogi Ranz-Marshall dan film stagnan untuk bahan uji premium dan Pertamina yang memiliki bilangan Lewis besar (1-3). 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 larutan bio Pertamina
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 50 °C dan 75 °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, jurnal, artikel, skripsi, catatan 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 lensa makro Nikon D70 dengan jarak fokus 60mm, untuk selanjutnya dikalibrasi sehingga didapat data diameter tetesan.

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 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 akurat.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 PRINSIP DASAR

motor bakar adalah mesin atau pesawat yang menggunakan energi termal untuk melakukan kerja mekanik, yaitu dengan cara merubah energi kimia dari bahan bakarmenjadi energi panas, dan menggunakan energi tersebut untuk melakukan kerjamekanik. Energi termal diperoleh dari pembakaran bahan bakar pada mesin itu sendiri. Jika ditinjau dari cara memperoleh energi termal ini (proses pembakaran bahan bakar.

Hal ini berguna untuk mengetahui distribusi konsentrasi tekanan uap didalam ruang bakar untuk dapat melihat distribusi laju penguapan. Pada proses pembakaran, masuknya bahan bakar yang disemprotkan oleh *nozzle* akan masuk dalam bentuk droplet agar mudah untuk menguap dikarenakan yang akan terbakar lebih dahulu adalah bahan bakar yang berbentuk uap. *Droplet* yang sudah masuk keruang bakar akan menguap dan 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.

2.2 KECEPATAN

Kecepatan (simbol: v) atau velositas adalah suatu vektor dari besar dan arah gerakan. Terlebih dahulu kita pahami makna kelajuan dan kecepatan. Kelajuan termasuk besaran skalar (besaran skalar sama dengan besaran yang hanya mempunyai besar saja). Untuk menyatakan laju atau kelajuan suatu benda, kita tidak membutuhkan arah. Sebaliknya, kecepatan termasuk besaran vektor (besaran vektor sama dengan besaran yang mempunyai besar dan arah). Ketika menyatakan kecepatan, kita perlu menyertakan besar dan arah. Nilai absolut skalar (*magnitudo*) dari kecepatan disebut kelajuan (bahasa Inggris: *speed*). Kecepatan dinyatakan dengan perubahan jarak yang ditempuh per satuan waktu.

Rumus kecepatan yang paling sederhana adalah "Kecepatan = Jarak-perpindahan/Waktu":

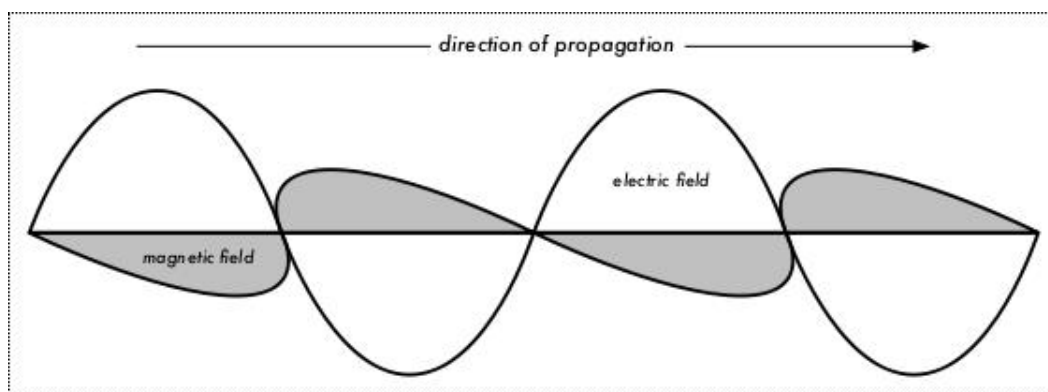
$$\bar{v} = \frac{\Delta X}{\Delta t}$$

2.3 POLARISASI

Polarisasi didefinisikan sebagai orientasi medan listrik gelombang elektromagnetik. Polarisasi pada umumnya digambarkan seperti elips. Dua kasus istimewa polarisasi elips adalah polarisasi linear dan polarisasi sirkular. Awal polarisasi gelombang radio ditentukan oleh antenna.

Dengan polarisasi linear, vektor medan listrik tetap berada di bidang yang sama terus menerus. Medan listrik mungkin meninggalkan antenna dalam orientasi vertikal, horisontal, atau suatu sudut di antara keduanya. Radiasi dengan polarisasi vertikal lebih sedikit dipengaruhi oleh pantulan pada jalur perambatannya. Antena Omnidirectional selalu memiliki polarisasi vertikal. Dengan radiasi dengan polarisasi horisontal, pantulan seperti itu menyebabkan variasi dalam kekuatan signal yang diterima. Antena horisontal lebih sedikit kemungkinannya untuk mendapat gangguan buatan manusia, yang biasanya dipolarisasikan secara vertikal.

Dalam polarisasi sirkular, vektor medan listrik kelihatannya berotasi dengan gerakan berputar searah arah propagasi, membuat satu putaran penuh untuk setiap siklus RF. Rotasi ini mungkin berada di sebelah kanan atau sebelah kiri. Pilihan polarisasi adalah salah satu pilihan bentuk yang tersedia kepada sistem perancang RF.



2.4 PERPINDAHAN MASSA

2.4.1 Koefisien Perpindahan Massa

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

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

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

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/m³]

Sh = bilangan Sherwood

D = difusivitas [m²/s]

d = diameter dalam lapisan air [m]

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

2.4.2 Difusi Dalam Gas

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

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

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)

2.4.3 Fluks Perpindahan Massa (R_x)

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

R_x = fluks perpindahan massa.....

x_0 = fraksi mol uap pada permukaan droplet

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

2.5 PERPINDAHAN KALOR

2.5.1 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 [$W/m^2 \cdot ^\circ C$]

T_s = temperatur permukaan [$^\circ C$]

T_∞ = temperatur ambien [$^\circ C$]

2.5.2 Konduksi

Bila suatu benda terdapat perbedaan temperatur dengan panjang x , maka energi (kalor) akan berpindah dari bagian yang bersuhu tinggi kearah 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).

2.5.3 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 ^[51]:

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

Q = radiasi [W]

A = luas permukaan [m²]

α = absorptivitas

σ = konstanta stefant boltzman [W/m² K⁴]

T_u = temperatur sumber radiasi [K]

T_d = temperatur *droplet* [K]

2.5.4 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]

2.5.5 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)

2.6 KARAKTERISTIK UDARA

Faktor yang sangat berperan penting dalam laju penguapan tetesan adalah udara. Komposisi udara kering diperkirakan berdasarkan volumenya terdiri dari : 79.08 % Nitrogen, 20.95 % Oksigen, 0.93 % Argon, 0.03 % Karbon Dioksida, 0.01 % lain-lain gas (seperti neon, sulfur dioksida). Kandungan bahan bakar pada udara basah adalah 0.

