



**KARAKTERISTIK REOLOGI GULA MERAH KELAPA CAIR  
PADA BERBAGAI KONSENTRASI DAN SUHU**

**SKRIPSI**

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Pertanian (S1) dan mencapai gelar Sarjana Teknologi Pertanian

Oleh

**Sri Sulastri**

**NIM 111710201004**

**JURUSAN TEKNIK PERTANIAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN  
UNIVERSITAS JEMBER  
2016**

## **PERSEMBAHAN**

Terimakasih dan penuh rasa syukur hamba kepada Allah SWT yang maha penyayang terhadap hamba-Nya. *Alhamdulillah* skripsi ini dapat terselesaikan.

“Saya persembahkan skripsi ini untuk ibu dan nenek saya tercinta yang memberikan ketulusan doa, dukungan serta semangat yang luar biasa”.

## **MOTTO**

Ingatlah bahwa setiap hari dalam sejarah kehidupan kita ditulis dengan tinta yang tak dapat terhapus lagi

-Thomas Carlyle-

Barang siapa bertawakkal pada Allah, maka Allah akan memberikan kecukupan padanya dan sesungguhnya Allah lah yang akan melaksanakan urusan yang dikehendakiNya

-QS. Ath-Thalaq 3-

## PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

nama : Sri Sulastri

NIM : 111710201004

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul ***“Karakteristik Reologi Gula Merah Kelapa Cair Pada Berbagai Konsentrasi dan Suhu”*** adalah benar-benar hasil karya saya sendiri, kecuali dalam kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan dalam institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta mendapatkan sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 5 Januari 2016

Sri Sulastri

NIM 111710201004

# **SKRIPSI**

## **KARAKTERISTIK REOLOGI GULA MERAH KELAPA CAIR PADA BERBAGAI KONSENTRASI DAN SUHU**

Oleh

**Sri Sulastr**  
**NIM 111710201004**

Pembimbing:

Dosen Pembimbing Utama : Sutarsi, S. TP., M.Sc.

Dosen Pembimbing Anggota : Dr. Ir. Iwan Taruna, M. Eng.

## PENGESAHAN

Skripsi berjudul “**Karakteristik Reologi Gula Merah Kelapa Cair pada Berbagai Konsentrasi dan Suhu**” telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal : 05 Januari 2016

tempat : Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember

Dosen Pembimbing Utama,

Anggota,

**Sutarsi, S.TP, M. Sc.**

NIP. 198109262009012002

**Dr. Ir. Iwan Taruna, M. Eng.**

NIP. 196910051994021001

Tim Penguji:

Ketua,

Anggota,

**Ir. Setiyo Harri, M.S.**

NIP. 195309241983031001

**Dr. Ir. Sih Yuwanti, M.P.**

NIP. 196507081994032002

Mengesahkan  
Dekan,

**Dr. Yuli Witono, S.TP, M.P.**

NIP. 196912121998021001

## SUMMARY

**The Rheological Properties of Liquid Palm Sugar in Any Concentrations and Temperatures;** Sri Sulastri; 111710201004; 2015; 66 pages; Department of Agriculture Engineering, Faculty of Agricultural Tecnology, University of Jember.

Palm sugar is one produced from oil-based raw materials. Palm sugar has a special characteristic good taste, aroma and shape, which is very different from white sugar made from sugar cane. In the everyday life of palm sugar has many benefits. In the food industry, palm sugar used for sweetening beverages and materials for soy sauce (Pato and Fitriany, 2009: 45). At this time, many found the palm sugar in liquid form on the market. Some of the advantages of liquid palm sugar, for example in terms of its use can be directly used directly or mixed with food, such as ice cendol and lupis. From the aspect of packaging liquid palm sugar can be packaged in the form of bottled or cisterns so easy in marketing and can be kept clean. Understanding of the physical properties of liquid materials, particularly related to rheological properties is very important to devise a method and apparatus for processing and transport system of liquid foodstuffs. Therefore, this study was conducted to Obtain and complete the data base as a consideration in the selection of the tools of production processes with the basic ingredients of the liquid palm sugar.

This research was conducted at the laboratory of the Department of Mechanical Engineering of Agricultural Products of Agriculture, Faculty of Agriculture, University of Jember. The research activities carried out from February to May 2015. This research procedure starts from the process of collecting the material, size reduction, the manufacture of liquid palm sugar. Liquid palm sugar with a condition subsequently measured viscosity at concentrations (78, 80, and 82% TS), the temperature (25, 30, and 35°C), and the spindle rotational speed (8; 10; and 12RPM). Data include rheological properties of viscosity, shear rate value, shear stress, constant value (k), and the flow index (n) obtained from the graph and statistical analysis. Validity test is done to test the

models using a power law with Root mean square error (RMSE), the value of regression ( $R^2$ ), and Mean Relative Percent Error (P).

Results based on the parameters measured obtained relationship between concentration and viscosity of the liquid palm sugar. The greater the concentration of liquid palm sugar viscosity value will increase. Liquid palm sugar viscosity values at lower temperatures has greater. Whereas at higher temperatures viscosity liquid palm sugar has the lowest value. The relationship between viscosity and spindle speeds shows that the higher the spindle speed used viscosity grades lower liquid palm sugar, viscosity values at 8RPM speed greater than the speed of 12RPM. Results of the analysis of the rheological liquid palm sugar has the characteristics of non-Newtonian fluid pseudoplastic types. Analysis of the observed data and the estimation data obtained by comparison of the value of which is not much different. Based on the validity of the test that has been carried out using the RMSE,  $R^2$ , and P, the lowest RMSE value is at a concentration of 80% TS at 25°C with a value 0,000001N/m<sup>2</sup>, the  $R^2$  value close to 1 is at a concentration of 80% TS at 25°C with a value of 1, and the value of P which has the lowest percentage in the concentration of 80% TS at a temperature of 25°C with a value of 0,3035%.



## RINGKASAN

**Karakteristik Reologi Gula Merah Kelapa Cair Pada Berbagai Konsentrasi dan Suhu;** Sri Sulastri; 111710201004; 2015; xxx halaman; Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember.

Gula merah merupakan salah satu hasil olahan dari bahan baku berbasis kelapa. Gula kelapa memiliki ciri khusus baik rasa, aroma dan bentuknya, yang sangat berbeda dengan gula putih yang terbuat dari bahan tebu. Dalam kehidupan sehari-hari gula merah mempunyai banyak manfaat. Dalam industri pangan, gula merah digunakan untuk bahan pemanis minuman dan bahan pembuatan kecap (Pato dan Fitriani, 2009:45). Pada saat ini, banyak dijumpai gula merah dalam bentuk cair yang beredar di pasaran. Beberapa kelebihan dari gula merah cair, misalnya dalam hal pemakaiannya bisa langsung digunakan atau dicampur langsung dengan makanan, misalnya es cendol dan lupis. Dari aspek pengemasan gula merah cair dapat dikemas dalam bentuk botol atau jirigen sehingga mudah dalam pemasarannya dan bisa terjaga kebersihannya. Pemahaman sifat fisik dari bahan cair khususnya yang terkait dengan sifat reologi sangat penting untuk merancang metode dan peralatan pengolahan serta sistem transportasi bahan pangan cair. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk memperoleh dan melengkapi data dasar sebagai pertimbangan pemilihan alat pada proses produksi dengan bahan dasar gula merah cair tersebut.

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Enjiniring Hasil Pertanian Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Jember. Kegiatan penelitian ini dilaksanakan pada bulan Februari sampai Mei 2015. Prosedur penelitian ini dimulai dari proses pengumpulan bahan, pengecilan ukuran, pembuatan gula merah cair. Gula merah cair selanjutnya diukur viskositasnya dengan mengkondisikan pada konsentrasi (78, 80, dan 82%TS), pada suhu (25, 30, dan 35°C), dan pada kecepatan putar spindel (8; 10; dan 12RPM). Data sifat reologi yang meliputi viskositas, nilai *shear rate*, *shear stress*, nilai konstanta (*k*), dan *flow index* (*n*) didapatkan dari analisis secara grafik dan statistik. Uji validitas

dilakukan untuk menguji model *power law* dengan menggunakan *Root mean square error* (RMSE), nilai regresi ( $R^2$ ), dan *Mean Relative Percent Error* (P).

