

**PENGUKURAN VISKOSITAS MINYAK GORENG PADA BERBAGAI  
VARIASI SUHU DENGAN MENGGUNAKAN SENSOR FIBER OPTIK**

**SKRIPSI**

Diajukan kepada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Negeri Yogyakarta

Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan Guna Memperoleh Gelar Sarjana Sains



Disusun oleh:

DINA RISANTIANA ROSALINA

13306141058

**PROGRAM STUDI FISIKA**

**JURUSAN PENDIDIKAN FISIKA**

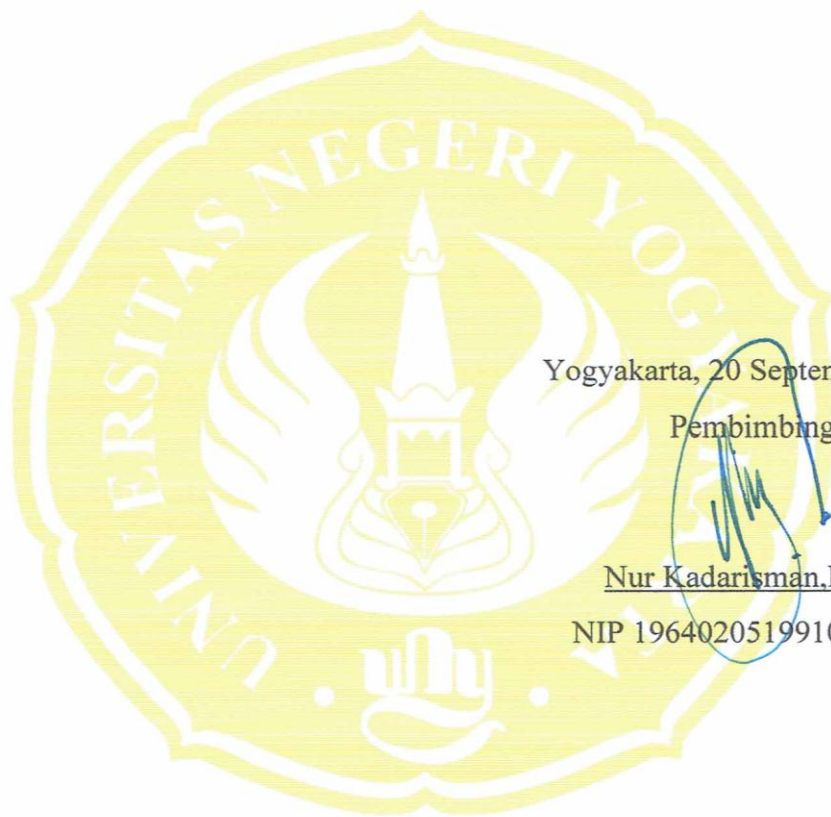
**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**

**UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA**

**2017**

## HALAMAN PERSETUJUAN

**Skripsi yang berjudul** “PENGUKURAN VISKOSITAS MINYAK GORENG PADA BERBAGAI VARIASI SUHU DENGAN MENGGUNAKAN SENSOR FIBER OPTIK” yang disusun oleh Dina Risantiana Rosalina dengan NIM 13306141058 telah disetujui oleh pembimbing untuk diujikan.



Yogyakarta, 20 September 2017

Pembimbing

Nur Kadarisman, M.Si

NIP 196402051991011001

## SURAT PERNYATAAN


Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Dina Risatiana Rosalina  
NIM : 13306141058  
Jurusan : Pendidikan Fisika  
Program Studi : Fisika  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Judul Skripsi : Pengukuran Viskositas Minyak Goreng pada berbagai Variasi Suhu dengan menggunakan Sensor Fiber Optik

Menyatakan bahwa karya ilmiah ini adalah hasil karya sendiri dan tidak berisi materi yang telah dipublikasikan atau hasil karya orang lain, kecuali pada bagian-bagian tertentu saya ambil sebagai tinjauan pustaka dan kutipan dengan mengikuti tata cara penulisan karya ilmiah yang telah lazim. Apabila terbukti pernyataan ini tidak benar, sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya.

Yogyakarta, 20 September 2017

Yang menyatakan,

  
Dina Risantiana Rosalina  
NIM 13306141058

## PENGESAHAN

Tugas Akhir Skripsi

### PENGUKURAN VISKOSITAS MINYAK GORENG PADA BERBAGAI VARIASI SUHU DENGAN MENGGUNAKAN SENSOR FIBER OPTIK

Disusun oleh:

Dina Risantiana Rosalina

NIM 13306141058

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji Tugas Akhir Skripsi Program Studi  
Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri  
Yogyakarta

Pada tanggal 9 Oktober 2017

#### TIM PENGUJI

Nama

Tanda Tangan

Tanggal

**Nur Kadarisman, M.Si**

Ketua Penguji

.....

23-10-2017

.....

**Dr. Warsono, M.Si**

Penguji Utama

.....

19-10-2017

.....

**Rita Prasetyowati, M.Si**

Penguji Pendamping

.....

20-10-2017

.....

Yogyakarta, 24-10-2017

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Negeri Yogyakarta

Dekan,



**Dr. Hartono, M.Si**

NIP. 19620329 198702 1 002

## **MOTTO**

*“Just walk with your own shoes”*

*“There is no expiration date to start, so why don't we?”*

## **PERSEMBAHAN**

*Untuk yang tercinta,*

*Almh. Hartini Nugraheni, S.Sos*

*Keluargaku,*

*Ayahanda Waheludin dan Ibunda Agustinar*

*Ayu Pramita, Dini Risantiani Anggraeni, dan Febby Firgian Razak*

*M.Ahsya Pratama Bachdie, that never let me walk alone*

*Keluarga Jogjaku,*

*Mb Asa, Nur Evi, Muiz Yoga, dan Metty*

# **PENGUKURAN VISKOSITAS MINYAK GORENG PADA BERBAGAI VARIASI SUHU DENGAN MENGGUNAKAN SENSOR FIBER OPTIK**

**Oleh**

**Dina Risantiana Rosalina**

**13306141058**

## **ABSTRAK**

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh suhu terhadap viskositas minyak goreng, pengaruh suhu terhadap intensitas keluaran fiber optik, dan mengetahui konversi skala intensitas menjadi skala viskositas.

Pada penelitian ini digunakan dua alat utama, yaitu Viskometer Redwood dan Fiber Optik Plastik (FOP) tipe SH-4001-1.3. Pengukuran viskositas minyak goreng menggunakan Viskometer Redwood dilakukan dengan variabel bebas yaitu suhu sebesar 27°C, 35°C, 40°C, 50°C, 60°C, 70°C, dan 80°C. Hasil pengukuran berupa waktu tetes redwood. Dengan menggunakan persamaan viskositas, nilai viskositas minyak goreng dapat ditentukan. Hasil viskositas minyak goreng ini kemudian di plotkan kedalam grafik sehingga diketahui hubungan antara suhu dengan viskositas. Pengukuran intensitas keluaran fiber optik dilakukan dengan mengupas jaket fiber optik yang dimasukkan ke dalam medium minyak goreng. Cahaya yang bersumber dari laser HeNe melewati fiber optik tersebut dan mengenai detektor OPM. Intensitas dalam dBm diukur setiap suhunya, kemudian diplotkan ke dalam grafik sehingga diketahui hubungan antara suhu minyak goreng dengan intensitas keluaran fiber optik. Grafik viskositas dan intensitas di transformasi menggunakan transformasi ln dan dicari persamaan konversi skala intensitas menjadi skala viskositas.

Diperoleh hasil bahwa pengaruh kenaikan suhu terhadap viskositas minyak goreng yaitu eksponensial negatif, sedangkan pengaruh kenaikan suhu terhadap intensitas keluaran fiber optik yaitu eksponensial positif. Hasil dari transformasi grafik diperoleh persamaan konversi  $\mu = 0.61 I + 6.98$

Kata kunci: minyak goreng, viskositas, Viskometer Redwood, Fiber Optik Plastik (FOP), konversi

# **THE MEASUREMENT OF VISCOSITY OF PALM OIL WITH TEMPERATURES VARIATION USING FIBER OPTIC SENSOR**

**By**

**Dina Risantiana Rosalina**

**13306141058**

## **ABSTRACT**

This research aims to determine the relation between temperature and viscosity of palm oil, relation between temperature and intensity of polymer optical fiber (POF) through palm oil, and scale conversion of intensity to viscosity.

Redwood Viscometer and Polymer Optical Fiber SH-4001-1.3 series are the main instruments of this research. The measurement of viscosity of palm oil using Redwood Viscometer has temperatures (27°C, 35°C, 40°C, 50°C, 60°C, 70°C, and 78°C) as independent variable. The dependent variable is Redwood second. By using an equation the viscosity of palm oil can be determined. The temperature and the viscosity of palm oil are plotted in a graph so the relation of them can be determined. The measurement of intensity of POF is done by open its cover and put it though the palm oil. A beam from HeNe laser through the fiber optic and detected by OPM. The intensity is measured at each temperature, and then plotted in a graph so the relation between temperature and intensity can be determined. The graph of viscosity and intensity are transformed using  $\ln$  transformation and the equation of conversion intensity to viscosity can be determined.

The results show when the temperature increase, the viscosity of palm oil is decrease exponentially while the output intensity of POF increase exponentially. The results are transformed into logarithmic transformation and then intensity converted to viscosity with the equation  $\mu = 0.61 I + 6.98$ .

Key words: palm oil, viscosity, Redwood Viscometer, Polymer Optical Fiber (POF)



## **KATA PENGANTAR**

Segala puji bagi Allah SWT atas segala hidayah dan rahmat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “PENGUKURAN VISKOSITAS MINYAK GORENG PADA BERBAGAI VARIASI SUHU DENGAN MENGGUNAKAN SENSOR FIBER OPTIK”. Skripsi ini diajukan sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar sarjana jenjang strata satu (S-1) Jurusan Pendidikan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Yogyakarta.

Penyusunan skripsi ini tak luput dari bantuan dan dukungan berbagai pihak sehingga dapat terselesaikan dengan lancar. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Yogyakarta beserta seluruh staff, atas naungan serta fasilitas yang diberikan untuk mendukung kegiatan penulis sampai akhir.
2. Ketua Jurusan Pendidikan Fisika dan Ketua Program Studi Universitas Negeri Yogyakarta, atas bimbingannya.
3. Bapak Nur Kadarisman, M.Si. selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan arahan, bimbingan dan kesabarannya dari awal hingga akhir penyusunan skripsi ini.
4. Bapak Suparno, Ph.D. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan arahan, bimbingan dan kesabarannya dari awal hingga akhir masa studi penulis.



5. Mas Haris dan Mas Asrul selaku laboran Lab Fisika UNY atas fasilitas yang diberikan selama pengambilan data penelitian

Penulis menyadari masih banyaknya kekurangan penulis menyelesaikan penelitian dalam penyusunan skripsi ini. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan. Akhirnya semoga skripsi ini dapat bermanfaat dan menjadi sumbangan berharga bagi masyarakat dan pihak-pihak yang bersangkutan dengan skripsi ini.

Yogyakarta, 29 Mei 2017

Penulis,

Dina Risantiana Rosalina

NIM. 13306141058

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PERSETUJUAN .....	ii
SURAT PERNYATAAN .....	iii
HALAMAN PENGESAHAN .....	iv
MOTTO .....	v
PERSEMBAHAN .....	v
ABSTRAK .....	vi
KATA PENGANTAR .....	viii
DAFTAR ISI .....	x
DAFTAR TABEL .....	xii
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xv
<b>BAB I. PENDAHULUAN</b> .....	1
A. Latar Belakang Masalah .....	1
B. Identifikasi Masalah .....	3
C. Batasan Masalah .....	4
D. Rumusan Masalah .....	4
E. Tujuan Penelitian .....	4
F. Manfaat Penelitian .....	4
<b>BAB II. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
A. Deskripsi Teori .....	5
1. Minyak Goreng .....	5
a. Minyak dan lemak .....	5
b. Minyak kelapa sawit .....	6
2. Viskositas .....	7
a. Viskositas dinamis .....	7
b. Viskositas kinematik .....	9
c. Hubungan viskositas dengan suhu .....	10
d. Viskometer Redwood .....	10
3. Fiber Optik .....	14
a. Fiber Optik Plastik .....	16
b. Propagasi cahaya pada fiber optik .....	17
c. Pemantulan internal sempurna .....	19
d. Pengetesan fiber optik .....	20
e. Hubungan suhu terhadap intensitas fiber optik .....	21
4. Kurva Eksponensial .....	22
B. Kerangka Berpikir .....	23
<b>BAB III. METODE PENELITIAN</b> .....	25
A. Waktu dan Tempat Penelitian .....	25
B. Variabel Penelitian .....	25
C. Instrument Penelitian .....	25
D. Desain Penelitian .....	26
E. Teknik Pengambilan Data .....	27
F. Diagram Alir .....	29

<b>BAB IV. PEMBAHASAN</b> .....	30
A. Hasil dan Analisis Data .....	30
1. Menentukan Pengaruh Suhu terhadap Viskositas Dinamis Minyak Goreng menggunakan Viskometer Redwood .....	30
2. Menentukan Pengaruh Suhu terhadap Intensitas Keluaran Fiber Optik pada Medium Minyak Goreng .....	32
3. Transformasi Data Viskositas dan Intensitas .....	34
B. Pembahasan .....	36
1. Pengaruh Suhu terhadap Viskositas Minyak Goreng .....	36
2. Pengaruh Suhu terhadap Intensitas Keluaran Fiber Optik .....	39
3. Konversi Skala Intensitas dengan Viskositas .....	41
<b>BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	43
A. Kesimpulan .....	43
B. Saran .....	43
DAFTAR PUSTAKA.....	44
LAMPIRAN.....	46

## DAFTAR TABEL

Tabel 1.	Kandungan asam lemak dalam minyak kelapa sawit .....	6
Tabel 2.	Diameter standar untuk <i>core</i> , <i>cladding</i> , dan jaket fiber optik ....	16
Tabel 3.	Nilai viskositas minyak goreng hasil perhitungan dan analisis grafik .....	38
Tabel 4.	Konversi nilai intensitas menjadi viskositas .....	42