Faktor yang sangat berperan dalam laju penguapan tetesan (*droplet*) adalah udara, dalam bentuk udara kering (*dry air*) yang berada dalam campuran biner dengan uap air (*water vapor*).

Tetapan gas universal (\mathfrak{R}) berdasarkan skala karbon-12 adalah :

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

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

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

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

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

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

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

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

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

P = tekanan atmosfer udara basah [Pa]

V = volume udara basah [m^3]

m = massa udara basah [kg]

R_a = konstanta gas [kJ/kg.K]

T = temperatur udara basah [K]

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

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

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

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

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)

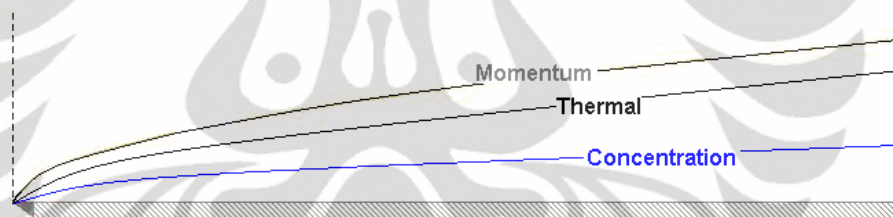
Dimana θ adalah hasil pembagian dari temperatur *droplet* dan temperatur kritis bahan bakar yang digunakan :

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

T_d = Temperatur *droplet* (T_d)

T_c = temperatur kritis (T_c)

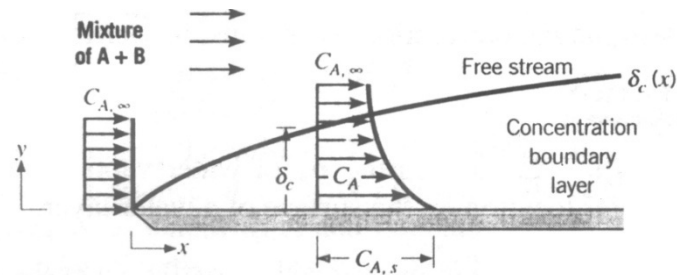
2.7 LAPIS BATAS



Gambar II.1 Lapis Batas

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

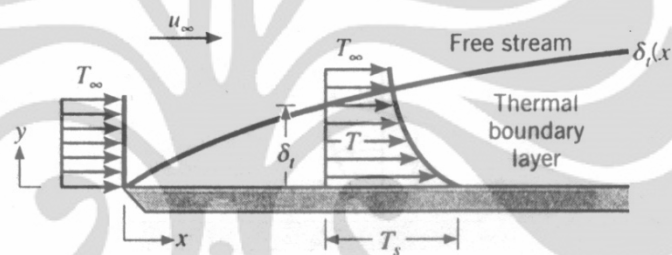
2.7.1 Lapis Batas Konsentrasi



Gambar II.2 Lapis Batas Konsentrasi

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

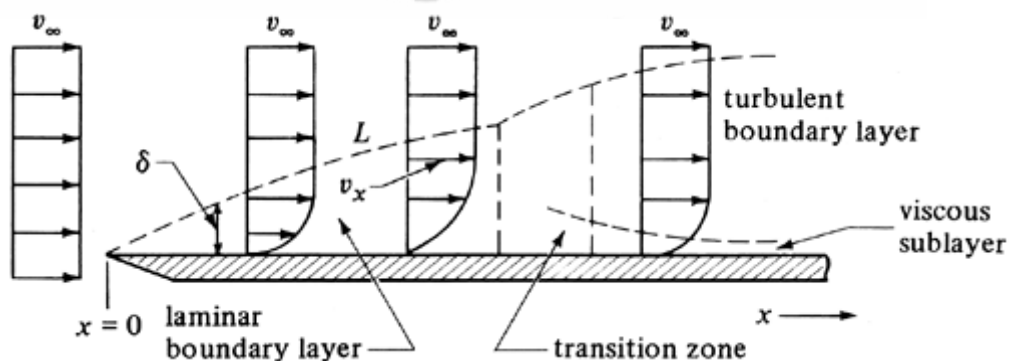
2.7.2 Lapis Batas Termal



Gambar II.3 Lapis Batas Termal

Lapis batas termal didefinisikan sebagai daerah dimana terdapat gradien suhu dalam aliran. Gradien suhu tersebut akibat proses pertukaran kalor antara fluida dan dinding.

2.7.3 Lapis Batas Hidrodinamik



Gambar II.4 Lapis Batas Hidrodinamik

Lapis batas pada plat rata terlihat membentuk suatu lapis batas yang dimulai dari tepi depan, yang dipengaruhi oleh gaya viskos, yang akan semakin meningkat ke arah tengah dari plat rata. Gaya viskos ini dapat diterangkan dengan tegangan geser (shear stress) τ antara lapisan-lapisan fluida yang dianggap berbanding dengan gradien kecepatan normal, maka didapat persamaan :

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

τ = tegangan geser [N/m²]

μ = viskositas dinamik [Ns/m²]

u = kecepatan fluida [m/s]

2.8 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.

2.8.1 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 :

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

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

2.8.2 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 :

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

ν = viskositas kinematik

D = difusivitas massa

2.8.3 Bilangan Prandtl

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

Persamaannya yaitu :

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

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

2.8.4 Bilangan Nusselt

Bilangan Nusselt merupakan bilangan yang menggambarkan karakteristik proses perpindahan panas.

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

$$Nu_d = 0.023Re_d^{0.8} Pr^n \quad \text{Untuk aliran berkembang penuh}$$

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

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

2.8.5 Bilangan Sherwood

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

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

2.8.6 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.

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

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

2.9 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 :

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

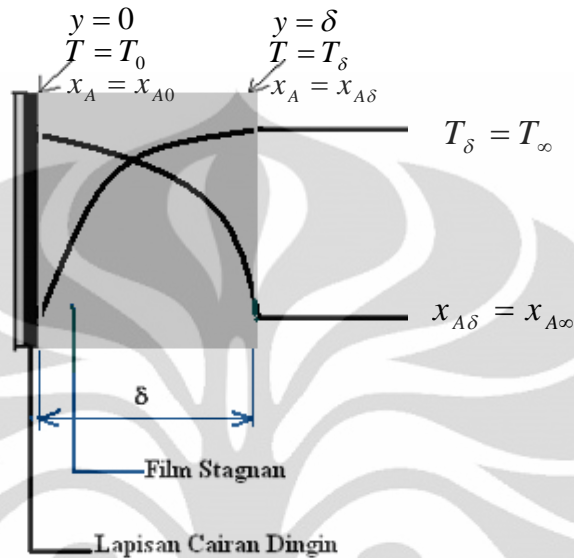
Sehingga dengan analogi untuk perpindahan massa berlaku :

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

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

2.10. MODEL ANALOGI FILM STAGNAN

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



Gambar II.5 Model Film Stagnan

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

2.10.1 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/m².°C]

- d = diameter droplet [m]
 k = konduktivitas panas udara [W/m.°C]
 h = koefisien perpindahan panas [W/m².°C]
 θ_{T_StF} = faktor koreksi perpindahan panas
 R_T = fluks perpindahan panas

2.10.2 Sherwood Model Film stagnan (Sh_{StF})

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

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

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

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

Sh_{StF} = bilangan *sherwood* film stagnan

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

d = diameter droplet [m]

D_{AB} = Difusivitas massa

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

θ_{X_StF} = faktor koreksi perpindahan massa

R_X = fluks perpindahan massa

2. 11. 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.