Hasil Penelitian berdasarkan parameter yang telah diukur didapatkan hubungan antara konsentrasi dan viskositas gula merah cair. Semakin besar konsentrasi gula merah cair nilai viskositasnya akan semakin meningkat. Nilai viskositas gula merah cair pada suhu yang lebih rendah memiliki yang lebih besar. Sedangkan pada suhu yang lebih tinggi nilai viskositas gula merah cair memiliki nilai paling rendah. Hubungan antara viskositas dan kecepatan spindel menunjukkan bahwa semakin tinggi kecepatan spindel yang digunakan nilai viskositas gula merah cair semakin rendah, nilai viskositas pada kecepatan 8RPM lebih besar dari pada kecepatan 12RPM. Hasil analisis reologi gula merah cair memiliki karakteristik fluida non-newtonian jenis *pseudoplastic*. Analisis antara data observasi dan data estimasi diperoleh perbandingan nilai yang tidak jauh beda. Berdasarkan uji validitas yang telah dilakukan menggunakan RMSE,  $R^2$ , dan P, nilai RMSE terendah yaitu pada konsentrasi 80% TS pada suhu 25°C dengan nilai 0,000001N/m<sup>2</sup>, nilai  $R^2$  yang mendekati 1 yaitu pada konsentrasi 80% TS pada suhu 25°C dengan nilai 1, dan nilai P yang memiliki persentase terendah pada pada konsentrasi 80% TS pada suhu 25°C dengan nilai 0,3035%.

## **PRAKATA**

Rasa Syukur Kehadirat Allah SWT yang tak pernah lupa melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya yang luar biasa besar, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Karakteristik Reologi Gula Merah Kelapa Cair Pada Berbagai Konsentrasi dan Suhu” dengan baik. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) di Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari dukungan serta bantuan dari berbagai pihak. Oleh karenanya penulis menyampaikan rasa terima kasih yang teramat dalam kepada:

1. Sutarsi, S.TP., M.Sc., selaku dosen pembimbing utama yang telah meluangkan waktu, pikiran dan perhatian dalam membimbing penelitian skripsi ini;
2. Dr. Ir. Iwan Taruna, M. Eng., selaku dosen pembimbing anggota yang telah memberikan arahan dan perbaikan dalam penyusunan skripsi ini;
3. Ir. Setiyo Harri, M.S. dan Dr. Ir. Sih Yuwanti, M.P., selaku tim penguji yang telah memberikan kritik, saran, serta bimbingan yang membangun dalam perbaikan penulisan skripsi ini;
4. Dr. Yuli Witono, S.TP, M.P., selaku Dekan Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember;
5. Dr. Ir. Bambang Marhaenanto, M. Eng., selaku Ketua Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember;
6. Ir. Muhardjo Pudjojono, selaku Komisi Bimbingan Jurusan Teknik pertanian Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember;
7. Ibunda Siti Ngaisah, Nenek Chofifah Al Kalfiah, dan seluruh keluarga besar tercinta, terima kasih atas segala doa, kasih sayang, semangat dan motivasi yang sangat luar biasa;
8. Teman-teman penelitian (Irma, Ayin, Tiara, Rima, Vrita, Vira, dan Clara) terima kasih buat semangat dan segala bantuannya pada saat penelitian hingga skripsi ini selesai;

9. Keluarga, dan sahabat-sahabat TEP 2011 yang telah berbagi kisah, suka duka, dan pengalaman selama masa perkuliahan;
10. Sahabat sekaligus keluarga di Jember (Alfan, Tanjung, Wendy, Dini, dan Mbak be), terima kasih atas segala doa, semangat, bantuan dan motivasinya;
11. Keluarga dan sahabat penghuni kost Jawa 4 19a (Mbak Ayak, Candra, Amel, Bunga, dan Ika) yang telah berbagi suka dan duka, dan memberikan dukungan, serta motivasi;
12. Sahabat sejawatiku Evy Agustina, terima kasih atas segala doa, dan motivasi yang sangat luar biasa;
13. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis sadar bahwa skripsi ini jauh dari kata sempurna dan memiliki banyak kesalahan. Penulis berharap kritik dan saran yang membangun dari pembaca demi sempurnanya tulisan ini. Semoga skripsi ini dapat menambah pengetahuan bagi pembaca.

Jember , Desember 2015

Penulis,

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN .....</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN MOTTO .....</b>	<b>iii</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN.....</b>	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PEMBIMBING .....</b>	<b>v</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN.....</b>	<b>vi</b>
<b>SUMMARY .....</b>	<b>vii</b>
<b>RINGKASAN .....</b>	<b>ix</b>
<b>PRAKATA .....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xvi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN.....</b>	<b>xix</b>
<b>BAB 1. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Latar Belakang.....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Rumusan Masalah .....</b>	<b>2</b>
<b>1.3 Batasan Masalah .....</b>	<b>2</b>
<b>1.4 Tujuan.....</b>	<b>2</b>
<b>1.5 Manfaat.....</b>	<b>3</b>
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>4</b>
<b>2.1 Pengolahan Gula Merah .....</b>	<b>4</b>
2.1.1 Penyadapan.....	4
2.1.2 Pembuatan Gula Kelapa .....	4
2.1.3 Pencetakan Gula Kelapa.....	5
<b>2.2 Komposisi Gula Merah.....</b>	<b>5</b>
<b>2.3 Mutu Gula Palma.....</b>	<b>5</b>
<b>2.4 Reologi.....</b>	<b>6</b>

<b>2.5 Karakteristik Aliran Fluida .....</b>	<b>7</b>
2.5.1 Aliran Newtonian.....	7
2.5.2 Aliran Non Newtonian .....	8
<b>2.6 Viskositas .....</b>	<b>10</b>
<b>2.7 Pemodelan Sifat Reologi.....</b>	<b>11</b>
<b>BAB 3. METODE PENELITIAN.....</b>	<b>12</b>
<b>3.1 Tempat dan Waktu Penelitian.....</b>	<b>12</b>
<b>3.2 Bahan dan Alat Penelitian .....</b>	<b>12</b>
3.2.1 Bahan.....	12
3.2.2 Alat .....	12
<b>3.3 Prosedur Penelitian .....</b>	<b>12</b>
3.3.1 Prosedur Pengumpulan Bahan.....	14
3.3.2 Rancangan Penelitian .....	14
3.3.3 Pembuatan Konsentrasi Gula Merah cair .....	15
3.3.4 Penentuan Konsentrasi Gula Merah Cair .....	15
3.3.5 Proses Homogenisasi.....	16
3.3.6 Penentuan Variasi Suhu.....	16
3.3.7 Penyusunan Program Winghater .....	16
3.3.8 Pengukuran Sifat Reologi.....	17
<b>3.4 Analisis Data dan Uji Validitas.....</b>	<b>22</b>
<b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>24</b>
<b>4.1 Pengukuran Kadar Air Gula Merah Cair.....</b>	<b>24</b>
<b>4.2 Hubungan Viskositas Gula Merah Cair Terhadap Konsentrasi     dan Suhu .....</b>	<b>24</b>
<b>4.3 Karakteristik Reologi Gula Merah Cair.....</b>	<b>28</b>
4.3.1 Hubungan Viskositas dan <i>Shear rate</i> .....	28
4.3.2 Hubungan <i>Shear rate</i> dan Shear stress.....	30
4.3.3 Konstanta ( <i>k</i> ) dan flow index ( <i>n</i> ) .....	32
<b>4.4 Uji Validitas Model.....</b>	<b>37</b>
<b>BAB 5. PENUTUP.....</b>	<b>39</b>
<b>5.1 Kesimpulan.....</b>	<b>39</b>

<b>5.2 Saran .....</b>	<b>40</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>41</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>42</b>

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Komposisi Zat Gula Jawa per 100 g Bahan.....	5
Tabel 2.2 Syarat Mutu Gula Palma.....	6
Tabel 2.3 Ketentuan Nilai $k$ , $n$ , dan $\sigma_0$ pada Beberapa Model Reologi.....	11
Tabel 3.1 Variabel dan Parameter Karakteristik Gula Merah Cair.....	14
Tabel 3.2 Faktor Konversi Viskometer Brookfield RV <i>Type Disk</i> .....	21
Tabel 4.1 Nilai Korelasi Antara RPM, Suhu, Konsentrasi dengan Viskositas Gula Merah Cair.....	27
Tabel 4.2 Nilai <i>Consistency Index (k)</i> dan <i>Flow Index (n)</i> .....	32
Tabel 4.3 Nilai RMSE, $R^2$ , dan P Menggunakan Model <i>Power Law</i> .....	37



## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Grafik Aliran Fluida Newtonian .....	8
Gambar 2.2 Grafik Aliran Fluida <i>Pseudoplastic</i> .....	8
Gambar 2.3 Grafik Aliran Fluida <i>Dilatant</i> .....	9
Gambar 2.4 Grafik Aliran Fluida <i>Plastic</i> .....	10
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian .....	13
Gambar 3.2 Penyusunan Program Winghater .....	17
Gambar 3.3 Tampilan Layar Viskometer “ <i>PC prog off</i> ” .....	18
Gambar 3.4 Tampilan Layar Viskometer “ <i>download a prog</i> ” .....	18
Gambar 3.5 Tampilan Layar Viskometer “ <i>press enter key</i> ” .....	19
Gambar 3.6 Tampilan Layar Viskometer “ <i>download done</i> ” .....	19
Gambar 3.7 Tampilan Layar Viskometer “ <i>run a prog</i> ” .....	19
Gambar 3.8 Tampilan Layar Viskometer Memilih Lokasi Program .....	19
Gambar 3.9 Tampilan Layar Viskometer Untuk Menjalankan Program .....	20
Gambar 3.10 Garis Linear Log $\tau_i$ dan log $N_i$ .....	21
Gambar 4.1 Hubungan antara Viskositas dengan Konsentrasi Gula Merah Cair pada Berbagai Suhu Menggunakan Spindel 03 dan Kecepatan 8RPM .....	25
Gambar 4.2 Hubungan antara Viskositas dengan Konsentrasi Gula Merah Cair pada Berbagai Suhu Menggunakan Spindel 03 dan Kecepatan 10RPM.....	25
Gambar 4.3 Hubungan antara Viskositas dengan Konsentrasi Gula Merah Cair pada Berbagai Suhu Menggunakan Spindel 03 dan Kecepatan 12RPM .....	25
Gambar 4.4 Hubungan antara <i>Shear Rate</i> dengan Viskositas Gula Merah Cair pada Konsentrasi 78% TS .....	28
Gambar 4.5 Hubungan antara <i>Shear Rate</i> dengan Viskositas Gula Merah Cair pada Konsentrasi 80% TS .....	29

Gambar 4.6 Hubungan antara <i>Shear Rate</i> dengan Viskositas Gula Merah Cair pada Konsentrasi 82% TS .....	29
Gambar 4.7 Hubungan antara <i>Shear Rate</i> dengan <i>Shear Stress</i> Gula Merah Cair pada Konsentrasi 78% TS .....	30
Gambar 4.8 Hubungan antara <i>Shear Rate</i> dengan <i>Shear Stress</i> Gula Merah Cair pada Konsentrasi 80% TS .....	31
Gambar 4.9 Hubungan antara <i>Shear Rate</i> dengan <i>Shear Stress</i> Gula Merah Cair pada Konsentrasi 82% TS .....	31
Gambar 4.10 Hubungan antara Konstanta ( <i>k</i> ) dengan Suhu Gula Merah Cair pada Konsentrasi 82% TS .....	33
Gambar 4.11 Hubungan antara Konstanta ( <i>k</i> ) dengan Suhu Gula Merah Cair pada Konsentrasi 80% TS .....	34
Gambar 4.12 Hubungan antara Konstanta ( <i>k</i> ) dengan Suhu Gula Merah Cair pada Konsentrasi 78% TS .....	34
Gambar 4.13 Hubungan antara <i>Flow Index</i> ( <i>n</i> ) dengan Suhu Gula Merah Cair pada Konsentrasi 82% TS .....	35
Gambar 4.14 Hubungan antara <i>Flow Index</i> ( <i>n</i> ) dengan Suhu Gula Merah Cair pada Konsentrasi 80% TS .....	35
Gambar 4.15 Hubungan antara <i>Flow Index</i> ( <i>n</i> ) dengan Suhu Gula Merah Cair pada Konsentrasi 78% TS .....	36

## DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
A. Hasil Pengukuran Viskositas Gula Merah Cair.....	42
B. Hasil Perhitungan <i>Shear Stress</i> dan <i>Shear Rate</i> .....	45
C. Hasil Perhitungan Konstanta ( <i>k</i> ) dan <i>Flow Index (n)</i> .....	54
D. Analisis Data RMSE, $R^2$ , dan P .....	63
E. Gambar Gula Merah Kelapa dan Larutan Gula Merah Cair .....	64
F. Gambar Pengukuran Karakteristik Reologi Gula Merah Cair.....	65

## **BAB 1. PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Gula merah merupakan salah satu hasil olahan dari bahan baku berbasis kelapa. Umumnya gula merah atau yang dikenal dengan gula jawa terbuat dari penguapan nira pohon kelapa yang telah diolah. Ada tiga tahap yang dilakukan dalam pembuatan gula merah, yaitu tahap penyadapan nira kelapa, tahap pembuatan gula kelapa, dan tahap pencetakan. Gula kelapa memiliki ciri khusus baik rasa, aroma dan bentuknya, yang sangat berbeda dengan gula putih yang terbuat dari bahan tebu. Sentra pembuatan produk gula merah terletak di Blitar, Lumajang, sebagian Ponorogo dan Kediri. Penjualan gula merah hampir meliputi seluruh Jawa dan sebagian Sumatera dan Kalimantan bahkan sebagian sudah diekspor ke Timur Tengah dan Malaysia, (Heri dan Lukman, 2007:74).

Dalam kehidupan sehari-hari gula merah cair mempunyai banyak manfaat. Dalam industri pangan, gula merah cair digunakan untuk bahan pemanis minuman dan bahan pembuatan kecap. Keunggulan dari kandungan gizi yang dimiliki oleh gula merah cair adalah rendahnya indeks glikemik sebesar 35. Nilai tersebut merupakan nilai yang rendah, sehingga konsumsi gula merah aman bagi penderita diabetes mellitus tipe II. Keunggulan lainnya, gula merah mengandung vitamin B kompleks esensial dan 16 jenis asam amino yang sangat bermanfaat untuk pasien penderita shizophrenia (Pato dan Fitriani, 2009:45).

Pada saat ini, banyak dijumpai gula merah dalam bentuk cair yang beredar di pasaran. Beberapa kelebihan dari gula merah cair, misalnya dalam hal pemakaiannya bisa langsung digunakan atau dicampur langsung dengan makanan, misalnya es cendol dan lupis. Dari aspek pengemasan gula merah cair dapat dikemas dalam bentuk botolan atau jirigen sehingga mudah dalam pemasarannya dan bisa terjaga kebersihannya.

Di dalam industri bahan pangan berbentuk cair, pemahaman tentang sifat fisik dari bahan cair khususnya yang terkait dengan sifat reologi sangat penting untuk merancang metode dan peralatan pengolahan serta sistem transportasi bahan pangan cair tersebut. Salah satu riset yang telah dilakukan oleh Diniyah *et al.*

(2012), meneliti tentang teknologi pengolahan gula coklat cair nira siwalan yang difokuskan untuk menganalisa intensitas warna, pH, viskositas, gula pereduksi dan uji organoleptik menggunakan metode vakum dengan pengaturan derajat brix gula. Namun demikian informasi mengenai sifat reologi gula merah cair khususnya berbahan dasar kelapa masih kurang di Indonesia. Karena itu, studi dilakukan dengan maksud menghasilkan informasi sifat reologi gula merah cair yang relevan untuk kebutuhan perancangan sistem transportasi bahan pangan cair.

## 1.2 Rumusan Masalah

Dalam industri bahan pangan cair, data reologi tentang gula merah cair sangat diperlukan untuk rangkaian sistem transportasi pada suatu perpipaan industri pangan. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian tentang sifat reologi gula merah cair yang mencakup parameter nilai-nilai viskositas, nilai konstanta ( $k$ ), dan *flow index* ( $n$ ) yang dipengaruhi oleh keragaman konsentrasi dan suhu.

## 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah pada parameter yang diukur yaitu hanya mencari nilai viskositas, nilai konstanta ( $k$ ), dan *flow index* ( $n$ ) pada berbagai konsentrasi dan suhu serta mengklasifikasi jenis aliran gula merah cair.

## 1.4 Tujuan

Secara umum penelitian ini bertujuan untuk mempelajari proses pembuatan larutan gula merah cair. Adapun tujuan khusus dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi hubungan viskositas gula merah cair terhadap suhu dan konsentrasi.
2. Menentukan sifat reologi larutan gula merah cair yang diukur berdasarkan parameter nilai viskositas, nilai konstanta ( $k$ ), dan *flow index* ( $n$ ) pada berbagai konsentrasi dan suhu.
3. Menganalisis persamaan *Power Law* untuk mengestimasi data hasil percobaan.

### **1.5 Manfaat**

Adapun manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan informasi mengenai sifat reologi khususnya viskositas larutan pada berbagai konsentrasi sehingga kapasitas produksi pada suatu industri bahan pangan cair dapat ditingkatkan
2. Memperkaya khasanah dan ilmu pengetahuan kepada masyarakat dan memberikan informasi yang relevan mengenai data rheologi larutan gula merah untuk kebutuhan perancangan sistem transportasi bahan pangan cair.