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.	Dua permukaan tipis yang dipisahkan dengan fluida setinggi h .....	7
Gambar 2.	Bagian-Bagian Viskometer Redwood .....	12
Gambar 3.	Fiber Optik .....	14
Gambar 4.	Struktur Fiber Optik .....	15
Gambar 5.	Pemantulan Internal Total di dalam Fiber Optik .....	18
Gambar 6.	Grafik Hubungan Temperatur Oli dengan Tegangan yang Terukur .....	21
Gambar 7.	Sebuah Kurva Eksponensial yang Digambarkan pada (a) Kertas Grafik Koordinat Kartesius (b) Kertas Semilog ...	22
Gambar 8.	Rangkaian Penelitian Pengukuran Viskositas Minyak Goreng .....	26
Gambar 9.	Rangkaian Penelitian Pengukuran Intensitas Keluaran Fiber Optik .....	27
Gambar 10.	Diagram alir penelitian	29
Gambar 11.	Grafik waktu tetes rata-rata terhadap suhu .....	30
Gambar 12.	Grafik hubungan viskositas rata-rata minyak goreng terhadap suhu .....	31
Gambar 13.	Grafik hubungan intensitas keluaran fiber optik terhadap suhu minyak goreng .....	32
Gambar 14.	Grafik hubungan intensitas keluaran fiber optik terhadap suhu minyak goreng pada pengulangan kedua .....	32
Gambar 15.	Grafik hubungan intensitas keluaran fiber optik terhadap suhu minyak goreng pada pengulangan ketiga .....	33
Gambar 16.	Grafik hubungan intensitas keluaran fiber optik terhadap suhu minyak goreng pada pengulangan keempat .....	33
Gambar 17.	Grafik hubungan intensitas keluaran fiber optik terhadap suhu minyak goreng pada pengulangan kelima .....	34
Gambar 18.	Grafik transformasi ln untuk data viskositas rata-rata .....	35
Gambar 19.	Grafik transformasi untuk data intensitas rata-rata .....	35
Gambar 20.	Grafik perbandingan perubahan suhu terhadap transformasi viskositas rata-rata dan intensitas rata-rata ..	36
Gambar 21.	Fiber optik plastik yang dikupas jaketnya .....	50
Gambar 22.	OPM .....	50
Gambar 23.	Sampel minyak goreng .....	51
Gambar 24.	Elemen pemanas beserta selongsong .....	51
Gambar 25.	Termometer alkohol 100°C .....	51
Gambar 26.	Sterofoam penutup lubang laser .....	52
Gambar 27.	Selotip hitam penutup lubang laser .....	52
Gambar 28.	Aseton pembersih <i>cladding</i> fiber optik .....	52
Gambar 29.	Termometer dan tutup Viskometer Redwood .....	52
Gambar 30.	Rangkaian alat pengukur intensitas keluaran keluaran fiber optik .....	53

Gambar 31.	Tempat minyak goreng, laser HeNe, dan fiber optik plastik yang melaluinya .....	53
Gambar 32.	Rangkaian fiber optik dan OPM .....	53

## DAFTAR LAMPIRAN

<b>A. Lampiran 1</b> .....	46
1. Data Waktu Tetes Redwood Minyak Goreng .....	46
2. Waktu Tetes Rata-Rata Redwood .....	46
3. Data Viskositas Dinamis Minyak Goreng .....	46
4. Viskositas Dinamis Rata-Rata Minyak Goreng .....	47
5. Data Intensitas Keluaran Fiber Optik .....	47
6. Transformasi Data Viskositas Dinamis Minyak Goreng .....	47
7. Transformasi Data Intensitas Keluaran Fiber Optik .....	48
a. Data 1 .....	48
b. Data 2 .....	48
c. Data 3 .....	48
d. Data 4 .....	49
e. Data 5 .....	49
f. Rata-rata .....	49
8. Perbandingan Transformasi Viskositas dan Intensitas .....	50
<b>B. Lampiran 2</b> .....	50



## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **A. Latar Belakang**

Minyak goreng merupakan salah satu kebutuhan pokok manusia sebagai alat pengolah bahan–bahan makanan, yang kebutuhannya semakin meningkat setiap waktunya. Di Indonesia, minyak goreng diproduksi dalam skala besar adalah minyak kelapa sawit. Direktorat Jenderal Perkebunan (2017: 3) memperkirakan pada tahun 2017 produksi minyak kelapa sawit mencapai 35.359.384 ton.

Konsumsi minyak goreng oleh masyarakat terbilang tidaklah sehat. Pasalnya masyarakat Indonesia terbiasa mengonsumsi minyak secara berulang-ulang sampai bewarna kehitaman, dengan alasan supaya hemat.

Penggunaan minyak goreng menyebabkan terjadinya kerusakan minyak yang mengakibatkan terjadinya perubahan kimia minyak, seperti perubahan warna, rasa, bau. Selain itu terjadi pula perubahan fisika seperti viskositas. Tingkat kerusakan minyak goreng selama proses menggoreng dipengaruhi oleh beberapa faktor, antar lain suhu, oksigen, kadungan asam lemak bebas, dan komposisi bahan pangan yang digoreng (Djarmiko, 2001).

Penggunaan minyak yang berulang-ulang dengan pemanasan tinggi beserta kontak oksigen akan mengakibatkan minyak mengalami kenaikan asam lemak bebas. Peningkatan asam lemak bebas dalam tubuh akan mengakibatkan gagal jantung dan kematian mendadak (Mozzaffarian *et al.*, 2004 dalam Ilmi, Ibnu Malkan Bakhrul, Ali Khomsan, dan Sri Anna Marliyati, 2015: 61).

Pengujian kualitas minyak goreng selalu menjadi topik hangat dikalangan peneliti dikarenakan kualitas minyak goreng itu sendiri berhubungan dengan kesehatan manusia. Banyak sekali metode yang dapat digunakan untuk menguji kualitas minyak goreng, seperti uji kelarutan, titik cair, *polimorphism*, titik didih, titik pelunakan, *slipping point*, *shot melting point*, bobot jenis, viskositas, indeks bias, titik kekeruhan (*turbidity point*), titik asap, titik nyala dan titik api dan lain-lain (Mujadin, Anwar, dkk. 2014: 229).

Uji kualitas minyak goreng yang dilakukan oleh peneliti dilakukan dengan menggunakan uji viskositas. Viskositas merupakan ukuran kekentalan suatu fluida. Banyak faktor mempengaruhi nilai kekentalan, salah satunya adalah suhu. Pemanasan minyak dengan suhu tinggi mengakibatkan nilai viskositas minyak berkurang. Semakin tinggi suhu yang digunakan, maka semakin rendah viskositas dari minyak tersebut. Menurut Anwar Mujadin, dkk (2014: 229) melalui penelitian secara kualitatif ditunjukkan bahwa minyak goreng yang paling baik adalah minyak goreng dengan nilai viskositas dan indeks bias yang besar.

Pengukuran viskositas minyak goreng dapat dilakukan menggunakan viskometer. Selain menggunakan viskometer, viskositas dapat diukur menggunakan fiber optik. Fiber optik merupakan benang serat yang digunakan dalam berbagai bidang kehidupan. Penggunaan fiber optik paling marak untuk jaringan komunikasi, yaitu sebagai alat transmisi data. Penelitian-penelitian lebih lanjut tentang fiber optik menghasilkan pengetahuan bahwa fiber optik juga dapat digunakan sebagai sensor, mulai dari sensor kelembapan, suhu, tekanan, viskositas.

## **B. Identifikasi Masalah**

Berdasarkan latar belakang, penulis mengidentifikasi masalah sebagai berikut:

1. Minyak goreng merupakan salah satu kebutuhan pokok manusia sebagai alat pengolah bahan-bahan makanan yang kebutuhannya semakin meningkat setiap waktunya.
2. Konsumsi minyak goreng oleh masyarakat Indonesia yang tidak sehat karena digunakan secara berulang-ulang.
3. Penggunaan minyak goreng dapat menyebabkan terjadinya kerusakan minyak.
4. Penggunaan minyak goreng secara berulang-ulang dengan suhu tinggi menyebabkan kenaikan asam bebas yang dapat mengakibatkan gagal jantung bahkan kematian.
5. Pengujian kualitas minyak goreng dilakukan oleh para peneliti dilakukan dengan berbagai macam metode. Metode-metode ini tidak efisien karena proses pengukuran yang tidak mudah dan alat-alat yang terlalu banyak.
6. Uji kualitas minyak goreng oleh peneliti dilakukan dengan uji viskositas, dimana minyak goreng yang sudah digunakan memiliki viskositas yang lebih rendah dari minyak goreng belum pakai.
7. Digunakan sensor fiber optik sebagai sensor viskositas minyak goreng untuk mengetahui minyak memiliki kualitas yang sesuai standar.
8. Keluaran dari sensor fiber optik dicari hubungannya dengan viskositas minyak goreng sehingga dapat diukurnya viskositas minyak goreng menggunakan sensor fiber optik.

### **C. Batasan Masalah**

Batasan masalah dalam penelitian ini antara lain:

1. Viskositas minyak goreng diukur terhadap perubahan suhu minyak goreng.
2. Keluaran fiber optik, yaitu intensitas juga diukur terhadap perubahan suhu minyak goreng.

### **D. Rumusan Masalah**

Rumusan masalah berdasarkan identifikasi dan batasan masalah adalah:

1. Bagaimana pengaruh suhu terhadap viskositas minyak goreng?
2. Bagaimana pengaruh suhu terhadap intensitas keluaran fiber optik?
3. Bagaimana konversi skala intensitas menjadi skala viskositas?

### **E. Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk:

1. Mengetahui pengaruh suhu terhadap viskositas minyak goreng.
2. Mengetahui pengaruh suhu terhadap intensitas keluaran fiber optik.
3. Mengetahui konversi skala intensitas menjadi skala viskositas.

### **F. Manfaat Penelitian**

Manfaat yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah:

1. Mengetahui metode uji kualitas minyak goreng berdasarkan nilai viskositasnya menggunakan viskometer dan fiber optik.
2. Sebagai kajian ilmiah untuk penelitian selanjutnya.
3. Sebagai kajian untuk industri-industri tentang pengujian kualitas minyak goreng, sehingga diharapkan perkembangan dunia industri minyak goreng lebih maju.

## BAB II

### KAJIAN TEORI

#### A. Deskripsi Teori

##### 1. Minyak Goreng

###### a. Minyak dan lemak

Minyak dan lemak termasuk salah satu anggota dari golongan lipid, yaitu merupakan lipid netral. Lipid sendiri diklasifikasikan menjadi 4 kelas, yaitu Lipid netral, Fosfatida, Spingolipid, dan Glikolipid. Semua jenis lipid ini terdapat di alam. Lemak dan minyak terdiri dari trigliserida campuran, yang merupakan ester dari gliserol dan asam lemak rantai panjang. Minyak nabati terdapat dalam buah-buahan, kacang-kacangan, biji-bijian, akar tanaman dan sayur-sayuran. Dalam jaringan hewan lemak terdapat di seluruh badan, tetapi jumlah terbanyak terdapat pada jaringan adipose dan tulang sumsum. (Ketaren, 1986:5)

Komposisi atau jenis asam lemak dan sifat fisiko-kimia tiap jenis minyak berbeda-beda, dan hal ini disebabkan oleh perbedaan sumber, iklim, keadaan tempat tumbuh, dan pengolahan (Ketaren, 1986: 13).

Sifat fisik minyak meliputi 13 bulir utama, antara lain: 1. Warna 2. Bau amis 3. *Odor* dan *flavor* 4. Kelarutan 5. Titik cair dan *polymorphism* 6. Titik didih (*boiling point*) 7. Titik lunak (*softening point*) 8. *Slipping point* 9. *Shot melting point* 10. Bobot jenis 11. Indeks bias 12. Titik asap, titik nyala, dan titik api 13 Titik kekeruhan (*turbidity point*). Konstanta fisik yang dianggap cukup penting dalam lemak dan minyak adalah berat jenis, indeks bias, dan titik lebur. (Ketaren, 1986: 9- 26)

### b. Minyak kelapa sawit

Dalam keadaan baru, minyak kelapa sawit tidak berbahaya bagi kesehatan karena bebas kolesterol, kaya akan antioksidan, dan mengandung asam lemak esensial yang bermanfaat kesehatan. Kandungan asam lemak yang terkandung di dalam minyak goreng kelapa sawit adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Kandungan asam lemak dalam minyak kelapa sawit

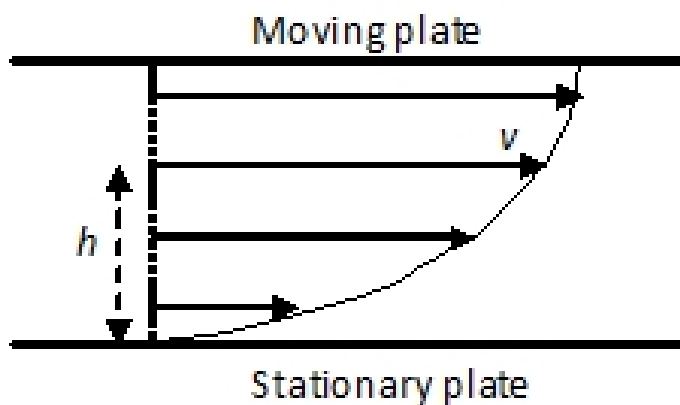
Jenis Asam Lemak	Rumus Molekul	Kadar (%)
Asam Miristat	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{COOH}$	1.1 – 2.5
Asam Palmitat	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$	40.0 – 46.0
Asam Stearate	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$	3.6 – 4.7
Asam Oleat	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}-(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	39.0 – 45.0
Asam Linoelat	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_6\text{COOH}$	7.0 – 11.0

Menurut Perkins dan Erickson (1996), proses pemanasan minyak pada suhu tinggi dengan adanya oksigen akan mengakibatkan rusaknya asam lemak tak jenuh yang terdapat di dalam minyak, seperti asam oleat dan asam linoleat. Kerusakan minyak akibat pemanasan dapat diamati dari perubahan warna, kenaikan kekentalan, peningkatan kandungan asam lemak bebas, kenaikan bilangan peroksida, dan kenaikan kandungan *urea adduct forming ester*. Selain itu terjadinya penurunan kandungan asam lemak tak jenuh.

## 2. Viskositas

Viskositas merupakan sifat pokok dari semua jenis fluida. Ketika fluida mengalir, fluida tersebut memiliki hambatan dalam untuk mengalir. Viskositas merupakan ukuran hambatan untuk mengalir. Selain itu viskositas juga dapat diartikan sebagai sebuah gaya geser dan ukuran gaya gesek dari fluida tersebut. Viskositas dibedakan menjadi dua jenis, yaitu viskositas dinamis dan viskositas kinematis.