2.11.1 Sherwood Model Pendekatan Baru (Sh_{Mod})

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

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

$$\theta_{X_{-Mod}} = \frac{k_c}{k_{cL}} \quad (2.49)$$

$$\theta_{X_{-Mod}} = \frac{Ln(1 + R_x) - C_1}{R_x} \quad (2.50)$$

$$C_1 = -0,0011 \times (Tudara - Tdroplet) - 1,0082 \times (x_{A\infty} - x_0) \quad (2.51)$$

Sh_{Mod} = bilangan *sherwood* film stagnan

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

d = diameter droplet [m]

D_{AB} = Difusivitas massa

- kc = koefisien perpindahan massa [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$]
 θ_{X_Mod} = faktor koreksi perpindahan massa
 R_X = fluks perpindahan massa
 C_1 = parameter perpindahan massa

2.11.2 Bilangan Nusselt Model Pendekatan Baru

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

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

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

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

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

- Nu_{Mod} = bilangan nusselt film stagnan
 h_{L_Mod} = koefisien perpindahan panas menuju nol [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$]
 d = diameter droplet [m]
 k = konduktivitas panas udara [$\text{W}/\text{m} \cdot ^\circ\text{C}$]
 h = koefisien perpindahan panas [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$]
 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

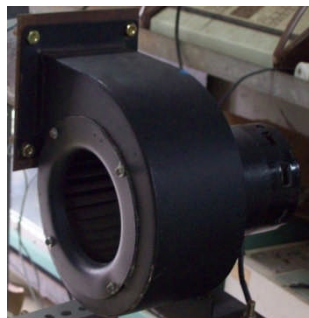
Pada penelitian ini dibutuhkan aliran udara panas maka dari itu dibutuhkan *heater* untuk memanaskan udara. Daya maksimal yang dapat dicapai oleh heater adalah 3 kW, pada tegangan 220 VAC. Pada outlet *heater* dipasang termokopel sebagai *feedback* ke *Digital Controller* agar temperatur yang dihasilkan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



Gambar III.1 Heater

3.1.2 Blower

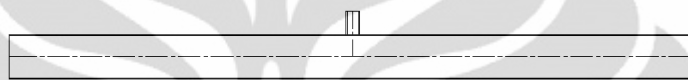
Udara dialirkan kedalam sistem dengan bantuan oleh blower yang dipasang sebelum heater. Tipe yang dipakai adalah *blower* sentrifugal, dengan debit 400 m³/jam. Untuk mengatur kecepatan aliran tersebut akan digunakan inverter yang akan dijelaskan di sub-bab berikutnya.



Gambar III.2 Blower

3.1.3 Pyrex

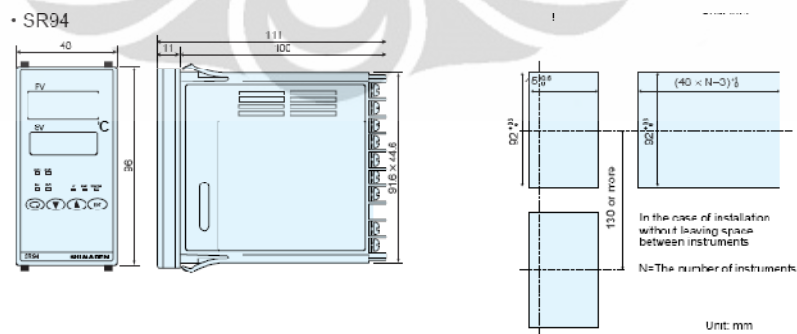
Test Section berupa pipa pyrex. Pyrex memiliki diameter dalam 98 mm dan panjang 1500 mm. Pipa pyrex ini dipilih karena kemampuan menahan panasnya cukup tinggi sehingga pada saat dialirkan udara panas sebagai media penguapan pada pipa pyrex tersebut diharapkan tidak menimbulkan kerusakan serta tidak menimbulkan 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

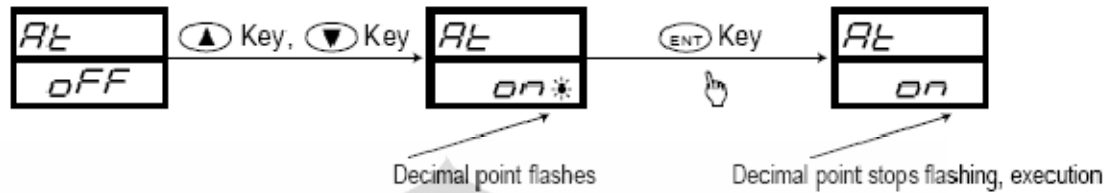
Komponen ini akan digunakan untuk mempermudah proses menstabilkan kondisi *heater* pada kondisi temperatur yang diinginkan dengan proses *auto-tuning* yang terintegrasi. Selain untuk membantu *heater* mencapai kondisi stabil, komponen ini juga digunakan untuk mengatur kerja dari heater agar tidak *over 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

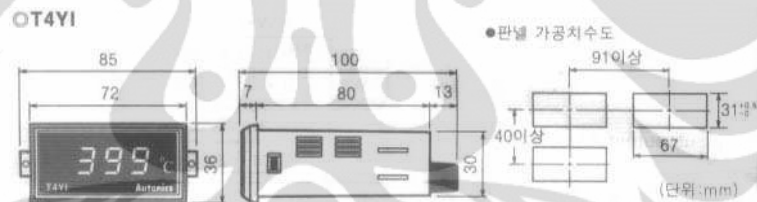
sehingga penyesuaian akan dilakukan secara perlahan. Oleh karena itu, prosesnya akan membutuhkan waktu yang lebih lama karena harus menyesuaikan dengan suhu yang diinginkan. Berikut ini skema pengaturan dengan mode *auto tuning*.



