

MEMPELAJARI PENGARUH PERUBAHAN SUHU TERHADAP SIFAT REOLOGI PURE DAN NEKTAR SIRSAK

Oleh

KUAT TEGUH SANTOSO

F 26.0665



1993

**FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR**



Produk yang akan diamati terdiri dari pure 1, pure 2, dan nektar. Pure 1 dibuat dengan cara memblansir buah sirsak yang telah dibersihkan pada suhu $80-90^{\circ}\text{C}$ selama 10 menit. Buah lalu dikupas dan diambil dagingnya. Daging buah kemudian dicampur air dengan perbandingan 1 bagian daging sirsak dan 3 bagian air, dan diblender. Untuk pure 2 pemblansiran dan pengupasan sama seperti pure 1. Daging buahnya kemudian dipulper. Hasil pulper ini dicampur air dengan perbandingan 1 : 3. Sedangkan untuk nektar, campuran daging buah dan air hasil pulper ditambahkan asam sitrat 0.1% hingga pH nya mencapai 3.5 dan ditambahkan gula hingga 16°Brix . Semua produk dikemas dalam botol/toples, disimpan, dan dianalisis.

Alat yang digunakan untuk mengukur sifat reologi adalah Viskometer tipe *Brookfield*. Pengukuran pada suhu $333-373^{\circ}\text{K}$ ($60-100^{\circ}\text{C}$) dengan jarak antar level 10° . Pengamatan dilakukan pada waktu 0.5, 1, 2, 5, 10, 20, dan 30 menit dengan RPM 6, 12, 30, dan 60. Pure 1, pure 2 dan nektar diukur dengan rotor nomor 2. Diameter rotor nomor 2 sebesar 10.06 mm.

Hasil penelitian menunjukkan adanya ketergantungan nilai kekentalan tampak pure dan nektar sirsak terhadap shear-rate. Semakin tinggi shear-rate semakin turun nilai kekentalan tampak, sehingga produk-produk olahan tersebut digolongkan dalam cairan *pseudoplastik*. Perilaku *pseudoplastik* menunjukkan pemisahan atau penyusunan



struktur yang menghasilkan nilai kekentalan tampak yang semakin menurun.

Pengaruh suhu menunjukkan bahwa dengan semakin tinggi suhu semakin kecil nilai kekentalan tampak dan konsistensi produk. Nilai kekentalan tampak pure 1 yang diukur pada waktu 0.5 menit turun dari 2.0375 Pa.det menjadi 1.525 pa.det. Untuk pure 2 turun dari 0.1025 Pa.det menjadi 0.015 Pa.det. Dan untuk nektar dari 0.03 Pa.det menjadi 0.015 Pa.det. Hal ini juga terjadi untuk selang waktu pengukuran yang lain. Nilai konsistensi pure 1 menurun dari 2.497 Pa.det menjadi 1.605 Pa.det, pada suhu 333 hingga 373 K dengan waktu pengukuran 0.5 menit. Untuk pure 2 dari 0.106 turun menjadi 0.081 Pa.det. Dan untuk nektar dari 0.0311 Pa.det menjadi 0.0146 Pa.det.

Energi aktivasi untuk keseluruhan produk cenderung turun dengan meningkatnya waktu. Pada pure 1, energi aktivasi turun dari 14.49 KJ/g.mol (1/2 menit) menjadi 13.07 KJ/g.mol (30 menit). Energi aktivasi pada pure 2 turun dari 15.10 KJ/g.mol menjadi 10.72 KJ/g.mol. Dan pada nektar dari 44.31 KJ/g.mol menjadi 18.54 KJ/g.mol.

Pengaruh perubahan suhu terhadap nilai indeks perilaku aliran (n) pure 1 pada waktu pengukuran 0.5 menit, menunjukkan peningkatan dari 0.0045 (333 K) menjadi 0.126 (373 K). Tetapi pada pure 2 turun dari 0.629 pada 333 K menjadi -0.206 pada 373 K. Dan untuk nektar juga menurun dari 0.313 (333 K) menjadi 0.285 (373 K). Sedangkan

pengaruh waktu menunjukkan bahwa nilai indeks perilaku aliran untuk pure 1 (333 K) menurun dari 0.045 (0.5 menit) menjadi -0.0135 (30 menit). Untuk pure 2 juga mengalami penurunan dari 0.629 menjadi 0.103. Tetapi pada nektar mengalami peningkatan dari 0.313 menjadi 0.732 pada pengukuran 0.5 hingga 30 menit.

Pengaruh waktu pada pure 1, pure 2 dan nektar menunjukkan dengan semakin meningkatnya waktu, maka nilai kekentalan tampak meningkat. Pada pengukuran suhu 373 K dan waktu 0.5 - 30 menit nilai kekentalan tampak pure 1 turun dari 1.525 Pa.det menjadi 0.875 Pa.det. Untuk pure 2 pada suhu 373 K dari 0.05 Pa.det menjadi 0.0475 Pa.det. Dan pada nektar, nilainya turun dari 0.0015 menjadi 0.0005 Pa.det. Nilai konsistensi yang cenderung meningkat dengan bertambahnya waktu (*rheopektik*) hanya terjadi pada pure 2 yakni dari 0.082 Pa.det menjadi 0.114 Pa.det. Sedangkan pada pure 1 dan nektar terjadi penurunan dengan bertambahnya waktu (*thixotropik*). Nilai konsistensi pure 1 turun dari 1.428 Pa.det menjadi 1.115 Pa.det dan untuk nektar dari 0.0081 Pa.det menjadi 0.0057 Pa.det.

Model matematik hubungan antara kekentalan tampak dengan suhu dan waktu untuk pure 1, pure 2, dan pure 3 masing-masing adalah

$$\mu = 1.28 \cdot 10^{-1} \exp(388.53/T - 7.60 \cdot 10^{-3})$$

$$\mu = 1.24 \cdot 10^{-8} \exp(5106.52/T - 2.76 \cdot 10^{-2})$$

$$\mu = 1.55 \cdot 10^{-5} \exp(2176.61/T - 3.77 \cdot 10^{-2})$$

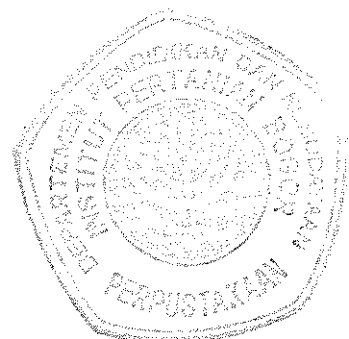


Sementara model matematik hubungan antara konsistensi dengan suhu dan waktu untuk pure 1, pure 2, dan nektar, masing-masing ditunjukkan dengan persamaan

$$m = 2.73 \cdot 10^{-2} \exp(1444.57/T - 3.63 \cdot 10^{-2}t)$$

$$m = 4.72 \cdot 10^{-3} \exp(1043.81/T + 3.06 \cdot 10^{-3}t)$$

$$m = 1.15 \cdot 10^{-6} \exp(3328.54/T - 3.83 \cdot 10^{-2}t)$$



**MEMPELAJARI PENGARUH PERUBAHAN SUHU
TERHADAP SIFAT REOLOGI PURE DAN NEKTAR SIRSAK**

S K R I P S I

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar

SARJANA TEKNOLOGI PERTANIAN
pada Jurusan Mekanisasi Pertanian
Fakultas Teknologi Pertanian
Institut Pertanian Bogor

Oleh

KUAT TEGUH SANTOSO

F 26.0665

1993

**JURUSAN MEKANISASI PERTANIAN
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR**

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kitab atau terjemahan atau terjemahan
b. Pengutipan tidak diperbolehkan untuk tujuan komersial atau untuk tujuan lain yang bersifat komersial
2. Dilarang menyalin, menjiplak, atau melakukan tindakan lain yang merugikan tanpa izin dari IPB University



INSTITUT PERTANIAN BOGOR
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN

MEMPELAJARI PENGARUH PERUBAHAN SUHU
TERHADAP SIFAT REOLOGI PURE DAN NEKTAR SIRSAK

S K R I P S I

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
SARJANA TEKNOLOGI PERTANIAN
pada Jurusan Mekanisasi Pertanian
Fakultas Teknologi Pertanian
Institut Pertanian Bogor

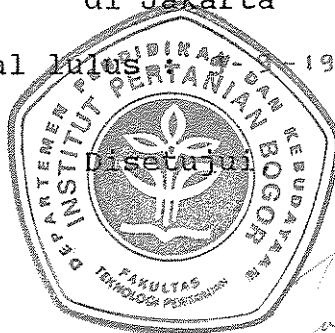
Oleh

Kuat Teguh Santoso

F. 26.0665

Dilahirkan pada tanggal 4 Desember 1970
di Jakarta

Tanggal lulus 1993



Disetujui

Ir. Setyadjit, MAppSc

Pembimbing Pendamping

Ir. John Kumendong, MS

Pembimbing Utama



KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Allah SWT karena atas rahmat dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penulisan skripsi ini.

Skripsi ini disusun berdasarkan hasil penelitian, telaah pustaka, dan pengolahan data yang dilakukan mulai bulan Mei hingga Agustus 1993. Dan merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar kesarjanaan di Fakultas Teknologi pertanian, IPB.

Bersama ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Ir. John Kumendong, MS dan Ir. Setyadjit, MAppSc selaku dosen pembimbing yang telah membimbing, memberi banyak masukan, dorongan dan bantuan hingga selesainya skripsi ini
2. Ir. Putiati Mahdar, MAppSc selaku dosen penguji
3. Pimpinan dan staf Sub Balai Penelitian Holtikultura, Pasar Minggu, Jakarta
4. Direktur dan staf AP4-IPB, khususnya staf laboratorium kimia
5. Direktur dan staf Pusbangtepa (FTDC) IPB, khususnya staf laboratorium Pilot Plant



6. Bapak, Ibu, kakak dan adik serta orang-orang tercinta yang telah memberikan doa dan semangat selama kuliah hingga selesainya skripsi ini

7. Rekan-rekan di Jurusan Mekanisasi Pertanian, khususnya Triana S, Heru W dan Lipenk serta teman-teman seperjuangan di Wisma WOW dan Graha Matra

Penulis menyadari bahwa tulisan ini masih jauh dari sempurna, untuk itu saran dan kritik demi perbaikan tulisan ini sangat diharapkan. Semoga tulisan ini bermanfaat bagi yang memerlukannya.

Bogor, Agustus 1993

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR LAMPIRAN	x ii
I. PENDAHULUAN	1
A. LATAR BELAKANG	1
B. TUJUAN	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	4
A. BOTANI SIRSAK	4
B. KOMPOSISI BUAH SIRSAK	7
C. PEMBUATAN PURE DAN NEKTAR SIRSAK	8
D. KONSEP REOLOGI	11
E. KARAKTERISTIK ALIRAN BAHAN PANGAN CAIR	13
1. Aliran Newtonian	13
2. Aliran Non newtonian	13
F. FAKTOR-FAKTOR YANG MEMPENGARUHI SIFAT REOLOGI BAHAN PANGAN CAIR	20
1. Shear-rate	20
2. Suhu	22
3. Waktu	24
4. Konsentrasi	27

5.	Kombinasi Suhu dan Waktu	28
6.	Kombinasi Suhu dan Konsentrasi ...	30
III.	PENDEKATAN TEORITIS	31
A.	MODEL PERILAKU ALIRAN BAHAN PANGAN CAIR NON NEWTONIAN	31
B.	MODEL PENDUGAAN HUBUNGAN SIFAT REOLOGI PURE DAN NEKTAR SIRSAK TERHADAP SUHU DAN WAKTU	34
C.	PENGUKURAN PARAMETER REOLOGI	35
IV.	METODE PENELITIAN	38
A.	BAHAN DAN ALAT	38
B.	WAKTU DAN TEMPAT	38
C.	PERLAKUAN	38
D.	PENGAMATAN DAN PENGUKURAN	39
E.	PROSEDUR PENELITIAN	39
1.	Pembuatan Pure Sirsak 1	39
2.	Pembuatan Pure Sirsak 2	43
3.	Pembuatan Nektar Sirsak	43
4.	Penentuan Panjang dan Radius Rotor	44
5.	Prosedur Pengukuran Parameter Reologi	47
6.	Pengolahan Data	47
V.	HASIL DAN PEMBAHASAN	53
A.	SHEAR-RATE DAN SHEAR STRESS	53

Has Cipta, pibimbing Unsting urdang
 1. Dukung mnggung jebagan arda sialah kanya tulu pr targa mncantunhan dan mngedokan sumber
 a. Penggugutan mnggung arda sialah kanya tulu pr targa mncantunhan dan mngedokan sumber
 b. Penggugutan mnggung arda sialah kanya tulu pr targa mncantunhan dan mngedokan sumber
 2. Mnggung mnggugutan dan mnggugutan kanya tulu pr targa mncantunhan dan mngedokan sumber

B.	KETERGANTUNGAN SIFAT REOLOGI TERHADAP SHEAR-RATE	58
C.	KETERGANTUNGAN SIFAT REOLOGI TERHADAP SUHU	59
D.	KETERGANTUNGAN SIFAT REOLOGI TERHADAP WAKTU	75
E.	KOMBINASI SUHU DAN WAKTU PADA SIFAT REOLOGI BAHAN	85
VI.	KESIMPULAN DAN SARAN	90
A.	KESIMPULAN	90
B.	SARAN	92
	DAFTAR PUSTAKA	93
	LAMPIRAN	96

Gambar 14.	Hubungan kekentalan tampak dengan shear rate untuk kanji 19% pada suhu 23°C pada berbagai waktu pengukuran (Bagley,1982).	27
Gambar 15.	Penyajian bentuk 3 dimensi dari kekentalan cairan putih telur sebagai suatu fungsi suhu dan waktu pada shear-rate konstan 115 det ⁻¹ (Samimi et al., 1984)	29
Gambar 16.	Alat viskometer Brookfield	37
Gambar 17.	Diagram alir pembuatan pure dan nektar sirsak	40
Gambar 18.	Buah sirsak	41
Gambar 19.	Buah sirsak	41
Gambar 20.	Blender	42
Gambar 21.	Pulper	42
Gambar 22.	Penyederhanaan rotor nomor 1	46
Gambar 23.	Penyederhanaan rotor nomor 2	47
Gambar 24.	pH meter	48
Gambar 25.	Refraktometer	48
Gambar 26.	Perangkat pengukuran	49
Gambar 27.	Pengukur produk	49
Gambar 28.	Pengontrol suhu	50
Gambar 29.	Produk 1 (pure sirsak 1) dalam baskom .	50
Gambar 30.	Pemanasan produk	51
Gambar 31.	Produk 2 (pure sirsak 2)	51
Gambar 32.	Produk 2 (pure sirsak) yang akan diukur	52
Gambar 33.	Nektar sirsak	52
Gambar 34.	Hubungan shear-rate dan shear-stress pure 1	54
Gambar 35.	Hubungan shear-rate dan shear-stress pure 2	55

Gambar 36.	Hubungan shear-rate dan shear-stress nektar	56
Gambar 37.	Hubungan antara kekentalan tampak pure 1 dengan shear-rate pada berbagai suhu pengukuran	60
Gambar 38.	Hubungan antara kekentalan tampak pure 2 dengan shear-rate pada berbagai suhu	61
Gambar 39.	Hubungan antara kekentalan tampak nektar dengan shear-rate pada berbagai suhu	62
Gambar 40.	Hubungan antara kekentalan tampak pure 1 dengan suhu pada shear-rate 2.55 det^{-1}	65
Gambar 41.	Hubungan antara kekentalan tampak pure 2 dengan suhu pada shear-rate 6.37 det^{-1}	66
Gambar 42.	Hubungan antara kekentalan tampak nektar dengan suhu pada shear-rate 6.37 det^{-1}	67
Gambar 43.	Hubungan antara konsistensi pure 1 dengan suhu	71
Gambar 44.	Hubungan antara konsistensi pure 2 dengan suhu	72
Gambar 45.	Hubungan antara konsistensi nektar dengan suhu	73
Gambar 46.	Hubungan antara kekentalan tampak pure 1 dengan waktu pada shear-rate 12.74 det^{-1}	77
Gambar 47.	Hubungan antara kekentalan tampak pure 2 dengan waktu pada shear-rate 1.27 det^{-1}	78
Gambar 48.	Hubungan antara kekentalan tampak nektar dengan waktu pada shear-rate 2.55 det^{-1}	79
Gambar 49.	Hubungan antara konsistensi pure 1 dengan waktu	81
Gambar 50.	Hubungan antara konsistensi pure 2 dengan waktu	82
Gambar 51.	Hubungan antara konsistensi nektar dengan waktu	83

Tabel 15.	Model matematik hubungan antara konsistensi nektar sirsak dengan suhu	118
Tabel 16.	Model matematik hubungan antara keken-talan tampak pure sirsak 1 dengan waktu	118
Tabel 17.	Model matematik hubungan antara keken-talan tampak pure sirsak 2 dengan waktu	119
Tabel 18.	Model matematik hubungan antara keken-talan tampak nektar sirsak dengan waktu	120
Tabel 19.	Model matematik hubungan antara konsis-tensi pure sirsak 1 dengan waktu.....	121
Tabel 20.	Model matematik hubungan antara konsis-tensi pure sirsak 2 dengan waktu.....	121
Tabel 21.	Model matematik hubungan antara konsis-tensi nektar sirsak dengan waktu.....	121
Tabel 22.	Model matematik hubungan antara keken-talan tampak pure sirsak 1 dengan suhu dan waktu	122
Tabel 23.	Model matematik hubungan antara keken-talan tampak pure sirsak 2 dengan suhu dan waktu	123
Tabel 24.	Model matematik hubungan antara keken-talan tampak nektar sirsak dengan suhu dan waktu	124
Tabel 25.	Model matematik hubungan antara konsis-tensi pure sirsak 1, pure sirsak 2, dan nektar dengan suhu dan waktu.....	124



I. PENDAHULUAN

A. LATAR BELAKANG

Buah Sirsak (*Annona muricata* L.) adalah salah satu jenis buah tropis yang dihasilkan oleh Indonesia. Tanaman ini berasal dan banyak tumbuh di daerah tropis Amerika dan India Barat, meskipun ada juga yang tumbuh di beberapa negara termasuk Sri Lanka (MacLeod dan Nirmala, 1981). Menurut Bueso (1980) sirsak termasuk salah satu pohon buah-buahan (fruit trees) Amerika Utara dan Selatan yang pertama kali diperkenalkan ke seluruh dunia, dan dapat ditemukan tumbuh secara liar serta dipelihara di banyak negara tropis. Sirsak juga dikenal dengan nama, *guanabana*, *carrosal*, *graviola*, *sapote agrio*, *coracao d'raitina*, *suirsaak*, *zuursaak*, dan *chochiman-epineux*.

Jumlah produksi sirsak di Indonesia belum diketahui dengan pasti. Produksi rata-rata buah sirsak adalah 25 buah per pohon per tahun (Saptarini N, 1990 dan Kaslan, 1981). Pembudidayaan sirsak umumnya tidak dilakukan secara intensif tetapi cukup dengan ditanam di pekarangan rumah atau kebun yang ditanam secara sengaja atau tidak sengaja.

Pada tahun-tahun terakhir ini banyak tanaman sirsak dikembangkan di lahan kritis dan juga dipakai

sebagai salah satu tanaman penghijauan. Demi mengantisipasi ledakan panen buah sirsak di tahun-tahun mendatang diperlukan bentuk-bentuk olahan baru. Dan agar mutu produk olahan tersebut baik dan sesuai standar, maka perlu penentuan parameter mutu yang obyektif.

Informasi sifat reologi buah sirsak diperlukan dalam pengolahan buah sirsak dalam upaya penganeagaman produk olahan baru. Menurut Saravacos (1968), kekentalan bahan pangan cair merupakan suatu sifat fisik yang penting, yang berpengaruh terhadap mutu produk. Sifat-sifat viskometrik dari makanan juga penting dalam perhitungan-perhitungan desain seperti koefisien pindah panas, laju evaporasi, alat-alat pompa dan pencampuran.

Escher (1983) berpendapat bahwa parameter reologi juga berguna dalam pengawasan mutu bahan baku, bahan setengah jadi dan produk akhir sesudah pengolahan, evaluasi mutu oleh konsumen dengan mengaitkan pengukuran reologi dan uji sensorik, dan untuk menjelaskan struktur serta komposisi pangan, juga analisis perubahan struktur selama proses.

Penelitian yang dilakukan dengan menggunakan buah sirsak dalam bentuk olahan pure dan nektar ini juga didasarkan pada masih terbatasnya data tentang sifat

reologi dan olahan dari komoditi tersebut. Selain juga karena umumnya pada proses pengolahan bahan pangan akan dijumpai proses pemanasan atau pendinginan dimana informasi mengenai pengaruh suhu terhadap kekentalan dan konsistensi produk perlu diketahui.

B. TUJUAN

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mempelajari pengaruh suhu dan waktu terhadap sifat reologi pure dan nektar sirsak yang meliputi kekentalan tampak (μ), konsistensi (m), dan indeks perilaku aliran (n).
2. Membuat model matematik hubungan antara parameter reologi dengan suhu dan waktu.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. BOTANI SIRSAK

Buah Sirsak (*Annona muricata* L.) yang termasuk dalam keluarga *Annonaceae* telah beratus-ratus tahun dikenal orang di Indonesia. Pohon sirsak yang juga disebut Nangka Belanda atau Durian Arab, sedikit yang memiliki tinggi lebih dari empat meter (Kaslan, 1981). Tanaman ini tumbuh di dataran rendah sampai dataran tinggi pada ketinggian 1000 meter dari permukaan laut. Tanaman ini mudah dikembangkan karena tidak memerlukan persyaratan khusus (Saptarini N, 1990).