### a. Viskositas dinamis



Gambar 1. Dua permukaan tipis yang dipisahkan dengan fluida setinggi h

Viskositas dinamis biasanya disebut viskositas absolut atau biasa disebut viskositas saja. Viskositas dinamis adalah gaya tangensial per satuan luas yang dibutuhkan untuk memindahkan suatu bidang horisontal terhadap lainnya, dalam satuan kecepatan, ketika mempertahankan jarak dalam cairan. Dirumuskan dengan persamaan:

$$\mu = \frac{\tau}{\left(\frac{du}{dy}\right)} \quad (1)$$



Keterangan:  $\mu$  = viskositas dinamis ( $\text{Ns/m}^2$ )

$\tau$  = tegangan geser ( $\text{N/m}^2$ )

$du$  = kecepatan ( $\text{m/s}$ )

$dy$  = jarak dua permukaan ( $\text{m}$ )

Menurut Newton, tegangan geser dalam suatu cairan sebanding dengan laju perubahan kecepatan normal aliran, laju kecepatan ini disebut sebagai *gradien* kecepatan.

(Royen, Abi. 2016)

Fluida yang tegangan gesernya berhubungan linear terhadap laju tegangan geser digolongkan sebagai fluida Newtonian. Untuk zat cair persamaan empiris yang digunakan adalah

$$\mu = D e^{B/T} \quad (2)$$

Dengan D dan B adalah konstanta dan T adalah suhu mutlak.

Persamaan (2) sering disebut sebagai persamaan Andrade. Viskositas ini harus diketahui sekurang-kurangnya untuk dua nilai temperatur sehingga dua konstanta dapat ditentukan.

(Munson, 2003:3).

Sekitar tahun 1838 Poiseuille melakukan penelitian eksperimental tentang aliran pada pipa kapiler dan menemukan bahwa debit berbanding lurus dengan tekanan dan pipa pangkat 4 serta berbanding terbalik dengan panjang pipa, yang secara matematis dinyatakan oleh:

$$\frac{Q}{t} = \frac{\pi P d^4}{128 \mu l} \quad (3)$$

Dengan  $\mu$  = viskositas

$Q$  = volume dalam waktu  $t$

$P$  = perbedaan tekanan antara 2 ujung tabung atas dengan bawah

$l$  = panjang tabung dengan diameter  $d$

Persamaan (3) dapat ditulis dengan bentuk:

$$\mu = \frac{\pi P d^4 t}{128 Q l} \quad (4)$$

dengan

$$P = \gamma gh \quad (5)$$

Jika persamaan 4 dan 5 digabungkan maka diperoleh

$$\mu = \frac{\pi \gamma gh d^4 t}{128 Q l} \quad (6)$$

(Harschel Winslow H, 1917: 6-8)

Satuan S.I viskositas dinamis yaitu  $\text{Ns/m}^2$ . Dalam sistem CGS satuan viskositas dinamis adalah poise.  $1 \text{ Ns/m}^2$  sama dengan 10 poise.

#### **b. Viskositas kinematik**

Viskositas kinematik ( $\nu$ ) merupakan rasio antara viskositas dinamis dengan kepadatan fluida tersebut. Satuan dari viskositas ini adalah stokes.

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (7)$$

(Ambasta. B.K, 2006: 180)

### **c. Hubungan viskositas dengan suhu**

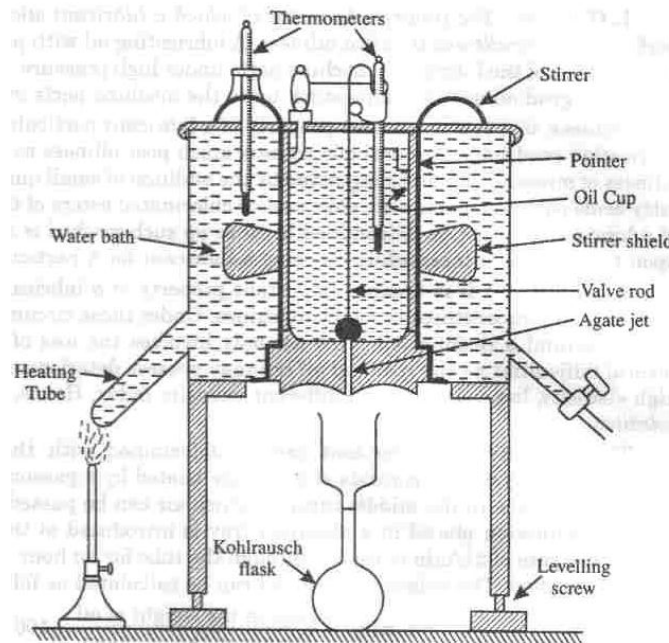
Viskositas dari fluida sangat dipengaruhi oleh suhu fluida tersebut. Menurut Jurnal Internasional (Angaitkar & Dr. A.T.Shende, 2013), nilai viskositas kinematik cairan akan menurun terhadap kenaikan suhu, sedangkan nilai viskositas kinematik gas akan meningkat sebanding dengan kenaikan suhu. Untuk setiap derajat kenaikan suhu, terdapat pengurangan nilai koefisien viskoitas secara kasar sebesar 2% untuk hampir semua jenis cairan (Ambasta. B.K, 2006: 180).

### **d. Viskometer Redwood**

Alat yang digunakan untuk mengukur viskositas adalah viskometer. Terdapat banyak sekali tipe viskometer, mulai dari viskometer konvensional sampai viskometer digital. Viskometer yang digunakan dalam penelitian ini merupakan salah satu jenis viskometer berlubang, yaitu Viskometer Redwood.

Terdapat dua jenis, yaitu Viskometer Redwood no.1 dan Viskometer Redwood no.2. No.1 digunakan untuk menentukan viskositas dari minyak pelumas encer dengan diameter jet atau lubang 1.62 mm dan panjangnya 10 mm. Viskometer no.2 digunakan untuk menentukan minyak pelumas kental dengan diameter jet 3.8 mm dan panjangnya 15 mm.

Pada Viskometer Redwood, pengukuran viskositas minyak merupakan waktu (dalam detik) bagi 50 ml minyak untuk mengalir melalui celah atau lubang standar yang diberikan dibawah beberapa kondisi. Terdiri atas tiga bagian utama, antara lain tabung minyak, *jet* atau lubang, dan labu penampung. Digambarkan sebagai berikut:



Gambar 2. Bagian-bagian Viskometer Redwood

- 1) Bagian-bagian Viskometer Redwood
  - a. Tabung minyak, merupakan silinder perak yang memiliki tinggi 90 mm dan diameter 46.5 mm. tabung ini terbuka bagian atasnya. Bagian bawah tabung dihubungkan dengan celah atau lubang dari batu yang dibor dengan diameter 1.62 mm dan panjang 10mm. lubang ini dibuka dan ditutup oleh katup bola bertangkai. Ketinggian minyak yang diisikan kedalam tabung ditunjukkan dengan sebuah pointer. Penutup tabung diisi dengan termometer untuk mengukur temperatur minyak.
  - b. Bak pemanas, tabung minyak dilingkupi oleh bak tembaga berbentuk silinder untuk menjaga suhu.
  - c. *Stirrer* atau pengaduk, memiliki 4 helai pedang yang disediakan oleh bak pemanas untuk menjaga suhu air dalam bak maupun minyak dalam tabung tetap rata.

d. Labu kohlrausch/ gelas penampung, merupakan labu berukuran 50 ml sebagai wadah minyak yang keluar dari jet atau lubang

## 2) Cara kerja

Alat dikalibrasi dan bak air diisi menggunakan air. Sebuah termometer diletakkan di bak air tersebut. Tabung minyak dibersihkan dan katup bola bertangkai diletakkan diatas jet lubang untuk menutup lubang tersebut. Sebuah labu kohlrausch yang telah disterilkan diletakkan dibawah jet. Sampel minyak yang akan diukur dimasukkan kedalam tabung minyak sampai ketinggian menyentuh pointer. Sebuah termometer juga diletakkan di dalam tabung minyak untuk mengukur suhu sampel minyak. Kemudian, bak air dipanaskan sampai pada suhu tertentu dengan pengadukan air secara konstan. Ketika minyak mencapai suhu yang diinginkan, pemanasan dihentikan dan katup bola diangkat dan disangkutkan ke penutup tabung. Waktu yang dibutuhkan untuk 50 ml minyak untuk menetes melalui jet lubang dicatat. Percobaan ini diulang dan waktu tetes untuk 50 ml sampel minyak mengalir disebut sebagai “redwood no.1 seconds” pada suhu tertentu.

(Ambasta. B.K, 2006: 181-182)

## 3) Konversi Waktu Redwood dengan Satuan Viskositas

Menganut persamaan Poiseuille dengan energi kinetik. Persamaan umum adalah sebagai berikut

$$v = AT_R - \frac{B}{T_R} \quad (9)$$

$T_R$  adalah waktu tetes redwood. Nilai A dan B merupakan konstanta alat hasil kalibrasi oleh NPL (National Physical Laboratory) UK.

Winslow dengan percobaan nya dalam melakukan standarisasi persamaan Viskometer Redwood, memperoleh hasil:

$$A = \frac{\pi g d^4 h}{128 Q L} \quad (10)$$

Dan konstanta instrument yang kedua:

$$B = \frac{Q m}{8 \pi L} \quad (11)$$

Dengan m adalah koefisien energi kinetik, dan Q adalah volume minyak yang menetes pada waktu ukur, yaitu sebesar 50 ml pada Redwood. (H.H.Winslow, 1917: 241).

Diperoleh persamaan dari hasil percobaan, yang tergantung dari dimensi alat, nilai atas m, dan koreksi Couette, adalah sebagai berikut:

$$k.v = 0.00259t - \frac{1.905}{t} \quad (12)$$

Akan tetapi, persamaan ini masih dalam pertimbangan. (H.H.Winslow, 1917: 242).

Setelah melalui perhitungan dan hasil percobaan, diperoleh persamaan tetap yang paling mungkin pada dimensi normal adalah sebagai berikut:

$$k.v = 0.00260t - \frac{1.88}{t} \quad (13)$$

(H.H.Winslow: 243).

Dalam Jurnal Sains Dasar yang ditulis oleh Rita Prasetyowati (2015: 43), *National Physical Laboratory* (NPL) menetapkan persamaan viskositas dinamis untuk Viskometer Redwood adalah sebagai berikut:

$$\mu = \left( 0.00260t - \frac{1.175}{t} \right) \gamma \quad (14)$$

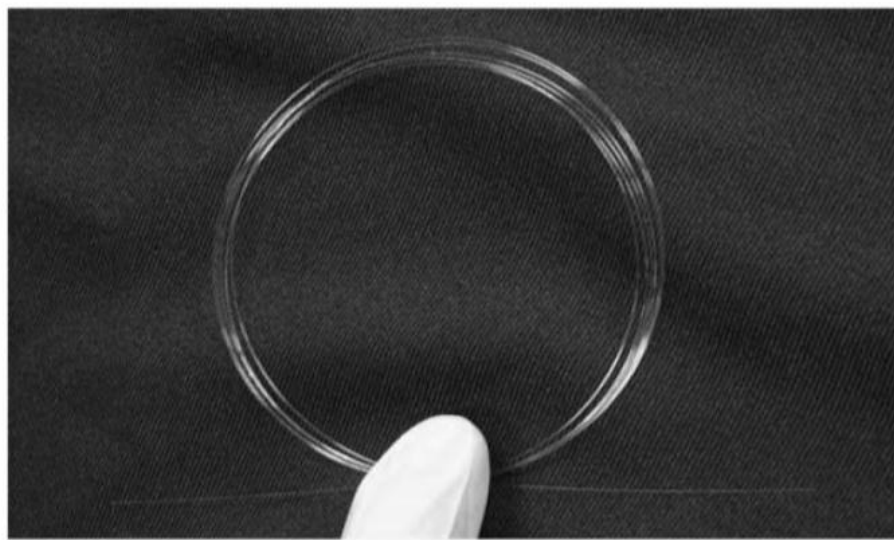
dengan:  $\mu$  = viskositas dinamis (Nm/s<sup>2</sup>)

$t$  = waktu tetes redwood (s)

$\gamma$  = berat jenis fluida ( $\text{kg/m}^3$ )

Persamaan 14 ini yang kemudian digunakan untuk menentukan viskositas dinamis minyak goreng pada penelitian.

### 3. Fiber Optik

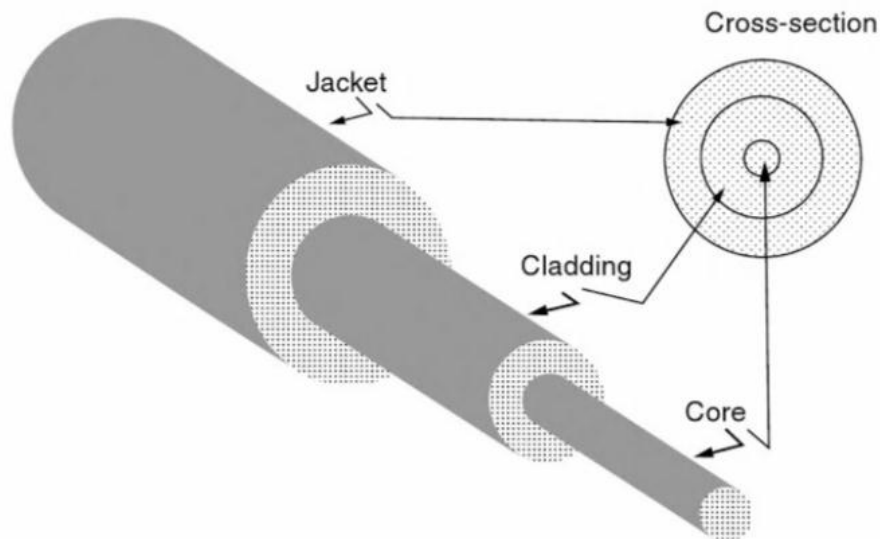


Gambar 3. Fiber optik

Kabel fiber optik adalah sebuah filament dari material transparan, yang digunakan untuk mentransmisikan cahaya, seperti pada gambar 3. Secara virtual, semua kabel fiber optik memiliki struktur dasar yang sama. Pusat dari kabel adalah *core* atau inti. *Core* memiliki indeks bias yang lebih tinggi dibandingkan *cladding*, yang mengelilingi *core* tersebut. Kontak permukaan antara *core* dan *cladding* menghasilkan permukaan antarmuka, yang menuntun cahaya sepanjang *core*. Cahaya memantul dari ujung ke ujung berdasarkan prinsip pemantulan internal total, seperti yang dijelaskan hukum pemantulan cahaya. *Cladding*



kemudian dilapisi dengan sebuah plastik pelindung atau jaket PVC. Besarnya diameter *core*, *cladding*, dan jaket adalah bervariasi.