Gambar III.5 Skema *Auto Tuning*

3.1.5 *Temperature Display*

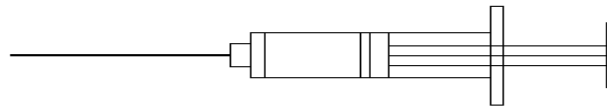
Komponen ini akan dihubungkan dengan *Wire probe thermocouple*, sehingga temperatur tetesan pada setiap aliran panas yang melaluinya dapat terukur. Untuk komponen ini akan menggunakan merk Autonics T4YI 220 VAC. *Display* ini hanya menampilkan pembacaan suhu dari *wire probe thermocouple*, tidak bisa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

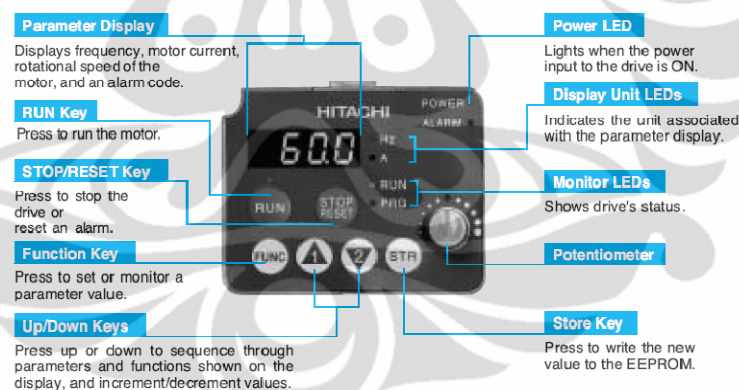


Gambar III.7 Alat Suntik

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 Tabung Dehumidifier

Tabung Dehumidifier berfungsi sebagai tempat pengkondensasian uap yang terbentuk selama proses ekspansi berlangsung. Sebuah evaporator AC

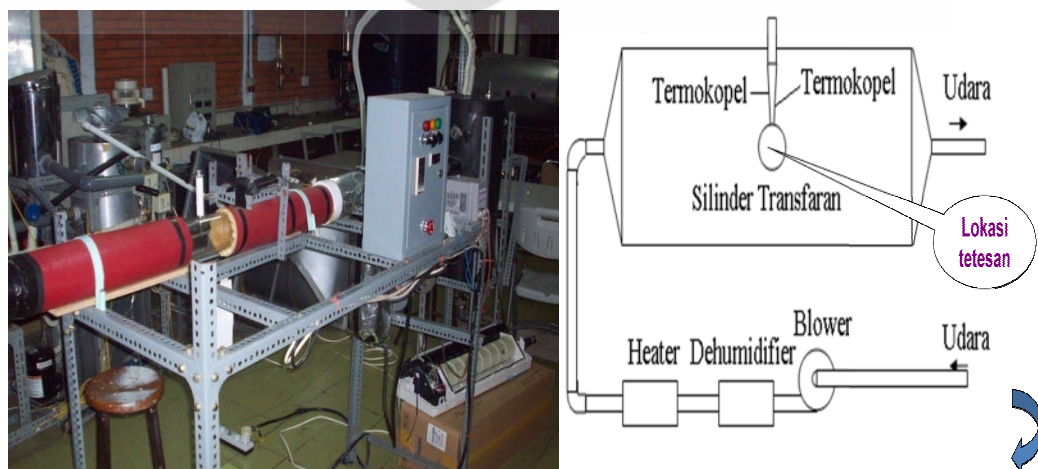
dimasukkan pada tabung kedua dengan diberikan dukungan agar tidak bergerak sekaligus mengarahkan uap yang mengalir agar hanya melalui evaporator itu saja. Lubang masuk yang dihubungkan dengan pompa vakum sengaja diletakan dibagian bawah evaporator dengan alasan agar fluida uap tidak terhisap keluar tabung, selain itu juga menjadi catatan disini bahwa diharapkan tekanan pada tabung kedua menjadi sedikit lebih rendah dari tabung pertama agar uap pada tabung pertama dapat mengalir ke tabung kedua.



Gambar III.9 Tabung Dehumidifier

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 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, 100°C dan 150°C.

3.2.2 Pengambilan Data

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 : 50, 75, 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.13 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 6 untuk variasi frekuensi 5 Hz, 10 Hz dan 20 Hz.
7. Mengulangi langkah nomor 2 sampai dengan 7 untuk variasi temperatur 50, 75, 100 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.

3.3 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, disini kita menghitung secara manual untuk mengetahui jarak (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. Hitung debit aliran (Q) di saluran keluar *dehumidifier* untuk tiap-tiap titik yang ada.

$$Q = V \cdot A$$
 Lalu didapat Q total di *dehumidifier*.
2. Untuk menghitung Q pada *pyrex* digunakan rumus :

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

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

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

3.3.3 Pengolahan data kecepatan

Kecepatan yang dilakukan pada pengujian berkisar pada frekuensi 5, 10, 20 Hz. Frekuensi ini merupakan frekuensi listrik yang masuk ke *blower* dari tegangan listrik PLN. Agar memperoleh data kecepatan dalam satuan meter per detik, maka dilakukan pengujian kecepatan dengan cara mengalirkan asap pada *test section*. Prinsip kerjanya adalah menggunakan baterai sebagai sumber listrik untuk memanaskan kawat tembaga dililitkan dengan kabel yang terhubung dengan rangkaian baterai. Baterai disusun secara paralel dengan jumlah baterai sebanyak 10 buah. Tegangan masing-masing baterai adalah 1,5 volt karena disusun paralel tegangan totalnya 1,5 volt tetap tetapi jumlah arusnya merupakan arus total seluruh baterai. Oli digunakan sebagai media untuk menimbulkan asap pada *test section* dengan memanaskannya memanfaatkan energi listrik yang mengalir pada kawat tembaga. Dengan menggunakan *high speed camera*, rekam perpindahan asap yang terjadi pada *test section*. Penyusunan rangkaian dengan 10 buah baterai secara paralel karena pengujian dilakukan dalam waktu yang lama sehingga ditujukan untuk mengurangi efek polarisasi pada baterai yang dapat memutuskan aliran listrik. Untuk memperoleh besarnya kecepatan aliran yang mengalir dalam *test section*, maka dilakukan langkah-langkah pengujian sebagai berikut :

1. Menyusun baterai dalam rangkaian paralel lalu meletakkan pada dudukan baterai yang terbuat dari kayu. Rangkaian ini dihubungkan dengan kabel yang dililitkan pada kawat tembaga. Dimana satu bagian dari kabel yang terhubung ke kawat tembaga difungsikan sebagai saklar.
2. Mengatur posisi *high speed camera* yang ditempatkan pada tripod dan ditempatkan didepan *test section*. Pengaturan pencahayaan pada *test section* bertujuan agar mendapatkan gambar dapat terlihat dalam pixel yang lebih besar. Kemudian mengatur kapasitas pengambilan gambar sebesar 1000 *frame* per detik pada *software* yang dioperasikan dengan laptop yang terhubung dengan *high speed camera*.