Menurut Rismunandar (1983), pohon sirsak dapat mencapai tinggi tiga sampai delapan meter dengan daun liat, berkilat berwarna hijau tua. Saptarini (1990) menyatakan buah sirsak bentuknya tidak beraturan tetapi secara umum berbentuk jorong yang mengecil di bagian ujung. Sarjito (1992) menyatakan bahwa buah sirsak bentuknya tidak beraturan, ada yang bulat, lonjong bahkan ada yang membengkok seperti ginjal atau bentuk telur.

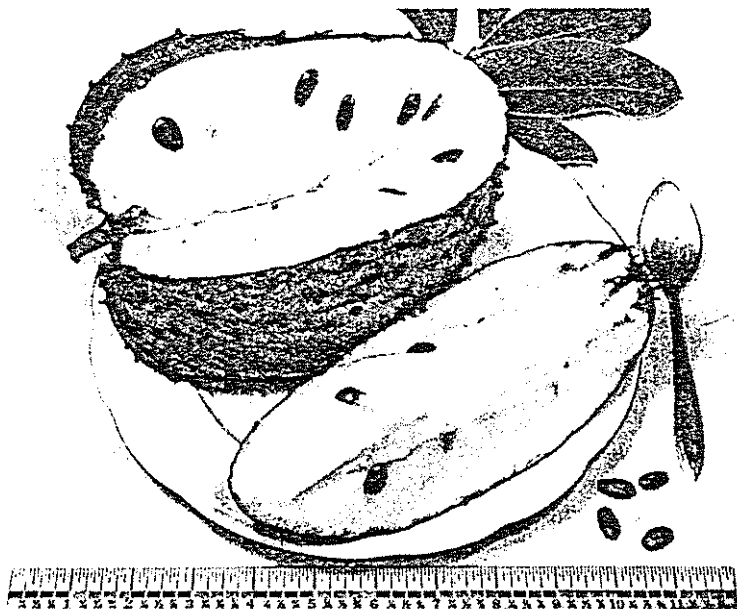
Kulit buah sirsak berduri pendek dan lunak. Daging buah juga lunak, berwarna putih berserat, berbiji hitam pipih yang banyak jumlahnya. Rasa daging buah asam manis dan segar, dengan aroma yang harum (Saptarini, 1990). Biji buah sirsak mengan-

dung zat yang bersifat racun sehingga harus dipisahkan sebelum daging buahnya diolah lebih lanjut (Anonymous, 1975).

Tanaman ini berbunga setelah berumur 2-3 tahun, lalu dipanen setelah 3 bulan kemudian (Saptarini, 1990). Bunga terbanyak keluar dalam bulan Oktober-November dan buah masak dalam bulan Januari-Februari (Kaslan, 1981). Buah lonjong dengan ujung yang sering bengkok atau berbentuk jantung. Kulitnya agak tebal namun liat, berduri lemas dan mempunyai berat rata-rata 0.2-6 kg (Rismunandar, 1983). Buahnya dapat tumbuh dengan ukuran yang besar dan mencapai berat di atas 4 kg (MacLeod dan Nirmala, 1981). Panjang buah 15-30 cm dengan lebar 10-20 cm. Daging buah berwarna putih, banyak mengandung cairan dan rasanya asam manis (Bueso, 1980).

Buah sirsak yang telah tua berciri jarak duri di permukaan buah telah jarang, tangkai buah menguning dan beraroma harum (Sarjito, 1992). Buah sirsak mudah rusak dalam pengangkutan karena memiliki kulit buah tipis, lebih-lebih bila sudah agak masak. Pada suhu kamar, buah sirsak tahan selama 2-4 hari, tetapi pada suhu sekitar 5°C tahan selama 18 hari (Winarno dan Jenie, 1983).

Buah ini memiliki rasa yang sangat enak yang khas dan potensial untuk dikembangkan sebagai produk olahan. Umumnya dikonsumsi sebagai juice dan bubur berserat, tapi dapat pula digunakan untuk membuat es krim dan juga dapat dicampur dengan air dan gula untuk menghasilkan minuman segar yang khas (MacLeod dan Nirmala, 1981).



Gambar 1. Buah Sirsak (Anonymos, 1975).

B. KOMPOSISI BUAH SIRSAK

Buah Sirsak terdiri atas 67.5% daging yang dapat dimakan, 20% kulit, 8.5% biji, dan 4% hati (Rismunandar, 1983). Komposisi kimia buah sirsak dari analisa terdapat pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi (%), pH dan energi (kcal) per 100 gram pulp buah sirsak masak (Bueso, 1980).

Komponen	Axtmeyer dan Cook (1942)	Sanchez-Nieva et al. (1953, 1970)
Air (%)	81.0	81.4-83.8
Protein (%)	1.70	-
Lemak (%)	0.80	-
Padatan terlarut ^a (^o Brix)	-	15.8-17.4
Karbohidrat (%)		
Total gula ^b	12.00	10.43-12.50
Gula pereduksi	9.77-13.07	9.50-11.70
Sukrosa ^c	0.00-7.72	0.80-2.10
Serat (%)	0.78	-
Total asam (%)	0.70-1.04 ^d	0.89-0.98 ^e
pH	-	3.61-3.65
Kadar abu (%)	0.41-0.86	-
Energi (kcal)	64	1
	Araque (1967)	Adams (1975)
Mineral (mg/100gr)		
Ca	22	14.2
P	28	27.1
Fe	0.6	0.62
Na	-	14.08
K	-	264.90
Vitamin ^f (mg/100gr)		
Vitamin A ^g	20	8.9
Thiamin	0.06	0.07
Riboflavin	0.07	0.05
Niacin	0.9	0.89
Asam askorbat	22	20

^a diestimasi dengan ^oBrix

^b ditentukan dengan perbedaan

^c ditentukan sebagai gula invert

- d ditentukan sebagai asam malat
- e ditentukan sebagai asam sitrat
- f dianalisa tiap 100 gram juice
- g dalam satuan IU

MacLeod dan Nirmala (1981) melaporkan adanya 44 komponen volatil pada buah sirsak. Sedangkan kandungan asam organik non volatil dari buah sirsak terdiri dari campuran dua jenis asam, yakni asam malat dan asam sitrat dengan perbandingan 2:1 (Nelson dan curl (1940), dikutip oleh Bueso (1980)).

Buah sirsak mengandung 12% gula, terutama glukosa dan sebagian fruktosa dan pektin (Anonymous, 1975). Sedangkan menurut Nelson dan Curl (1940) seperti yang dikutip oleh Bueso (1980), kandungan pektin buah sirsak mencapai 0.91%.

C. PEMBUATAN PURE DAN NEKTAR SIRSAK

Pure adalah hancuran daging buah yang mengandung pulp dengan konsistensi seperti bubur (Luh, 1980). Pure umumnya dibuat untuk memproduksi nektar, campuran juice, sirup, lapisan atas es krim, jem, dan jelly (Jagtiani et al. 1988).

Istilah nektar buah-buahan digunakan dalam industri yang menghasilkan minuman yang langsung dikonsumsi yang merupakan hasil campuran sari bubur buah-buahan dengan sirup gula dan asam sitrat. Minuman ini meskipun menyerupai rasa juice buah-buahan, tidak dapat

disebut juice karena berbeda dalam jumlah air, gula, dan asam yang ditambahkan. Bentuk nektar bervariasi dari cairan yang hampir jenuh hingga campuran dengan padatan terlarut yang tinggi. Banyak nektar buah-buahan yang mengandung tak kurang dari 50% juice murni atau susunan konsentrat (Cruess, 1958 dan Moyls, 1966 didalam Luh, 1980).

Adapun tahapan pengolahan pure sirsak menurut Bueso (1980) adalah sebagai berikut :

Buah sirsak yang telah masak dipetik dengan tangan untuk menghindari memar akibat jatuh dari pohon. Kemudian buah sirsak yang masak dicuci dengan air berkhlorin untuk menghilangkan kotoran dan kuman penyakit.

Selanjutnya seperti juga pada pemetikan, maka pengupasan dan pembuangan bagian hati dilakukan dengan tangan, tidak ada cara lain yang lebih murah dan berhasil guna. Hal ini dilakukan juga karena bentuk buah yang tidak beraturan serta teksturnya yang lunak seperti kapas. Selain itu pengupasan secara mekanis dapat menyebabkan rasa pahit dan kontaminasi warna hijau pada produk akhir.

Daging buah sirsak kemudian diekstraksi. Sanchez Nieva et al (1953) memblender daging buah sirsak beserta bijinya dengan ditambahkan air. Biji lalu dipisahkan dan hasil blender tersebut disaring.

Franco dan Alvarez (1960) serta Benero (1971) menggunakan pulper untuk mengekstraksi daging buah sirsak.

Pasteurisasi pulp dilakukan pada suhu 85°C , sedangkan pengemasan pulp dapat menggunakan kaleng yang disimpan pada suhu 29°C .

Umumnya pemanasan atau blansir dilakukan pada pembuatan pure. Pemanasan dilakukan sampai mencapai suhu 360.8°K untuk menghentikan semua proses kehidupan buah termasuk menginaktifkan enzim yang dapat mengakibatkan kerusakan warna, perubahan cita rasa, aroma dan tekstur serta membunuh jamur dan bakteri. Buah yang sebelum pengupasan dipanaskan terlebih dulu, tak perlu dipanaskan lagi.

Sanchez-Nieva et al. yang dikutip Bueso (1980) menyatakan bahwa pulp yang diperkaya dengan asam askorbat sebanyak 0.5 - 1.5 gram per 0.45 kg pulp lebih mempertahankan citarasa. Luh (1980) mengatakan pada nektar dapat dilakukan penambahan vitamin, pektin, gula dan asam. Sedangkan untuk pure bisa diberi cita rasa, warna, asam, pektin, dan bahan tambahan lain.

Untuk tujuan produksi nektar, minuman, es krim dan produk olahan lainnya pulp tidak dimaniskan. Sedangkan untuk nektar yang dikonsumsi langsung dilakukan penambahan gula hingga 45°Brix atau 59°Brix , air dengan perbandingan 3 bagian air, serta ditambahkan

asam askorbat. Nektar dipasteuri-sasi pada suhu 90.6°C (Bueso, 1980). Komposisi nektar sirsak tampak pada Tabel 2.

Tabel 2. Komposisi nektar sirsak segar dan sesudah penyimpanan suhu 29.4°C (Sanchez-Nieva et al. dalam Bueso (1980)).

Karakteristik	Penyimpanan (bulan)	
	0	12
Padatan terlarut ($^{\circ}\text{Brix}$)	15.00	14.80
Gula total (gula invert-%)	12.45	12.30
Keasaman total (asam sitrat-g/100 ml)	0.43	0.42
pH	3.65	3.68
Asam askorbat (mg/100 ml)	8.87	9.14

D. KONSEP REOLOGI

Sifat reologi yaitu sifat fisik produk pangan berkaitan dengan deformasi bentuk akibat terkena gaya mekanis. Termasuk sifat-sifat reologi ialah kekentalan, kelengketan, elastisitas, plastisitas, kelenturan, kekenyalan, dan sejenisnya. Sifat-sifat ini sangat penting kaitannya dengan mutu produk pangan bentuk cair, bentuk kental, bentuk gel dan bentuk plastis. Produk pangan bentuk-bentuk demikian cukup banyak jenisnya meliputi dodol, jem, jelly, jelatin, madu, sirup, susu kental manis, margarin, mentega, krim, puding, bubur, minyak goreng, sari buah dan berbagai jenis minuman. Sifat-sifat reologi ini pada umumnya dapat diukur baik secara fisik maupun organoleptik.

Kedua cara pengukuran itu prinsip dasarnya sangat berbeda. Karenanya meskipun untuk sifat reologi yang sama kedua cara pengukuran itu tidak selamanya dapat saling menggantikan (Soewarno, 1990).

Dalam teknik pengolahan, viskositas atau konsistensi dari suatu bahan cair merupakan suatu sifat yang penting. Sifat ini digunakan untuk mendisain alat penanganan bahan cair dan pindah panas. Dalam teknik pangan, kebanyakan bahan pangan cair merupakan campuran padatan-cairan dengan konsistensi yang berbeda tergantung pada komposisi pencampurannya (Ilicali, 1985).

Umumnya bahan pangan cair menunjukkan sifat reologi yang kompleks yakni yang tergantung terhadap waktu, " shear stress ", dan " viskoelastis ", sehingga untuk menghubungkan data reologi dengan " stress " dan " strain " pada keadaan tertentu sering mengalami kesulitan. Situasi pengujian tiap pengukuran harus diseleksi se hingga hubungan antara data reologi dengan " stress " atau " strain " menjadi identik atau setidaknya-tidaknya sama dengan situasi dimana data tersebut akan dipakai. Sebagai tambahan, penggunaan data yang dipublikasikan dapat menjadi sulit atau bahkan tidak mungkin dipakai bila kondisi pengukuran berbeda terlalu jauh dengan kondisi penerapannya (Escher, 1983).

E. KARAKTERISTIK ALIRAN BAHAN PANGAN CAIR

1. Aliran Newtonian

Aliran ini memiliki kekentalan ideal (Kleimert, 1976). Aliran ini menunjukkan sifat perbandingan yang seimbang antara shear-rate dan shear-stress (DeMan, 1976). Pada berbagai suhu, kekentalannya tidak bergantung pada shear-rate. Perilaku Newtonian umumnya ditemukan pada semua gas atau campuran dengan berat molekul rendah seperti bahan nonpolimer dan juga campuran dengan konsentrasi rendah. Umumnya merupakan campuran sederhana seperti sirup gula, air daging, minuman ringan dan susu (Glicksman, 1969).

2. Aliran Non Newtonian

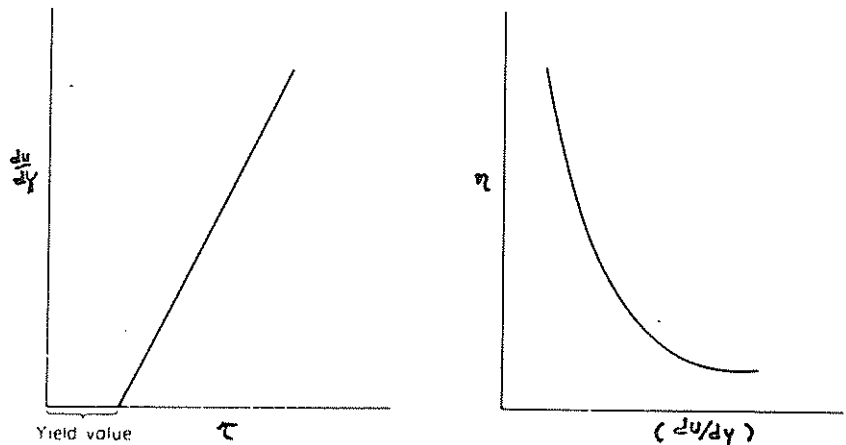
Pada jenis aliran ini hubungan antara kekentalan dengan shear-rate tidak seimbang pada berbagai variasi shear-rate. Aliran ini juga tergantung pada parameter waktu (Glicksman, 1969).

Perilaku Non Newtonian biasanya dimiliki oleh sistem berikut : (1) campuran atau cairan bahan polimer yang memiliki berat molekul tinggi; (2) suspensi padatan dalam bahan cair, yang menjadi bertambah sifat Non Newtoniannya dengan bertambahnya konsentrasi padatan , terutama bila padatan tersebut cenderung untuk mengembang, larut, ataupun bercampur dengan fase cair (Glicksman, 1969)

Adapun 5 sifat penting aliran ini adalah :

a. Bingham Plastik

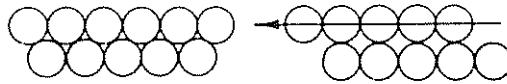
Aliran tipe ini digambarkan sebagai kurva garis lurus hubungan antara shear-rate dan shear-stress (Gambar 2), dimana penurunan kekentalan terjadi dengan meningkatnya shear-rate setelah mencapai nilai tertentu (Glicksman, 1969 dan Kleinert, 1976). Nilai ini dapat digambarkan sebagai gaya yang dihasilkan untuk menaikkan partikel yang diam, keluar dari keadaan diam, kemudian akan mengalir seperti cairan Newtonian (Gambar 3).



Keterangan :

$$\begin{aligned} (du/dy) &= \text{shear-rate (det}^{-1}\text{)} \\ \sigma &= \text{shear-stress (N.m}^2\text{)} \\ \mu &= \text{kekentalan (N.det/m}^2\text{)} \end{aligned}$$

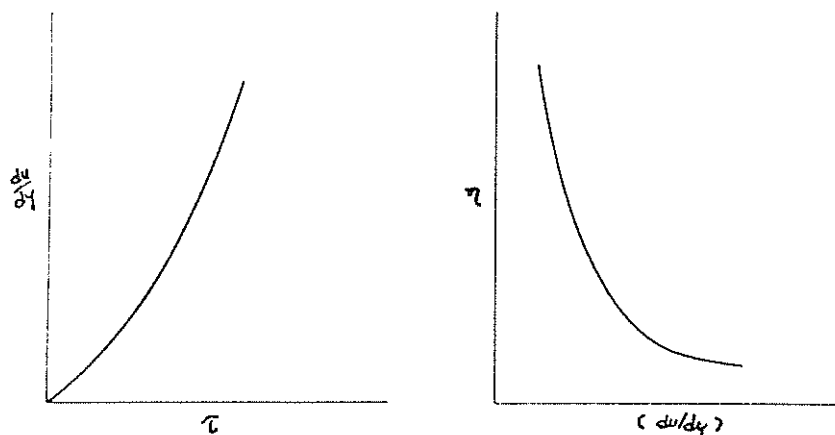
Gambar 2. Kurva aliran Bingham plastik (Glicksman, 1969)



Gambar 3. Perubahan struktur dalam bahan Bingham plastik (Glicksman, 1969)

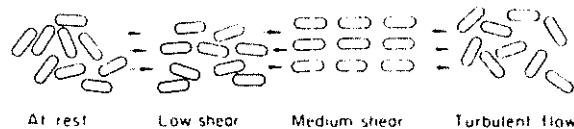
b. Pseudoplastik

Sifat ini menunjukkan terjadinya penurunan kekentalan akibat kenaikan shear-rate (Gambar 4). Penurunan ini terjadi karena molekul berjajar mengambil tempat seperti suatu substansi (Gambar 5). Aliran ini dipengaruhi banyak faktor seperti bentuk dan susunan molekul, konsentrasi padatan dari larutan, suhu, dan pembasahan. Kenaikan konsentrasi larutan umumnya mengakibatkan naiknya kekentalan (Kleinert, 1969).



Gambar 4. Kurva aliran pseudoplastik (Glicksman, 1969)

Produk-produk pangan yang berupa konsentrat buah dan sayuran, juice, pure, pasta, saus apel dan pastaprotein merupakan bahan pangan cair jenis *pseudoplastik* dengan konsistensi lebih besar dari nol dan indeks perilaku aliran antara nol dan satu (Rha, 1978).

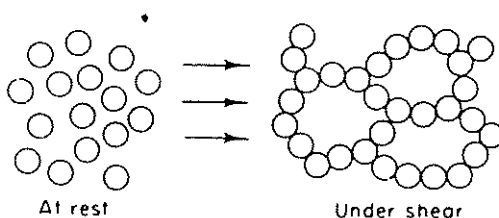


Gambar 5. Perubahan struktur bahan pseudoplastik (Glicksman, 1969)

c. Dilatan

Aliran ini menunjukkan suatu kenaikan kekentalan dengan meningkatnya shear-rate dan sering mencapai titik dimana cairan berubah menjadi padatan (Glicksman, 1969). Kleinert (1976) menyatakan bahwa bila suspensi menunjukkan kenaikan yang besar pada kekentalannya sebagai akibat shear stress yang meningkat, maka bahan ini tergolong dilatan. Aliran dilatan dapat digambarkan sebagai perilaku pasir di pantai (Glicksman, 1969 dan Kleinert, 1976). Bila air datang cukup banyak maka

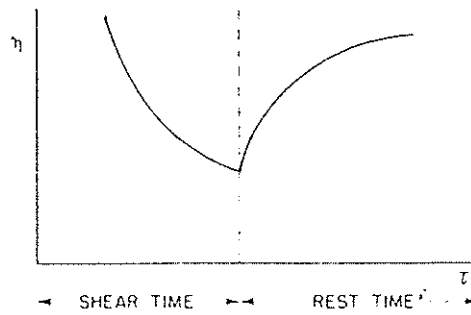
partikel pasir dan jarak antar partikelnya akan ditutup air, lalu sistem akan mengalir (Gambar 6).



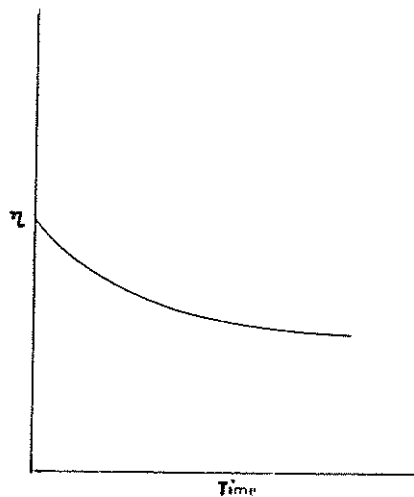
Gambar 6. Perubahan struktur bahan dilatan (Glicksman, 1969)

d. Thixotropik

Bila kekentalan suatu bahan menurun sebagai suatu fungsi waktu, dan struktur kembali ke kondisi awal setelah beberapa saat maka bahan ini digolongkan dalam thixotropik, seperti pada Gambar 7 (Kleinert, 1976). Sifat ini dicirikan dengan kenyataan bahwa pergerakan mengakibatkan terjadinya penurunan pada kekentalan dan kekentalan awal hanya dipertahankan beberapa saat. kekentalan akan menurun dengan meningkatnya waktu, seperti Gambar 8 (Glicksman, 1969).