## **BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA**

### **2.1 Pengolahan Gula Merah**

Menurut Palungun (2001:90-94), gula kelapa atau gula merah merupakan hasil dari proses penguapan air nira kelapa. Proses pembuatan gula merah dilakukan melalui tahap – tahap sebagai berikut:

#### **2.1.1 Penyadapan**

Penyadapan dilakukan dengan cara, kelopak bunga dibuka kemudian diiris membujur dan melintang lalu dilepas perlahan – lahan. Tandan bunga diikat dibeberepa batang dengan daun kelapa muda yang telah dilayukan dengan air panas lalu bunga dirundukkan. Pada pagi hari ujung tandan diiris dengan pisau sadap sekitar 5 cm ke arah bawah, dan pada sore hari ujung tandan diiris lagi setebal kurang lebih 0,4 cm. pengirisan ini dilakukan setiap pagi dan sore selama 2 hari. Pada hari kedua nira akan menetes deras, dan pada saat itu dapat dipasang wadah penampung nira yang sebelumnya sudah dimasukkan air kapur dan galih kayu nangka (laru). Laru berfungsi untuk mengawetkan nira agar tidak masam, karena apabila niranya masam sulit untuk menjadi padat. Tabung penampung nira terbuat dari bambu yang diberi pengikat. Penyadapan dilakukan setiap pagi antara pukul 06.00 – 09.00, dan sore hari antara pukul 16.00 – 18.00.

#### **2.1.2 Pembuatan Gula Kelapa**

Pembuatan nira kelapa dilakukan dengan cara nira diendapkan larutannya kemudian disaring. Nira yang sudah dibersihkan dari kotoran dimasukkan kedalam wajan dan dimasak diatas tungku dengan panas yang merata sekitar satu jam. Ketika sudah mendidih nira akan berbuih dan tampak bercampur dengan kotoran halus, kemudian buih – buih dan kotoran tersebut dibuang. Selama pemasakan nira terus diaduk agar panasnya merata dan mengurangi buih. Pemasakan dihentikan apabila nira telah kental, dan apabila ditetaskan ke dalam air nira kental tersebut akan memadat dan mengeras, dengan mengentalnya nira, maka proses pemasakan selesai dan nira yang sudah kental tersebut siap dicetak.

### 2.1.3 Pencetakan Gula Kelapa

Cetakan yang digunakan untuk mencetak gula merah terdiri dari berbagai bentuk, namun pada umumnya banyak yang menggunakan potongan bambu atau tempurung kelapa. Sebelum cetakan digunakan, cetakan harus dibasahi dengan air terebih dahulu untuk memudahkan keluarnya gula merah dai cetakan. Adonan nira yang sudah berkurang panasnya dituang ke dalam cetakan, kemudian diamkan selama 15 menit.

## 2.2 Komposisi Gula Merah

Menurut Santoso (1995:5), gula merah atau yang dikenal dengan gula jawa merupakan gula yang dihasilkan dari penguapan nira pohon kelapa. Nira adalah cairan manis yang diperoleh dengan melakukan penyadapan terhadap bunga kelapa (mayang) yang belum membuka pada umur tertentu. Gula kelapa cukup kaya akan karbohidrat dan protein serta mineral lainnya. Tabel 2.1 merupakan kadar zat gizi yang terkandung dalam gula jawa.

Tabel 2.1 Komposisi Zat Gula Jawa per 100 g Bahan

<b>Zat Gizi</b>	<b>Jumlah</b>
Kalori	386 kal
Karbohidrat	76 g
Lemak	10 g
Protein	3 g
Kalsium	76 mg
Fosfor	37 mg
Air	10 g

Sumber : (Santoso, 1995:5)

## 2.3 Mutu Gula Palma

Gula palma adalah gula yang dihasilkan dari pengolahan nira pohon palma, yaitu aren (*Arenga pinata Merr*), kelapa (*Cocos mucifera*), siwalan (*Borassus fiabellifer L*) atau jenis palma lainnya, dan berbentuk setak atau serbuk/granula. Gula merah atau palma merupakan produk agroindutri yang banyak digunakan oleh masyarakat. Gula merah dapat mengalami penurunan mutu produk, oleh karena itu diperlukan pengendalian mutu gula merah atau palam dengan mengacu



pada standar mutu gula palma. Syarat mutu gula palma berdasarkan Badan Standarisasi Nasional dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Syarat Mutu Gula Palma SNI 01-3743

No	Kriteria Uji	Satuan	Persyaratan	
			Cetak	Butiran / Granula
1	Keadaan			
1.1	Bentuk		Normal	Normal
1.2	Rasa dan aroma		Normal, khas	Normal, khas
1.3	Warna		Kuning kecoklatan sampai coklat	Kuning kecoklatan sampai coklat
2	Bagian yang tak larut dalam air	% b/b	Maks. 1,0	Maks. 0,2
3	Air	% b/b	Maks. 10,0	Maks. 3,0
4	Abu	% b/b	Maks. 2,0	Maks. 2,0
5	Gula pereduksi	% b/b	Maks. 10,0	Min. 6,0
6	Jumlah gula sebagai sakarosa	% b/b	Maks. 77	Min. 90,0
7	Cemaran logam	mg/kg		
7.1	Seng (Zn)	mg/kg	Maks. 40,0	Maks. 40,0
7.2	Timbal (Pb)	mg/kg	Maks. 2,0	Maks. 2,0
7.3	Tembaga (Cu)	mg/kg	Maks. 10,0	Maks. 10,0
7.4	Raksa (Hg)	mg/kg	Maks. 0,03	Maks. 0,03
7.5	Timah (Sn)	mg/kg	Maks. 40,0	Maks. 40,0
8	Arsen (As)	mg/kg	Maks. 1,0	Maks. 1,0

Sumber : (Badan Standarisasi Nasional, 1995)

## 2.4 Reologi

Menurut Wirakartakusumah *et al.* (1992:33), reologi adalah suatu ilmu yang memusatkan perhatiannya untuk mempelajari deformasi atau perubahan bentuk dan aliran. Sehingga aksi yang menghasilkan gaya – gaya dalam deformasi dan aliran bahan dan sifat – sifat mekanik lainnya dapat dikatakan sebagai sifat rheologi. Sifat – sifat mekanik lainnya dari sifat rheologi biasanya berhubungan dengan gerak bahan yang dikenai gaya. Contohnya adalah koefisien drag dan kecepatan terminal serta aliran bahan dalam tumpukan.

Secara ideal, deformasi bahan terbagi atas tiga macam yaitu, deformasi elastis, deformasi plastis, dan deformasi viscous. Deformasi elastis adalah deformasi atau *strain* yang terjadi karena adanya moment *stress* yang diberikan dan berbanding langsung dengan *stress* atau hubungan antara *stress* dan *strain*

adalah linier. Deformasi plastis adalah bahan yang tidak mengalami deformasi permanen sampai suatu tingkat *stress* dilampaui. Sedangkan deformasi viscous adalah deformasi yang terjadi bila *shear stress* dan *shear rate* bersifat proposional dan linier. Sifat viscous ini menyebabkan terjadinya aliran dan disebut dengan fluida Newtonian (Wirakartakusumah *et al.* 1992:35-36).

## 2.5 Karakteristik Aliran Fluida

Pada aliran bahan pangan terdiri atas aliran Newtonian dan aliran Non Newtonian. Persamaan umum yang menggambarkan perilaku aliran Newtonian dan Non Newtonian dinyatakan dalam bentuk persamaan hukum kuasa (*power law equation*) sebagai berikut:

$$\tau = m \left( -\frac{dv}{dy} \right)^n + \tau_y \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan :

$\tau$  : Tegangan geser (*shear stress*), N/m<sup>2</sup>

$\tau_y$  : Tegangan Luluh (*yield stress*), N/m<sup>2</sup>

$m$  : Koefisien konsistensi aliran, Pa x dt<sup>n</sup>

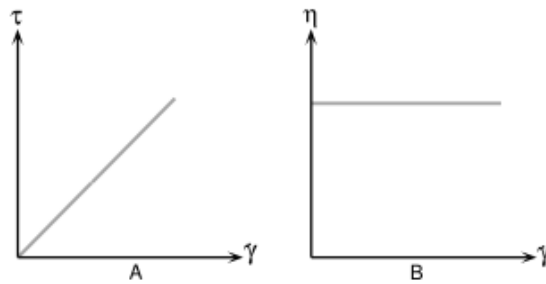
$n$  : Indeks perilaku aliran

$dv/dy$  : Gradien kecepatan aliran, m / dt / m

(Wirakartakusumah *et al.* 1992:69).

### 2.5.1 Aliran Newtonian

Aliran newtonian memiliki hubungan yang proposional antara tegangan geser (*shear stress*) dan laju geser (*shear rate*) yang ditandai dengan tanjakan garis lurus dapat dilihat pada Gambar 2.1 A. Pada aliran newtonian, tegangan geser (*shear stress*) berbanding lurus dengan laju geser (*shear rate*) dapat dilihat pada Gambar 2.1 B (Brookfield Engineering Laboratories, 2003:15).