3. Frekuensi awal pengujian dilakukan pada aliran 5 Hz. Masukkan input frekuensi ini dengan mengatur frekuensi pada inverter sebesar 5 Hz.
4. Masukkan temperatur 50 °C sebagai input pada *digital controller*.
5. Kawat tembaga dicelupkan kedalam oli lalu diletakkan pada *test section*. Hubungkan kabel yang berfungsi sebagai saklar agar aliran listrik dapat mengalir dari kutub negatif baterai melalui kawat tembaga.
6. Setelah listrik dialirkan pada kawat tembaga, rekam perpindahan asap yang dihasilkan dari oli dengan menggunakan *high speed camera*.
7. Data yang dihasilkan dalam format video yang kemudian di konversi dalam bentuk foto atau *file bitmap*.
8. Mengulangi langkah pada nomor 3 hingga nomor 7 dengan memasukkan variasi temperatur pada 50 dan 75°C.
9. Mengulangi langkah pada nomor 3 hingga nomor 7 dengan memasukkan frekuensi aliran 10 Hz pada temperatur 50 dan 75 °C.
10. Mengulangi langkah pada nomor 3 hingga nomor 7 dengan memasukkan frekuensi aliran 20 Hz pada temperatur 50 dan 75°C.

3.3.4 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 = 50 °C Frekuensi *inverter* = 5 Hz
3. T_{udara} pada termokopel = 50 °C , $T_{\text{droplet}} = 19$ °C
4. Dari hasil pengukuran diperoleh dimensi droplet :
 - o Gambar 1 :

Lebar = 242 pixel	Tinggi = 267 pixel
-------------------	--------------------

$$d \text{ rata-rata} = (242+267)/2 = 254,5 \text{ pixel}$$

o Gambar 2 :

$$\text{Lebar} = 231 \text{ pixel} \quad \text{Tinggi} = 242 \text{ pixel}$$

$$d \text{ rata-rata} = (231+242)/2 = 236,5 \text{ pixel}$$

Selanjutnya bisa dilakukan langkah-langkah analisa perhitungan sebagai berikut :

1. Menghitung d (diameter rata-rata tetesan)

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

$$d = \frac{254,5 + 236,5}{2}$$

$$d = 244,5 \text{ pixel} = 2,445 \times 10^{-3} \text{ m}$$

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

$$\frac{dd}{dt} = \frac{6.25 + 2.75}{2}$$

$$\frac{dd}{dt} = 4.5$$

3. Menghitung laju difusi molal (N)

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

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

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

$$\frac{dr}{dt} = \frac{1E - 05}{2}$$

$$\frac{dr}{dt} = 0,5E - 05$$

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

$$N = \frac{\rho_{air} 3,7 \times 10^{-6}}{114}$$

$$N = \frac{730 \times 4,5 \times 10^{-6}}{142}$$

$$N = 0,000115 \text{ Kmole/ s.m}^2$$

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

Tekanan uap (P_v) pada temperatur droplet 19°C adalah :

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

Dimana ω adalah aceentric faktor yang diperoleh dari :

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

$$\omega = \frac{-0,9924}{-2,0205} = 0,484$$

Dimana α dan β diperoleh dari :

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

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

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

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

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

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

$$\alpha = -0,8625$$

$$\beta = -2,369$$

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

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

$$T_r = \frac{24 + 273}{561,7} = 0,528$$

$$f^{(0)} = 5,92714 - \frac{6,09648}{0,528} - 1,28862 \ln 0,528 + 0,16934 \times 0,528^6$$

$$f^{(0)} = -6,00203$$

$$f^{(1)} =$$

$$15,2518 - \frac{15,6875}{0,528} - 13,4721 \ln 0,528 + 0,43577 \times 0,528^6$$

$$f^{(1)} = -7,834$$

Jadi P_{vp} adalah :

$$\ln P_{vp} = -4,77464 + 0,363 x - 5,82269$$

$$P_{vp} = EXP - 6,858 = 0,005573 \text{ bar} = 557,3 \text{ pascal}$$

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

5. Menghitung konsentrasi total udara (C)

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

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

$$t_f = 273 \left(\frac{19 + 50}{2} \right)$$

$$t_f = 307,5 \text{ k}$$

C diperoleh dari :

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

$$C = \frac{101325}{8314,5/29 \times 307,5}$$

$$C = 1,149$$

6. Menghitung fluks perpindahan massa (Rx)

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

$$Rx = \frac{0,00078 - 0}{1 - 0,00078}$$

$$Rx = 0,000781$$

7. Menghitung koefisien perpindahan massa (k_c)

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

$$k_c = \frac{0,000115(1 - 0,00078)}{1,149(0,00078 - 0)}$$

$$k_c = 3,735 \text{ kmole/s.m}^2$$

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

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

$$\theta_{x_{stF}} = \frac{\ln(1 + 0,00078)}{0,00078}$$

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

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

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

$$k_{clstF} = \frac{3,375}{0,9996}$$

$$k_{clstF} = 3,377$$

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

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

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

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

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

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

$$Sh_{stF} = \frac{3,737 \times 0,002455}{6,4E^{-06}} = 1432,581$$

12. Menentukan parameter perpindahan massa (C_1)

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

$$C_1 = -0,0011 \times (50 - 19) - 1,0082 \times (0 - 0,00078)$$

$$C_1 = -0,03331$$

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

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

$$\theta_{Mod} = \frac{\ln(1 + 0,000781) - (-0,03331)}{0,000781}$$

$$\theta_{Mod} = 43,6376$$

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

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

$$k_{cLMod} = \frac{3,735}{43,6376}$$

$$k_{cLMod} = 0,0856$$

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

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

$$Sh_{Mod} = \frac{0,0856 \times 0,002455}{6,4E^{-06}}$$

$$Sh_{Mod} = 32,816$$

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*.

$$U_{\max} = 0,33 \text{ m/s dan } \nu = 1,3E^{-05} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$Re = \frac{0,33 \times 0,002455}{1,6E - 05}$$

$$Re = 48,6873$$

17. Menghitung bilangan Schmidt

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

$$Sc = \frac{1,67E^{-05}}{6,4E^{-06}}$$

$$Sc = 2,56$$

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

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

$$Sh = 7,25$$

Langkah-langkah Mencari Perpindahan Panas

19. Menghitung nilai konduktivitas campuran (K) dengan $T_f = 307,5$ 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