Gambar 7. Kurva aliran thixotropik (Kleinert, 1976)



Gambar 8. Hubungan kekentalan dengan waktu aliran thixotropik (Glicksman, 1969)

e. Rheopektik

Aliran ini menunjukkan suatu kenaikan kekentalan pada gaya geser konstan. Sistem ini juga tergantung pada waktu, dan merupakan kebalikan dari sifat thixotropik (Glicksman, 1969).

Perilaku aliran dari berbagai tipe bahan pangan cair dan bahan pangan semi padat yang telah diuraikan di atas diperlihatkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Karakteristik aliran dari bahan pangan cair (Rha, 1978).

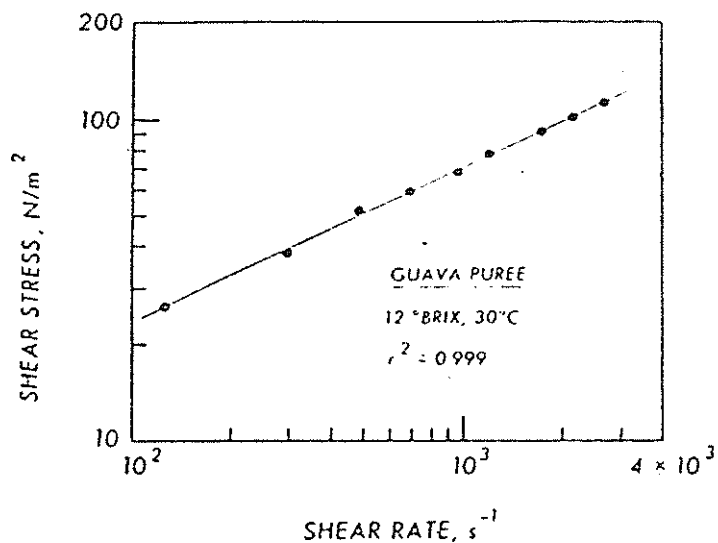
Karakteristik aliran	Konsistensi, m	Indeks perilaku aliran, n	Yield stress C	Contoh produk pangan
Newtonian	Kekentalan, $m > 0$	$n = 1$	$C = 0$	juice dan sup jernih, susu, sirup, minyak
Pseudo-plastik	Kekentalan tampak $m > 0$	$0 < n < 1$	$C = 0$	konsentrat juice, pure, pasta, saus apel, starc, pasta-protein
Bingham plastik	Konstanta plastisitas, $m > 0$	$n = 1$	$C > 0$	salad, tomat catsup, saus fudge
Campuran	Indeks konsistensi, $m > 0$	$0 < n < 1$	$C > 0$	jelly, selai jeruk
Dilatan	Indeks konsistensi, $m > 0$	$1 < n < \infty$	$C = 0$	sosis-slury mentega kacang dihomogenisasi

F. FAKTOR-FAKTOR YANG MEMPENGARUHI SIFAT REOLOGI BAHAN PANGAN CAIR

1. Shear-rate

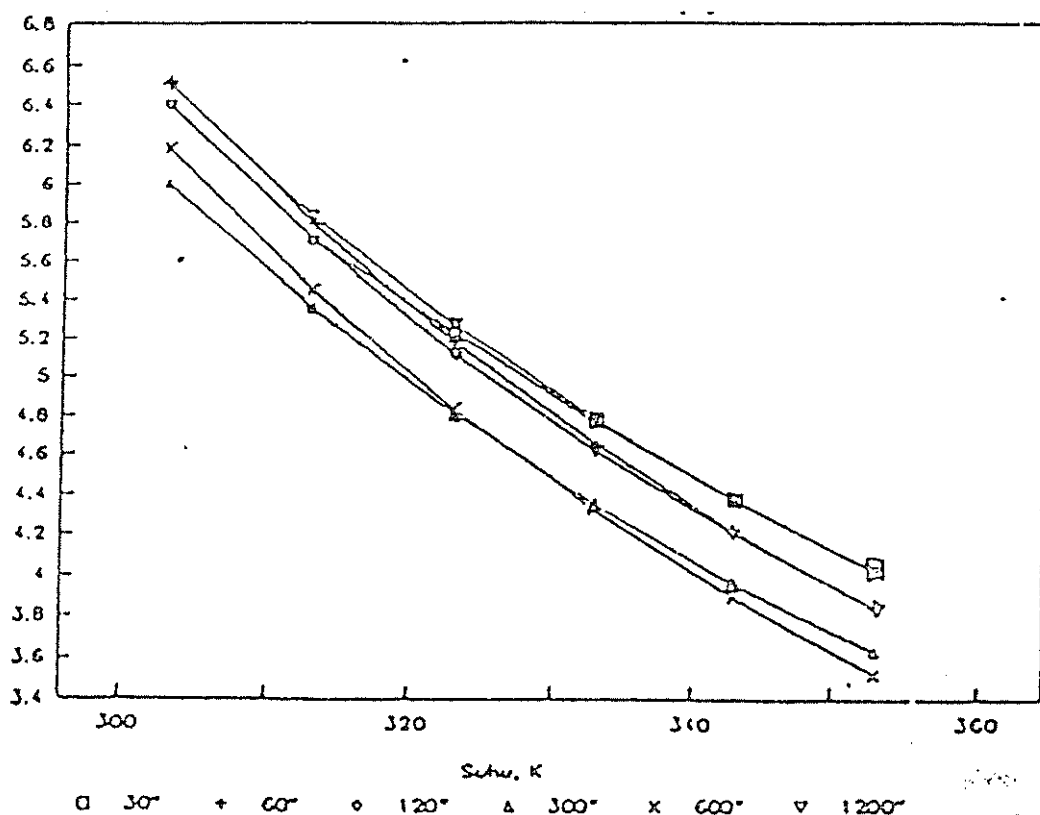
Kekentalan dari cairan pseudoplastik menurun dengan kenaikan shear-rate, sedangkan cairan dilatan meningkat pada shear-rate yang lebih tinggi. Jika kekentalan tidak konstan dan shear bervariasi, maka perbandingan antara shear-rate dengan shear-stress pada suatu titik tertentu dikenal sebagai kekentalan tampak (Rha, 1975)

Hubungan *shear rate-shear stress* untuk pure jambu biji diteliti oleh Vitali dan Rao (1982), menunjukkan bahwa besarnya indeks perilaku aliran (n) mendekati konstan untuk seluruh contoh pure dengan nilai rata-rata 0.43 dengan standard deviasi 0.031 (Gambar 9).



Gambar 9. Penerapan model Power Law dari aliran pure jambu biji 12° Brix pada suhu 30°C (Vitali, 1982).

Nilai kekentalan tampak konsentrasi nangka tergantung pada nilai *shear rate*. Semakin besar nilai *shear rate* maka nilai kekentalan tampaknya makin kecil. Seperti terlihat pada Gambar 10, yang diperoleh pada pengukuran suhu 303°K . Begitu pula dengan pengukuran pada suhu 313°K , 323°K , 333°K , 343°K , dan 353°K serta pada setiap waktu yang berlainan menunjukkan kecenderungan yang sama (Umi R, 1990).



Gambar 10. Hubungan antara kekentalan tampak dengan shear-rate rotor 1 (Rosidah, 1990)

Balmaceda et al. (1973) menyatakan bahwa persamaan umum *power law* merupakan suatu model yang tepat untuk menggambarkan perilaku aliran hidrokoloid dalam selang kondisi percobaan yang digunakan. Dari ketiga hidrokoloid (*guar gum*, *alginate*, dan *CMC*) dihasilkan suatu deviasi dari perilaku newtonian untuk selang konsentrasi yang digunakan dan kekentalannya tergantung pada *shear rate* dan waktu. Kekentalan tampak *alginate* meningkat dengan bertambahnya *shear-rate*, tetapi untuk *CMC* kekentalan tampak menjadi turun.

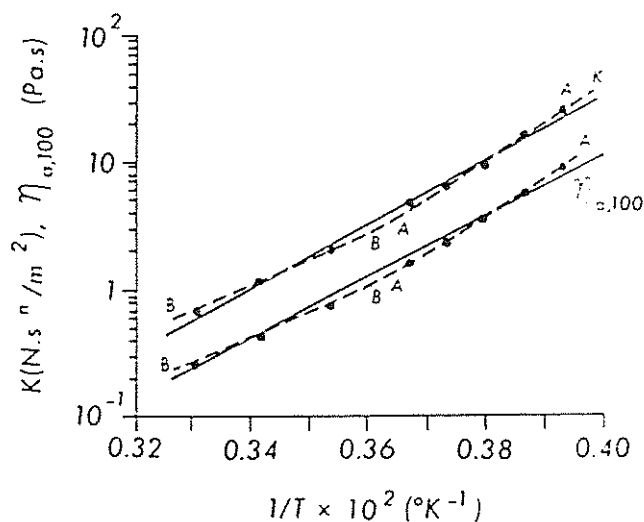
2. Suhu

Suhu mempunyai pengaruh yang lebih kecil terhadap kekentalan tampak pure buah-buahan. Koefisien konsistensi menurun sedikit pada suhu yang lebih tinggi, sementara indeks perilaku aliran secara praktis konstan. Pada pure dan pulp buah-buahan, kekentalan sangat tergantung pada konsentrasi, ukuran, dan bentuk partikel tersuspensi (Saravocus, 1970).

Hasil percobaan Vitali dan Rao (1984) terhadap konsentrat jeruk menyatakan bahwa parameter *power law* dari hasil ke-4 contoh yang dipakai menunjukkan nilai indeks perilaku aliran yang lebih kecil dari 1.0, ini menunjukkan bahwa contoh tersebut tergolong pseudoplastik. Konsistensinya

meningkat saat suhu menurun. Sebagai contoh, konsistensi untuk contoh konsentrat besarnya 0.68 N.det/m² pada suhu 29.2°C dan menjadi 24.45 N.det/m² pada suhu -18.8°C. Sedangkan penggunaan model Arrhenius untuk menggambarkan pengaruh suhu terhadap kekentalan tampak dan konsistensi pada konsentrat jeruk tampak pada Gambar 11.

Pada Gambar 11, tampak dengan semakin tinggi suhu maka kekentalan tampak dan konsistensi konsentrat jeruk menurun. Penerapan model Arrhenius tersebut dilakukan pada *shear rate* 100 det⁻¹. Data mengikuti model dengan deviasi pada selang suhu rendah dan suhu akhir yang tinggi. Disini nilai energi aktivasi yang lebih tinggi terjadi pada aliran bersuhu rendah (Vitali dan Rao, 1984).



Gambar 11. Pengaruh suhu dengan model Arrhenius pada 65° Brix konsentrat jeruk (Vitali dan Rao, 1984)

Suhu juga berpengaruh nyata pada kekentalan tampak dan konsistensi konsentrat nangka. Semakin tinggi suhu pengukuran, semakin turun nilai kekentalan tampak dan konsistensi. Dan energi aktivasi cenderung semakin tinggi terhadap lama waktu pengukuran (Umi,R 1990).

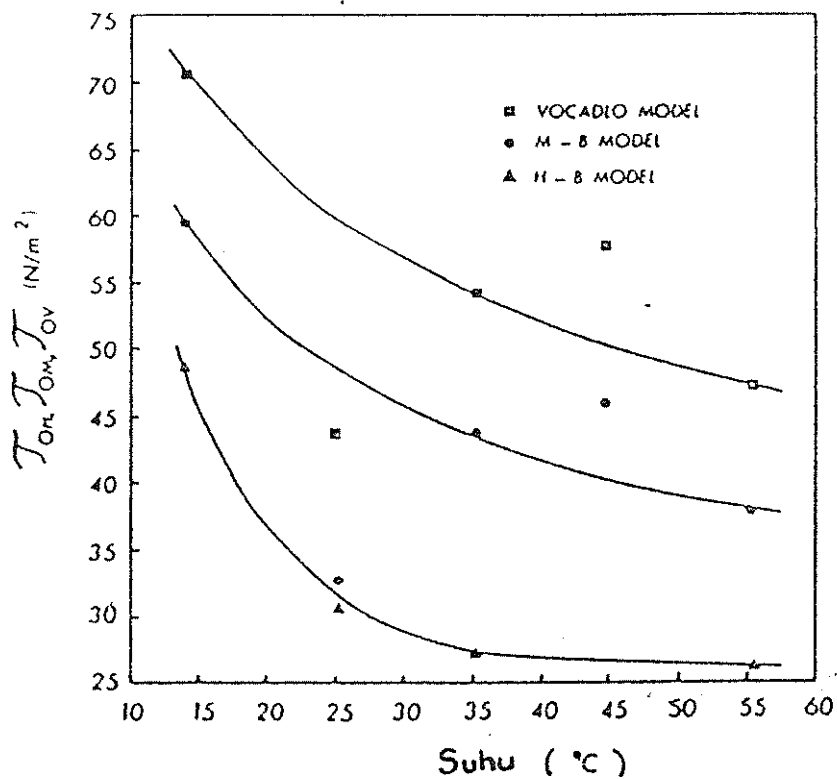
Hasil pengkajian Rao dan Coley (1984) terhadap buah tomat menunjukkan bahwa indeks perilaku aliran tidak menunjukkan nilai yang berbeda nyata pada berbagai konsentrasi tomat yang dipelajari. Dan suhu mempunyai pengaruh yang amat kecil terhadap parameter indeks perilaku aliran. Pengaruh suhu terhadap *yield stress* buah tomat jenis ova yang diselidiki Rao dan Coley tersebut tampak pada Gambar 12.

Pada Gambar 12. digunakan model Herchel-Bulkey, Mirazrahi-Berk, dan Vocadlo. Parameter-parameter *yield stress* menurun curam pada suhu antara 10° dan 35°C , sedangkan pada suhu $35-55^{\circ}\text{C}$ menurun landai. Dan semakin tinggi suhunya maka kurva semakin mendekati konstan.

3. Waktu

Kekentalan aliran thixotropik menurun dengan berubahnya waktu, sedangkan aliran rheopektik meningkat (Rha, 1975). Rasio kekentalan hidrokoloid dalam penelitian Balmaceda et al. (1973)

meningkat dengan bertambahnya waktu.

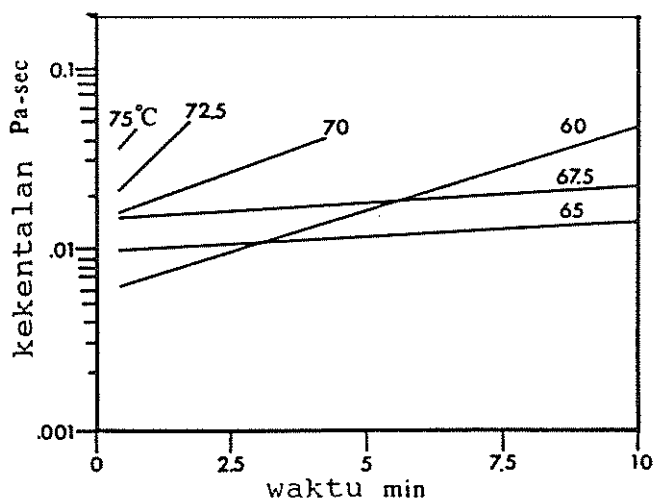


Gambar 12. Pengaruh suhu terhadap yield stress pada konsentrasi tomat Nova 16.7% (Rao dan Cooley, 1984)

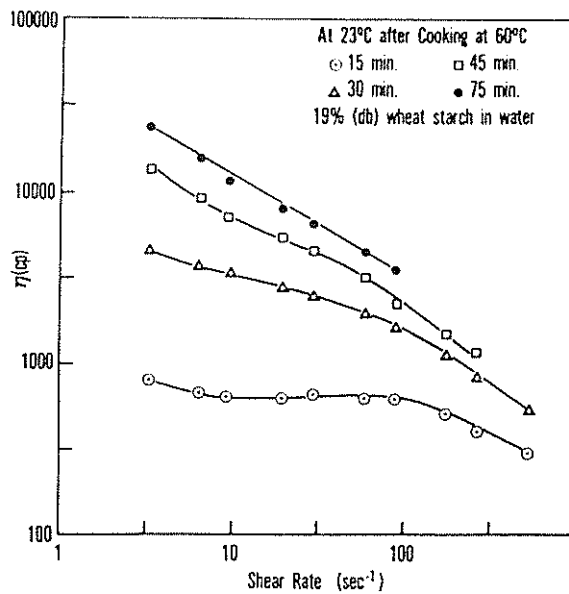
Sementara pengaruh waktu terhadap kekentalan *Liquid Whole Egg* (LWE) pada *shear rate* konstan dan suhu lebih besar dari 60°C terlihat pada Gambar 13. Semakin lama waktu mengakibatkan suatu kenaikan kekentalan dengan perubahan secara linier (Samimi et al., 1984).

Kekentalan tepung kanji hampir konstan pada suhu 60°C dan waktu 15 menit, dan diperkirakan bersifat dilatan (Gambar 14). Untuk seluruh selang shear-rate terjadi kenaikan drastis terhadap kekentalan dengan bertambahnya waktu pemasakan, dan bersifat non newtonian (Bagey dan Christianson, 1982).

Konsistensi dan indeks perilaku aliran susu gel pisang mengalami kenaikan dengan bertambahnya waktu pemasakan hingga 60 menit (Chaffai, 1990). Sedangkan penurunan kekentalan tampak putih telur terjadi pada selang waktu 2-6 menit, tetapi setelah itu menjadi konstan hingga 20 menit (Lang dan Rha, 1982).



Gambar 13. Kekentalan cairan putih telur sebagai suatu fungsi waktu pada shear-rate konstan 115 det^{-1} dan variasi suhu (Samimi, 1984)



Gambar 14. Hubungan kekentalan tampak dengan shear-rate untuk kanji 19% pada suhu 23°C pada berbagai waktu pengukuran (Bagley, 1982)

Waktu mempunyai pengaruh yang berlawanan pada kekentalan tampak dan konsistensi. Semakin lama waktu pengukuran, maka semakin rendah nilai kekentalan tampak, tetapi pada konsistensi menunjukkan nilai yang semakin tinggi. Nilai n (indeks perilaku aliran) cenderung turun dengan lama waktu pengukuran. Semakin kecil n , semakin kecil pula pengaruh *shear rate* terhadap *shear stress* (Umi R., 1990).

4. Konsentrasi

Bagley dan Christianson (1982) menyatakan bahwa pada suhu 60°C, kekentalan tepung kanji meningkat sangat cepat dengan konsentrasi di atas 16%. Untuk suhu di atas 60°C kenaikan kekentalan terjadi pada konsentrasi yang lebih rendah.

Kekentalan tampak dan yield stress dari susu gel pisang dipengaruhi oleh konsentrasi. Tetapi konsistensi dan indeks perilaku aliran cenderung tidak nampak pengaruhnya (Chaffai, 1990).

Kenaikan konsentrasi menyebabkan perubahan sifat CMC dan guar gum dari dilatan menjadi pseudoplastik (Balmaceda et al., 1973). Hasil percobaan Vitali dan Rao (1982) terhadap pure jambu biji menunjukkan bahwa kekentalan tampak meningkat dengan bertambahnya konsentrasi pure.

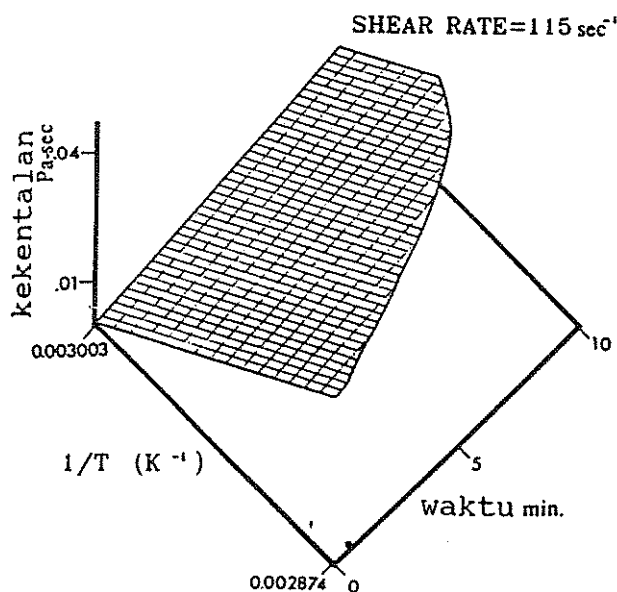
5. Kombinasi Suhu dan Waktu

Lang dan Rha (1982) menemukan bahwa hubungan antara perubahan waktu dan suhu dari 160 contoh putih telur dirata-ratakan dan menunjukkan bahwa perubahan waktu menurun dengan meningkatnya suhu. Perubahan waktu yang menurun sekitar 3 menit dengan kenaikan suhu 29° , menunjukkan bahwa suhu yang bertambah menyebabkan putih telur mudah mengalami shearing.

Sementara Samimi et al. (1984) berpendapat, pengaruh suhu dan waktu terhadap kekentalan dapat dikombinasikan membentuk suatu model linier untuk memperkirakan kekentalan pada setiap *shear rate*, seperti tampak pada Gambar 15.

Selanjutnya Umi R (1990) menyatakan bahwa kombinasi suhu dan waktu memperlihatkan pengaruh

yang sama terhadap nilai kekentalan tampak, yaitu semakin tinggi suhu dan waktu, maka nilai kekentalan tampaknya semakin rendah. Sedangkan terhadap konsistensi, semakin tinggi suhu maka semakin rendah nilai konsistensi, tetapi semakin tinggi waktu pengukuran maka konsistensi akan mempunyai nilai yang semakin tinggi pula.



Gambar 15. Penyajian bentuk 3 dimensi dari kekentalan cairan putih telur sebagai suatu fungsi suhu dan waktu pada $shear\ rate$ konstan $115\ det^{-1}$ (Samimi et al., 1984).