Gambar 4 Struktur fiber optik

Gambar diatas menunjukkan struktur sebuah kabel fiber optik. *Core* dari kebanyakan kabel fiber optik terbuat dari gelas murni, sedangkan *cladding*nya terbuat dari gelas kurang murni. Gelas kabel fiber optik memiliki nilai atenuasi yang paling rendah sepanjang jarak fiber, akan tetapi harganya paling mahal. Sebuah fiber optik gelas memiliki sebuah *core* gelas dan sebuah *cladding* gelas. *Core* dan *cladding* dapat terbuat dari plastik, yang mana tidak sejernih gelas akan tetapi lebih fleksibel dan mudah diaplikasikan. Dibanding dengan kabel fiber yang lainnya, fiber optik plastik memiliki rugi daya dan *bandwidth* yang terbatas.

Jaket fiber terbuat dari polimer PVC untuk menjaga inti dan *cladding* dari kerusakan mekanik. Jaket memiliki beberapa kemampuan khusus, seperti kemampuan untuk melengkung, anti abrasi, melindungi pelemahan statis, anti lembab, mudah dikoyak.

Tabel 2. Diameter standar untuk *core*, *cladding*, dan jaket fiber optik.

core ( $\mu\text{m}$ )	cladding ( $\mu\text{m}$ )	jaket ( $\mu\text{m}$ )
8	125	250
50	125	250
62.5	125	250
100	140	250

(Al-Azzawi, Abdul, 2006:5-6)

#### a. Fiber Optik Plastik (FOP)

FOP memiliki tingkat penyusutan yang tinggi pada jarak rendah, akan tetapi memiliki harga yang paling murah. FOP memiliki sebuah inti dari plastik dan juga *claddingnya*. FOP juga memiliki ukuran yang lumayan tebal, dengan diameter *core/ cladding* 480/500, 735/750 dan 980/1000  $\mu\text{m}$ . *Core* secara umum terdiri atas *Polymethyl Methacrylate* (PMMA) yang dilapisi dengan *Fluoropolymer*. FOP biasanya digunakan di alat-alat optik kecil, aplikasi cahaya, *automobile*, *music system*, dan sistem elektronik lainnya. Kabel ini juga digunakan untuk sistem komunikasi dengan *bandwidth* tinggi atau daya rugi yang rendah bukan poin utamanya. Penggunaan FOP semakin meningkat dikarenakan dua alasan:

1. Atenuasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan kaca
2. Keuntungan biaya yang rendah

Fiber optik plastik difabrikasi menggunakan prinsip yang sama seperti fiber optik kaca. Sebuah inti dengan indeks bias yang lebih tinggi dilapisi dengan *cladding* dengan indeks bias yang lebih rendah. *Cladding* dilapisi lagi dengan jaket berwarna untuk keperluan coding: kaca dan plastik memiliki kode warna yang serupa. POF tersedia dalam *single* dan *multi index*.

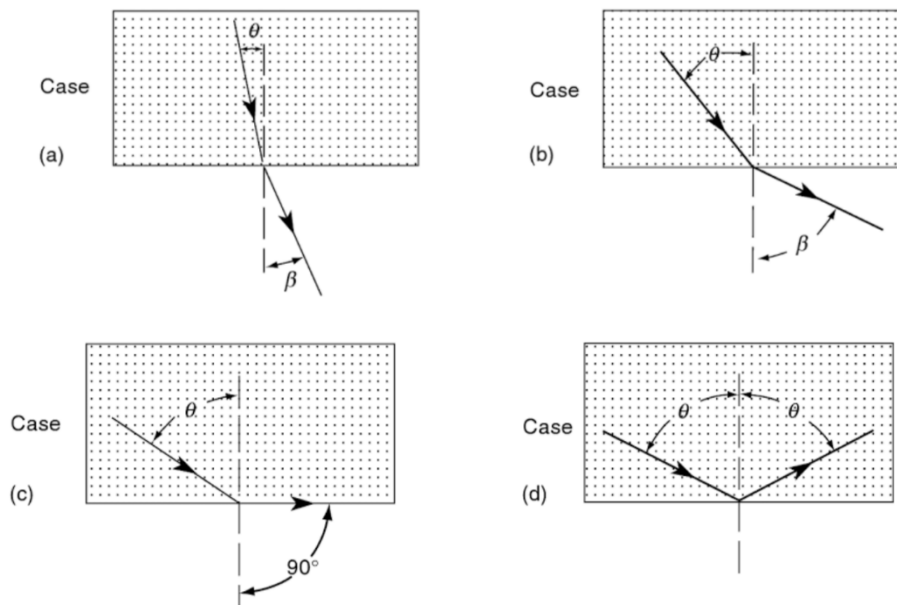
(Al-Azzawi, Abdul, 2006:6-7)

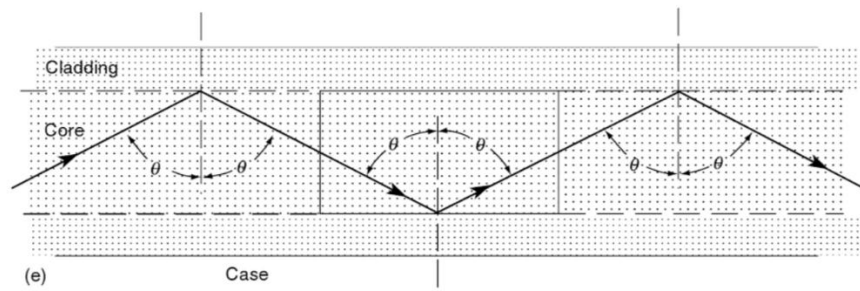
Terdapat tiga tipe umum kabel fiber optik: *single mode*, *multimode*, dan *graded index*. Tiap tipe memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. Juga terdapat beberapa perbedaan desain fiber optik, yang dibuat berdasarkan perbedaan pengaplikasian. Fiber optik secara umum digunakan di hampir semua sistem komunikasi, selain itu juga digunakan dalam bidang medis, militer, scanning, imaging, dan pengaplikasian sensor.

(Al-Azzawi, Abdul, 2006:1)

### b. Propagasi cahaya pada fiber optik

Gambar dibawah menunjukkan prinsip propagasi cahaya di dalam fiber optik. Untuk memahami prinsip tersebut, bayangkan ketika cahaya memasuki sebuah material optik yang dikelilingi oleh material optik lain dengan indeks bias yang berbeda.





Gambar 5. Pemantulan internal total di dalam fiber optik

Pada 5a ditunjukkan cahaya datang pada sudut  $\theta$  menuju garis normal. Cahaya direfraksikan pada sudut  $\beta$  derajat dari garis normal. Jika sudut datang besar, maka sudut bias juga besar, seperti yang ditunjukkan gambar 5b. Pada gambar 5c, cahaya datang pada sudut  $\theta$  sama dengan sudut kritis  $\theta_c$  yang memberikan sudut refraksi  $\beta$  sebesar  $90^\circ$ . Pembiasan cahaya terjadi antarmuka permukaan material optik pertama dan kedua. Hukum Snellius dipakai disini. Pada gambar 5d, ketika cahaya datang pada sudut lebih besar daripada sudut kritis, cahaya akan dipantulkan oleh fenomena pemantulan internal total. Pada kasus ini, sudut datang sama dengan sudut pantul, sebagaimana didefinisikan pada hukum pemantulan cahaya yang pertama.

Asumsikan material optik yang pertama ini sangatlah panjang. Dia memiliki potongan melingkar diujungnya dengan diameter yang sangat kecil seperti *core*, dan juga dikelilingi material optik yang menyerupai *cladding* pada fiber optik seperti ditunjukkan gambar 5e. Sekarang, cahaya masuk kedalam fiber optik dan mengenai *core* sampai antarmuka *cladding* dengan sudut yang lebih besar daripada sudut kritis. Cahaya tersebut kemudian dipantulkan kembali kedalam *core*. Karena sudut datang dan sudut pantul adalah sama, pantulan cahaya akan

dipantulkan kembali. Cahaya akan memantul secara kontinu melalui sepanjang fiber optik.

Pada kasus 5a, 5b, 5c terlihat bahwa cahaya melewati *cladding*. *Cladding* biasanya tidak berguna sebagai pembawa cahaya, jika dibandingkan dengan *core* fiber optik. Cahaya yang masuk ke dalam *cladding* menjadi bagian dari rugi.

(Al-Azzawi, Abdul, 2006:7-8)

### c. Pemantulan internal sempurna

Ketika cahaya merambat di dalam bahan transparan yang memiliki perbedaan indeks bias sehingga menemui permukaan bahan transparan lainnya maka dua hal akan terjadi, yaitu:

1. Sebagian cahaya dipantulkan.
2. Sebagian cahaya diteruskan ke dalam bahan transparan kedua.

Cahaya yang diteruskan biasanya berubah arah ketika memasuki bahan kedua, yaitu jika cahaya masuk dengan sebuah sudut terhadap garis normal permukaan bahan. Pembelokan cahaya ini timbul karena pembiasan bergantung pada kecepatan cahaya di dalam suatu bahan, dan kecepatannya berbeda di dalam bahan dengan indeks bias berbeda. Seberkas cahaya datang dari medium pertama yang mempunyai indeks bias  $n_1$  dengan sudut datang  $i_1$ , cahaya itu dibiaskan dengan pada bidang batas dan masuk ke medium kedua yang mempunyai indeks bias  $n_2$  dengan sudut bias  $i_2$ . Menurut hukum Snellius pembiasan tersebut dapat dituliskan dalam bentuk

$$\frac{\sin i_1}{\sin i_2} = \frac{n_2}{n_1} \quad (15)$$

Ketika sudut datang cahaya (di dalam medium pertama) menuju bidang perbatasan terus diperbesar, akan mencapai suatu titik dimana sudut bias bernilai  $90^\circ$  dan cahaya masuk akan sejajar dengan bidang perbatasan di dalam bahan kedua. Sudut datang tersebut disebut sudut kritis.

$$\theta_{kritis} = \arcsin \frac{n_2}{n_1} \quad (16)$$

#### **d. Pengetesan fiber optik**

Pengetesan fiber optik didasarkan pada dua jenis pengukuran yang berbeda pada aspek cahaya keluaran, yaitu daya dan frekuensi. Pengukuran daya merujuk pada intensitas cahaya, yang diukur dengan alat fotosensitif, biasanya disebut fotodetektor (sebagai contoh fotodioda dan fotosensor). Fotodetektor menghasilkan sebuah sinyal elektrik yang sebanding dengan intensitas (atau daya) sinar datang, yang menyebabkan dapat terjadinya pengukuran daya. (Al-Azzawi, Abdul, 2006: 311)

Dalam pengukuran daya optik (intensitas cahaya), terdapat 3 satuan yang biasa dipakai dalam pengukuran daya optik, antara lain:

1. Linear (mW) : miliwatt adalah satuan standar pengukuran.
2. Logaritmik (absolut)(dBm) : pada skala absolut,  $0 \text{ dBm} = 1 \text{ mW}$   

$$\text{PdBm} = 10 \times \log_{10} (\text{PmW})$$
3. Logaritmik (relatif)(dB) : menunjukkan sebuah perubahan daya yang tidak tergantung pada gdaya absolut suatu masukan

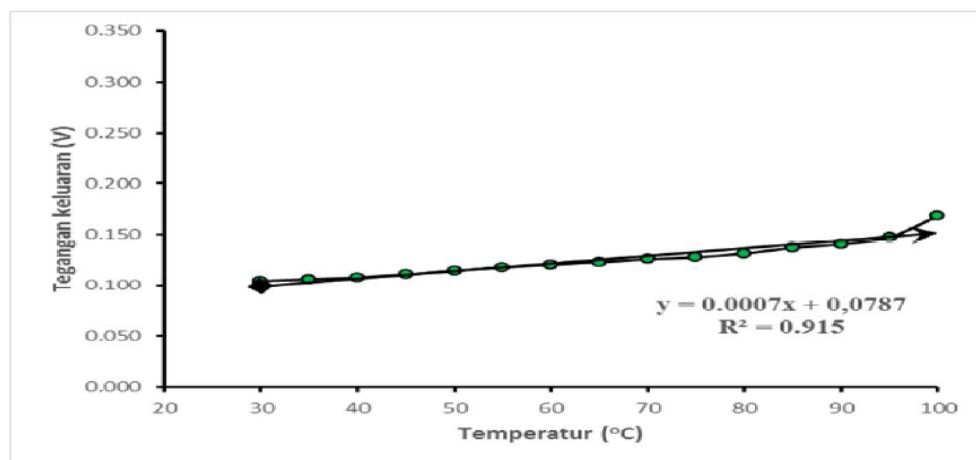
$$\text{LdBm} = \text{Pin (dBm)} - \text{Pout (dBm)}$$

(Al-Azzawi, Abdul, 2006:313)

#### e. Hubungan suhu terhadap intensitas fiber optik

Azmi Wahyu Anggita, dkk (2015:240) mengatakan bahwa teori kekentalan menjelaskan bahwa makin besar temperatur, maka ikatan molekul-molekul penyusunnya saling melemahkan. Molekul menjadi saling berjauhan dan memiliki susunan yang tidak beraturan saat temperatur sampel dinaikkan. Berkas cahaya laser dapat terhambur karena mengenai molekul penyusun yang tidak beraturan. Cahaya laser yang dimodulasikan ke sampel terhambur dengan intensitas besar saat mengenai molekul yang tersusun tidak beraturan.

Ditunjukkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Azmi Wahyu Anggita dan Harmadi (2015) hubungan temperatur oli yang mengenai fiber optik dengan perubahan tegangan keluaran yang terukur sebagai berikut:



Gambar 6. Grafik hubungan temperatur oli mengenai yang dengan tegangan yang terukur

Hubungan antara intensitas cahaya dan tegangan adalah berbanding lurus. Dimana kita tahu intensitas cahaya merupakan daya pancar cahaya, dengan daya dapat didefinisikan sebagai berikut:



$$P = VI \quad (17)$$

Semakin besar tegangan maka daya juga semakin tinggi, sehingga diketahui nilai intensitas cahaya semakin besar. Kenaikan suhu oli menyebabkan kenaikan intensitas keluaran fiber optik.