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

$$\frac{Q_{\text{radiasi}}}{A} = 0,96 \times 0,5669E^{-07} \times ((273 + 50)^4 - (273 + 19)^4)$$

$$\frac{Q_{\text{radiasi}}}{A} = 196,73$$

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

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

$$\frac{q_0}{A} = -1,95E^{-05} \times 45767844 + 154,9756 + 196,73$$

$$\frac{q_0}{A} = -4942,21$$

22. Menghitung koefisien perpindahan panas h

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

$$h = \frac{-4942,21}{-31}$$

$$h = 159,42$$

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

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

$$h_l = \frac{(2 \times 0,55 \times 6,23)}{0,002455} \times 0,0268$$

$$h_l = 58,9285$$

24. Menghitung panas jenis molal udara C_{pA}

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

$$C_{pa} = 1007,3852 \times 28,9$$

$$C_{pa} = 29113,432$$

25. Menghitung factor kecepatan perpindahan panas (Φ)

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

$$\varphi = \frac{-1,9E^{-05} \times 29113,432}{58,9285}$$

$$\varphi = -0,01236$$

26. Menghitung fluks perpindahan panas (R_T)

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

$$RT = e^{-0,01236} - 1$$

$$RT = -0,01255$$

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

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

$$\theta_{T_StF} = \frac{\ln(1+(-0,01255))}{-0,01255}$$

$$\theta_{T_StF} = 1,006327$$

28. Menghitung parameter perpindahan panas (C_2)

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

$$C_2 = 0,4633E^{-09} \times (50 - 19) + 0,16E^{-06} \times (-0,000781)$$

$$C_2 = -1,4E^{-08}$$

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

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

$$\theta_{T_{Mod}} = \frac{\ln(1 \pm 0,01255)}{-0,01255} + \frac{29113,432}{0,0268 \times -0,01255} \times -1,4E^{-08}$$

$$\theta_{T_{Mod}} = 2,266$$

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

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

$$h_{L_{Stf}} = \frac{159,42}{1,006327}$$

$$h_{L_{Stf}} = 158,4237 \text{ watt}/m^2K$$

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

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

$$h_{l_{mod}} = \frac{159,42}{2,266}$$

$$h_{l_{mod}} = 70,331 \text{ watt}/m^2K$$

32. Menghitung bilangan Prandtl (Pr)

Dengan $T_f = 307,5 \text{ K}$ dapat dicari nilai Pr dari table sifat-sifat udara tekanan atmosfer pada lampiran

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

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

$$Pr = 0,71$$

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

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

$$Nu = 2 + (0,55 \times 6,228)$$

$$Nu = 5,425$$

34. Menghitung bilangan Nusselt model analogi film stagnan

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

$$Nu_{stf} = \frac{158,4237 \times 0,002255}{0,0268}$$

$$Nu_{stf} = 14,5859$$

35. Menghitung bilangan Nusselt model pendekatan baru

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

$$Nu_{mod} = \frac{70,331 \times 0,002255}{0,0268}$$

$$Nu_{mod} = 6,475$$

BAB IV ANALISA DAN HASIL

4.1 ANALISA PERBANDINGAN NILAI SHERWOOD PADA BIO PERTAMAX

Dari data yang di dapat setelah melakukan penelitian dan percobaan . Akan di hasil kan sebuah data yang dapat kita tampilkan dalam bentuk grafik. Dari contoh perhitungan yang di dapat semua di masukan bentuk table dan bentuk grafik .Dari hasil yang di dapat dan telah di tampilkan dalam bentuk table dapat di lihat dan di analisa Disini menampilkan perhitungan dalam bentuk sherwood . Menggunakan hasil perhitungan tersebut maka akan diperoleh nilai 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.

Dari grafik diatas dapat dilihat nilai Sherwood E. A. Kosasih dan Film stagnan berada diatas penyebaran nilai Sherwood yang menggunakan Ranz-Marshall. Akan tetapi nilai Sherwood yang didapat dengan analogi E. A. Kosasih lebih dekat dengan acuan analogi Ranz Marshall. Hal ini dikarenakan karena pada model analogi film stagnan menggunakan nilai kc_{LStF} yang nilainya cenderung besar jika dibandingkan dengan nilai kc_{LMod} yang lebih kecil. Perbedaan ini memberikan perbedaan nilai yang signifikan pada nilai sherwood, seperti yang terlihat pada tabel berikut :

4.1 table kc_{LStF} dan kc_{LMod}

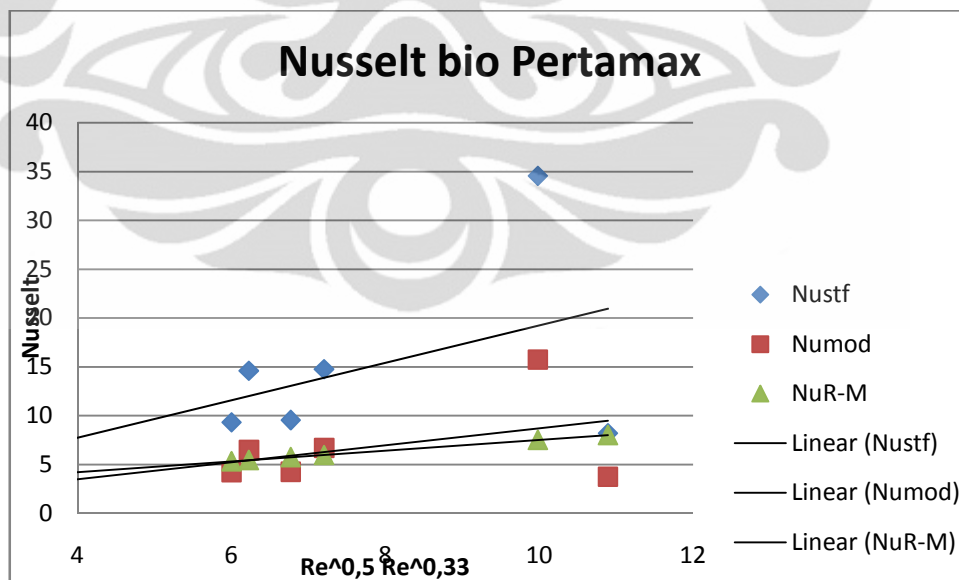
kc_{LStF}	kc_{LMod}
3.737106	0.085606
2.46967	0.068858
1.890476	0.058206
0.915164	0.067498
0.89986	0.117318
1.564248	0.292249

Perbedaan nilai yang signifikan pada nilai kcl_{StF} dan nilai kcl_{Mod} 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 E. A. Kosasih lebih mendekati nilai model analogi Ranz-Marshall. Akan tetapi model analogi Ranz-Marshall tidak dapat digunakan karena memiliki syarat bilangan Lewis 1. Pada premium dan pertamax bilangan Lewis yang didapat adalah 3-4, 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.