6. Kombinasi Suhu dan Konsentrasi

Seluruh contoh hidrokoloid (Balmaceda et al., 1973) memiliki nilai indeks perilaku aliran lebih besar dari 1 pada suhu-suhu tinggi dan konsentrasi rendah, sedangkan pada suhu-suhu rendah dan konsentrasi tinggi, indeks perilaku aliran cenderung antara 0 dan 1.

Rao dan Vitali (1984) menyatakan bahwa kombinasi suhu dan konsentrasi memiliki pengaruh yang besar terhadap kekentalan tampak dan konsistensi konsentrat juice jeruk. Perilaku reologikal sebagai fungsi suhu dan konsentrasi tersebut akan menjadi bahan pertimbangan untuk mendisain evaporator juice jeruk.

III. PENDEKATAN TEORITIS

A. MODEL PERILAKU ALIRAN BAHAN PANGAN CAIR NON NEWTONIAN

Beberapa model reologikal telah dipergunakan untuk aliran bahan cair Non Newtonian (Clark, 1978). Model yang secara luas digunakan untuk menggambarkan karakteristik perilaku aliran bahan pangan cair adalah model *Power Law* (Vitali et al. 1982, Saravacos 1968 dalam Luh 1980, Clark 1978, Rha 1978, Balmaceda et al. 1973, Ilicali 1985). Cairan pseudoplastik merupakan cairan yang paling umum. Cairan ini dapat digambarkan dengan hubungan shear-rate dan shear-stress dengan model *Power Law* (Heldman dan Sigh, 1981). Model *Power Law* tersebut adalah :

$$\sigma = m(-du/dr)^n \dots\dots\dots(1)$$

dimana :

- σ = shear-stress N/m^2
- m = konsistensi $N \cdot det/m^2$
- $(-du/dr)$ = shear-rate det^{-1}
- n = indeks perilaku aliran

Satu parameter lingkungan yang juga mempengaruhi sifat reologi adalah suhu. Suatu cara yang umum digunakan untuk menjelaskan pengaruh suhu dalam bidang reologi adalah menggunakan persamaan *Arrhenius*. Pada aplikasi ini, parameter reologi akan dipakai sebagai konstanta untuk menentukan energi aktivasi untuk aliran yang kental. Dengan pengumpulan data dari

beberapa suhu (minimum tiga), pengaruh suhu untuk selang suhu yang lebih besar dapat diduga (Heldman dan Singh, 1981). Persamaan *Arrhenius* ini juga dipakai oleh Rao dan Cooley (1984) untuk konsentrat tomat.

$$m = B \exp(-E_a/RT) \dots \dots \dots (2)$$

dimana :

$$\begin{aligned} m &= \text{konsistensi N.det/m}^2 \\ B &= \text{konstanta} \\ E_a &= \text{energi aktivasi J/gmol} \\ R &= \text{konstanta gas } 8.314 \text{ J/gmol}^\circ\text{K} \\ T &= \text{suhu absolut Kelvin} \end{aligned}$$

Sementara Moresi dan Spinosi (1984) menggunakan persamaan *Arrhenius* untuk juice apel dalam bentuk persamaan yang lain yakni :

$$m = \exp(B+(D/T)) \dots \dots \dots (3)$$

dimana nilai D besarnya sama dengan E_a/R .

Hubungan antara suhu dengan kekentalan tampak cairan telur oleh Samimi et al. (1984) disajikan dalam bentuk persamaan :

$$\mu = \exp(a/T + b) \dots \dots \dots (4)$$

dimana :

$$\begin{aligned} \mu &= \text{kekentalan tampak N.det/m}^2 \\ a \text{ dan } b &= \text{konstanta} \end{aligned}$$

Untuk bahan pangan non newtonian, konsistensi (m) dalam persamaan *Arrhenius* dapat diganti dengan kekentalan tampak (μ) untuk menggambarkan pengaruh suhu terhadap kekentalan tampak pure jambu biji (Rao, 1982). Juga dipergunakan oleh Clark (1978), Vitali dan Rao (1984) untuk juice jeruk serta Lang dan Rha

(1982) untuk putih telur.

$$\mu = B \exp(-E_a/RT) \dots\dots\dots(5)$$

Samimi et al. (1984) menyatakan model dimana waktu mempengaruhi kekentalan tampak cairan telur.

$$\log (\mu) = at + b \dots\dots\dots(6)$$

dimana :

t = waktu dalam menit

a dan b = konstanta

Untuk model pengaruh waktu terhadap konsistensi juga dipakai persamaan yang sama.

$$\log (m) = at + b \dots\dots\dots(7)$$

Rosidah (1990) menyatakan hubungan antara kekentalan tampak konsentrat nangka dan waktu, dengan model matematik :

$$\mu = bt^a \dots\dots\dots(8)$$

Dan untuk menyatakan hubungan antara konsistensi konsentrat nangka dengan waktu dipilih dua model, masing-masing untuk rotor 1 persamaan (9) dan rotor 2 dengan persamaan (10)

$$m = b \exp(at) \dots\dots\dots(9)$$

$$m = bt^a \dots\dots\dots(10)$$

Sementara untuk hubungan antara kekentalan tampak dengan suhu dan waktu pada cairan telur (Samimi et al., 1984) dinyatakan dalam bentuk persamaan :

$$\log (\mu) = a/T + bt + c \dots\dots\dots(11)$$

Hubungan antara kekentalan tampak konsentrat nangka dengan suhu dan waktu serta antara konsistensi

dengan suhu dan waktu oleh Rosidah(1990) dinyatakan sebagai berikut :

$$\mu = b \exp(-Ea/RT)t^a \dots\dots\dots(12)$$

$$\mu = b \exp(-Ea/RT)\exp(at) \dots\dots\dots(13)$$

$$m = b \exp(-Ea/RT)t^a \dots\dots\dots(14)$$

$$m = b \exp(-Ea/RT)\exp(at) \dots\dots\dots(15)$$

B. MODEL PENDUGAAN HUBUNGAN SIFAT REOLOGI PURE DAN NEKTAR SIRSAK TERHADAP SUHU DAN WAKTU

Model pendugaan yang dipakai dalam penelitian ini digunakan untuk menentukan hubungan berbagai parameter reologi seperti kekentalan tampak, konsistensi, dan indeks perilaku aliran pure dan nektar sirsak pada berbagai suhu, perbedaan waktu, serta kombinasi suhu dan waktu.

Untuk mendapatkan hubungan antara kekentalan tampak dengan suhu digunakan persamaan (5) yakni :

$$\mu = B1 \exp(-Ea/RT) \dots\dots\dots(16)$$

Dalam menentukan hubungan antara konsistensi dengan suhu dipakai persamaan (2) yaitu :

$$m = B2 \exp(-Ea/RT) \dots\dots\dots(17)$$

Hubungan antara kekentalan tampak dengan waktu menggunakan persamaan (6) dan hubungan antara konsistensi dengan waktu menggunakan persamaan (7), yaitu :

$$\log (\mu) = b1 + a1t \dots\dots\dots(18)$$

$$\log (m) = b2 + a2t \dots\dots\dots(19)$$

Dan untuk menentukan hubungan kekentalan tampak

dengan suhu dan waktu serta antara konsistensi dengan suhu dan waktu digunakan persamaan (3), (6), dan (7) yang ditulis dalam bentuk eksponensial :

$$\mu = B3 \exp(-Ea/RT + a3t) \dots\dots\dots(20)$$

$$m = B4 \exp(-Ea/RT + a4t) \dots\dots\dots(21)$$

C. PENGUKURAN PARAMETER REOLOGI

Alat pengukur jenis viskometer rotasional digunakan untuk bahan-bahan non newtonian dan banyak diterapkan untuk bahan pangan (DeMan et al., 1976). Alat yang dipakai dalam penelitian ini adalah viskometer model *Brookfield* yang merupakan model paling populer dari jenis viskometer rotasional. Alat tersebut tampak pada Gambar 16.

DeMan et al. (1976) menyatakan bahwa contoh produk yang berada dalam tabung wadah akan diputar oleh rotor dengan kecepatan angular ω . Rotor yang berputar memiliki panjang l dan jari-jari r_1 . Pada jarak r dari pusat akan menghasilkan torsi :

$$T = 2\pi r^2 l \sigma \dots\dots\dots(22)$$

dimana :

$$\begin{aligned} T &= \text{torsi} && \text{N.m} \\ r &= \text{jari-jari rotor} && \text{m} \\ l &= \text{panjang rotor} && \text{m} \\ \sigma &= \text{shear-stress} && \text{N/m}^2 \end{aligned}$$

Selanjutnya DeMan menyatakan shear-rate itu berbanding terbalik dengan kuadrat jarak dari sumbu putar. Dan shear-stress yang melalui contoh produk

hampir konstan, bila perbedaan antara jari-jari rotor dengan wadah lebih kecil dibanding jari-jari rotor. Adapun persamaan shear-rate adalah sebagai berikut :

$$(du/dr) = r \cdot d\omega/dr \dots\dots\dots(23)$$

Hubungan antara shear-rate dan shear-stress dapat digunakan untuk mendefinisikan sifat aliran bahan. Persamaan hubungan ini dipakai oleh Rha (1975), Johnson et al.(1975), dan Middleman (1975).

$$\sigma = \mu \cdot (du/dr) \dots\dots\dots(24)$$

$$\text{Sehingga } d\omega/dr = \sigma/\mu \cdot 1/r$$

$$d\omega/dr = T/(\mu \cdot 2\pi r^3 l) \dots\dots\dots(25)$$

Dengan mengintegrasikan $d\omega/dr$, antara $r_1=R_1$ dan $r_2=R$ dihasilkan persamaan :

$$\omega = T/(\mu \cdot 4\pi l) \cdot (1/R_1^2 - 1/R^2) \dots\dots(26)$$

Persamaan ini juga dikenal dengan persamaan Margules (Heldman dan Singh, 1981).

Di bawah kondisi standard (steady-state), kecepatan angular $\omega = 0$ saat $r=r_1$. dan $\omega = \Omega$, saat $r=r$, menghasilkan hubungan sebagai berikut (DeMan, 1976) :

$$C = T/(\mu \cdot \Omega) \dots\dots\dots(27)$$

dimana C adalah konstanta alat.

Untuk mengetahui besarnya torsi pada pengukuran ini persamaan yang dipakai berdasarkan persamaan(26) :

$$T = \Omega \cdot \mu \cdot 4\pi l (1/R_1^2 - 1/R^2) \dots\dots\dots(28)$$

Dari persamaan (23), (25), dan (28) dapat ditentukan besarnya shear-rate yang dihasilkan yakni :

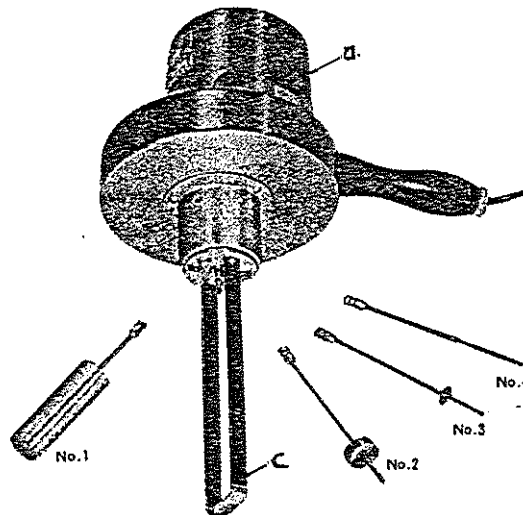
$$du/dr = 2\Omega/(1 - R_1^2/R^2) \dots\dots\dots (29)$$

Karena $\Omega = N.\pi/30$ dimana N adalah jumlah rotasi per menit, maka persamaan di atas akan menjadi :

$$du/dr = (2N\pi/30)/(1 - R1^2/R^2) \dots\dots\dots (30)$$

Parameter reologi lainnya yakni konsistensi (m) dan indeks perilaku aliran (n) ditentukan menggunakan persamaan *Power Law* (persamaan 2) dalam bentuk logaritma :

$$\log(\sigma) = \log(m) + n \log(-du/dr) \dots\dots\dots(31)$$



- a. Viskometer c. Pelindung (Guard)
b. Rotor, nomor 1 - 4

Gambar 16. Alat viskometer Brookfield

IV. METODE PENELITIAN

A. BAHAN DAN ALAT

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini berupa buah Sirsak masam yang diperoleh dari Ciranjang, Cianjur, Jawa Barat (Gambar 18 dan 19).

Bahan tambahan yang diperlukan seperti asam sitrat didapatkan di toko kimia di Bogor, sedangkan gula pasir diperoleh di Darmaga.

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain : viskometer tipe *Brookfield*, penangas air, termometer, timer, gelas piala, gelas ukur, blender, pulper, hot plate, alumunium foil, refraktometer, heater, kompor listrik, kompor minyak, botol/toples, pH meter, panci stainless steel, panci kecil, lemari pendingin, jangka sorong, pisau, serta sendok.

B. WAKTU DAN TEMPAT

Penelitian dilakukan pada bulan Mei hingga Juli 1993, di Labolatorium Pusbangtepa dan AP4, IPB, Bogor.

C. PERLAKUAN

1. Suhu yang dipergunakan dalam pengukuran sifat reologi adalah 60° , 70° , 80° , 90° , dan 100°C .

2. Waktu pengukuran menggunakan selang 1/2, 1, 2, 5, 10, 20, dan 30 menit.
3. Rotor yang dipergunakan adalah rotor nomor 2.
4. Kecepatan putar rotor menggunakan RPM 6, 12, 30, dan 60.

D. PENGAMATAN DAN PENGUKURAN

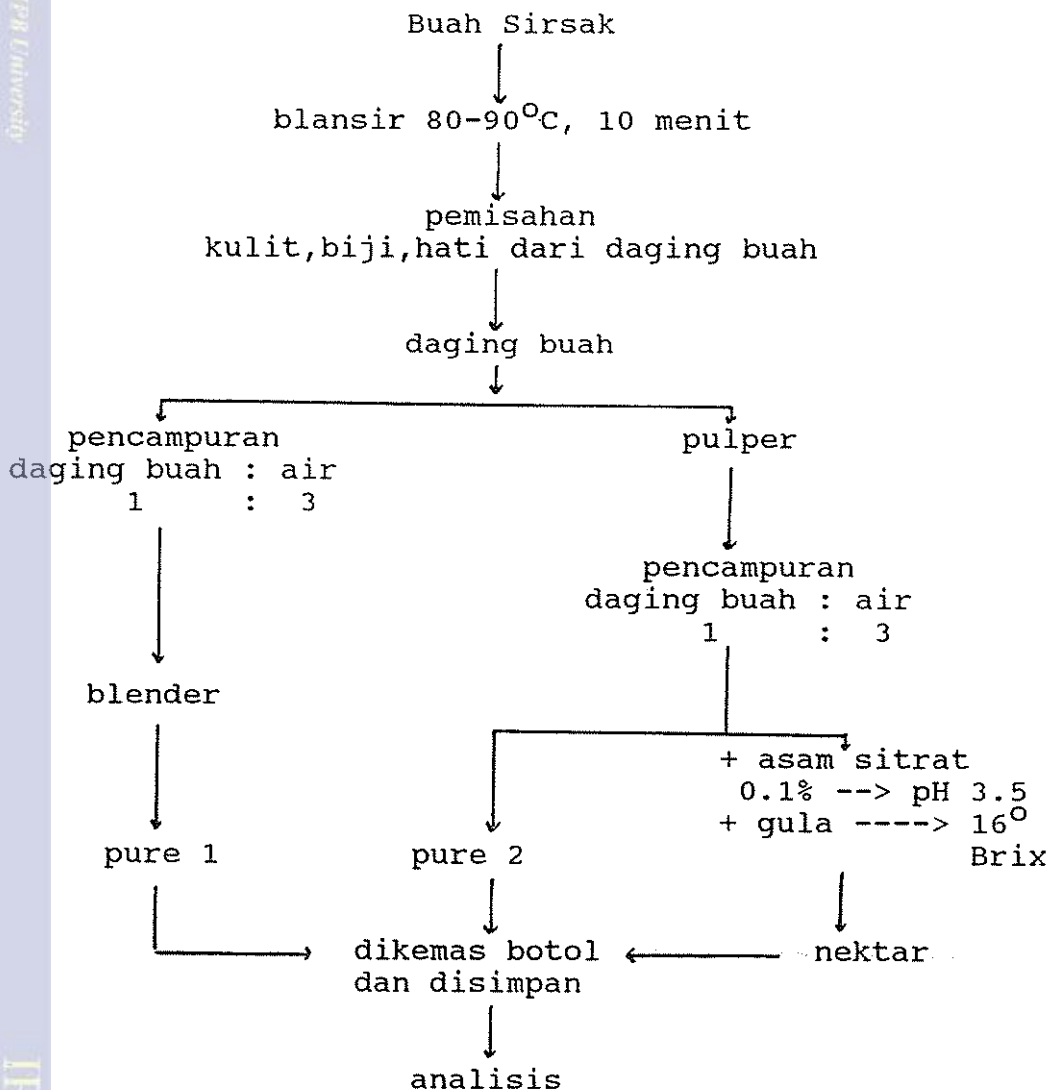
1. Pengamatan pada viskometer meliputi : RPM, jenis rotor, tinggi permukaan produk pada tabung, suhu produk dan torsi yang terjadi.
2. Pengukuran dimensi rotor dan tabung menggunakan jangka sorong.
3. Pengukuran suhu dengan termometer.
4. Pengukuran pH dengan pH meter (Gambar 24).
5. Dan pengukuran konsentrasi berdasarkan jumlah gula dalam pure atau nektar sirsak menggunakan refraktometer (Gambar 25).

E. PROSEDUR PENELITIAN

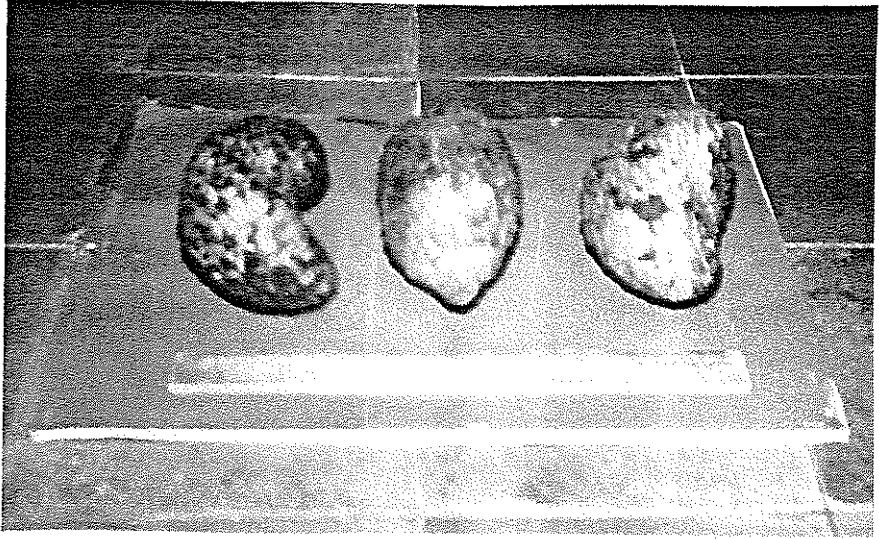
1. Pembuatan Pure Sirsak I

- a. Buah sirsak diblansir pada suhu 80-90°C selama 10 menit.
- b. Pengambilan daging buah (kulit, biji dan hati dibuang).
- c. Pencampuran daging buah dan air dengan perbandingan 1:3.

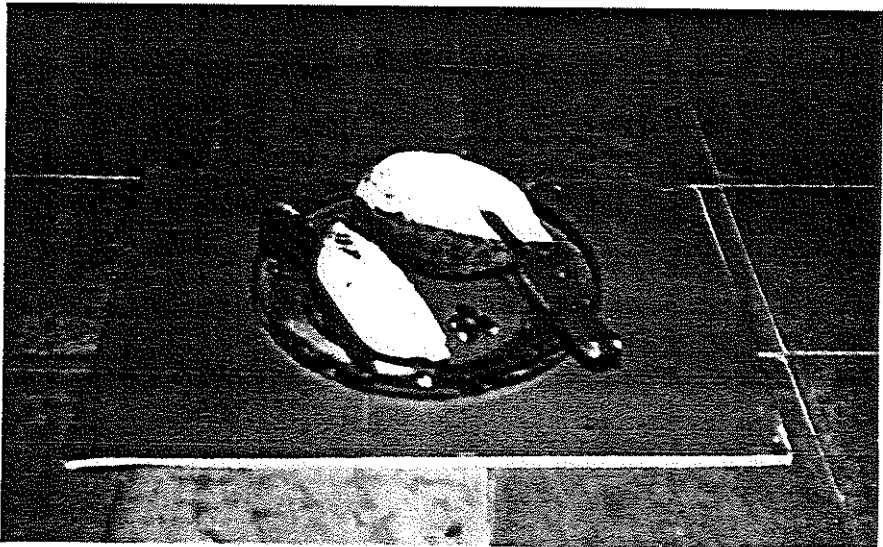
- d. Penghancuran campuran dengan blender (Alat blender tampak pada Gambar 20).
- e. Pembotolan dan penyimpanan pada lemari pendingin.