#### 4. Kurva Eksponensial

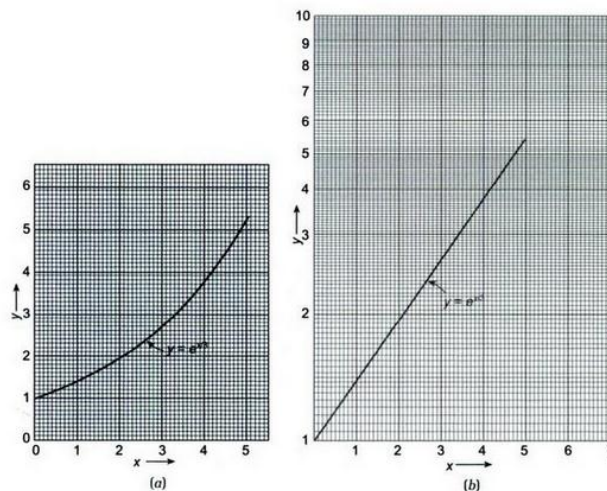
Persamaan untuk kurva eksponensial adalah sebagai berikut:

$$y = Ae^{mx} \quad (18)$$

Jika persamaan ini dilogaritmakan, maka akan berbentuk sebagai berikut:

$$\ln y = mx + \ln A \quad (19)$$

(Paul, 2005:192)



Gambar 7. Sebuah kurva eksponensial yang digambarkan pada (a) kertas grafik koordinat kartesius (b) kertas semilog (Paul, 2005: 193).

Pada persamaan diatas, logaritma nilai-nilai  $y$  akan memiliki hubungan linear dengan nilai-nilai  $x$ . Oleh karena itu, grafik hubungan eksponensial ketika digambar pada kertas grafik semilog, yang ordinatnya di plot dalam skala

logaritma, akan berbentuk garis lurus. Suatu hubungan eksponensial dengan nilai-nilai  $m$  yang positif merupakan hubungan yang semakin meningkat sehingga nampak sebagai kurva yang “tumbuh”. Jika nilai-nilai  $m$  negatif, nilai  $y$  akan berkurang seiring dengan semakin bertambahnya nilai  $x$ , dan grafiknya dikenal sebagai kurva “luruh”.

(Paul, 2005:194)

Persamaan eksponensial pada software Origin Pro, adalah sebagai berikut:

$$y = y_0 + Ae^{-\frac{x}{\tau}} \quad (20)$$

## **B. Kerangka Berpikir**

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh suhu terhadap nilai viskositas sebuah sampel dan intensitas cahaya keluaran fiber optik ketika jaket fiber optik diganti dengan sampel tersebut, serta mengetahui hubungan antara intensitas dengan viskositas. Sampel yang digunakan adalah minyak goreng.

Sebagaimana kita ketahui bahwa suhu berperan terhadap perubahan viskositas suatu sampel. Semakin tinggi suhu maka nilai viskositas menurun. Viskositas sampel diukur dengan menggunakan Viskometer Redwood yang sudah diketahui spesifikasinya. Waktu tetes sampel untuk menetes setiap kenaikan suhu dikonversikan sesuai dengan persamaan Redwood sehingga diperoleh nilai viskositas dari sampel setiap suhunya. Dalam penelitian ini akan diteliti bagaimana hubungan suhu terhadap nilai viskositas tersebut, apakah linear atau eksponensial.

Suhu juga berperan dalam perubahan intensitas cahaya yang keluar dari sebuah fiber optik sepanjang  $l$ . Sebagaimana diketahui suhu berperan dalam

kerugian yang dialami fiber optik. Ini merupakan peran fiber optik sebagai *sensing applicant*. Fiber optik dikelupas jaketnya dan diganti dengan minyak goreng. Selanjutnya minyak dipanaskan dan intensitas cahaya keluaran fiber optik diukur. Minyak goreng yang dipanaskan mengalami penurunan viskositas, yang menyebabkan penurunan indeks bias dari minyak tersebut. Penurunan indeks bias minyak goreng akan mempengaruhi proses pemantulan internal total pada fiber optik sehingga nilai intensitas keluaran berubah pula. Dalam penelitian ini akan diteliti bagaimana hubungan suhu dengan intensitas cahaya keluaran dari fiber optik.

Viskositas dan intensitas yang diperoleh dari hasil pengukuran dicari persamaannya dengan menggunakan persamaan konversi.

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **A. Waktu dan tempat penelitian**

Penelitian tentang menentukan pengaruh suhu terhadap viskositas minyak goreng menggunakan Viskometer Redwood dilakukan pada bulan Mei 2017 sampai Juli 2017, dilakukan di Laboratorium Fisika Dasar, Jurusan Pendidikan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Yogyakarta.

Penelitian tentang menentukan pengaruh suhu terhadap intensitas keluaran fiber optik yang melalui minyak goreng dilakukan pada bulan Juli 2017 sampai bulan Agustus 2017, dilakukan di Laboratorium Spektroskopi, Jurusan Pendidikan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Yogyakarta.

#### **B. Variabel penelitian**

1. Variabel bebas : Suhu minyak goreng
2. Variabel terikat : Waktu tetes redwood dan daya optik oleh OPM
3. Variabel kontrol : Volume minyak goreng, masa minyak goreng, jenis minyak goreng, suhu awal, panjang fiber optik, panjang kupasan jaket, jenis fiber optik, intensitas laser HeNe.

#### **C. Instrumen penelitian**

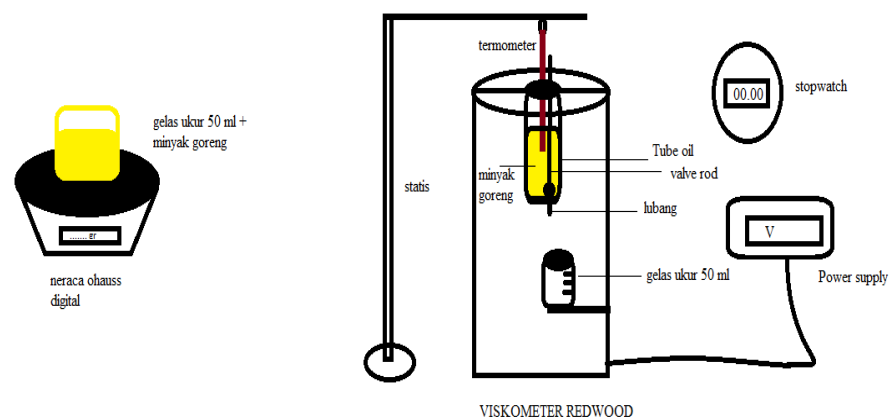
1. Alat
  - a. 1 set alat Viskometer *Redwood*
  - b. 1 buah Neraca *Ohaus* digital

- c. 1 buah Gelas ukur 50 ml
  - d. 1 buah stopwatch digital
  - e. Air secukupnya
  - f. Fiber Optik Plastik
  - g. 1 buah *Optical Power Meter*
  - h. 1 set Laser Helium-Neon
  - i. Nikelin, dan selongsong anti panas
  - j. 1 buah toples kaleng
  - k. Paku, gun glue, penggaris, amplas halus, dan alkohol
  - l. *Power supply*
  - m. Kabel penghubung
  - n. 1 buah termometer alkohol 100°C
2. Bahan

Minyak Goreng Bimoli

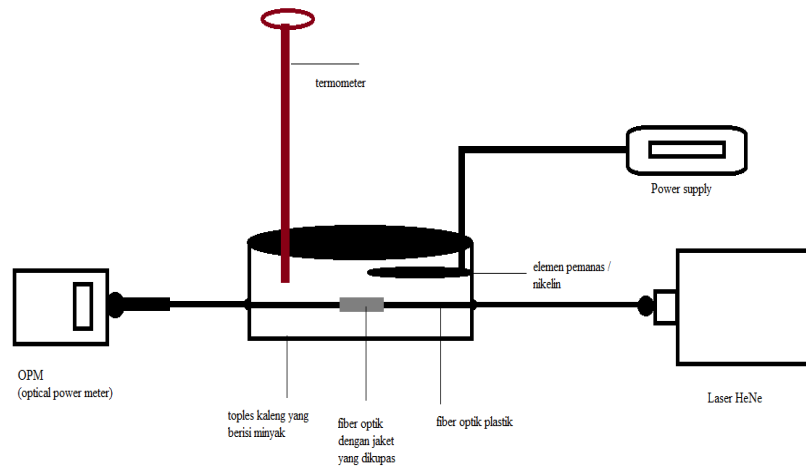
#### D. Desain penelitian

##### 1. Rangkaian Viskometer Redwood



Gambar 8. Rangkaian penelitian pengukuran viskositas minyak goreng

## 2. Rangkaian fiber optik



Gambar 9. Rangkaian penelitian pengukuran intensitas keluaran fiber optik.

### E. Teknik pengambilan Data

1. Menentukan Pengaruh Suhu terhadap Viskositas Minyak Goreng menggunakan Viskometer Redwood

Persiapan percobaan yang dilakukan antara lain:

- a. Menyiapkan set alat Viskometer Redwood.
- b. Mengukur volume minyak pada gelas ukur sebanyak 50 ml.
- c. Menimbang masa minyak goreng 50 ml.
- d. Memasang penutup pada *tube* Viskometer *Redwood*.
- e. Menuangkan minyak goreng tersebut pada *tube* Viskometer *Redwood*.
- f. Meletakkan temometer di dalam *tube* yang sudah terisi minyak.

Pengambilan data dilakukan dengan:

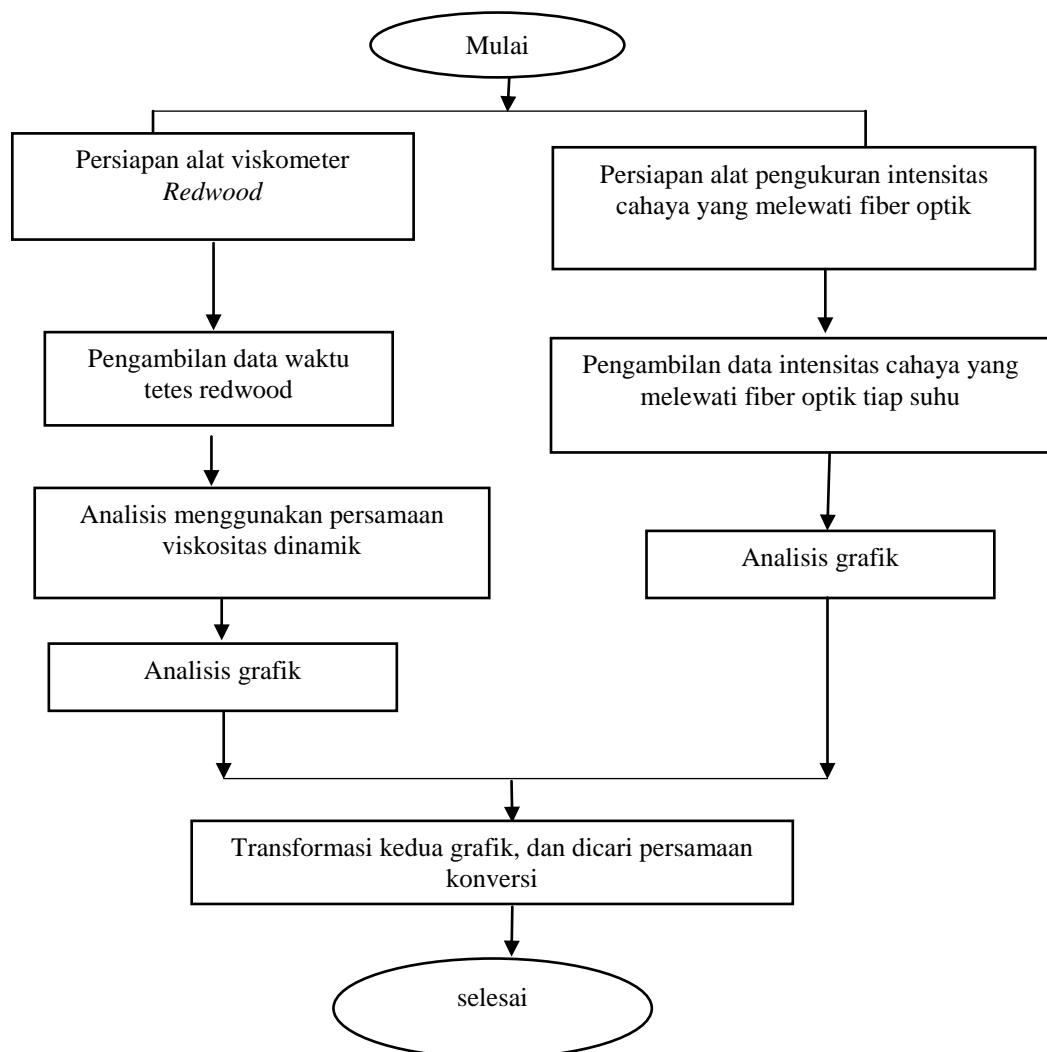
- a. Mengukur waktu tetes minyak dengan mengangkat penutup *tube* pada suhu ruang. Waktu diukur bersamaan dengan pengangkatan penutup *tube*.

- b. Mengukur waktu tetes minyak tiap kenaikan suhu 35°C, 40°C, 50°C, 60°C, 70°C, dan 78°C. Suhu dinaikkan dengan menghidupkan *power supply* yang berfungsi sebagai pemanas.
2. Menentukan Pengaruh Suhu terhadap Intensitas Keluaran Fiber Optik  
Persiapan percobaan antara lain:
  - a. Memberi lubang kecil pada sisi toples kaleng, sebagai tempat untuk fiber optik.
  - b. Mengupas jaket pada sisi tengah fiber optik dengan panjang fiber optik 90 cm dan panjang kupasan 5 cm. Ujung-ujung fiber diampelas agar permukaannya halus, kemudian dicelupkan kedalam alkohol untu membersihkan kotoran dari permukaan. Bagian jaket yang dikupas juga dibersihkan menggunakan alkohol.
  - c. Memasukkan kedua ujung fiber optik kedalam lubang kecil toples, sehingga fiber yang terkupas jaketnya melintang di dalam toples, kemudian menutup lubang dengan *gun glue*.
  - d. Merangkai satu ujung fiber dengan laser HeNe, dan ujung yang lain dengan *Optical Power Meter*, yaitu alat yang bekerja untuk mengukur daya optik atau intensitas cahaya.
  - e. Memasukkan minyak goreng kedalam toples sampai fiber optik terendam semua.
  - f. Memasukkan nikelin yang sudah terhubung dengan *power supply* kedalam minyak, bertujuan sebagai medium pemanas.

Pengambilan data dilakukan dengan:

- a. Menentukan intensitas cahaya yang diterima oleh OPM setelah melalui fiber optik yang sudah dikupas jaketnya pada suhu ruang.
- b. Menentukan intensitas cahaya yang diterima oleh OPM setelah minyak goreng dalam toples dipanaskan. Intensitas cahaya diukur tiap kenaikan suhu minyak.