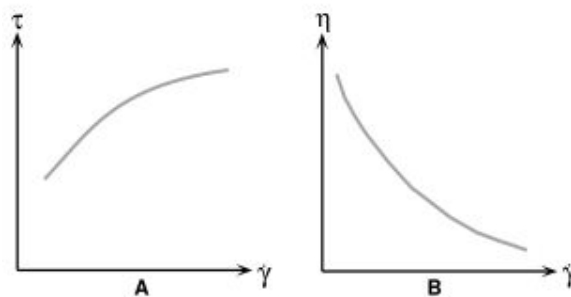
Gambar 2.1 Grafik Aliran Fluida Newtonian

### 2.5.2 Aliran Non Newtonian

Menurut Kusnandar *et al.* (2006:9), aliran Non Newtonian memiliki perilaku yang lebih kompleks, diantaranya adanya sifat hubungan antara tegangan geser dan laju geser ada yang dipengaruhi oleh waktu dan ada yang tidak. Berdasarkan pola perubahan kekentalannya, produk pangan kental non-Newtonian dapat dikelompokkan menjadi tiga, yaitu sebagai berikut:

#### a. Pseudoplastis

Suatu produk pangan cair dikategorikan bersifat pseudoplastis bila kekentalannya menurun jika gaya untuk mengalirkannya meningkat. Semakin besar gaya yang dikenakan, maka aliran cairan semakin lancar atau semakin encer (Brookfield Engineering Laboratories, 2003:16).



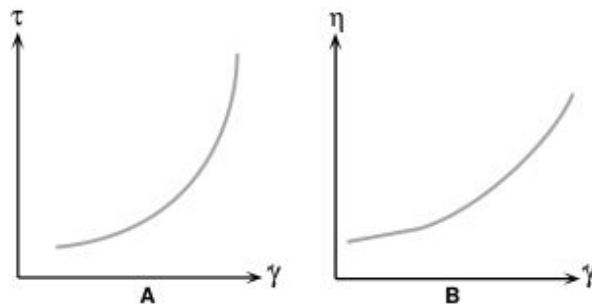
Gambar 2.2 Grafik Aliran Fluida Pseudoplastic

Pada grafik Gambar 2.2 (A) menunjukkan bahwa semakin besar tegangan geser (*shear stress*) maka nilai laju geser (*shear rate*) mengalami peningkatan berlebih. Sedangkan pada Gambar 2.2 (B) nilai laju geser (*shear rate*) berbanding terbalik dengan nilai kekentalan. Semakin besar nilai laju gesernya

(*shear rate*) maka nilai kekentalannya akan semakin kecil (Brookfield Engineering Laboratories, 2003:16).

b. Dilatant

Suatu produk pangan cair dikategorikan bersifat dilatant apabila produk tersebut kekentalannya meningkat dengan meningkatnya gaya pengadukan yang diberikan. Contohnya adalah mentega kacang, dispersi pati, dan gula kental. Produk semacam ini jika dikenai gaya mekanis yang tinggi menjadi semakin mengental dan mudah rapuh (Kusnandar *et al.* 2006:10). Gambar 2.3 merupakan gambar grafik cairan non newtonian dilatant. Pada grafik Gambar 2.3 menunjukkan bahwa viskositas cairan akan meningkat seiring meningkatnya laju geser yang diberikan.



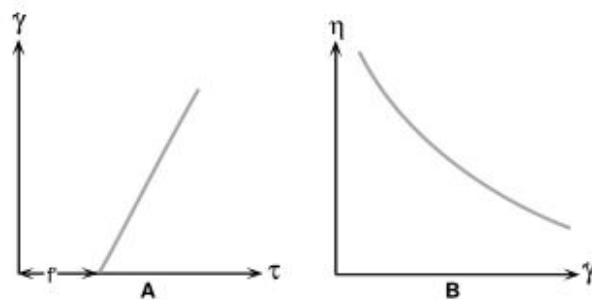
Gambar 2.3 Grafik Aliran Fluida Dilatant

c. Plastis

Suatu produk pangan cair dikategorikan bersifat plastis apabila untuk dapat mengalirkan cairan tersebut diperlukan gaya minimal yang harus dicapai. Gaya minimum yang diperlukan untuk mengalirkan bahan tersebut disebut dengan istilah *yield stress*. Setelah mencapai gaya minimum tersebut, maka cairan akan mengalami penurunan nilai kekentalan dengan semakin besarnya gaya yang diberikan sebagaimana pada produk pseudoplastik (disebut juga *Casson-type plastic*) atau kekentalannya konstan sebagaimana cairan Newtonian (disebut juga *Bingham plastic*) (Kusnandar *et al.* 2006:10).

Umumnya yang termasuk produk pangan plastis adalah produk yang nilai kekentalannya dalam keadaan normal memang sudah tinggi dan jika dikenai gaya

pengaliran (*shear force*) yang besar, kekentalannya tiba-tiba menurun tajam, sehingga produk yang tadinya sulit digerakkan atau dialirkan setelah kena gaya tiba-tiba lebih mudah mengalir. Contoh produk pangan yang bersifat plastis adalah kecap, pudding krim, dan sambal cabe dalam botol (Kusnandar *et al.* 2006:10). Grafik aliran fluida plastic dapat dilihat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4. Grafik Aliran Fluida Plastic

## 2.6 Viskositas

Viskositas merupakan ukuran kekentalan fluida yang menyatakan besar kecilnya gesekan di dalam fluida. Makin besar viskositas suatu fluida, maka makin sulit suatu fluida mengalir dan makin sulit suatu benda bergerak di dalam fluida tersebut. Di dalam zat cair, viskositas dihasilkan oleh gaya kohesi antara molekul zat cair. Menurut Brookfield Engineering Laboratories, (2003:15) hukum viskositas Newton dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan :

$\tau$  : Tegangan geser (*shear stress*), N/m<sup>2</sup>

$\mu$  : Viskositas dinamik, Ns/m<sup>2</sup>

$\frac{du}{dy}$  : Laju pergeseran, 1/s

## 2.7 Pemodelan Sifat Reologi

Ada dua model yang umum digunakan untuk menentukan sifat fluida yaitu model Power Law dan Harchel Bulkley. Model Power Law untuk cairan Newtonian, Non Newtonian Pseudoplastic, dan Dilatant, dimana dalam model ini nilai yield stress diasumsikan nol (0). Sedangkan model Harchel Bulkley, digunakan untuk cairan *Bingham plastic* dan *Casson-type plastic*, dimana di dalam persamaannya terdapat nilai *yield stress* ( $\sigma_0$ ). Model Power Law dan Harchel Bulkley dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$\text{Model power law} \quad t = K(y)^n \dots\dots\dots(2.3)$$

$$\text{Model Herchel-Bulkley} \quad x = K(y)^n + x_0 \dots\dots\dots(2.5)$$

Berdasarkan persamaan diatas nilai K adalah koefisien kekentalan (*consistency coefficient*) yang dinyatakan dengan satuan pascal, sedangkan nilai n adalah indeks tingkah laku aliran (*flow behavior index*) yang tidak memiliki satuan. Nilai n mengidentifikasi jenis cairan, dimana bila  $n=1$  berarti cairan Newtonian,  $n<1$  berarti cairan non-Newtonian pseudoplastik dan  $n>1$  berarti cairan non-Newtonian dilatant. Pada tabel 2.3 merupakan tabel ketentuan nilai k, n, dan  $\sigma_0$  pada model *Herchel-Bulkley*.

Tabel 2.3 Ketentuan nilai k, n, dan  $\sigma_0$  pada Beberapa Model Reologi

<i>Fluid</i>	<i>K</i>	<i>N</i>	$\sigma_0$	Typical Examples
<i>Herchel-Bulkley</i>	$> 0$	$0 < n < \infty$	$> 0$	minced fish paste, raisin paste
Newtonian	$> 0$	1	0	water, fruit juice, milk, honey, vegetable oil
Shear-thinning (pseudoplastic)	$> 0$	$0 < n < 1$	0	applesauce, banana puree, orange juice concentrate
Shear-thickening (dilatant)	$> 0$	$1 < n < \infty$	0	some types of honey, 40% raw corn starch solution
Bingham plastic	$> 0$	1	$> 0$	tooth paste, tomato paste

Sumber : (Steffe, 1996:21)

## **BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN**

### **3.1 Tempat Dan Waktu Penelitian**

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Enjiniring Hasil Pertanian, Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Jember, mulai bulan Februari 2015 sampai Mei 2015 .