Gambar 17. Diagram alir pembuatan pure dan nektar sirsak

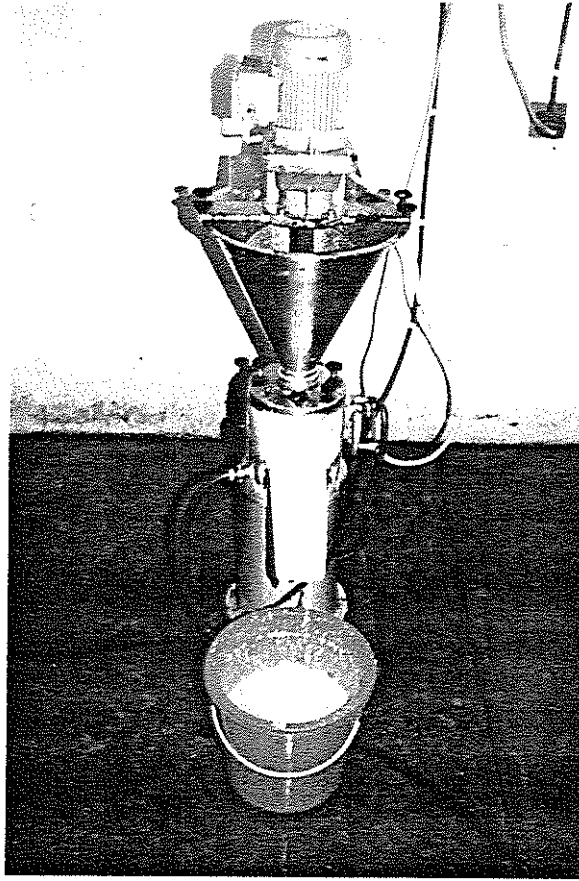


Gambar 18. Buah sirsak

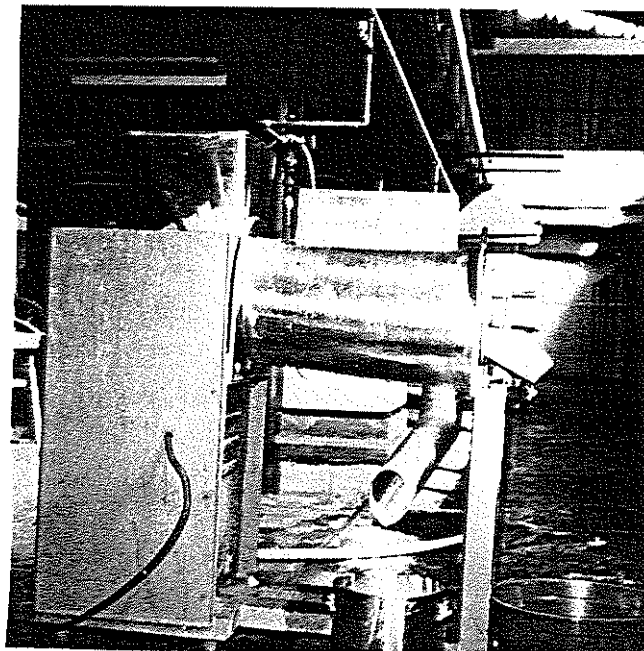


Gambar 19. Buah sirsak





Gambar 20. Blender



Gambar 21. Pulper

2. Pembuatan Pure Sirsak II

- a. Buah sirsak diblansir pada suhu $80-90^{\circ}\text{C}$ selama 10 menit.
- b. Pengambilan daging buah (kulit, biji dan hati dibuang).
- c. Daging buah dipulper (Alat pulper tampak pada Gambar 21).
- d. Pencampuran pulp dan air dengan perbandingan 1:3.
- e. Pembotolan dan penyimpanan pada lemari pendingin.
- c. Pencampuran daging buah dan air dengan perbandingan 1:3.

3. Pembuatan Nektar Sirsak

- a. Buah sirsak diblansir pada suhu $80-90^{\circ}\text{C}$ selama 10 menit.
- b. Pengambilan daging buah (kulit, biji dan hati dibuang).
- c. Penghancuran daging buah dengan pulper.
- d. Pencampuran pulp dan air dengan perbandingan 1:3.
- e. Penambahan asam sitrat 0.1% hingga pHnya mencapai 3.5.
- e. Penambahan gula hingga 16°Brix .
- f. Pembotolan dan penyyimpanan pada lemari pendingin.

4. Penentuan Panjang dan Radius Rotor Viskometer

Untuk menentukan dimensi rotor dilakukan penyederhanaan bentuk rotor. Untuk rotor nomor 2 yang akan dipakai dalam penelitian ini, penyederhanaannya didasarkan pada konversi alat hasil penentuan panjang rotor nomor 1 dengan menggunakan metode yang digunakan oleh Rosidah (1990) untuk konsentrat nangka berdasarkan perbandingan kekentalan terhadap larutan gula 60%.

- Membuat larutan gula 60%.
- Pengukuran kekentalan sampai batas pertemuan silinder I dan II (Gambar 22) didapatkan μ_1 .
- Pengukuran kekentalan sampai batas pengukuran sebenarnya, didapatkan μ_2 .
- Pengukuran panjang rotor I (L_1).
- Penentuan panjang rotor hasil penyederhanaan (L_2) menggunakan rumus :

$$L_2 = \mu_2/\mu_1 \cdot L_1 \dots\dots\dots(41)$$

Untuk menentukan dimensi rotor 2 dilakukan penyederhanaan terhadap diameternya, dengan menggunakan persamaan koefisien bentuk atau konstanta alat yakni persamaan (36) dan penyesuaian konversi pada Tabel 9 (Lampiran 1)

$$C = T/(\mu \cdot \Omega)$$

$$C = 1/4\pi l \cdot (1/R_1^2 - 1/R^2) \dots\dots\dots(42)$$

Hasil pengukuran kekentalan pada larutan gula 60% adalah sebagai berikut

Tabel 4. Hasil pengukuran kekentalan larutan gula 60%

	RPM			
	6	12	30	60
μA	62	62.5	63	62.5
μB	65	65	65	65.3

Sehingga didapatkan nilai rata-ratanya sebesar

$$\mu A = (62 + 62.5 + 63 + 62.5) / 4 = 62.500$$

$$\mu B = (65 + 65 + 65 + 65.3) / 4 = 65.075$$

Maka penyederhanaan bentuk rotor nomor 1 dengan menggunakan persamaan (32) menghasilkan panjang rotor :

$$L2 = 65.00 * (65.075 / 62.5) = 67.7 \text{ mm}$$

sedangkan diameternya 19.0 mm

Hasil pengukuran terhadap diameter tabung wadah didapatkan nilai 85.6 mm. Maka nilai koefisien alat rotor nomor 1 dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (33) sebagai berikut :

$$C1 = 1 / (4 \cdot \pi \cdot 67.7) * (1 / (19/2)^2 - 1 / (85.6/2)^2)$$

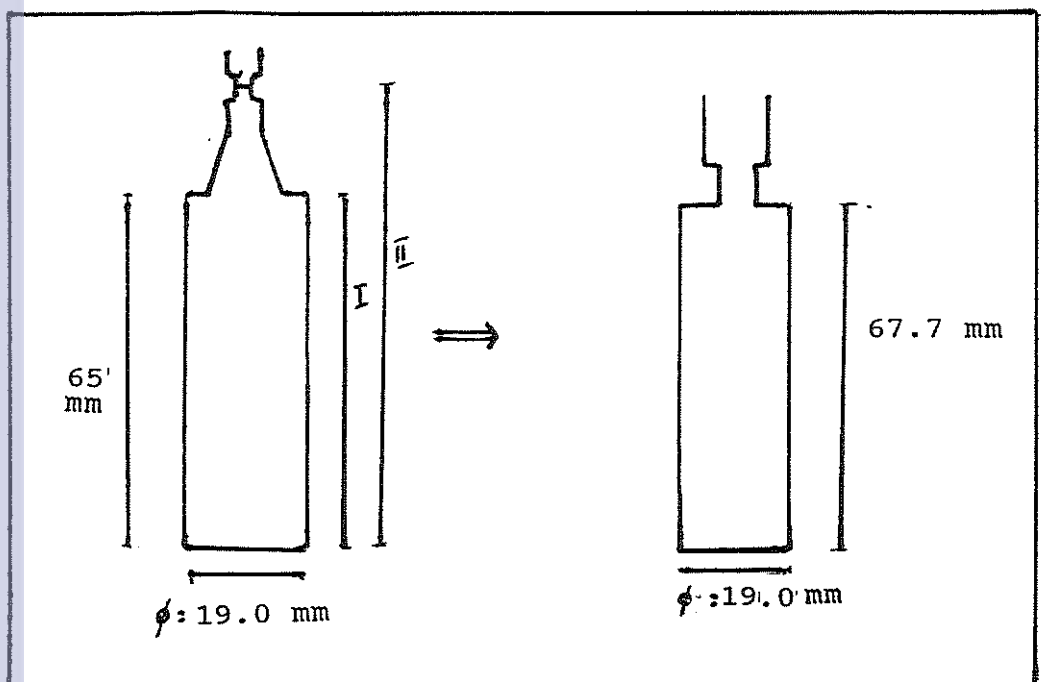
$$C1 = 1.2383 \times 10^{-5} \text{ mm}^{-3}$$

Rotor nomor 2 didisain dengan faktor pengali 5 kali rotor nomor 1 (Tabel 9) untuk tiap-tiap RPM yang sama maka nilai koefisien rotor 2 adalah :

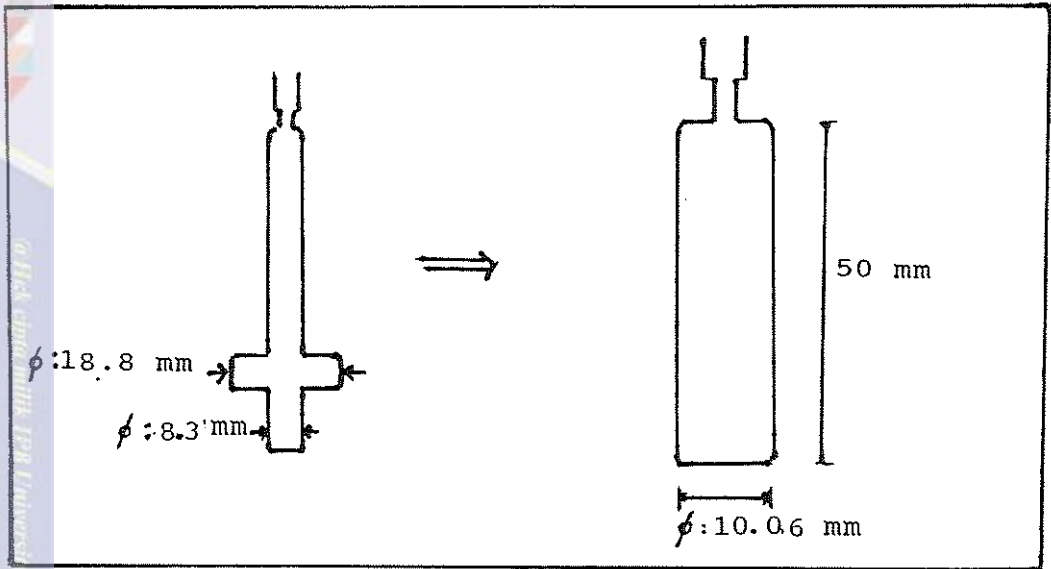
$$C2 = 5 * 1.2383 \times 10^{-5}$$

$$= 6.1913 \times 10^{-5} \text{ mm}^{-3}$$

Dengan mengasumsikan bahwa rotor 2 berbentuk silinder penuh dengan koefisien rotor seperti di atas maka dengan panjang rotor $L_2 = 50.0 \text{ mm}$ dan $R = (85.6/2) = 42.8 \text{ mm}$ maka didapatkan nilai $R_2 = 5.03 \text{ mm}$.



Gambar 22. Penyederhanaan rotor nomor 1



Gambar 23. Penyederhanaan rotor nomor 2

5. Prosedur Pengukuran Parameter Reologi

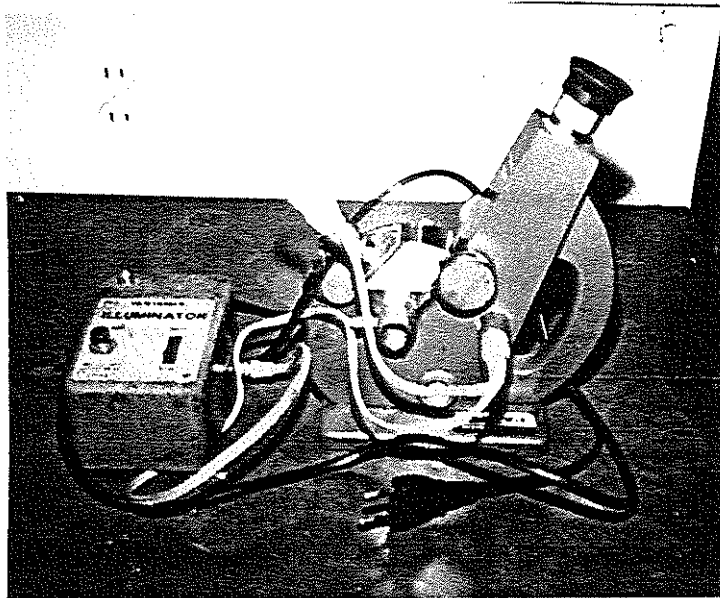
- a. Pure atau nektar dimasukkan ke dalam wadah.
- b. Produk dipanaskan dengan variasi suhu 60 hingga 100°C dengan jarak antar level 10° .
- c. Untuk menjaga atau mempertahankan suhu produk yang lebih kecil dari 100°C digunakan penangas air.
- d. Alumunium foil digunakan untuk menutup wadah agar dapat mencegah atau mengurangi penguapan produk selama pengukuran.
- e. Pengukuran dilakukan pada selang waktu 1/2, 1, 2, 5, 10, 20, dan 30 menit.

6. Pengolahan Data

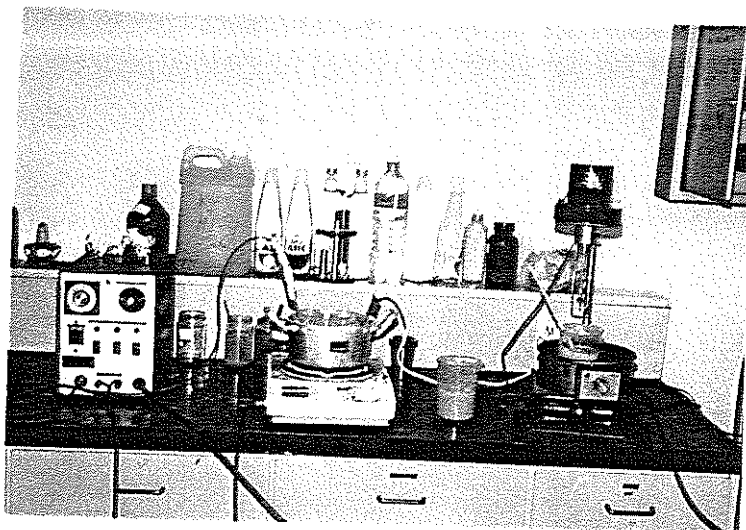
Hubungan antara berbagai parameter reologi dengan konstanta yang ada ditentukan dengan menggunakan analisis regresi.



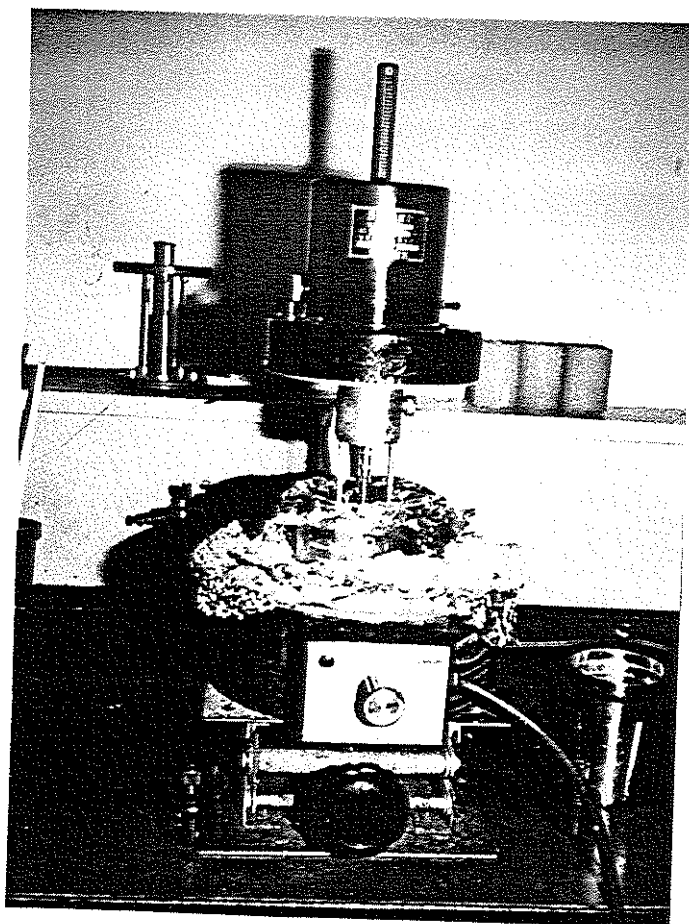
Gambar 24. pH meter



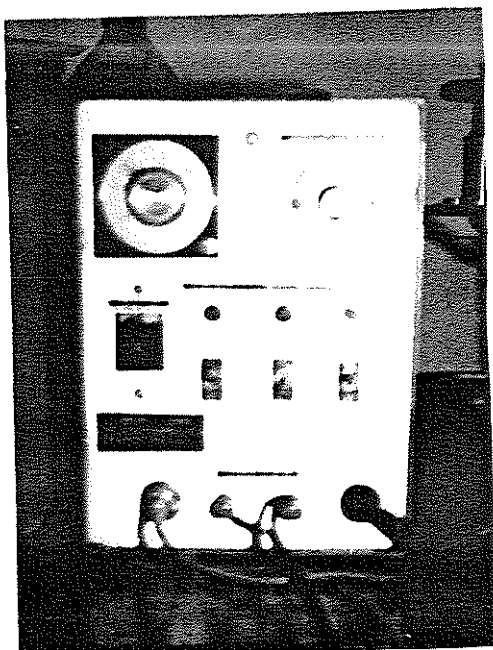
Gambar 25. Refraktometer



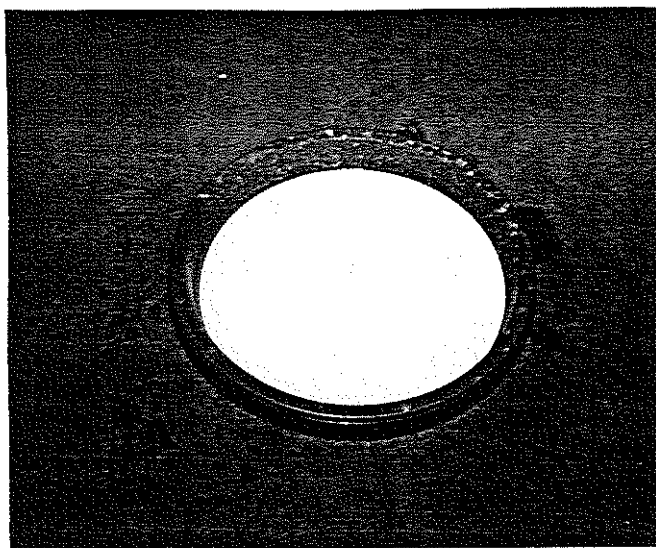
Gambar 26. Perangkat pengukuran



Gambar 27. Pengukuran produk



Gambar 28. Pengontrol suhu



Gambar 29. Produk 1 (pure sirsak 1) dalam baskom



Gambar 30. Pemanasan produk



Gambar 31. Produk 2 (pure sirsak 2)



Gambar 32. Produk 2 (pure sirsak)
yang akan diukur



Gambar 33. Nektar sirsak



V. HASIL DAN PEMBAHASAN

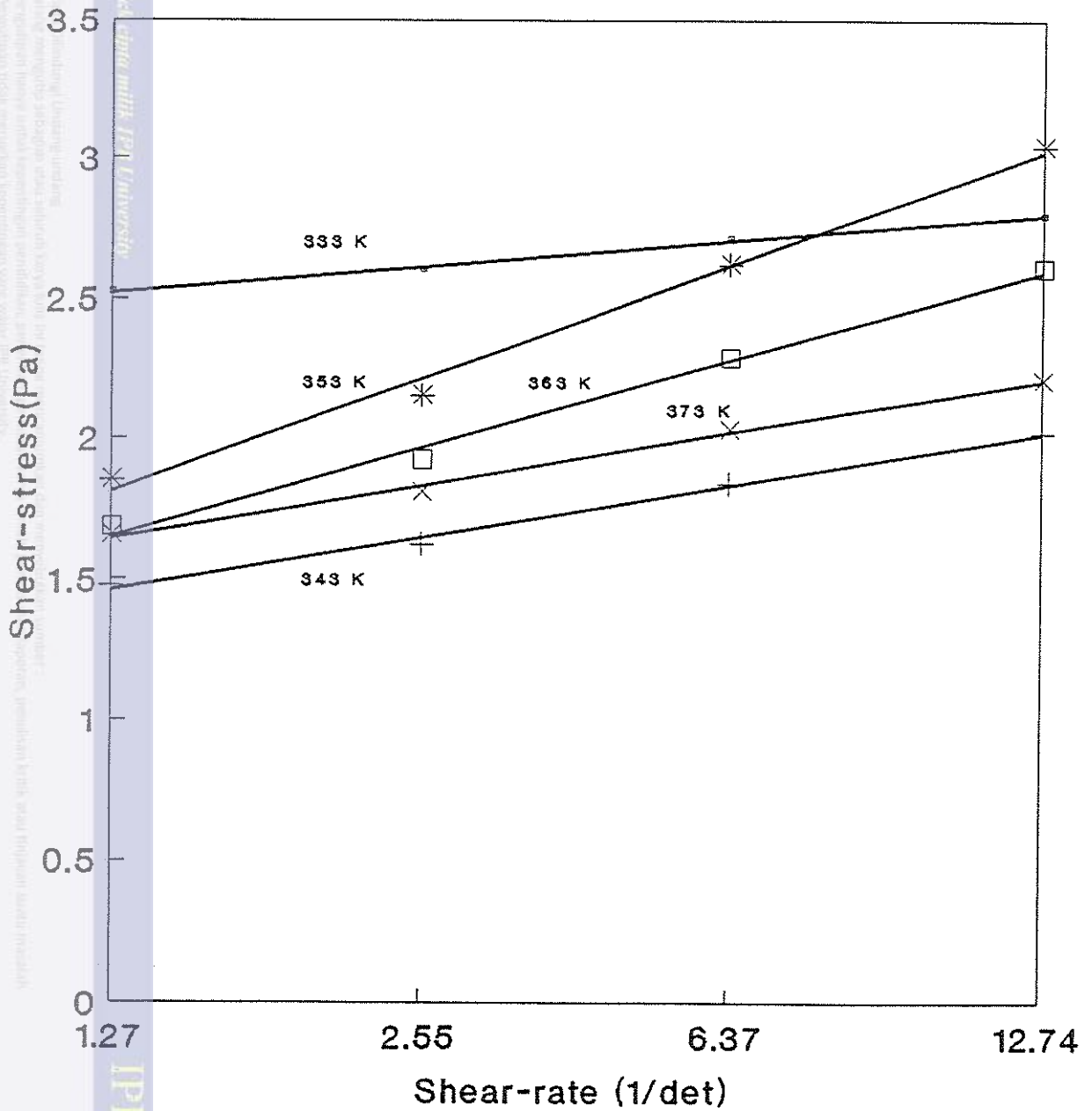
A. SHEAR-RATE DAN SHEAR-STRESS

Hubungan antara shear-rate dan shear-stress dapat digunakan untuk menjelaskan perilaku aliran dari suatu bahan. Hasil penelitian terhadap pure dan nektar sirsak menunjukkan bahwa kenaikan shear-rate diikuti dengan kenaikan shear-stress. Kenaikan tersebut bervariasi, mulai dengan perubahan yang konstan hingga yang curam. Keragaman ini juga terjadi untuk tiap perlakuan suhu.