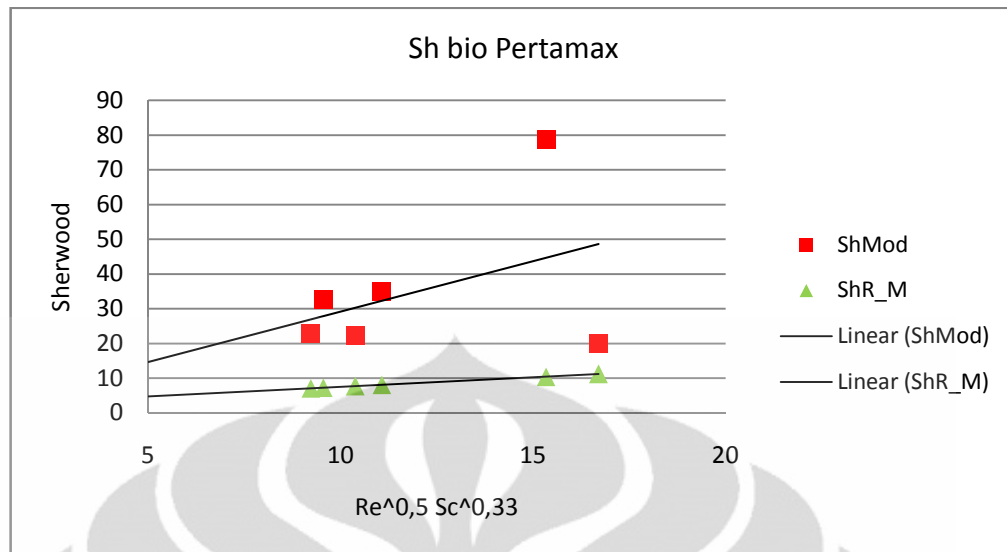
Nilai sherwood yang dimiliki premium dan pertamax tidak berbeda secara signifikan, berarti laju perpindahan massa yang dimiliki keduanya hampir sama. Itu didukung oleh kesamaan sifat dari kedua bahan bakar tersebut.

4.2 ANALISA PERBANDINGAN NILAI NUSSELT dan SHERWOOD PADA BIO PERTAMAX

Untuk Bilangan Nusselt diperoleh grafik sebagai berikut :



Gambar 4.1 Bilangan Nusselt Pada Bio pertamax



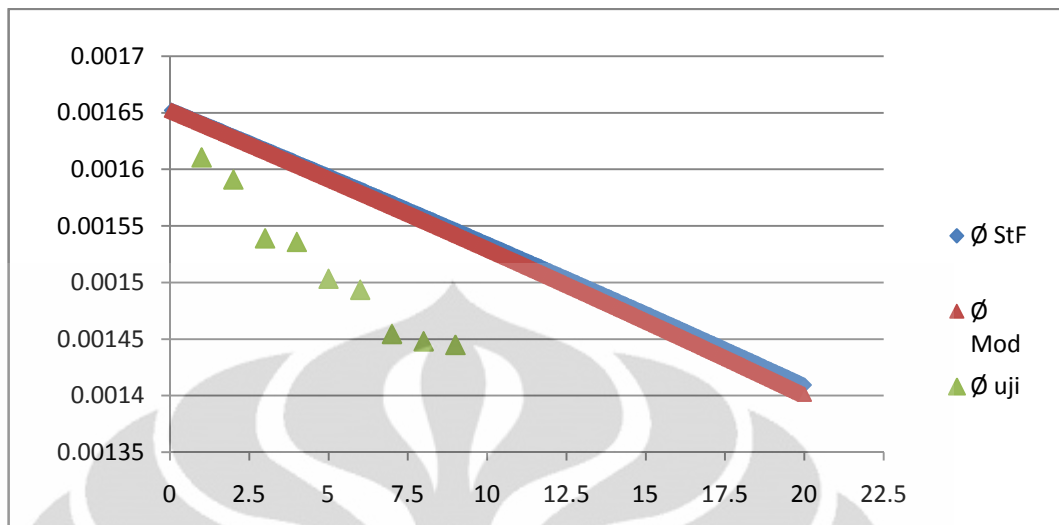
Gambar 4.2 Bilangan Sherwood pada Bio Pertamax

Pada grafik diatas saya menampilkan perbandingan Nusselt dan sherwood. Disini bisa kita lihat perbedaan dari kedua hitungan tidak jauh berbeda dimana mereka mempunyai kemiripan. Perbedaan pun tidak berbeda jauh 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.

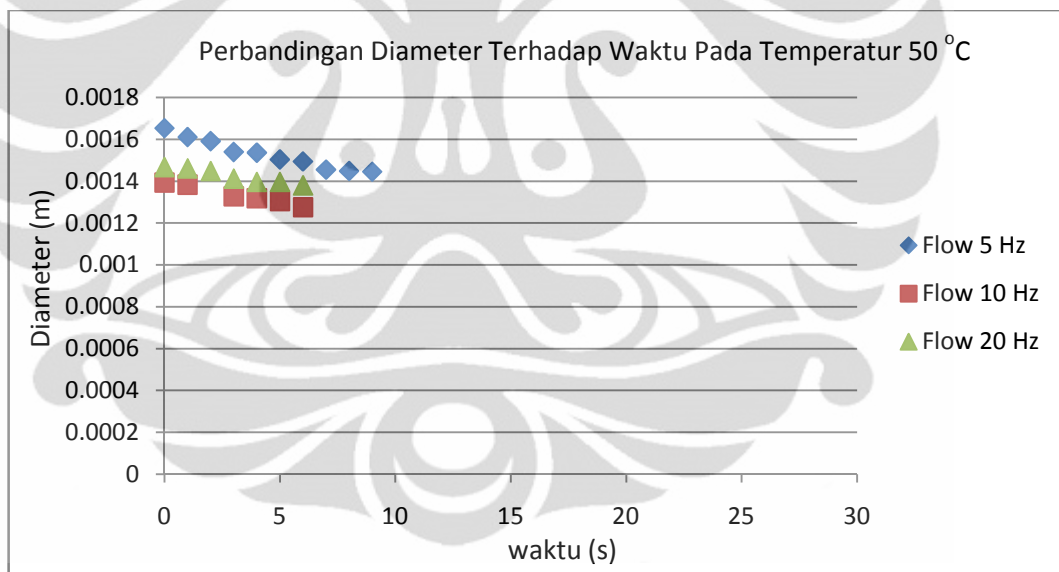
Jika memperhatikan nilai Nusselt model E. A. Kosasih dan film stagnan pada bio pertamax maka dapat kita lihat bahwa model E. A. Kosasih lebih memiliki tren yang lebih baik pendekatannya. Dikarenakan model E. A. Kosasih memiliki nilai R^2 lebih baik dibandingkan model film stagnan. model E. A. Kosasih 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.