### **3.2 Bahan dan Alat Penelitian**

#### **3.2.1 Bahan**

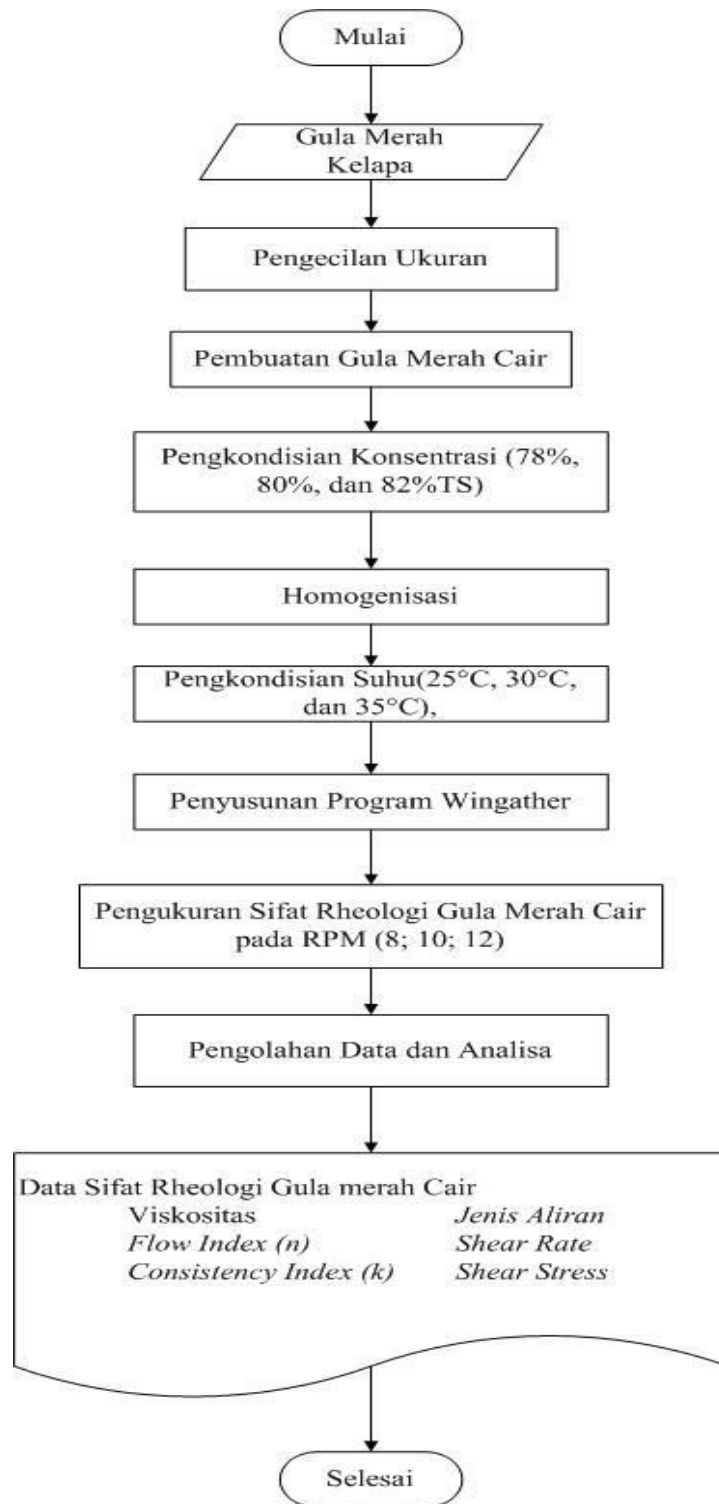
Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah gula merah kelapa dan aquades. Gula merah kelapa diperoleh dari Pabrik Pengolahan Gula Merah Kelapa di Desa Blater, Kabupaten Jember. Gula merah kelapa yang digunakan merupakan gula merah kelapa yang baru diolah atau dicetak berwarna coklat kekuningan dan memiliki aroma atau bau yang khas.

#### **3.2.2 Alat**

Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi, Viscometer digital *Brookfield DV-II+Pro*, timbangan digital Ohaus Pioneer (ketelitian 0,001 g), blender, *beaker glass* 600 ml, cawan alumunium, eksikator, mixer, thermocoupeul, oven, kamera digital, komputer, serta perangkat lunak yaitu program wingather dan microsost office 2007.

### **3.3 Prosedur Penelitian**

Prosedur penelitian yang dilakukan mengacu pada diagram alir prosedur umum sifat rheologi gula merah cair yang digambarkan pada Gambar 3.1. Prosedur penelitian dimulai dari proses pengumpulan bahan, pengecilan ukuran, pembuatan gula merah cair, pengkondisian konsentrasi (78%, 80%, dan 82%TS), homogenisasi, dan selanjutnya pengukuran sifat rheologi gula merah cair pada berbagai suhu (25°C, 30°C, dan 35°C), dimana sebelum dilakukan pengukuran dilakukan proses penyusunan program Winghter terlebih dahulu.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian



### 3.3.1 Prosedur Pengumpulan Bahan

Pengumpulan bahan gula merah kelapa dilakukan dengan cara membeli dari pabrik pengolahan gula merah kelapa di Desa Blater, Kabupaten Jember. Sampel atau gula merah kelapa yang dipilih adalah gula merah kelapa yang baru dicetak atau selesai diolah. Kemudian gula kelapa diolah menjadi cairan gula merah yang selanjutnya akan dipergunakan untuk percobaan. Proses penyimpanan gula merah cair yang belum digunakan untuk penelitian yaitu dengan cara disimpan di dalam refrigerator, sedangkan untuk gula merah kelapa yang masih bongkohan cukup disimpan di sebuah wadah tertutup dan pada suhu ruang.

### 3.3.2 Rancangan Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan menggunakan metode eksperimen untuk mengetahui pengaruh konsentrasi dan suhu pada karakteristik reologi gula merah cair. Parameter karakteristik reologi yang akan diamati dari cairan gula merah meliputi pengukuran viskositas, *flow index* ( $n$ ), nilai konstanta ( $k$ ), nilai *shear rate* dan *shear stress*. Penelitian ini dilakukan sebanyak 3 kali pengulangan dengan menggunakan 3 variasi konsentrasi dan 3 variasi suhu. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 3.1

Tabel 3.1 Variabel dan Parameter Karakteristik Gula Merah Cair

No	Variabel Perlakuan	Perlakuan	Kode	Parameter Respon
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
1	Konsentrasi (% TS)	78	C <sub>1</sub>	Rheologi : 1. Viskositas 2. <i>Shear stress</i> 3. <i>Shear rate</i> 4. Nilai Konstanta ( $k$ ) 5. <i>Flow index</i> ( $n$ )
		80	C <sub>2</sub>	
		82	C <sub>3</sub>	
2	Suhu (°C)	25	T <sub>1</sub>	
		30	T <sub>2</sub>	
		35	T <sub>3</sub>	

### 3.3.3 Pembuatan Konsentrasi Gula Merah Cair

Gula merah kelapa yang digunakan untuk penelitian dibersihkan terlebih dahulu, kemudian dilakukan pengecilan ukuran dengan cara dipotong kecil-kecil dengan menggunakan pisau. Setelah didapatkan gula merah kelapa dengan ukuran kecil langkah selanjutnya yaitu membuat konsentrasi gula merah cair. Komposisi bahan yang digunakan yaitu gula merah kelapa sebanyak 900 gram dengan akuades sebanyak 100 gram. Kemudian kedua bahan tersebut diblender kurang lebih sekitar 1 menit, sehingga akan diperoleh gula merah kelapa cair yang dapat digunakan untuk penelitian.

### 3.3.4 Penentuan Konsentrasi Gula Merah Cair

Penentuan konsentrasi dapat dilakukan setelah diketahui kadar air awal dan total solid gula merah cair sehingga dapat digunakan sebagai acuan. Pada pengukuran kadar air bahan terdapat dua pengukuran kadar air, yaitu pengukuran kadar air basis basah dan pengukuran kadar air basis kering. Pengukuran kadar air basis basah dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$m_{bb} = \frac{W_a}{W_b} \times 100\% \dots \dots \dots (3.1)$$

Keterangan:

$m_{bb}$  = Kadar air basis basah (%bb)

$W_a$  = Berat air dalam bahan (g)

$W_b$  = Berat bahan awal (g)

Pengukuran kadar air basis kering dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$m_{bk} = \frac{W_a}{W_K} \times 100\% \dots \dots \dots (3.2)$$

Keterangan:

$m_{bk}$  = Kadar air basis kering (%bk)

$W_a$  = Berat air dalam bahan (g)

$W_k$  = Berat padatan (g)

Gula merah cair yang telah dibuat rata-rata memiliki kadar air awal sebesar 16,76%bb dengan total solid sebesar 84,34%bb. Dari data tersebut maka

dapat digunakan sebagai acuan untuk penentuan konsentrasi, dimana konsentrasi yang digunakan dalam penelitian adalah 78%, 80%, dan 82%TS. Untuk memperoleh konsentrasi tersebut maka dilakukan proses pengenceran dengan diberi penambahan aquades. Selain berdasarkan kadar air awal gula merah cair penentuan konsentrasi juga berdasarkan penelitian pendahuluan, dimana dengan menggunakan variasi konsentrasi 78%, 80%, dan 82%TS bisa terbaca pada semua variasi suhu yang diinginkan yaitu suhu 25°C, 30°C, dan 35°C.