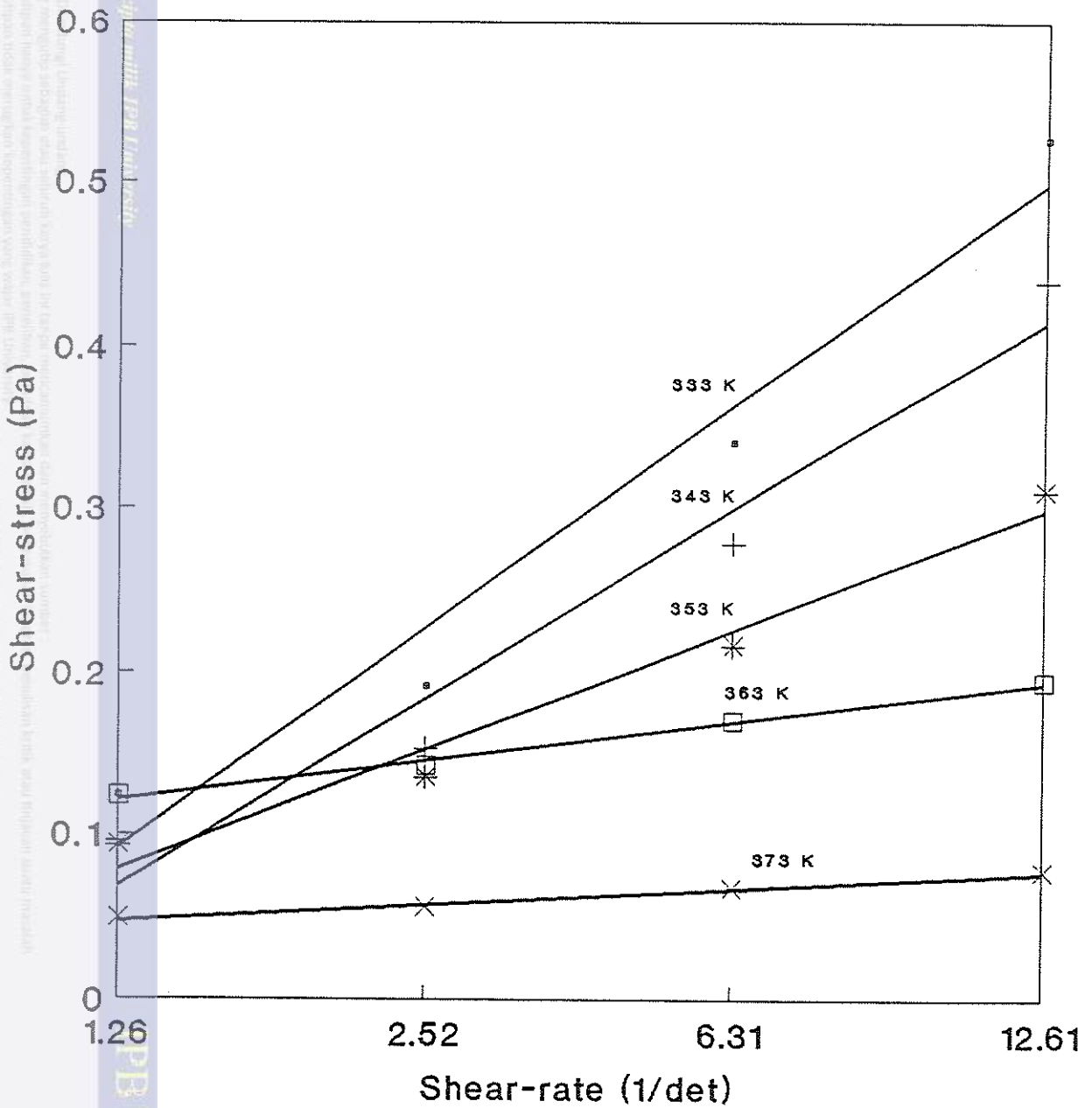
Pada pure 1 (Gambar 34) pada suhu 333 K, perubahan shear-rate dan shear-stress kecil, bahkan cenderung konstan.

Keadaan pada pure 1 tersebut berbeda dengan yang terjadi pada pure 2, dimana perubahan yang besar terjadi pada suhu rendah yakni 333 K, sedangkan kenaikan yang konstan terjadi pada suhu 363 K dan 373 K untuk pure 2 (Gambar 35).

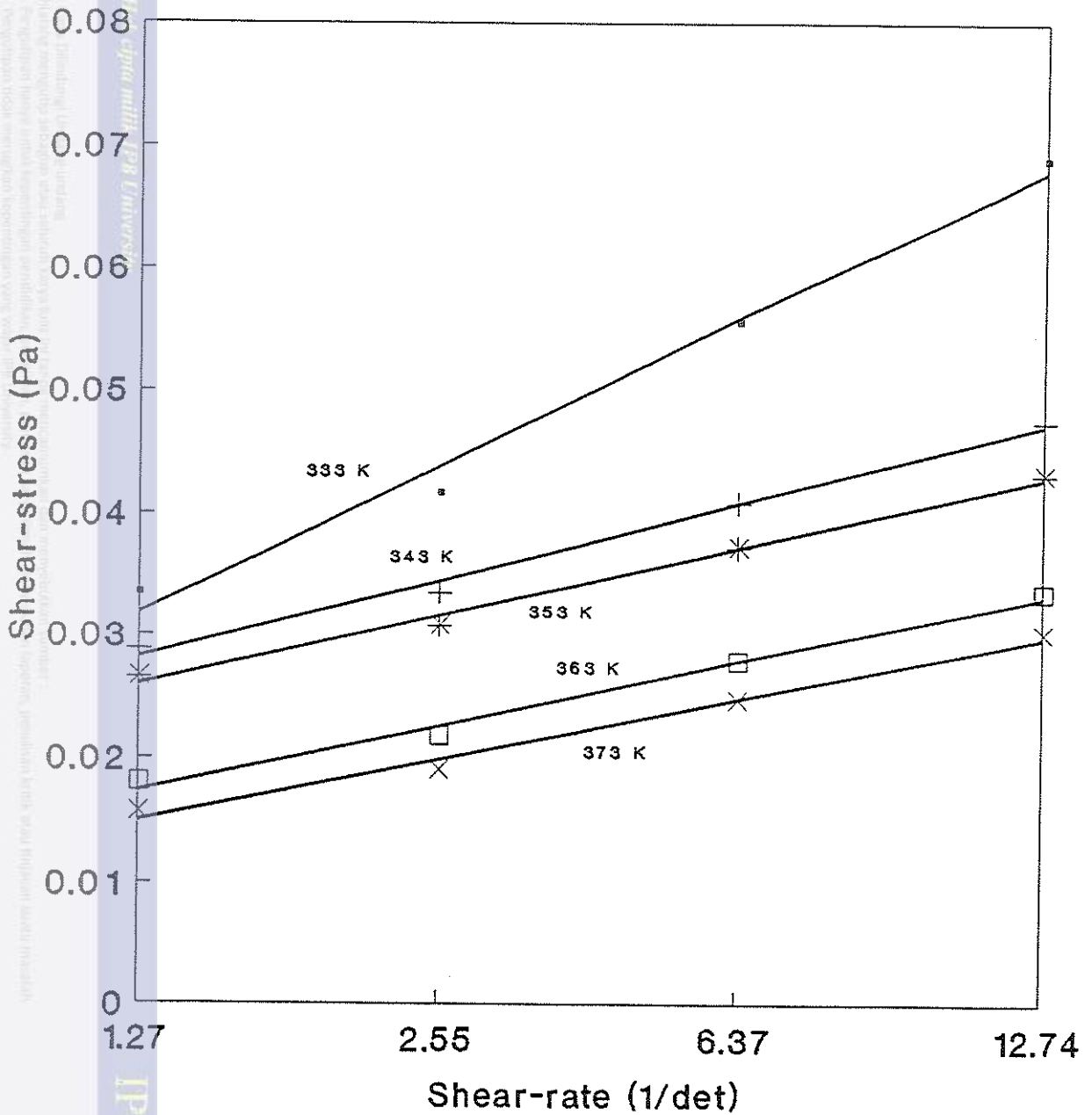
Untuk nektar pola perubahan shear-rate dan shear-stress terjadi berpasangan antara suhu rendah dan suhu tinggi. Pola perubahan yang berpasangan itu adalah pada suhu 343 K dan 353 K serta 363 K dan 373 K, seperti tampak pada Gambar 36. Sedangkan suhu 343 K, yang memiliki nilai shear-rate dan shear-stress lebih besar, cenderung konstan.



Gambar 34. Hubungan shear-rate dan shear-stress pure 1



Gambar 35. Hubungan shear-rate dan shear-stress pure 2



Gambar 36. Hubungan shear-rate dan shear-stress nektar

Hasil penggambaran hubungan shear-rate dan shear-stress yang menggunakan model *Power Law* ini, cenderung menunjukkan bahwa kisaran nilai-nilai terbesar terjadi pada suhu-suhu yang rendah, khususnya pada suhu 363 K.

Nilai konsistensi dan indeks perilaku aliran yang ditentukan untuk tiap produk terdapat pada Lampiran 2, 3, dan 4. Perubahan nilai konsistensi menunjukkan terjadinya perubahan slope garis dari tiap grafik yang menggambarkan hubungan shear-rate dan shear-stress.

Nilai konsistensi dari tiap produk lebih besar dari nol dan nilai indeks perilaku aliran umumnya lebih kecil dari 1. Hal ini menunjukkan bahwa perilaku aliran pure dan nektar ini tergolong *pseudoplastik*.

Perubahan shear-rate pada tiap produk menyebabkan nilai indeks perilaku aliran bervariasi. Nilai indeks perilaku aliran tertinggi 0.407 dan terendah -0.135 untuk pure 1 (Lampiran 2). Untuk pure 2 nilai tertinggi 0.659 dan terendah -0.301 (Lampiran 3). Dan untuk nektar nilai indeks perilaku aliran tertinggi dan terendah masing-masing adalah 0.837 dan 0.129 (Lampiran 4).

Untuk pure 1 dengan bertambahnya waktu pengukuran cenderung mengakibatkan turunnya nilai indeks perilaku aliran. Begitupula dengan pure 2. Sedangkan untuk nektar waktu pengukuran yang meningkat menyebabkan kenaikan indeks perilaku aliran.

Perbedaan tersebut terjadi karena pada shear-rate yang tetap, shear-stress yang dihasilkan untuk masing-masing produk berbeda. Shear-stress yang tinggi menyebabkan nilai indeks perilaku aliran meningkat.

B. KETERGANTUNGAN SIFAT REOLOGI TERHADAP SHEAR-RATE

Perilaku aliran pure dan nektar sirsak menunjukkan ketergantungan terhadap shear-rate. Pada pure 1 penurunan yang tajam terjadi pada shear-rate yang rendah yakni antara 1.27 det^{-1} hingga 2.55 det^{-1} (Gambar 37). Nilai hasil pengukuran kekentalan tampak terdapat pada Lampiran 5.

Penurunan yang sangat tajam untuk selang shear-rate tersebut di atas khususnya terjadi pada suhu 333 K. Titik terendah yang dicapai cenderung sama.

Menurut Bagley dan Christianson (1982), pada shear-rate yang tetap, shear-stress yang dipakai pada suhu-suhu rendah lebih tinggi dari suhu-suhu tinggi. Jadi pada pure 1, stress yang terjadi pada suhu 333 K itu lebih besar dari pada suhu di atasnya, khususnya pada 373 K. Karena itu partikel bahan akan lebih mudah bergerak dan aliran bahan menjadi cepat.

Untuk pure 2 penurunan yang tajam terhadap nilai kekentalan tampak juga terjadi pada suhu rendah 343 K. Dan kisaran nilai kekentalan tampak terendah terjadi pada suhu 373 K, seperti tampak pada Gambar 38.

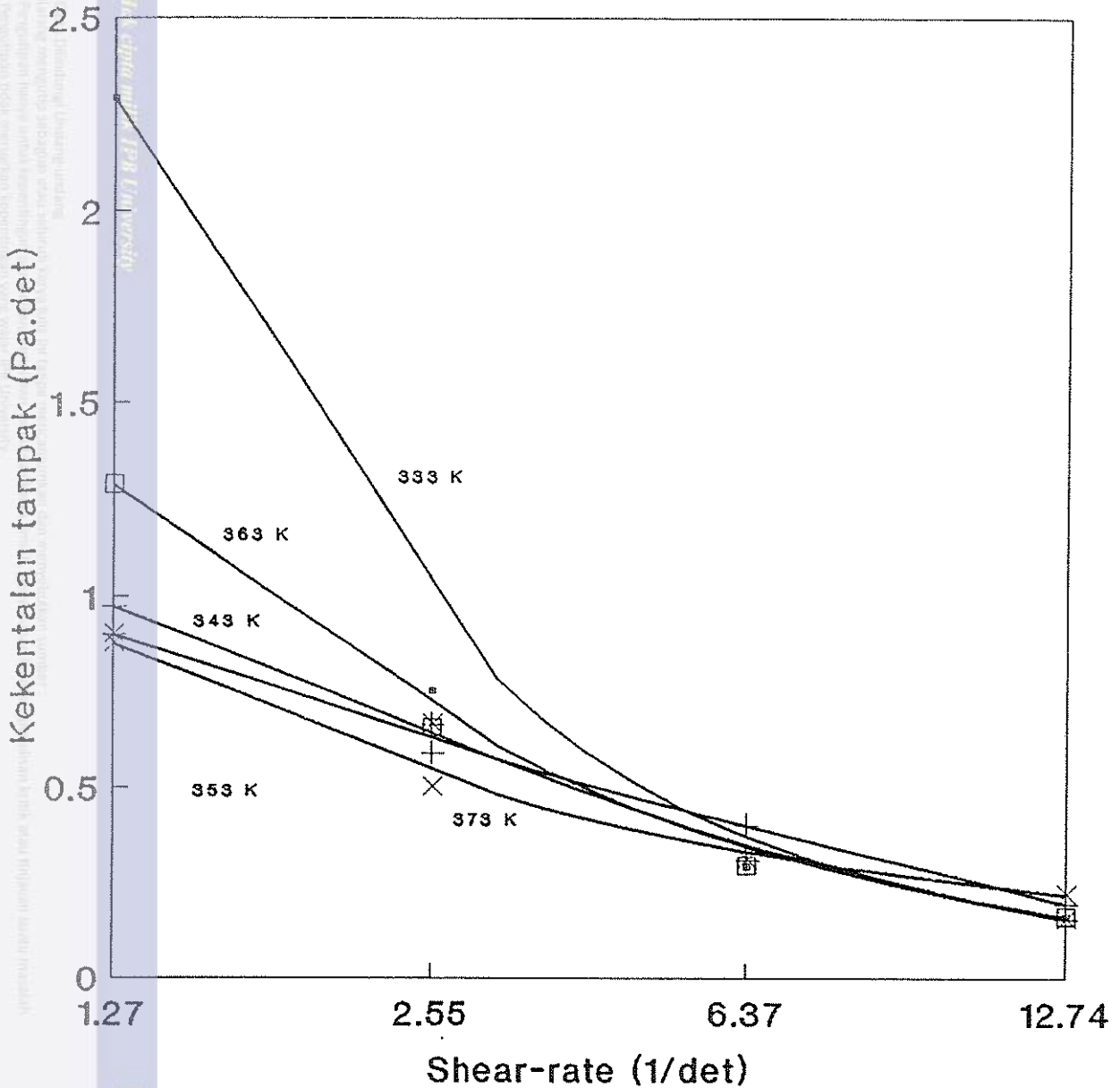
Hal tersebut di atas juga terjadi pada nektar. penurunan yang tajam pada selang shear-rate 1.27 det^{-1} hingga 2.55 det^{-1}

Ketergantungan pure 1, pure 2, dan nektar terhadap shear-rate menjadikan produk-produk tersebut dikategorikan ke dalam aliran *pseudoplastik*. Rha(1978), menyatakan bahwa ketergantungan terhadap shear-rate adalah penampakan struktur yang alami yang terdapat dalam suatu sistem. Dan perilaku pseudoplastik menunjukkan suatu pemisahan kontinyu atau penyusunan struktur yang mengakibatkan berkurangnya hambatan aliran bahan, sehingga kekentalannya menurun.

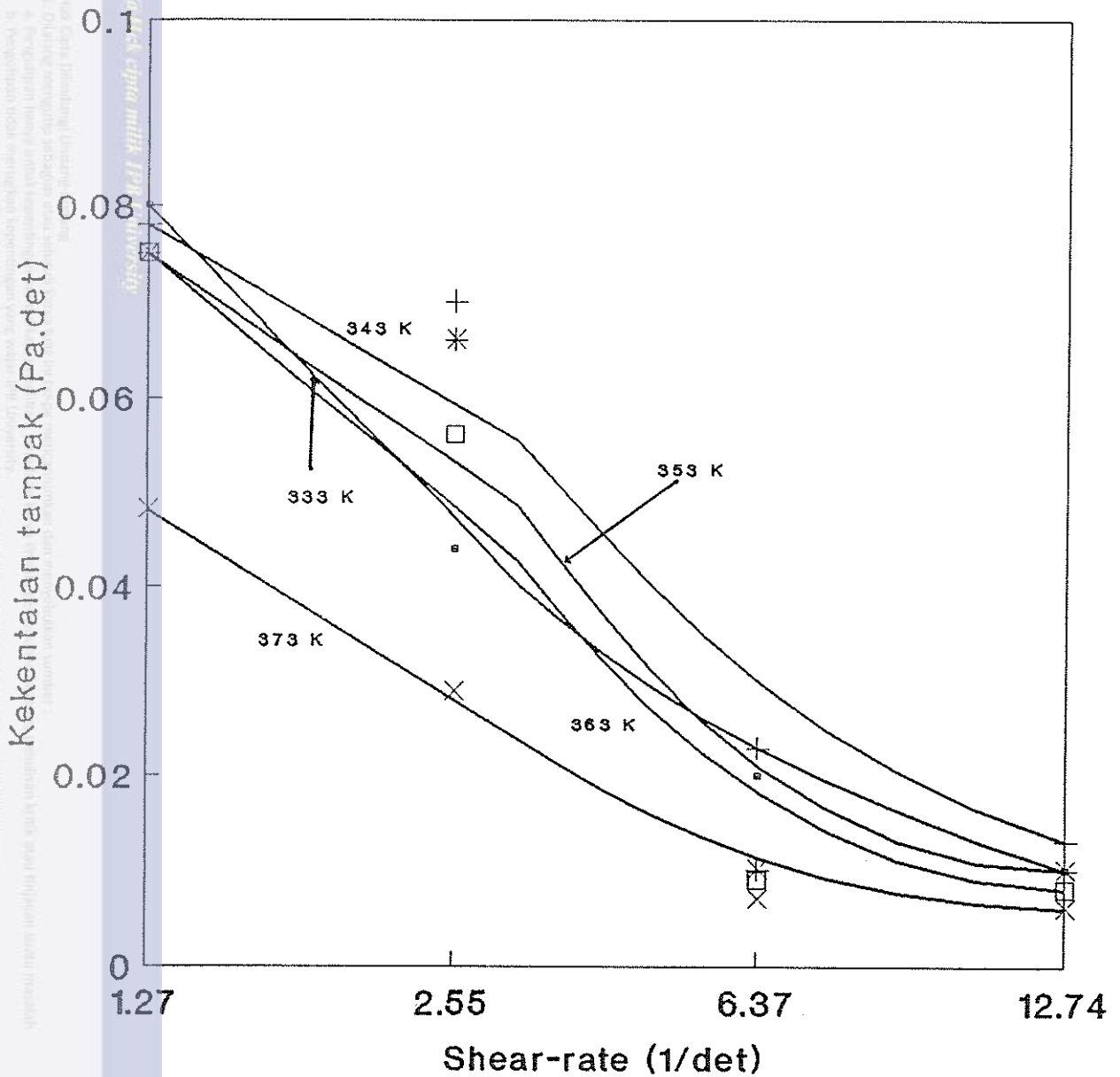
Meningkatnya shear-rate cenderung meluruskan gerak molekul yang mengakibatkan menurunnya gaya gesekan antar molekul yang mengakibatkan menurunnya gaya gesekan antar molekul sehingga kekentalannya menurun. Sedangkan pada shear-rate yang rendah, hanya sedikit molekul yang gerakannya diluruskan, pada kondisi ini kekentalan menjadi naik (Glikcsman, 1969).