#### F. Diagram Alir



Gambar 10. Diagram alir penelitian



## BAB IV

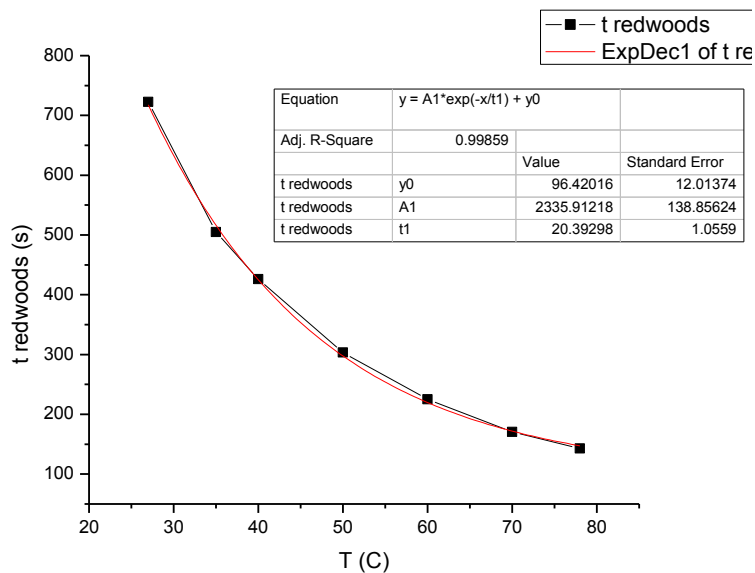
### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### A. Hasil dan Analisis Data

##### 1. Menentukan Pengaruh Suhu terhadap Viskositas Dinamis Minyak

##### Goreng menggunakan Viskometer Redwood

Data waktu tetes adalah sebagai berikut:



Gambar 11. Grafik waktu tetes rata-rata terhadap suhu

Nilai viskositas dinamis dari minyak goreng dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan:

$$\mu = \left( 0.0026 \cdot t - \frac{1.175}{t} \right) \gamma \quad (14)$$

Keterangan

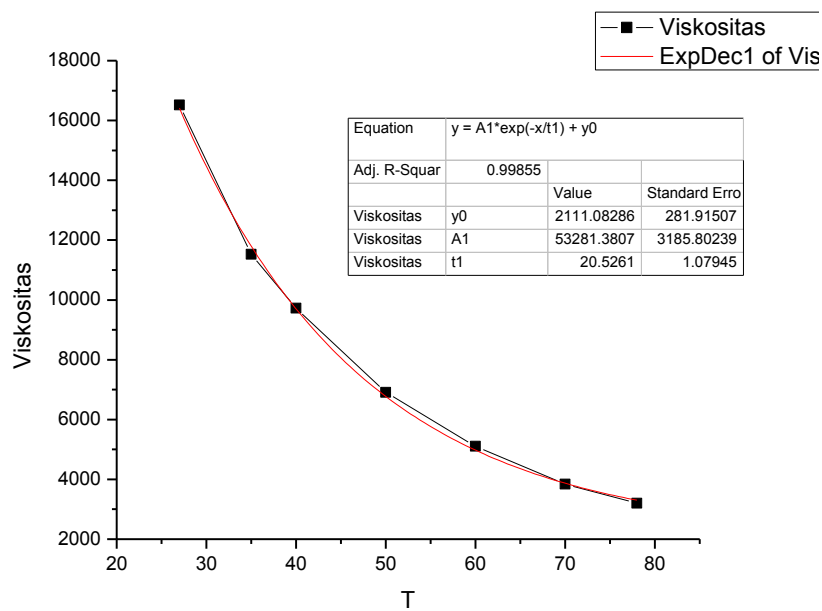
$\mu$  = viskositas dinamis (Ns/m<sup>2</sup>)

t = waktu redwoods (s)

$\gamma$  = berat jenis =  $\rho \cdot g$

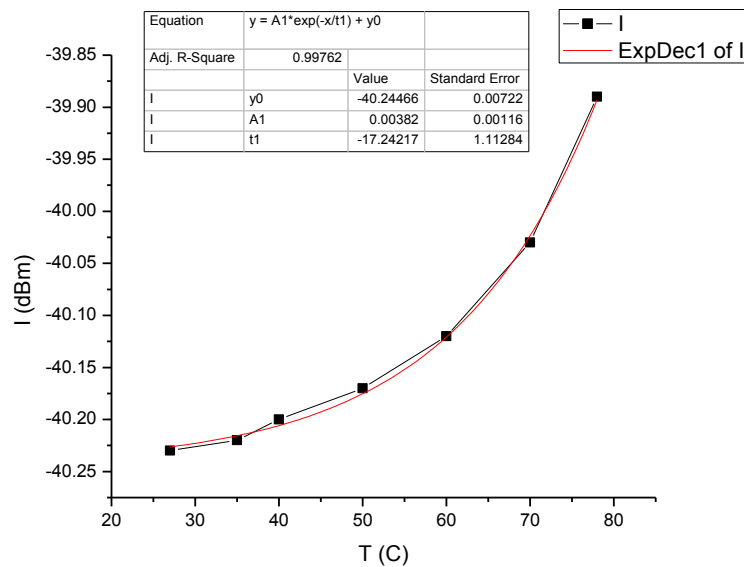
Berat jenis merupakan hasil kali masa jenis minyak goreng dengan percepatan gravitasi. Peneliti menggunakan nilai percepatan gravitasi secara umum, yaitu  $9.8 \text{ m/s}^2$  tanpa mengukur terlebih dahulu. Masa jenis minyak dihitung dari hasil pembagian antara massa minyak goreng dengan volumenya. 50 ml minyak goreng memiliki massa 44 gr sehingga diperoleh massa jenis minyak goreng  $880 \text{ kg/m}^3$  dan berat jenis  $8800 \text{ kg/m}^2\text{s}^2$ . Nilai berat jenis ini untuk setiap pengambilan data dibuat sama, sebagai variabel kontrol.

Diperoleh nilai viskositas dinamis dari setiap data waktu tetes redwood adalah sebagai berikut:

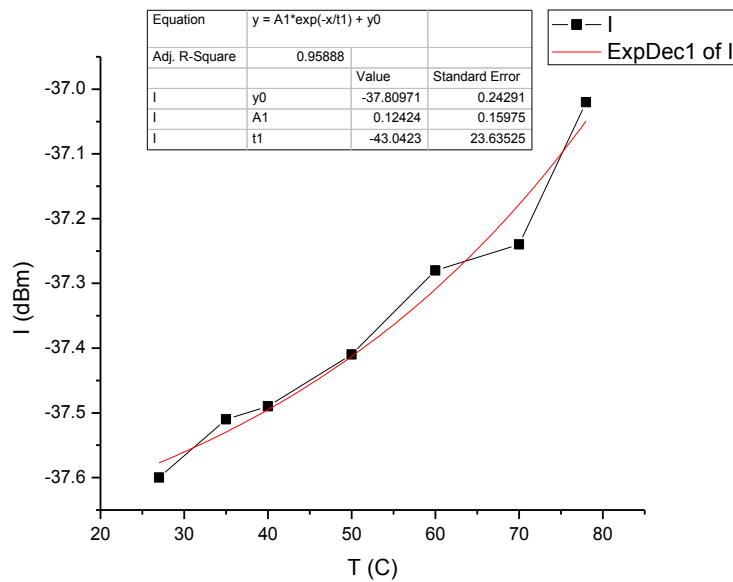


Gambar 12. Grafik hubungan viskositas rata-rata minyak goreng terhadap suhu

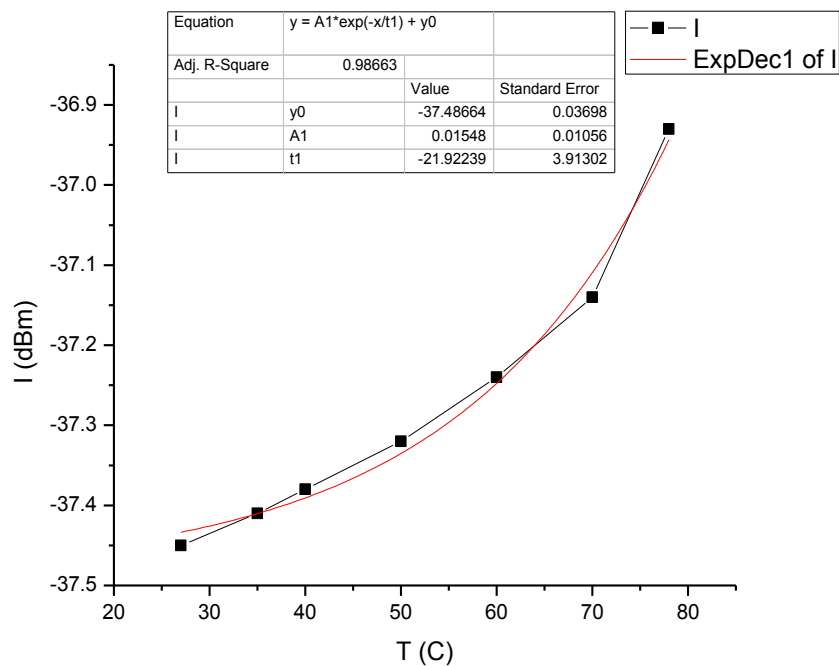
## 2. Menentukan Pengaruh Suhu terhadap Intensitas Keluaran Fiber Optik pada Medium Minyak Goreng



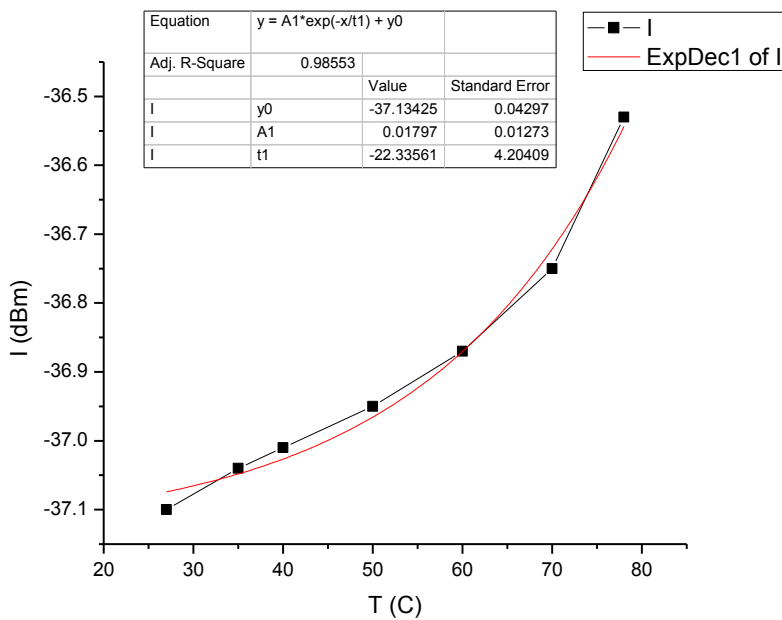
Gambar 13. Grafik hubungan intensitas keluaran fiber optik terhadap suhu minyak goreng.



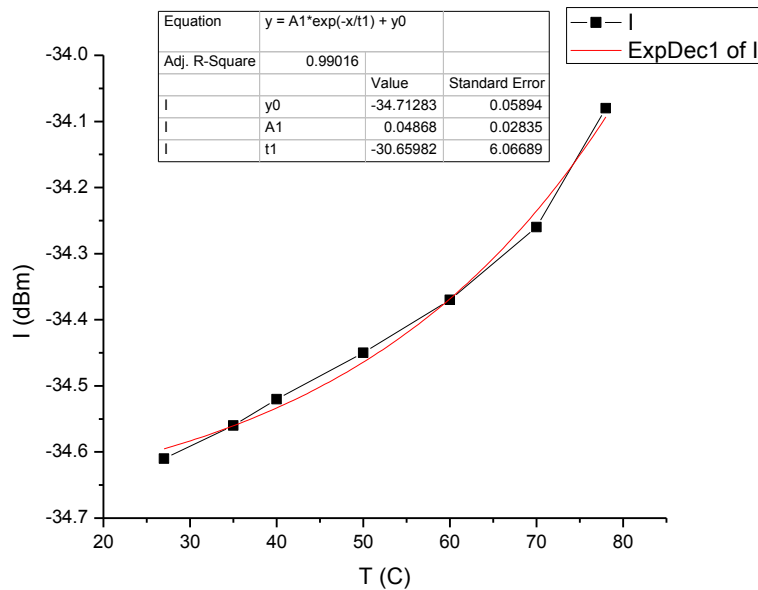
Gambar 14. Grafik hubungan intensitas keluaran fiber optik terhadap suhu minyak goreng pada pengulangan kedua.



Gambar 15. Grafik hubungan intensitas keluaran fiber optik terhadap suhu minyak goreng pada pengulangan ketiga.



Gambar 16. Grafik hubungan intensitas keluaran fiber optik terhadap suhu minyak goreng pada pengulangan keempat.



Gambar 17. Grafik hubungan intensitas keluaran fiber optik terhadap suhu minyak goreng pada pengulangan kelima.

### 3. Transformasi Data Viskositas dan Intensitas

Transformasi data bertujuan untuk mengubah data awal menjadi data yang diinginkan agar data viskositas dan intensitas dapat dibandingkan dan diketahui persamaannya. Transformasi data yang dilakukan adalah transformasi  $\ln$ , dimana data yang bernilai eksponensial di  $\ln$ -kan untuk mendapatkan nilai linear. Selain transformasi  $\ln$ , dilakukan juga transformasi *reverse score* (R) untuk data yang bernilai negatif.