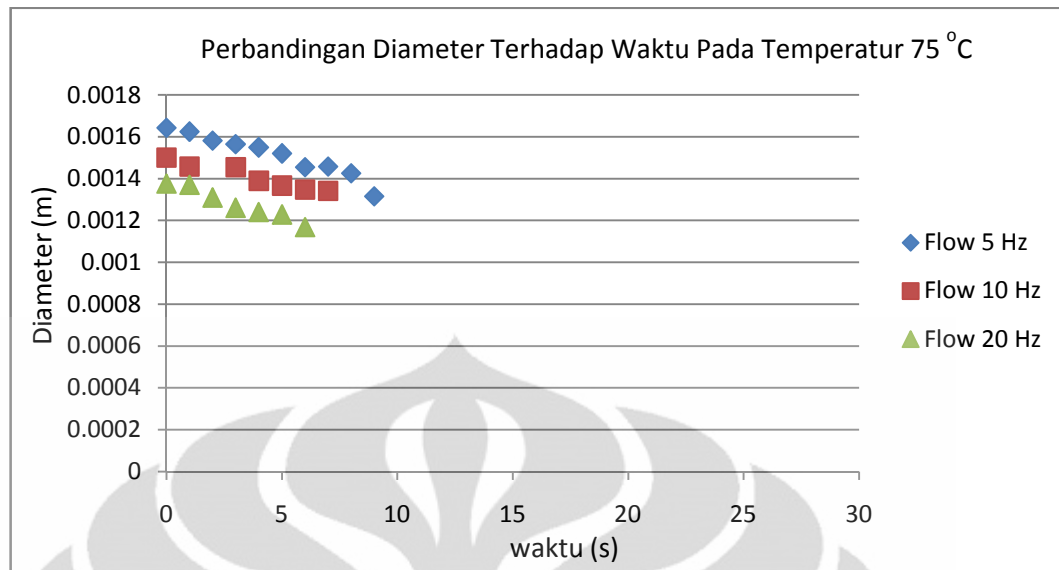
4.3 SIMULASI PERBANDINGAN DENGAN PENGUAPAN DIAMETER

Data yang di dapatkan dari pengujian ini membandingkan penguapan hasil uji dengan penguapan diameter dari stagnan film dan modul baru menunjukan bahwa perbedaan masih terlihat dari yang di uji dan yang di hitung dengan perhitungan yang sudah baku. Semua yang gambar di masukan pada table dan di aplikasikan pada grafik.



Gambar 4.3 grafik simulasi diameter pada suhu 50°C





Gambar 3.4 grafik perbandingan diameter terhadap waktu

Jika kita melihat dari grafik yang ada di atas maka kita bisa mengetahui bahwa pada temperatur 50 °C yang mana penurunan diameter di setiap foto perbedaan kecepatan pada flow 10 dan 20 Hz lebih jelas terlihat. Bahwa semakin tinggi dari flow maka makin cepat pengecilan dari dimeternya pada urutan waktu yang sama. Pada grafik temperatur 75°C pun dapat di lihat bahwa flow 20 lebih dominan dalam penurunan diameter.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

1. Model E. A. Kosasih (E. A. Kosasih, 2006) 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 E. A. Kosasih lebih dekat dengan analogi Ranz-Marshall dibandingkan dengan model film stagnan.
4. Nilai bilangan Nusselt pada model E. A. Kosasih lebih dekat dengan analogi Ranz-Marshall dibandingkan dengan model film stagnan pada kedua bahan.
5. Perbedaan pada tekanan uap dan difusitas bahan berpengaruh terhadap laju penguapan.
6. Hasil uji untuk simulasi diameter masih di bawah harapan karena di pengaruhi oleh beberapa faktor.

5.2 SARAN

1. Proses pengambilan foto lebih baik menggunakan kamera dengan pixel yang lebih teliti.
2. Di butuh kan alat yang mana mampu lebih presisi dalam perhitungan waktu dan temperatur.
3. Penetasan bahan bakar sulit di lakukan karena harus menggantung pada thermocouple yang tidak mampu menahan pada flow yang tinggi.
4. Pemasangan kamera harus di perhatikan karena bergeser sedikit maka akan timbul kan perbedaan yang signifikan

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] Holman , J.P., *Perpindahan Kalor*, terj.E.Jasjfi (Jakarta: Erlangga, 1991).
- [4] Incropera, Frank P., David P. De Witt, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, (New York: John Wiley & Sons, 1996).
- [5] 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
- [6] Reynolds, William C., Henry Perkins, *Termodinamika Teknik*, terj.Filino Harahap (Jakarta: Erlangga, 1991).
- [7] Robert, C., Reid, Jhon, M., Prausnitz, Bruce, E., Poling, *The Properties of GASES & LIQUIDS*, (New York: Robert, C., Reid & Virginia Sherwood, 1986)
- [8] Yosuo Moriyoshi, Yosuo Imai. (2005). Quasi 2-D Measurements of Gaseous and Liquid Fuel Concentrations Using Two-Color Laser Beam Scanning Technique. Japan.

- [9] 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 EMISIVITAS PERMUKAAN

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

LAMPIRAN 3

TABEL DIFFUSIVITAS ATOM

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

LAMPIRAN 4

TABEL PROPERTIES

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

*The unit kJ/kg · K is equivalent to kPa · m³/kg · K. The gas constant is calculated from $R = R_u/M$, where $R_u = 8.314$ kJ/kmol · K and M is the molar mass.

Source: K. A. Kobe and R. E. Lynn, Jr., *Chemical Review* 52 (1953), pp. 117–236; and ASHRAE, *Handbook of Fundamentals* (Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., 1993), pp. 16.4 and 36.1.

LAMPIRAN 5

TABEL PROPERTIES

No	Formula	Name	MolWt	Tfp K	Tb K	Tc K	Pc bar	γ_c 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-dimethylbenzene	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-decalene	138,254		442.	615.					
560	C10H19N	caprylonitrile	153,269	255.3	516.	622.0	32.5				
561	C10H20	butylcyclohexane	140,260	198.4	454.1	667.	31.5			0.362	
562	C10H20	isobutylcyclohexane	140,270		444.5	659.	31.2			0.319	
563	C10H20	sec-butylcyclohexane	140,270		452.5	669.	26.7			0.264	
564	C10H20	tert-butylcyclohexane	140,270	232.0	444.7	659.	26.6			0.252	0.0
565	C10H20	1-decene	140,270	206.9	443.7	615.	22.0	650.	0.28	0.491	
566	C10H20O	menthol	156,269	316.	489.5	694.					
567	C10H22	n-decane	142,286	243.5	447.3	617.7	21.2	603.	0.249	0.489	0.0
568	C10H22	3,3,5-trimethylheptane	142,286		428.9	609.7	23.2			0.382	
569	C10H22	2,2,3,3-tetramethylhexane	142,286		433.5	623.2	25.1			0.364	
570	C10H22	2,2,5,5-tetramethylhexane	142,286		410.6	581.6	21.9			0.375	
571	C10H22O	1-decanol	158,285	280.1	506.1	687.	22.2	600.	0.230		1.8
572	C11H10	1-methylnaphthalene	142,201	242.7	517.9	772.	36.	462.	0.234	0.310	0.5
573	C11H10	2-methylnaphthalene	142,201	307.7	514.3	761.	35.	462.	0.26	0.382	0.4
574	C11H14O2	butyl benzoate	178,232	251.	523.	723.	26.	561.	0.25	0.58	
575	C11H16	pentamethylbenzene	148,249	327.5	504.6	719.					

LAMPIRAN 6

DATA PENGUJIAN

Data Droplet Pertamax

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

LAMPIRAN 7

DATA HASIL PERHITUNGAN

Hasil Perhitungan Pertamax

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