C. KETERGANTUNGAN SIFAT REOLOGI TERHADAP SUHU

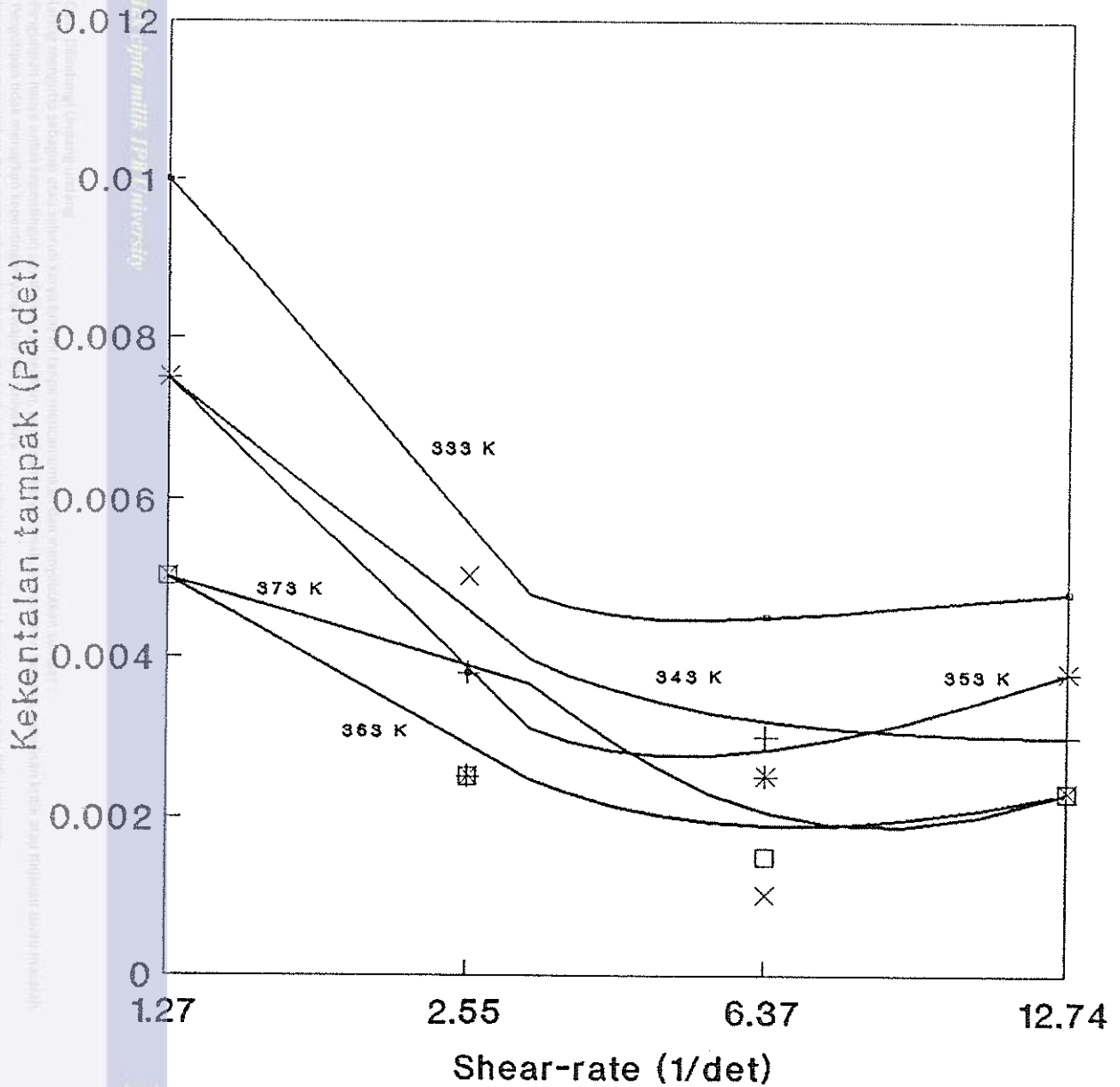
Usaha-usaha untuk menjelaskan pengaruh suhu terhadap parameter reologi berdasarkan teori, untuk produk-produk pangan sedikit sekali. Suatu cara yang umum yang biasanya digunakan dalam bidang reologi adalah melalui persamaan *Arrhenius* (Heldman dan Singh,



Gambar 37. Hubungan antara kekentalan tampak pure 1 dengan shear-rate pada berbagai suhu, pengukuran



Gambar 38. Hubungan antara kekentalan tampak pure 2 dengan shear-rate pada berbagai suhu



Gambar 39. Hubungan antara kekentalan tampak nektar dengan shear-rate pada berbagai suhu

1981).

Adapun penerapan persamaan Arrhenius untuk menjelaskan pengaruh suhu terhadap kekentalan tampak pure 1 menghasilkan persamaan sebagai berikut

selang waktu 1/2 menit : $\mu = 1.44 \cdot 10^{-3} \exp(2099.42/T)$
 selang waktu 1 menit : $\mu = 1.07 \cdot 10^{-3} \exp(2166.40/T)$
 selang waktu 2 menit : $\mu = 8.03 \cdot 10^{-3} \exp(2220.14/T)$
 selang waktu 5 menit : $\mu = 4.15 \cdot 10^{-3} \exp(1558.00/T)$
 selang waktu 10 menit : $\mu = 2.41 \cdot 10^{-3} \exp(1748.66/T)$
 selang waktu 20 menit : $\mu = 1.90 \cdot 10^{-2} \exp(1016.89/T)$
 selang waktu 30 menit : $\mu = 5.53 \cdot 10^{-2} \exp(650.08/T)$

Hasil penggambaran dari persamaan tersebut di atas, tampak pada Gambar 40.

Untuk model hubungan suhu dengan kekentalan tampak pure 2 adalah sebagai berikut

selang waktu 1/2 menit : $\mu = 6.54 \cdot 10^{-9} \exp(5407.01/T)$
 selang waktu 1 menit : $\mu = 1.81 \cdot 10^{-8} \exp(5011.37/T)$
 selang waktu 2 menit : $\mu = 4.99 \cdot 10^{-9} \exp(5418.17/T)$
 selang waktu 5 menit : $\mu = 1.70 \cdot 10^{-9} \exp(5685.66/T)$
 selang waktu 10 menit : $\mu = 3.00 \cdot 10^{-9} \exp(5449.34/T)$
 selang waktu 20 menit : $\mu = 1.70 \cdot 10^{-7} \exp(3981.62/T)$
 selang waktu 30 menit : $\mu = 2.81 \cdot 10^{-7} \exp(3768.00/T)$

Pada Gambar 41 terlihat hasil dari model persamaan di atas. Untuk nektar, model hubungan suhu dengan kekentalan tampak terdapat pada Gambar 42 dengan persamaan sebagai berikut

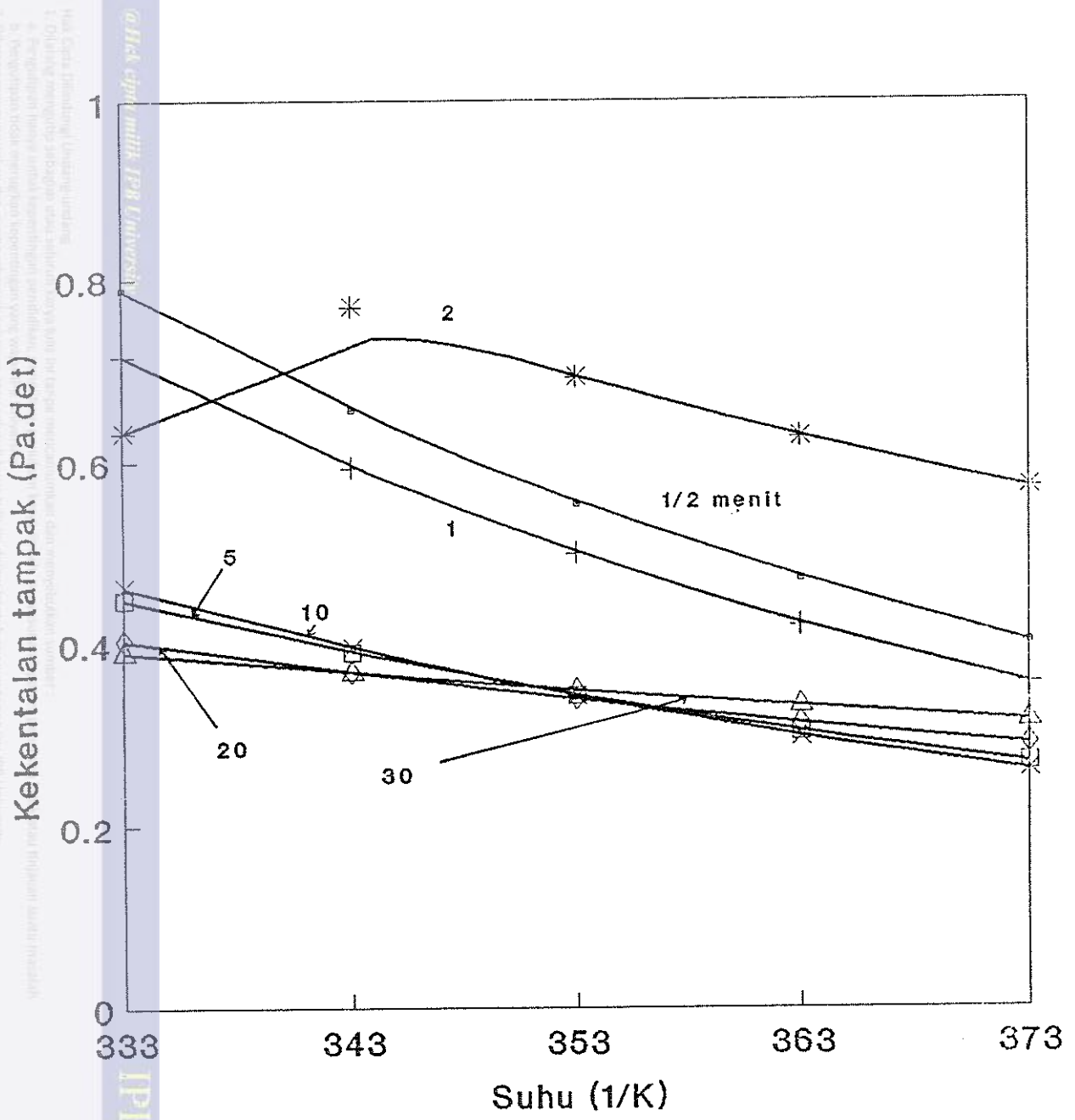
selang waktu 1/2 menit : $\mu = 1.82 \cdot 10^{-6} \exp(2743.08/T)$
 selang waktu 1 menit : $\mu = 2.19 \cdot 10^{-6} \exp(2572.51/T)$
 selang waktu 2 menit : $\mu = 1.38 \cdot 10^{-5} \exp(1930.30/T)$
 selang waktu 5 menit : $\mu = 4.71 \cdot 10^{-6} \exp(2283.28/T)$
 selang waktu 10 menit : $\mu = 1.17 \cdot 10^{-7} \exp(3560.50/T)$
 selang waktu 20 menit : $\mu = 5.52 \cdot 10^{-7} \exp(2969.27/T)$
 selang waktu 30 menit : $\mu = 4.94 \cdot 10^{-9} \exp(4582.98/T)$

Pengaruh suhu yang paling terlihat nyata adalah pada pure 2, dimana kenaikan suhu menyebabkan nilai kekentalan tampak pure turuun dengan curam khususnya pada selang 333 k dan 343 K dengan waktu 1/2, 1, dan 2 menit.

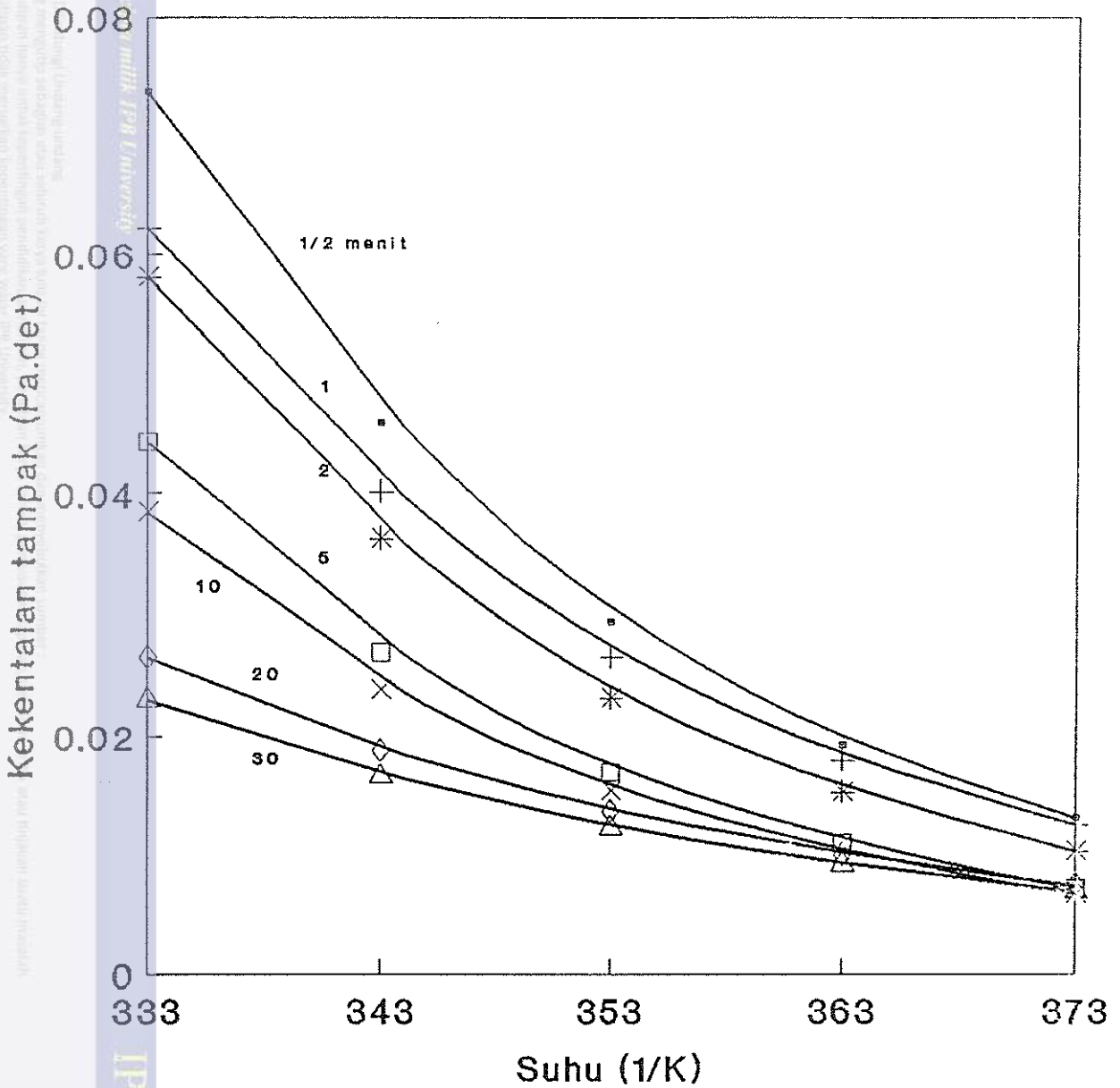
Penurunan kekentalan sebagai akibat meningkatnya suhu menggambarkan berkurangnya hambatan pada proses pemecahan struktur bahan (Lang dan Rha, 1982).

Untuk menjelaskan pengaruh suhu terhadap konsistensi produk, juga dipakai persamaan Arrhenius. Pada pure 1 seperti tampak pada Gambar 43, merupakan hasil pemlotan model terpilih :

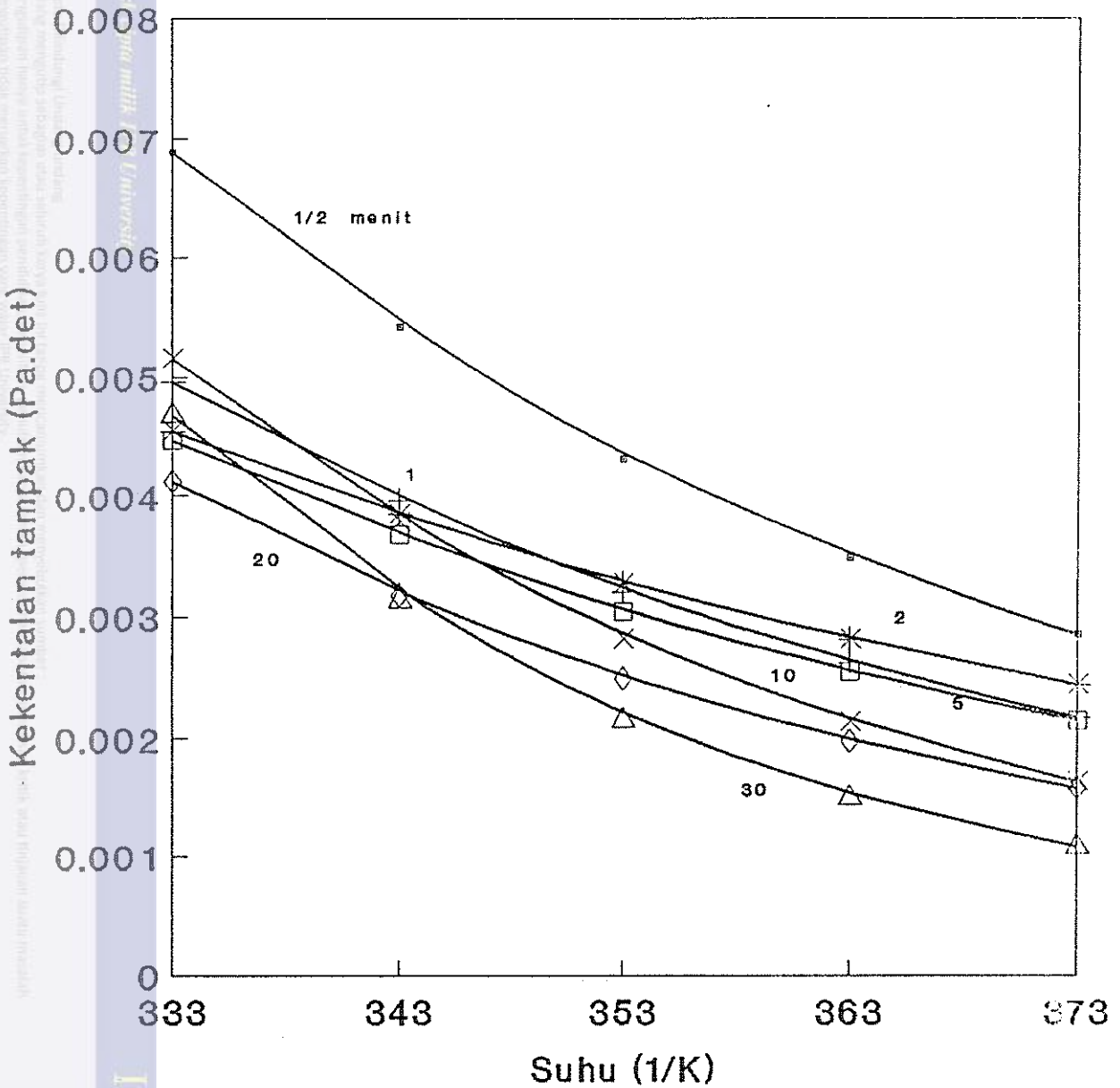
selang waktu 1/2 menit : $m = 1.08 \cdot 10^{-1} \exp(981.55/T)$
 selang waktu 1 menit : $m = 1.35 \cdot 10^{-1} \exp(885.46/T)$
 selang waktu 2 menit : $m = 5.85 \cdot 10^{-2} \exp(1168.06/T)$
 selang waktu 5 menit : $m = 2.38 \cdot 10^{-2} \exp(1474.23/T)$
 selang waktu 10 menit : $m = 1.87 \cdot 10^{-2} \exp(1569.52/T)$
 selang waktu 20 menit : $m = 4.81 \cdot 10^{-3} \exp(2037.52/T)$
 selang waktu 30 menit : $m = 3.46 \cdot 10^{-3} \exp(2132.97/T)$



Gambar 40. Hubungan antara kekentalan tampak pure 1 dengan suhu pada shear-rate 2.55 det^{-1}



Gambar 41. Hubungan antara kekentalan tampak pure 2 dengan suhu pada shear-rate 6.37 det^{-1}



Gambar 42. Hubungan antara kekentalan tampak nektar dengan suhu, shear-rate 6.37 det^{-1}

Pada Gambar 43 terlihat bahwa untuk selang waktu pengukuran yang lebih besar (10, 20, dan 30 menit), perubahan nilai konsistensi yang terjadi lebih besar dari waktu pengukuran yang singkat. Sehingga terjadi pola perubahan yang berpasangan antara waktu-waktu yang singkat dengan waktu-waktu yang panjang.

Hubungan konsistensi dengan suhu untuk pure 2 (Gambar 44) menunjukkan adanya perbedaan dengan pure 1. Disini pola berpasangan tidak terjadi. Nilai konsistensi tertinggi dan terendah terjadi pada waktu 10 menit.