Transformasi untuk viskositas dinamis rata-rata minyak goreng adalah sebagai berikut:

$$trans \ln = \ln(\mu) \quad (21)$$

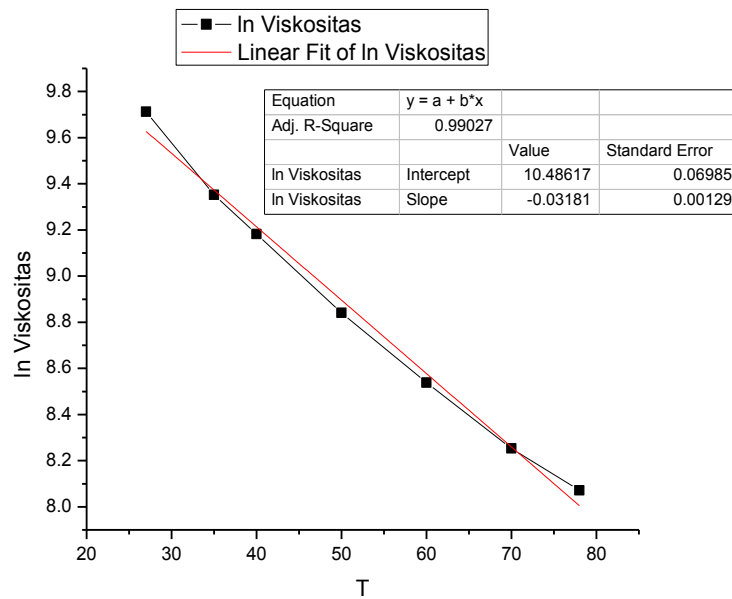
sedangkan transformasi untuk intensitas keluaran fiber optik adalah sebagai berikut:

$$1. \text{trans } R = \text{data angka terbesar} + \text{data negatif} + 1.25 \quad (22)$$

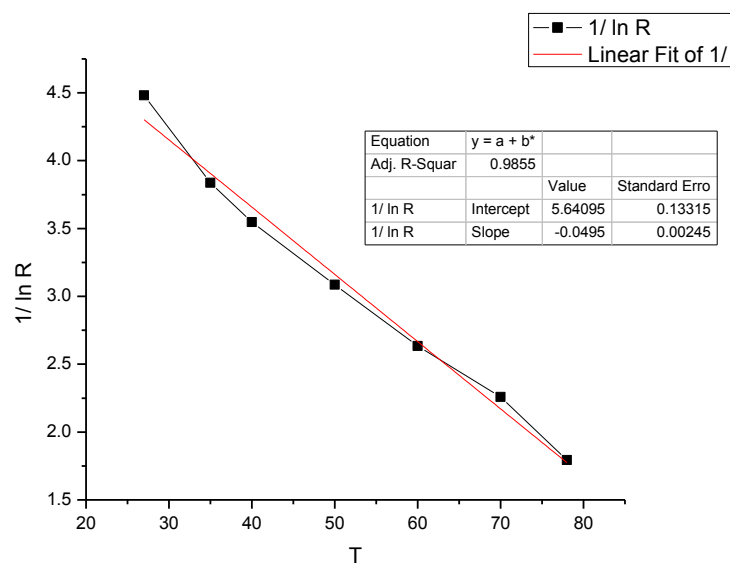
$$2. \text{trans } \ln = \ln(R) \quad (23)$$

$$3. \text{trans } fin = \frac{1}{\ln R} \quad (24)$$

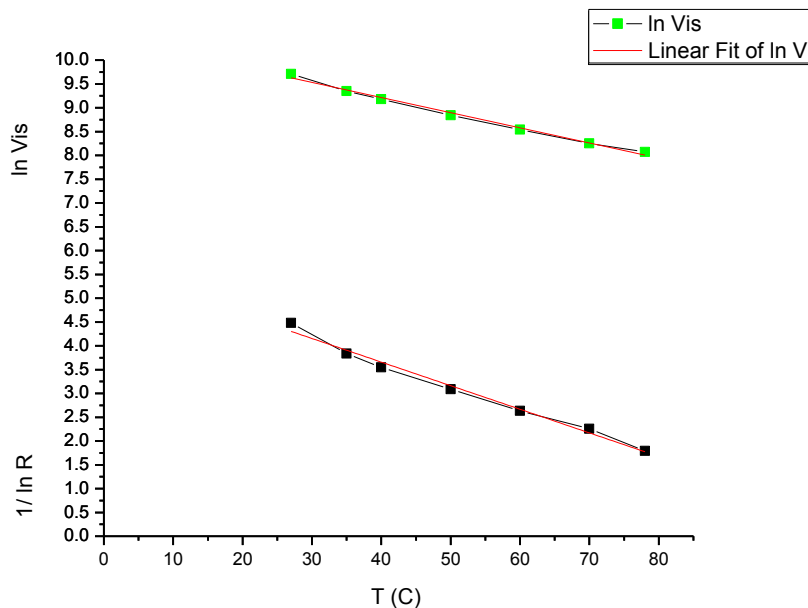
Diperoleh grafik sebagai berikut:



Gambar 18. Grafik transformasi ln untuk data viskositas rata-rata.



Gambar 19. Grafik transformasi untuk data intensitas rata-rata.



Gambar 20. Grafik perbandingan perubahan suhu terhadap transformasi viskositas rata-rata dan intensitas rata-rata.

## B. Pembahasan

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh suhu terhadap viskositas minyak goreng, mengetahui pengaruh suhu terhadap intensitas keluaran fiber optik yang mengenai minyak goreng, dan membandingkan perubahan suhu terhadap perubahan viskositas dan intensitas. Terdapat dua alat utama dalam penelitian ini, yaitu Viskometer Redwood dan Fiber Optik Plastik (FOP). Sedangkan sampel yang digunakan adalah minyak goreng dengan merk yang sama.

### 1. Pengaruh Suhu terhadap Viskositas Minyak Goreng

Dilakukan pengambilan data waktu tetes redwood sebanyak 8 kali pengulangan. Waktu tetes redwood merupakan waktu yang diperlukan (dalam sekon) 50 ml minyak goreng untuk menetes pada suhu yang telah ditentukan. Alat yang digunakan antara lain Viskometer Redwood, neraca ohaus digital, gelas

ukur 50 ml, dan stopwatch. Bahan yang digunakan adalah minyak goreng yang belum dipakai.

Variabel kontrol dalam penelitian ini yaitu volume minyak goreng, massa minyak goreng, dan suhu awal. Variabel bebas adalah suhu, dimana suhu divariasi dari 27°C, 35°C, 40°C, 50°C, 60°C, 70°C, dan 78°C. Variabel terikat adalah waktu tetes redwood.

Gambar 11 menunjukkan bahwa hubungan waktu tetes redwood terhadap suhu minyak goreng adalah eksponensial menurun. Artinya semakin tinggi suhu, waktu yang diperlukan minyak untuk menetes semakin sedikit. Kenaikan suhu menyebabkan getaran partikel semakin cepat sehingga membuat jarak antar partikel semakin jauh. Jarak partikel yang jauh inilah menurunkan nilai kekentalan atau viskositas minyak goreng. Viskositas minyak goreng yang menurun menyebabkan waktu tetes untuk minyak goreng semakin menurun pula. Pada suhu tertentu, penurunan waktu tetes semakin berkurang secara eksponensial.

Persamaan matematis hubungan antara waktu tetes dengan suhu adalah sebagai berikut:

$$t = 96.42016 + 2335.91218e^{-\frac{T}{20.89298}} \quad (25)$$

Dimana:

$t$  : waktu tetes redwood (s)

$y_0$  : konstanta (s)

$A_1$  : konstanta (s)

$t_1$  : konstanta (°C)

$T$  : suhu (°C)



Nilai waktu tetes redwood terhadap suhu dapat dilihat pada lampiran.

Selanjutnya, dengan menggunakan persamaan 14, diperoleh nilai viskositas dinamis minyak goreng yang diunjukkan oleh gambar 12. Persamaan matematis hubungan antara viskositas dinamis dengan suhu adalah sebagai berikut:

$$\mu = 2111.08286 + 53281.3807 e^{-\frac{T}{20.5621}} \quad (26)$$

Dimana:

$\mu$  : viskositas dinamis (Ns/m<sup>2</sup>)

$y_0$  : konstanta (Ns/m<sup>2</sup>)

$A_1$  : konstanta (Ns/m<sup>2</sup>)

$t_1$  : konstanta (°C)

$T$  : suhu (°C)

Tanda negatif pada persamaan diatas menunjukkan bahwa hubungan suhu dengan viskositas minyak goreng adalah eksponensial menurun. Dengan menggunakan persamaan 26, viskositas minyak goreng pada suhu diatas 78°C dapat ditentukan tanpa harus mengukur terlebih dahulu.

Tabel 3. Nilai viskositas minyak goreng hasil perhitungan dan analisis grafik

<b>T (°C)</b>	<b><math>\mu</math> (hasil analisis) (Ns/m<sup>2</sup>)</b>	<b><math>\mu</math> (hasil perhitungan) (Ns/m<sup>2</sup>)</b>
27	16410.06703	16521.01
35	11794.7514	11525.75
40	9701.211243	9725.212
50	6774.105612	6910.777
60	4975.827709	5107.384
70	3871.049192	3839.632
78	3302.980857	3200.233
80	3192.324525	-
90	2775.347577	-
100	2519.176285	-

Tabel diatas merupakan perbandingan nilai viskositas minyak goreng hasil perhitungan dengan hasil analisis grafik. Terlihat bahwa nilai viskositas minyak goreng hasil perhitungan dan hasil analisis grafik memiliki selisih. Hal ini dikarenakan nilai ketidakpastian yang besar. Viskometer Redwood merupakan jenis viskometer yang penggunaannya manual sehingga banyak alat ukur lain yang terlibat, seperti neraca, gelas ukur, stopwatch, termometer, dan setiap alat tersebut mempunyai nilai ketidakpastian.

## **2. Pengaruh Suhu terhadap Perubahan Intensitas Keluaran Fiber Optik**

Dilakukan pengukuran perubahan intensitas keluaran fiber optik terhadap suhu minyak goreng dengan 5 kali pengulangan. Variabel kontrol dalam penelitian ini yaitu panjang fiber optik plastik, panjang kupasan jaket fiber optik plastik, frekuensi laser HeNe, dan suhu awal minyak goreng. Variabel bebas adalah suhu minyak goreng dimana suhu divariasi dari 27°C, 35°C, 40°C, 50°C, 60°C, 70°C, dan 78°C. Variabel terikat adalah daya optik (intensitas keluaran dalam dBm).

Hasil penelitian adalah sebagai berikut ditunjukkan oleh gambar 13-17. Persamaan matematis untuk kelima grafik tersebut adalah sebagai berikut:

$$I = y_0 + A_1 e^{\frac{T}{T_1}} \quad (27)$$

dimana I : intensitas keluaran (dBm)

T : suhu (°C)

A<sub>1</sub> : konstanta (dBm)

y<sub>0</sub> : konstanta (dBm)

T<sub>1</sub> : konstanta (°C)

Dari persamaan 27, diketahui bahwa nilai intensitas keluaran fiber optik naik secara eksponensial ketika suhu naik.

Intensitas keluaran fiber optik bergantung dengan pemantulan internal sempurna yang terjadi di dalam *core*. Pemantulan internal total terjadi ketika sudut datang dalam *core* melebihi sudut kritis. Sesuai dengan Hukum Snellius,

$$\frac{\sin \theta_{core}}{\sin \theta_{cladding}} = \frac{n_{cladding}}{n_{core}} \quad (28)$$

$$\frac{\sin \theta_{core}}{\sin 90^\circ} = \frac{n_{cladding}}{n_{core}} \quad (29)$$

$$\sin \theta_{core} = \frac{n_{cladding}}{n_{core}} \quad (30)$$

Kenaikan suhu mengakibatkan turunnya viskositas minyak goreng yang menyebabkan indeks bias dari minyak goreng menurun (Sutiah.2008:57). Indeks bias minyak goreng berperan sebagai indeks bias *cladding*. Pada persamaan 30, ketika indeks bias cladding menurun maka sudut kritis  $\theta_{core}$  menurun pula, sehingga peluang terjadinya pemantulan internal sempurna semakin tinggi. Hal ini membuktikan bahwa kenaikan suhu minyak goreng menyebabkan kenaikan intensitas keluaran fiber optik.

Kelemahan penelitian ini adalah intensitas awal yang terukur oleh OPM pada suhu ruang setiap pengulangan data tidaklah sama. OPM merupakan detektor daya optik yang sangatlah sensitif terhadap masukan dan gangguan yang ada. Diameter lubang laser HeNe yang besar tidak sesuai dengan ukuran diameter fiber optik plastik, dan setiap titik di laser HeNe memiliki intensitas yang berbeda-beda

pula, sehingga sangatlah sulit menemukan posisi yang sama setiap pengambilan datanya. Selain itu perubahan posisi OPM juga membuat nilai intensitas keluaran yang terukur berubah pula.

### 3. Konversi Skala Intensitas dengan Viskositas

Dari hasil analisis, diperoleh grafik transformasi seperti ditunjukkan pada gambar 20. Grafik tersebut menunjukkan hubungan linear menurun antara hasil transformasi logaritmik viskositas dengan transformasi logaritmik intensitas keluaran fiber optik.

Konversi skala intensitas menjadi viskositas dilakukan dengan menggunakan persamaan:

$$\frac{A_2 - A_0}{A_1 - A_0} = \frac{B_2 - B_0}{B_1 - B_0} \quad (30)$$

dengan:  $A_0$  = hasil  $\ln$  Viskositas pada suhu  $27^\circ\text{C}$

$A_1$  = hasil  $\ln$  Viskositas pada suhu antara  $27^\circ\text{C}$  -  $78^\circ\text{C}$

$A_2$  = hasil  $\ln$  Viskositas pada suhu  $78^\circ\text{C}$

$B_0$  = hasil  $1/\ln R$  pada suhu  $27^\circ\text{C}$

$B_1$  = hasil  $1/\ln R$  pada suhu antara  $27^\circ\text{C}$  -  $78^\circ\text{C}$

$B_2$  = hasil  $1/\ln R$  pada suhu  $78^\circ\text{C}$

Diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$\frac{8.070979 - 9.712388}{A_1 - 9.712388} = \frac{1.793343 - 4.48142}{B_1 - 4.48142} \quad (31)$$

$$\frac{-1.64141}{A_1 - 9.712388} = \frac{-2.68808}{B_1 - 4.48142} \quad (32)$$

Persamaan 32 dapat ditulis menjadi berikut:

$$-1.64141B_1 + 7.3558476022 = -2.68808A_1 + 26.107675935 \quad (33)$$

Selanjutnya,  $A_1$  dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$A_1 = \frac{-1.64141 B_1 - 18.7518283328}{-2.68808} \quad (34)$$

Sehingga

$$\mu = \frac{-1.64141 I - 18.7518283328}{-2.68808} \quad (35)$$

$$\mu = 0.6106254278 I + 6.9759189953 \quad (36)$$

$$\mu = 0.61 I + 6.98 \quad (37)$$

Persamaan 36 dan 37 merupakan persamaan konversi nilai intensitas menjadi viskositas sehingga diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel 4. Konversi nilai intensitas menjadi viskositas

T	1/ ln R rata-rata	ln Vis hasil pengukuran	ln Vis hasil konversi intensitas
27	4.48142	9.712388	9.712388
35	3.837128	9.352339	9.31896692
40	3.547722	9.182477	9.14224826
50	3.086597	8.840837	8.86067361
60	2.633998	8.538443	8.58430515
70	2.25904	8.253132	8.35534626
78	1.793343	8.070979	8.07097983

Tabel 4 menunjukkan nilai viskositas minyak goreng dari hasil pengukuran dengan viskositas minyak goreng hasil perhitungan (konversi intensitas) memiliki selisih yang sangatlah sedikit. Dapat penulis simpulkan dari konversi tersebut bahwa persamaan 37 dapat digunakan sebagai persamaan untuk menghitung viskositas minyak goreng menggunakan sensor fiber optik.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### A. Kesimpulan

1. Pengaruh suhu terhadap viskositas minyak goreng adalah eksponensial negatif.
2. Pengaruh suhu terhadap intensitas keluaran fiber optik yang dikupas jaketnya adalah eksponensial positif.
3. Persamaan konversi skala intensitas menjadi viskositas adalah
$$\mu = 0.61 I + 6.98$$

#### B. Saran

1. Suhu yang digunakan masih dalam range rendah, yaitu dibawah 100°C. Untuk itu diharapkan pada penelitian selanjutnya menggunakan range suhu yang lebih luas dan lebih tinggi.
2. Rangkaian penelitian untuk intensitas keluaran fiber optik tidak dalam bentuk rangkaian yang tetap, sehingga nilai intensitas yang terukur setiap pengambilan data tidaklah sama. Selain itu sensor yang digunakan sangatlah sensitif terhadap pergeseran. Untuk itu diharapkan penggunaan sensor dan perangkaian alat dilakukan lebih maksimal.
3. Variasi minyak goreng diperbanyak, sehingga dapat dijadikan sebagai acuan pengukuran kualitas minyak goreng.