#### 3.3.5. Proses Homogenisasi

Proses homogenisasi dilakukan agar diperoleh cairan gula merah cair yang homogen atau cairan gula merah cair yang tercampur secara merata. Proses homogenisasi ini menggunakan *mixer* dengan kecepatan paling kecil dengan waktu sekitar 1 menit. Proses homogenisasi ini dilakukan pada setiap kali proses pengukuran.

#### 3.3.6 Penentuan Variasi Suhu

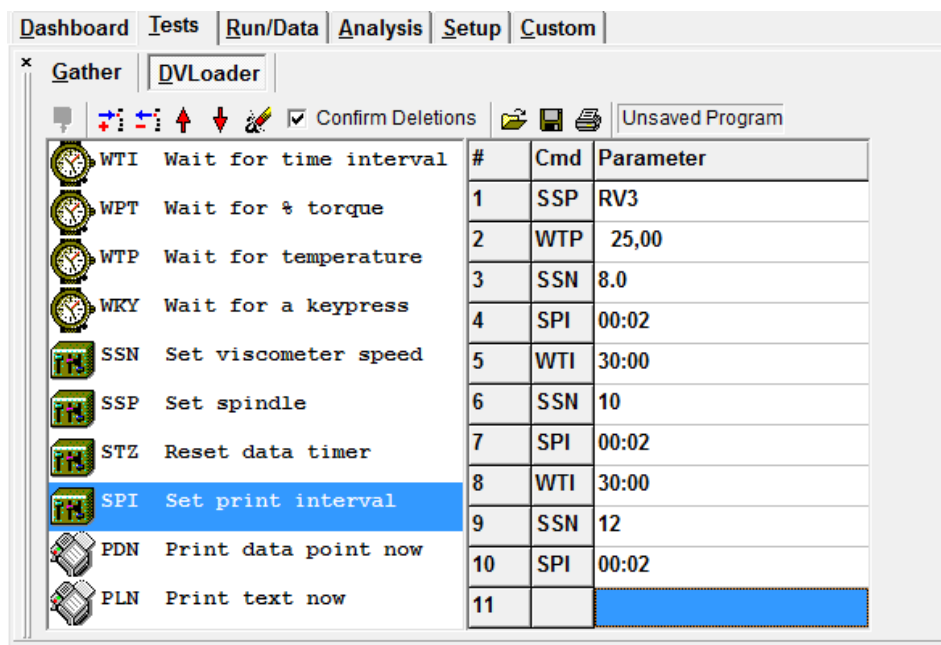
Variasi suhu yang digunakan dalam penelitian ini adalah suhu 25°C, 30°C, dan 35°C. Penentuan variasi konsentrasi suhu ini berdasarkan suhu ruangan yang digunakan sebagai acuan yaitu 25°C. Variasi konsentrasi suhu dilakukan selisih 5 poin di atas dari suhu acuan. Untuk mendapatkan variasi suhu yang diinginkan dengan cara memanaskan air menggunakan *water heater* yang telah terprogram suhunya sesuai yang diinginkan, sehingga gula merah cair suhunya akan naik pada suhu yang diinginkan.

#### 3.3.7 Penyusunan Program Wingather

Pengukuran viskositas dapat dilakukan secara manual dengan cara membaca langsung nilai viskositas pada alat atau layar Viscometer digital *Brookfield DV-II+Pro* yang sudah diatur sebelumnya mengenai RPM dan jenis spindelnya. Selain itu pengukuran viskositas dapat dilakukan dengan menggunakan bantuan sebuah program untuk mengatur atau mengontrol pengambilan data viskositas secara lebih teliti, dimana program tersebut disusun

pada sebuah perangkat komputer dengan menggunakan *software* Wingather. Pembacaan atau data pengukuran viskositas yang telah diperoleh dapat ditampilkan pada layar komputer, dan dapat dipindah dalam bentuk excel untuk tahap pengolahan data.

Program yang disusun harus disesuaikan dengan nomer spindel yang digunakan, dimana pada penelitian ini spindel yang digunakan adalah spindel *type disk* no 03. Penentuan spindel tersebut dilakukan dengan cara *trial and error*. Semakin encer suatu bahan cair yang akan diukur memerlukan spindel dengan permukaan yang besar atau luas, sehingga gesekan yang terjadi pada permukaan spindel dapat terbaca pada layar viskometer. Gambar 3.2 merupakan gambar penyusunan program Wingather yang telah dilakukan.



Gambar 3.2 Penyusunan Program Wingather

### 3.3.8 Pengukuran Sifat Reologi

Parameter sifat reologi gula merah cair yang akan dilakukan dalam penelitian ini meliputi beberapa parameter yaitu sebagai berikut:

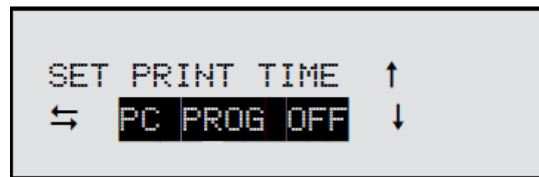
#### a. Viskositas

Pada pengukuran viskositas, cairan gula merah terdiri dari 3 sampel perlakuan dengan komposisi konsentrasi yang berbeda. Variasi konsentrasi cairan gula merah yang akan dilakukan pengukuran yaitu sebagai berikut :

- 1) Konsentrasi 1 ( $C_1$ ) = 78 %
- 2) Konsentrasi 2 ( $C_2$ ) = 80 %
- 3) Konsentrasi 3 ( $C_3$ ) = 82 %

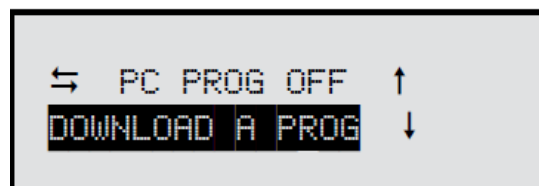
Cairan gula merah yang sudah dihomogenisasi selanjutnya diukur nilai viskositasnya. Sampel yang digunakan sebanyak 300 - 400 ml dan tempatkan sampel tersebut pada *beaker glass*. Pengukuran nilai viskositas dilakukan dengan menggunakan sebuah bantuan program yang telah disusun sebelumnya, dimana sebelum pengukuran program yang telah disusun pada komputer atau PC harus diupload terlebih dahulu ke dalam alat viskometer. Langkah – langkah yang dilakukan untuk menjalankan program tersebut adalah sebagai berikut:

- 1) Memastikan koneksi antara PC dengan viskometer tersambung dengan indikator lampu pada kabel konektor berkedip
- 2) Pada *option menu* di dalam viskometer pastikan program *PC off*. Seperti pada Gambar 3.3



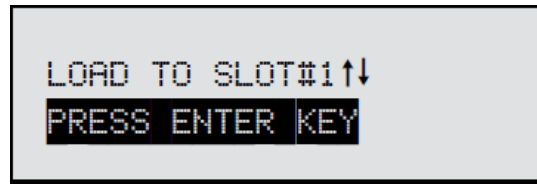
Gambar 3.3 Tampilan Layar Viskometer “*PC prog off*”

- 3) Mengunduh program dari PC ke viskometer, pada *option menu* memilih “*Download a prog*”, seperti pada Gambar 3.4



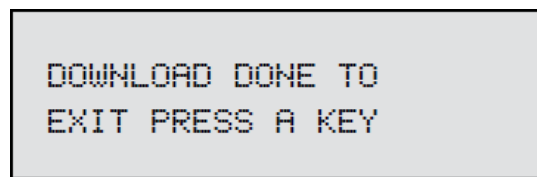
Gambar 3.4 Tampilan Layar Viskometer “*download a prog*”

- 4) Memilih slot pada viskometer, ada 4 slot yang tersedia yang dapat digunakan untuk menyimpan program, seperti pada Gambar 3.5



Gambar 3.5 Tampilan Layar Viskometer “*press enter key*”

- 5) Setelah berhasil mengunduh program, maka akan muncul tampilan seperti pada Gambar 3.6 pada viskometer dan program siap untuk dijalankan.