## DAFTAR PUSTAKA

- Al-Azzawi, Abdul.2006. *Fiber Optics: Principles and Advanced Practices, Second Edition*. Boca Raton: CRC Press.
- Ambasta, B.K. 2006. *Chemistry for Engineers*. New Delhi: Univesity Science Press.
- Anggita, Azmi Wahyu, Harmadi. 2015. *Aplikasi Serat Optik Sebagai Sensor Kekenralan Oli Mesran SAE 20W- 50 Berbasis Perubahan Temperatur*. Padang. Jurnal Fisika Unand. Vol. 4. No. 3. Hlm. 239-246.
- Angaitkar, J.N. AT Shende. 2013. *Temperature Dependent Dynamic (Absolute) Scosity of Oil*. Yavatmal. *International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT)*.Vol.3. No.4. Hlm. 449-454.
- Crips, John, Barry Elliot. 2005. *Introduction to Fiber Optics*. UK: Elseiver.
- Direktorat Jenderal Perkebunan. 2016. *Statistik Perkebunan Indonesia 2015-2017*. Diakses melalui <http://ditjenbun.pertanian.go.id/tinymcpuk/gambar/file/statistik/2017/kelapa-sawit-2015-2017.pdf>. Diakses pada tanggal 11 Oktober 2017 pukul 1.28 pm.
- Gupta, S.V. 2014. *Viscometry for Liquids: Calibration of Viscometers*. UK: Springer.
- Harschel, Winslow H. 1917. *The Redwood Viscometer. Technologic Papers of Bureau of Standars*. Vol. 16. No. 210.
- Ilmi, Ibnu Malkan Bakhrul, Ali Khomsan, dan Sri Anna Marliyati, 2015. *Kualitas Minyak Goreng dan Produk Gorengan Selama Penggorengan di Rumah Tangga Indonesia*. Jakarta. Jurnal Aplikasi Teknologi Pangan. Vol.4. No.2. Hlm. 61-64.
- Ketaren, S. 1986. *Pengantar Teknologi Minyak dan Lemak Pangan*. Jakarta: UII-press.
- Mujadin, Anwar. Syafitri Jumianto. Riris Lindiawati Puspitasari. 2014. *Pengujian Kualitas Minyak Goreng Berulang menggunakan Metoda Uji Viskositas dan Perubahan Fisis*. Jakarta. Jurnal Al-Azhar Indonesia Seri Sains dan Teknologi. Vol.2. No.4. Hlm. 229-233.

- Munson, B.2003. *Mekanika Fluida: Edisi Keempat*. Jakarta: Erlangga.
- Perkins EG and MD. Erickson. 1996. *Deep Frying: Chemistry, Nutrition and Practical Applications*. Illionis: AOCS Press.
- Prasetyowati, Rita. 2015. *Uji Viskositas Pemakaian Pelumas Mesin Kendaraan Bermotor*. Yogyakarta. Jurnal Jains Dasar 2015. Vol.4. No.1. Hlm. 42-48.
- Viswanath, Dabir S, Tushar K. Gosh, Dasika H.L. Prasad dkk. 2007. *Viscosity of Liquids: Theory, Estimation, Experiment, and Data*. Nethertland: Springer.
- Wright, Paul H. 2005. *Pengantar Engineering/ Edisi Ketiga*. Jakarta: Erlangga.



## LAMPIRAN

### A. Lampiran 1

#### 1. Data Waktu Tetes Redwood Minyak Goreng

T (°C)	t redwood (s)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
27	727.70	727.89	731.54	721.71	714.43	733.00	712.77	712.54
35	512.91	495.32	505.71	498.80	504.33	513.97	512.39	493.72
40	417.26	423.72	435.04	428.56	423.35	432.66	428.15	420.17
50	293.78	311.98	309.51	305.82	302.83	300.91	302.12	301.32
60	212.21	249.37	224.32	223.11	225.92	224.78	221.99	220.18
70	-	-	-	172.09	-	171.77	170.73	167.28
78	-	-	-	-	-	143.56	143.05	142.48

#### 2. Waktu Tetes Rata-Rata Redwood

T (°C)	t redwood (s)
27	722.6975
35	504.6438
40	426.1138
50	303.5338
60	225.235
70	170.4675
78	143.03

#### 3. Data Viskositas Dinamis Minyak Goreng

T (°C)	$\mu$ (Ns/m <sup>2</sup> )							
	1	2	3	4	5	6	7	8
27	16635.57	16639.92	16723.5	16498.4	16331.69	16756.93	16293.67	16288.4
35	11715.22	11312.05	11550.2	11391.81	11518.57	11739.52	11703.3	11275.37
40	9522.128	9670.311	9929.947	9781.325	9661.824	9875.362	9771.922	9588.881
50	6686.49	7104.959	7048.181	6963.351	6894.606	6850.458	6878.281	6859.886
60	4806.639	5664.121	5086.347	5058.412	5123.281	5096.966	5032.553	4990.757
70	-	-	-	3877.334	-	3869.901	3845.739	3765.554
78	-	-	-	-	-	3212.627	3200.702	3187.371

#### 4. Viskositas Dinamis Rata-Rata Minyak Goreng

T (°C)	$\mu$ (Ns/m <sup>2</sup> )
27	16521.01
35	11525.75
40	9725.212
50	6910.777
60	5107.384
70	3839.632
78	3200.233

#### 5. Data Intensitas Keluaran Fiber Optik

T (°C)	I (dBm)				
	1	2	3	4	5
27	-40.23	-37.6	-37.45	-37.1	-34.61
35	-40.22	-37.51	-37.41	-37.04	-34.56
40	-40.2	-37.49	-37.38	-37.01	-34.52
50	-40.17	-37.41	-37.32	-36.95	-34.45
60	-40.12	-37.28	-37.24	-36.87	-34.37
70	-40.03	-37.24	-37.14	-36.75	-34.26
78	-39.89	-37.02	-36.93	-36.53	-34.08

#### 6. Transformasi Data Viskositas Dinamis Minyak Goreng

T	Viskositas dinamis	ln (Vis)
27	16521	9.712388
35	11525.8	9.352339
40	9725.21	9.182477
50	6910.78	8.840837
60	5107.38	8.538443
70	3839.63	8.253132
78	3200.23	8.070979

## 7. Transformasi Data Intensitas Keluaran Fiber Optik

### a. Data 1

T	I	Trans reverse skor (R)	ln (R)	1/ ln (R)
27	-40.23	1.25	0.223144	4.48142
35	-40.22	1.26	0.231112	4.326912
40	-40.2	1.28	0.24686	4.050878
50	-40.17	1.31	0.270027	3.703331
60	-40.12	1.36	0.307485	3.252194
70	-40.03	1.45	0.371564	2.69133
78	-39.89	1.59	0.463734	2.156409

### b. Data 2

T (°C)	I (dBm)	Trans reverse skor (R)	ln (R)	1/ ln (R)
27	-37.6	1.25	0.223144	4.48142
35	-37.51	1.34	0.29267	3.416822
40	-37.49	1.36	0.307485	3.252194
50	-37.41	1.44	0.364643	2.742407
60	-37.28	1.57	0.451076	2.216923
70	-37.24	1.61	0.476234	2.099807
78	-37.02	1.83	0.604316	1.654763

### c. Data 3

T (°C)	I (dBm)	Trans reverse skor (R)	ln (R)	1/ ln (R)
27	-37.45	1.25	0.223144	4.48142
35	-37.41	1.29	0.254642	3.927079
40	-37.38	1.32	0.277632	3.601894
50	-37.32	1.38	0.322083	3.104785
60	-37.24	1.46	0.378436	2.642452
70	-37.14	1.56	0.444686	2.248779
78	-36.93	1.77	0.57098	1.751376

**d. Data 4**

T (°C)	I (dBm)	Trans reverse skor (R)	ln (R)	1/ ln (R)
27	-37.1	1.25	0.223144	4.48142
35	-37.04	1.31	0.270027	3.703331
40	-37.01	1.34	0.29267	3.416822
50	-36.95	1.4	0.336472	2.972013
60	-36.87	1.48	0.392042	2.550747
70	-36.75	1.6	0.470004	2.127643
78	-36.53	1.82	0.598837	1.669905

**e. Data 5**

T (°C)	I (dBm)	Trans reverse skor (R)	ln (R)	1/ ln (R)
27	-34.61	1.25	0.223144	4.48142
35	-34.56	1.3	0.262364	3.811495
40	-34.52	1.34	0.29267	3.416822
50	-34.45	1.41	0.34359	2.910448
60	-34.37	1.49	0.398776	2.507673
70	-34.26	1.6	0.470004	2.127643
78	-34.08	1.78	0.576613	1.734264

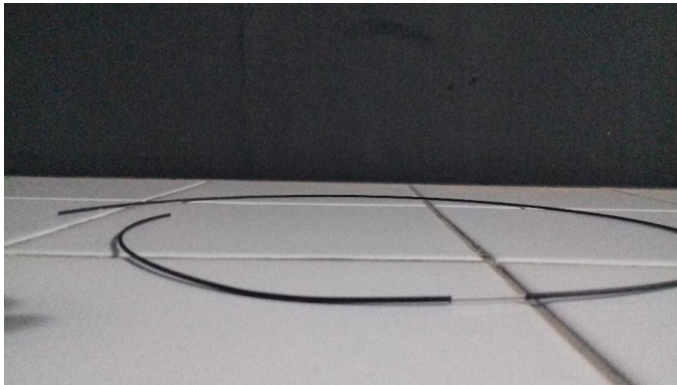
**f. Rata-rata**

T (°C)	1/ ln (R)					
	1	2	3	4	5	rata-rata
27	4.48142	4.48142	4.48142	4.48142	4.48142	4.48142
35	4.326912	3.416822	3.927079	3.703331	3.811495	3.837128
40	4.050878	3.252194	3.601894	3.416822	3.416822	3.547722
50	3.703331	2.742407	3.104785	2.972013	2.910448	3.086597
60	3.252194	2.216923	2.642452	2.550747	2.507673	2.633998
70	2.69133	2.099807	2.248779	2.127643	2.127643	2.25904
78	2.156409	1.654763	1.751376	1.669905	1.734264	1.793343

## 8. Perbandingan Transformasi Viskositas dan Intensitas

T	ln (Vis)	1/ ln R rata-rata
27	9.712388	4.48142
35	9.352339	3.837128
40	9.182477	3.547722
50	8.840837	3.086597
60	8.538443	2.633998
70	8.253132	2.25904
78	8.070979	1.793343

### B. Lampiran 2



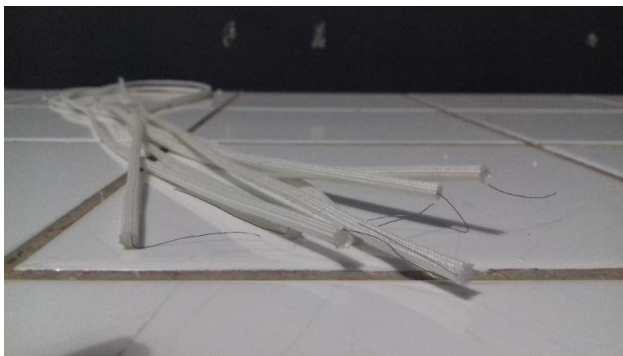
Gambar 21. Fiber optik plastik yang dikupas jaketnya



Gambar 22. OPM



Gambar 23. Sampel minyak goreng



Gambar 24. Elemen pemanas beserta selongsong



Gambar 25. Termometer alkohol 100°C



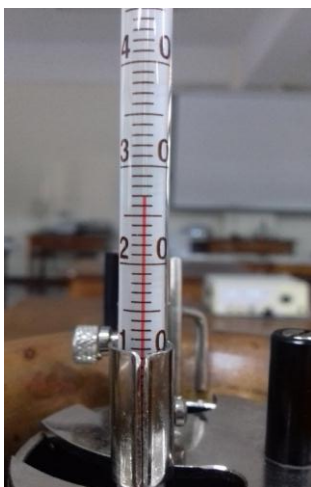
Gambar 26. Sterofoam penutup lubang laser



Gambar 27. Selotip hitam penutup lubang laser.



Gambar 28. Aseton pembersih *cladding* fiber optik.



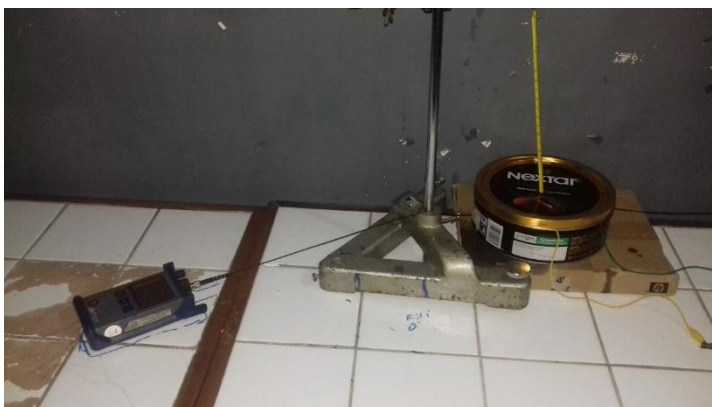
Gambar 29. Termometer dan tutup Viskometer Redwood.



Gambar 30. Rangkaian alat pengukur intensitas keluaran keluaran fiber optik.



Gambar 31. Tempat minyak goreng, laser HeNe, dan fiber optik plastik yang melaluinya.



Gambar 31. Rangkaian fiber optik dan OPM.