Gambar 3.6 Tampilan Layar Viskometer “*download done*”

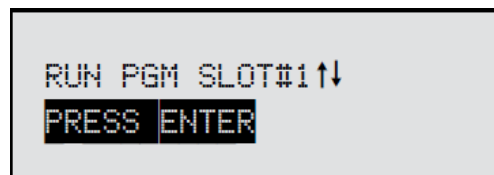
Setelah proses penyusunan program selesai, langkah selanjutnya adalah pengukuran viskositas gula merah cair. Mengkondisikan spindel dalam *beaker glass* yang telah terisi sampel dan memastikan spindel terendam pada cairan gula merah hingga batas yang telah ditentukan. Apabila persiapan telah selesai langkah selanjutnya adalah menjalankan program tersebut untuk mengukur viskositas gula merah cair dengan langkah – langkah sebagai berikut :

- 1) Memilih “*run a prog*” pada option menu, seperti pada Gambar 3.7



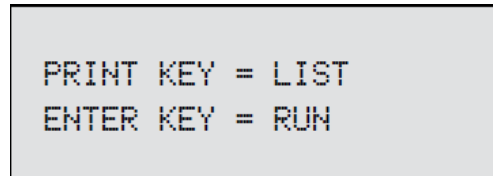
Gambar 3.7 Tampilan Layar Viskometer “*run a prog*”

- 2) Memilih salah satu dari empat slot program yang telah terunduh kemudian pilih enter seperti pada Gambar 3.8



Gambar 3.8 Tampilan Layar Viskometer Memilih Lokasi Program

- 3) Setelah selesai memilih program yang sesuai, maka akan muncul tampilan seperti pada Gambar 3.9 pada layar viskometer dan untuk menjalankannya klik tombol “*enter*”



Gambar 3.9 Tampilan Layar Viskometer Untuk Menjalankan Program

Pengukuran atau pembacaan nilai viskositas akan berjalan sesuai perintah program, dimana pembacaan akan dimulai pada suhu yang telah ditentukan. Ketika suhu sudah mencapai pada kondisi yang ditentukan maka secara otomatis spindel akan berputar dan hasil pembacaan nilai viskositas akan muncul pada layar PC. Untuk memindahkan hasil pembacaan program dalam *software* Wingather maka perlu mengubah format file, dimana file diubah dalam bentuk excel untuk dilakukan pengolahan data.

b. Penentuan *Shear Rate* dan *Shear Stress*

Setelah diperoleh data viskositas dan torsi menggunakan Viscometer *Brookfield* pada berbagai RPM, langkah selanjutnya adalah menghitung nilai *shear rate* dan *shear stress*. Menurut Mitschka (1982), metode penentuan *shear rate* dan *shear stress* pada pembacaan Viscometer *Brookfield* yaitu dengan cara menkonversi beberapa titik pembacaan nilai torsi ( $\alpha_i$ ) dan pembacaan nilai RPM spindel ( $N_i$ ). Untuk menghitung nilai *shear stress* yaitu dengan menggunakan Persamaan 3.3

$$\tau_i = k_{at} \alpha_i \dots \dots \dots (3.3)$$

Keterangan:

- $\tau_i$  = *Shear stress*
- $k_{at}$  = *Consistency index shear stress*
- $\alpha_i$  = Torsi

$\tau_i$  merupakan nilai *shear stress*,  $k_{at}$  merupakan *Consistency index shear stress* yang berdasarkan nomer spindel yang digunakan dalam pengukuran atau

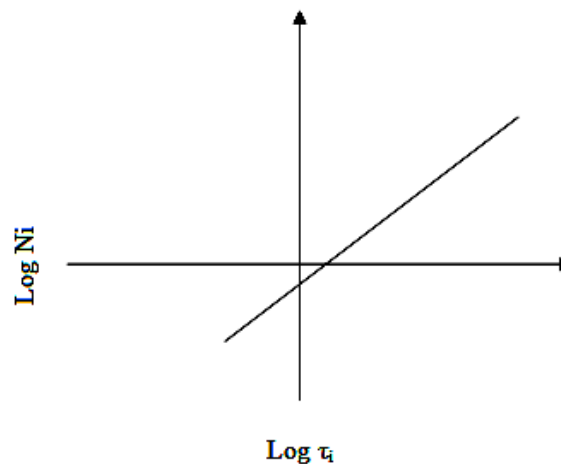
penelitian yang diperoleh berdasarkan konversi yang dapat dilihat pada Tabel 3.2, sedangkan  $\alpha_i$  merupakan pembacaan torsi dalam bentuk % dengan skala 0 – 100.

Tabel 3.2 Faktor Konversi Viskometer Brookfield RV *Type Disk*

Spindle Number		1	2	3	4	5	6	7
$k_{at}$	N	0,035	0,119	0,279	0,539	1,05	2,35	8,4
$k_{Ny}$	0,1	1,728	1,431	1,457	1,492	1,544	1,366	1,936
	0,2	0,967	0,875	0,882	0,892	0,907	0,851	1,007
	0,3	0,705	0,656	0,656	0,658	0,663	0,629	0,681
	0,4	0,576	0,535	0,530	0,529	0,528	0,503	0,515
	0,5	0,499	0,458	0,449	0,445	0,442	0,421	0,413
	0,6	0,449	0,404	0,392	0,387	0,382	0,363	0,346
	0,7	0,414	0,365	0,350	0,343	0,338	0,320	0,297
	0,8	0,387	0,334	0,317	0,310	0,304	0,286	0,261
	0,9	0,367	0,310	0,291	0,283	0,276	0,260	0,232
	1,0	0,351	0,291	0,270	0,262	0,254	0,238	0,209

Sumber: Mitschka (1982)

Penentuan nilai *shear rate* dilakukan dengan cara membuat plot nilai *shear stress* ( $\tau_i$ ) dengan nilai RPM spindel ( $N_i$ ). Dimana nilai *shear stress* ( $\tau_i$ ) dengan nilai RPM spindel ( $N_i$ ) di cari nilai lognya terlebih dahulu. Jika nilai  $\log \tau_i$  dan  $\log N_i$  mendekati liner maka fluida tersebut merupakan jenis *power law*, sedangkan gradien yang dihasilkan merupakan nilai ( $n$ ) *power law index*. Garis linier  $\log \tau_i$  dan  $\log N_i$  dapat dilihat pada Gambar 3.10.



Gambar 3.10. Garis Linear  $\log \tau_i$  dan  $\log N_i$



Setelah  $\log \tau_i$  dan  $\log N_i$  diplot dan diperoleh persamaannya, nilai  $n$  pada persamaan dapat digunakan untuk mencari nilai *shear rate* suatu fluida dengan cara mencari nilai  $k_{N\gamma}$  berdasarkan Tabel 3.2 dimana nilai tersebut dikalikan dengan nilai RPM spindel dapat dilihat pada Persamaan 3.4.

$$\gamma_i = k_{N\gamma}(n) N_i \dots \dots \dots (3.4)$$

Keterangan:

$\gamma_i$  = *Shear rate*

$k_{N\gamma}$  = *Consistency index shear stress* (diperoleh dari pembacaan tabel)

$N_i$  = RPM spindel

### 3.4 Analisis Data dan Uji Validitas

Pada penelitian ini, data yang diperoleh akan diolah menggunakan program Microsoft Excel untuk memperoleh analisis grafis dan statistik yang meliputi pengaruh konsentrasi dan suhu terhadap viskositas, nilai konstanta ( $k$ ) dan flow index ( $n$ ) gula merah cair. model yang digunakan adalah model *power law* yang merupakan model yang dapat diaplikasikan secara luas untuk penanganan bahan pangan. Pada *power law model* dapat mendiskripsikan suatu data yang termasuk aliran *shear-thinning (pseudoplastic)* atau *shear-thickening (dilatant)*.

Suatu model persamaan dapat diuji validitasnya dengan menggunakan *Root Mean Square Error (RMSE)*. Jika nilai RMSE mendekati 0 maka tingkat kesalahannya semakin kecil, sehingga nilai tersebut merupakan nilai terbaik. Persamaan dari RMSE adalah sebagai berikut:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (y - y_{est})_i^2} \dots \dots \dots (3.10)$$

Keterangan :

$y$  = nilai  $\tau$  observasi

$y_{est}$  = nilai  $\tau$  prediksi

$N$  = jumlah titik

$i$  = subscript,  $i = 1, 2, 3, \dots, N$

Selain itu, uji validitas dengan menggunakan plotting  $\tau$  data dan  $\tau$  estimasi diperoleh nilai regresi  $(R)^2$  mendekati 1, maka model yang digunakan memiliki tingkat kesalahan yang kecil.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum(y_{est} - y_i)^2}{\sum(y_i - \bar{y})^2} \dots\dots\dots(3.11)$$

Keterangan :

$y_{est}$  = nilai estimasi

$y_i$  = nilai observasi

$\bar{y}$  = nilai rata-rata observasi

*Mean Relative Percent Error* (P) digunakan untuk mengetahui persentase kesalahan pada data. Nilai ini diperoleh dari nilai estimasi dan nilai observasi. Persamaan untuk mencari nilai P adalah sebagai berikut.

$$P = \frac{100}{N} \sum \left( \frac{|y_{est} - y_i|}{y_i} \right) \dots\dots\dots(3.12)$$

Keterangan :

$y_{est}$  = nilai estimasi

$y_i$  = nilai observasi

N = Jumlah titik