Adapun model matematik untuk Gambar 44 adalah

selang waktu 1/2 menit : $m = 4.64 \cdot 10^{-2} \exp(243.43/T)$
 selang waktu 1 menit : $m = 7.10 \cdot 10^{-3} \exp(844.80/T)$
 selang waktu 2 menit : $m = 7.67 \cdot 10^{-3} \exp(881.67/T)$
 selang waktu 5 menit : $m = 1.15 \cdot 10^{-3} \exp(1553.57/T)$
 selang waktu 10 menit : $m = 1.87 \cdot 10^{-4} \exp(2185.95/T)$
 selang waktu 20 menit : $m = 3.33 \cdot 10^{-2} \exp(387.07/T)$
 selang waktu 30 menit : $m = 3.56 \cdot 10^{-3} \exp(1169.99/T)$

Pada nektar pola peerubahan nilai konsistensinya sama kecuali pada waktu 20 menit. Nilai-nilai konsistensi tertinggi terjadi pada kisaran waktu pengukuran yang rendah. Model matematik hubungan konsistensi dengan suhu untuk nektar seperti tampak pada Gambar 45 adalah sebagai berikut

selang waktu 1/2 menit : $m = 2.01 \cdot 10^{-5} \exp(2468.46/T)$
 selang waktu 1 menit : $m = 2.77 \cdot 10^{-6} \exp(3021.16/T)$
 selang waktu 2 menit : $m = 1.71 \cdot 10^{-8} \exp(4741.18/T)$
 selang waktu 5 menit : $m = 2.97 \cdot 10^{-8} \exp(4501.72/T)$
 selang waktu 10 menit : $m = 1.56 \cdot 10^{-5} \exp(2145.20/T)$
 selang waktu 20 menit : $m = 7.75 \cdot 10^{-8} \exp(3993.46/T)$
 selang waktu 30 menit : $m = 5.53 \cdot 10^{-6} \exp(2428.30/T)$

Besarnya energi aktivasi pure 1, pure 2, dan nektar ditentukan dengan persamaan Arrhenius pada shear-rate 1.27 det^{-1} . Energi aktivasi pada produk-produk tersebut dihitung dari slope kurva data percobaan. Besarnya energi aktivasi pada berbagai suhu untuk masing-masing produk terdapat pada Tabel 5, 6, dan 7.

Tabel 5. Energi aktivasi pure sirsak 1 pada berbagai waktu pengukuran

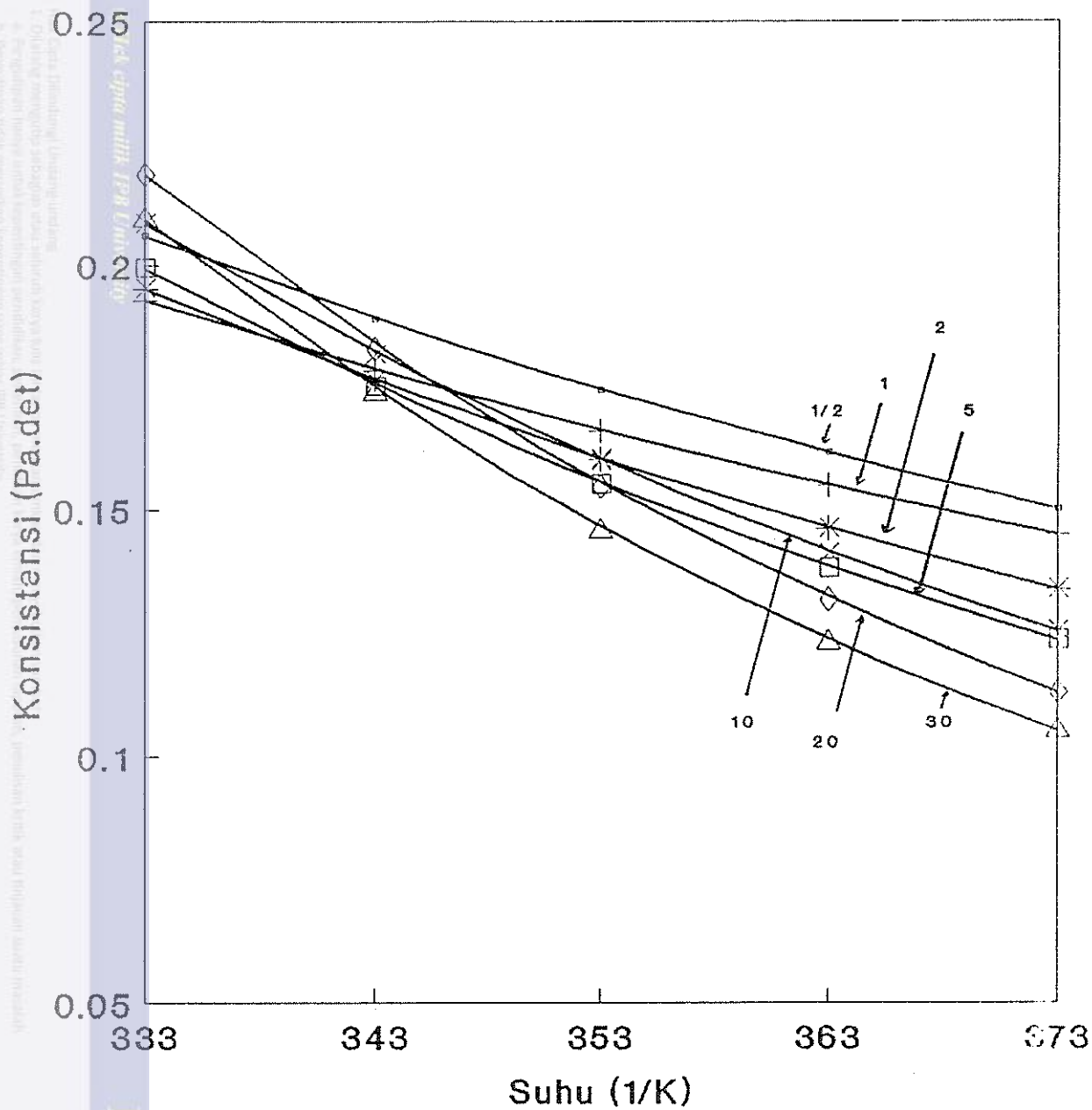
Waktu (menit)	Ea (KJ/g.mol)
0.5	14.49
1	13.02
2	8.75
5	8.34
10	13.22
20	9.56
30	13.07

Tabel 6. Energi aktivasi pure sirsak 2 pada berbagai waktu pengukuran

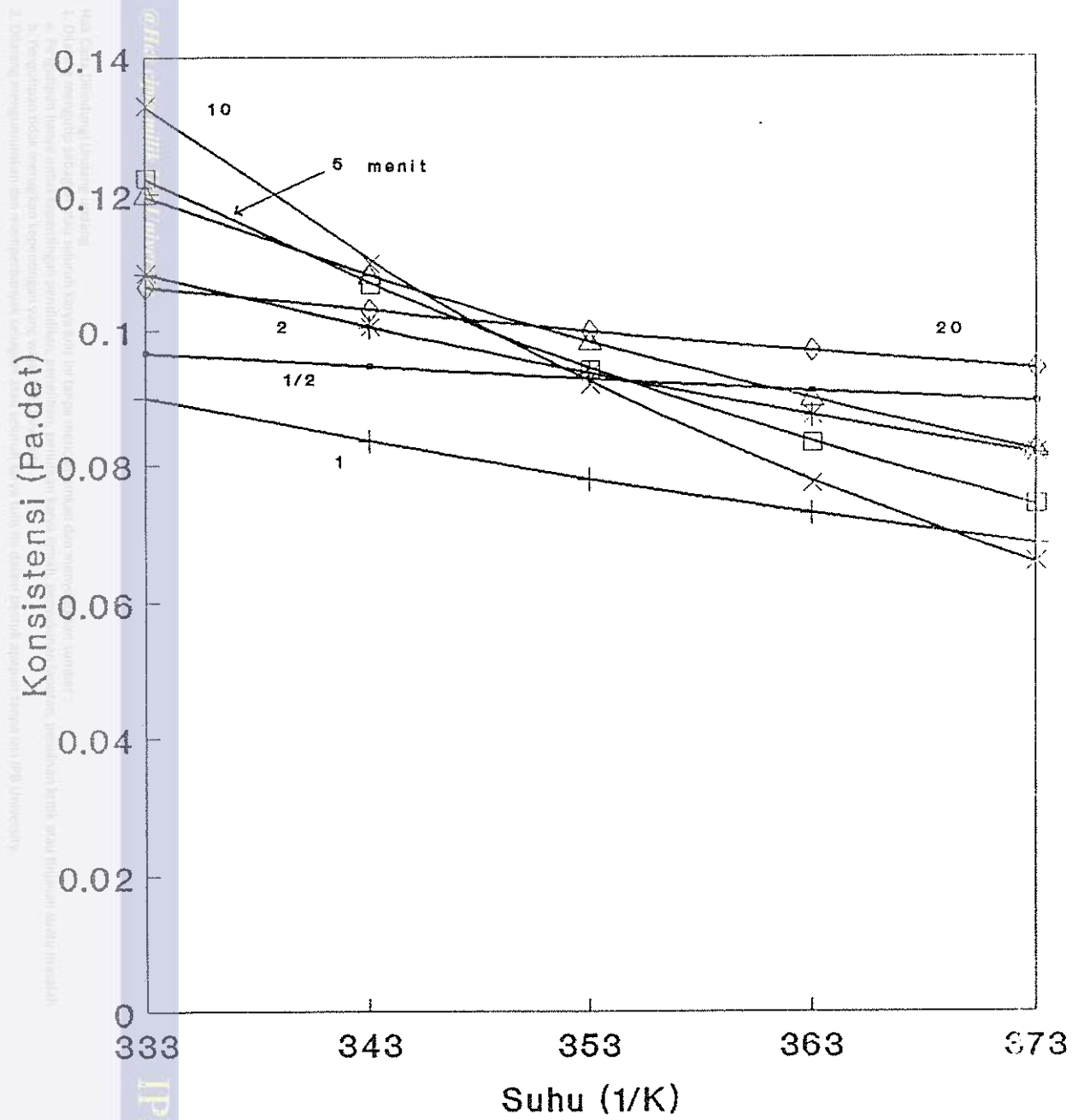
Waktu (menit)	Ea (KJ/g.mol)
0.5	15.10
1	17.96
2	15.40
5	19.89
10	20.30
20	8.13
30	10.72

Tabel 7. Energi aktivasi nektar sirsak pada berbagai waktu pengukuran

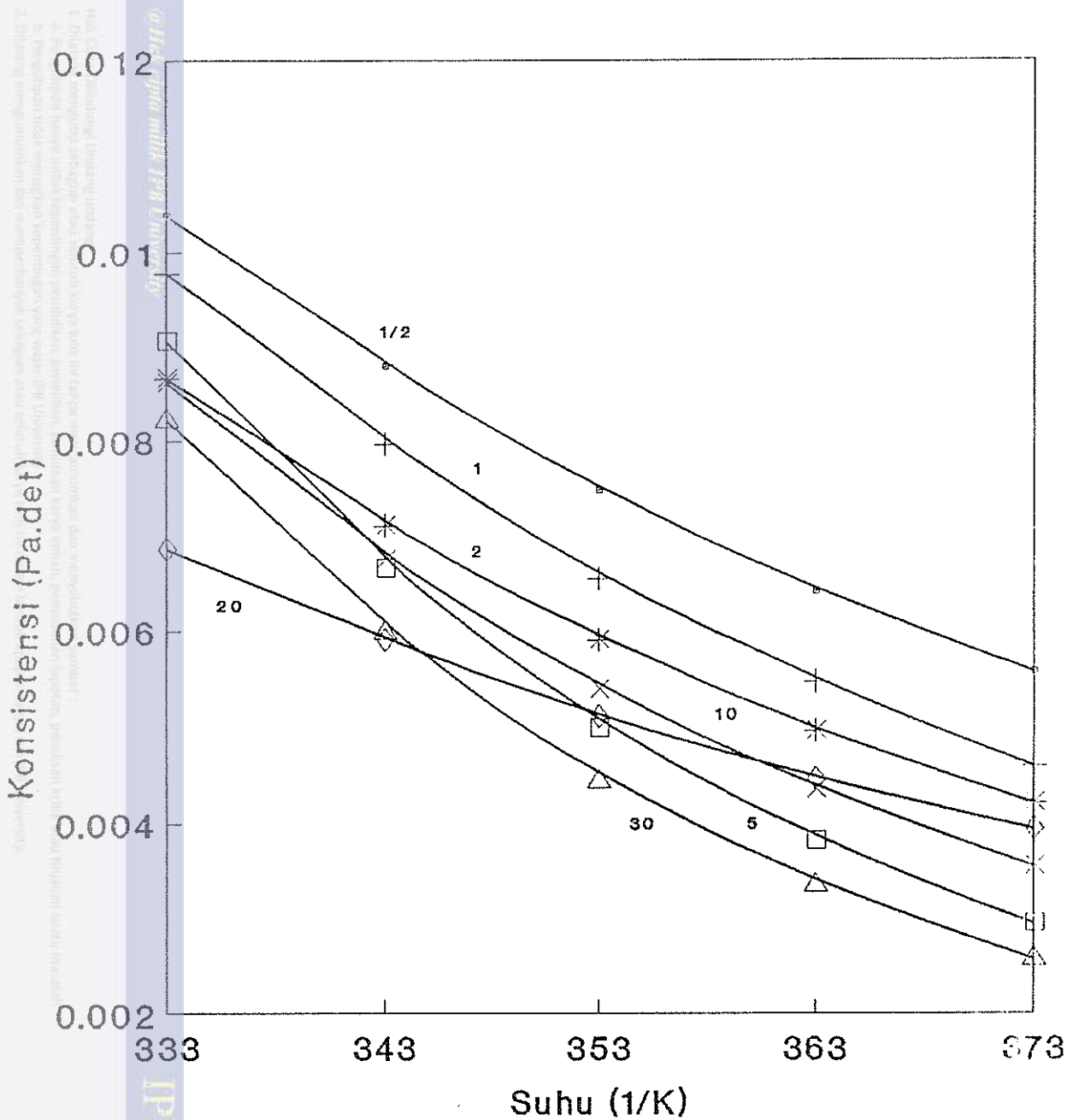
Waktu (menit)	Ea (KJ/g.mol)
0.5	44.31
1	22.47
2	42.46
5	40.88
10	17.37
20	31.42
30	18.54



Gambar 43. Hubungan antara konsistensi pure 1 dengan suhu



Gambar 44. Hubungan antara konsistensi pure 2 dengan suhu



Gambar 45. Hubungan antara konsistensi nektar dengan suhu

Dari Tabel 4, 5, dan 6 terlihat bahwa nilai energi aktivasi cenderung semakin turun dengan bertambahnya waktu. Menurunnya nilai-nilai energi aktivasi dapat dijelaskan dengan teori *Eyring* (Vitali dan Rao, 1984) mengenai laju reaksi kekentalan. Disini dijelaskan bahwa energi aktivasi dari suatu proses aliran bahan diakibatkan karena terbentuknya suatu lubang atau *extra space* oleh molekul. *Extra space* ini merupakan jalan bagi molekul untuk dapat mengalir.

Pada kisaran waktu yang singkat, nilai kekentalan tampak produk olahan sirsak tersebut tinggi. Pada keadaan ini dibutuhkan lebih banyak energi untuk membuat *extra space* sebagai jalan bagi aliran molekul. Sehingga energi aktivasinya tinggi.

Perbedaan nilai-nilai energi aktivasi yang terjadi juga bisa disebabkan karena berbedanya bentuk produk-produk olahan tersebut. Pure 1 yang hanya diblender memiliki serat-serat daging buah yang lebih kasar dan besar dalam jumlah yang banyak. Pure 2 yang dipulper memiliki butiran serat yang lebih halus. Sedangkan nektar yang juga dipulper serta ditambahkan gula dan asam sitrat memiliki butiran serat yang lebih halus dalam jumlah yang lebih sedikit dari pure 2 dan lebih encer.

D. KETERGANTUNGAN SIFAT REOLOGI TERHADAP WAKTU

Hubungan antara kekentalan tampak pure 1 terhadap waktu ditunjukkan dengan model berikut (Gambar 46) :

$$\begin{aligned}\text{suhu } 333 \text{ K} & : \log \mu = -0.675 - 4.557 \cdot 10^{-3}t \\ \text{suhu } 343 \text{ K} & : \log \mu = -0.581 - 4.403 \cdot 10^{-3}t \\ \text{suhu } 353 \text{ K} & : \log \mu = -0.697 - 4.318 \cdot 10^{-3}t \\ \text{suhu } 363 \text{ K} & : \log \mu = -7.100 - 3.384 \cdot 10^{-3}t \\ \text{suhu } 373 \text{ K} & : \log \mu = -0.737 - 2.995 \cdot 10^{-3}t\end{aligned}$$

Model tersebut diplotkan pada Gambar 46. Pada Gambar ini tampak bahwa untuk semua suhu, nilai kekentalan tampak menurun dengan bertambahnya waktu. Perilaku ini tergolong dalam *thixotropik*.

Perilaku *thixotropik* juga terjadi pada pure 2 (Gambar 47), dengan model :

$$\begin{aligned}\text{suhu } 333 \text{ K} & : \log \mu = -1.260 - 1.547 \cdot 10^{-2}t \\ \text{suhu } 343 \text{ K} & : \log \mu = -1.450 - 7.911 \cdot 10^{-3}t \\ \text{suhu } 353 \text{ K} & : \log \mu = -1.545 - 1.894 \cdot 10^{-2}t \\ \text{suhu } 363 \text{ K} & : \log \mu = -1.634 - 1.659 \cdot 10^{-2}t \\ \text{suhu } 373 \text{ K} & : \log \mu = -2.147 - 1.969 \cdot 10^{-4}t\end{aligned}$$

Pada Gambar 47, perubahan nilai kekentalan tampak yang curam terjadi pada suhu-333 K. Dan nilai kekentalan tampak tertinggi untuk pure 1 dan pure 2 tersebut terjadi pada kisaran suhu-suhu rendah.

Perilaku *thixotropik* terjadi untuk semua suhu pengukuran pada produk nektar yang menggunakan seperti

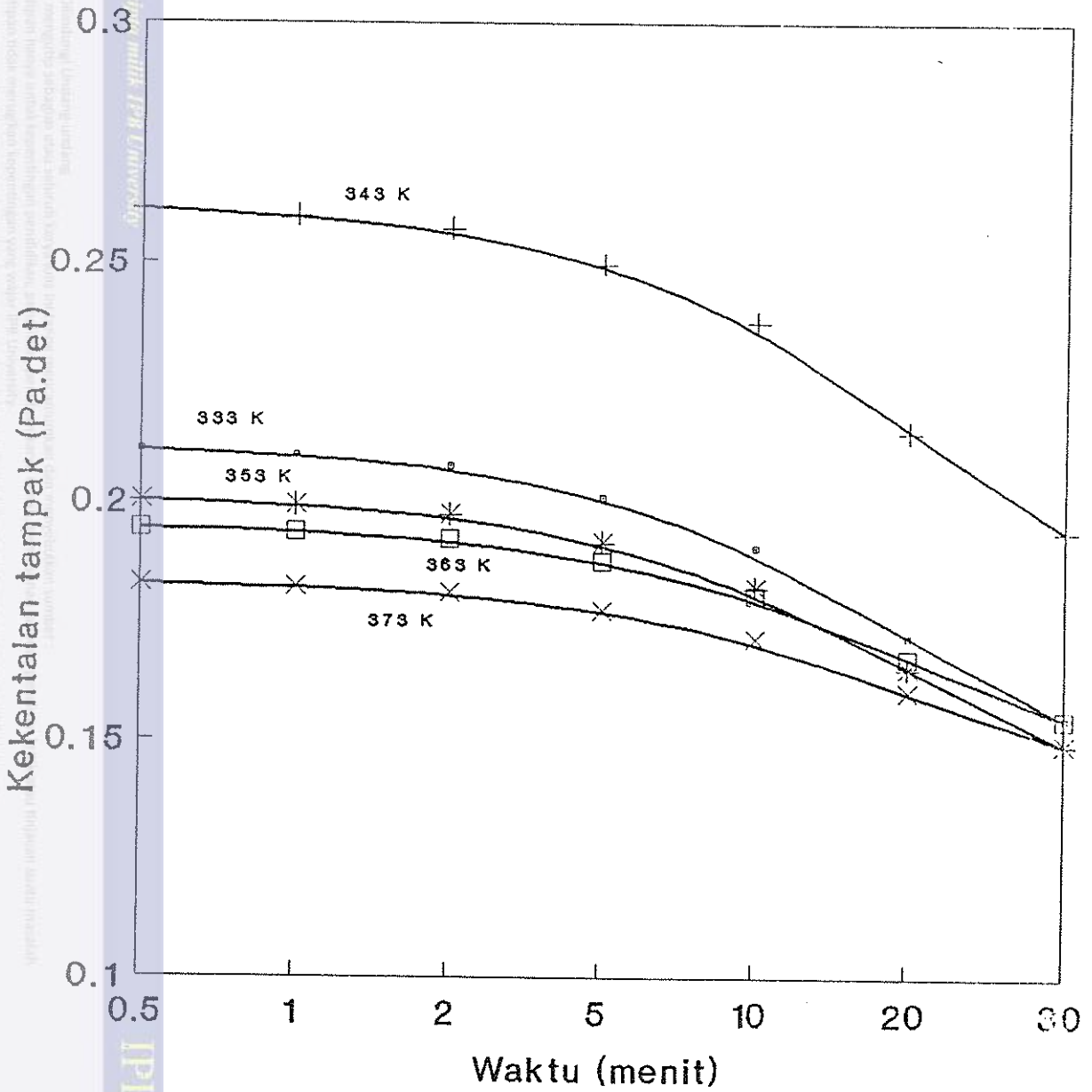
tampak pada Gambar 48, dengan model matematik :

$$\begin{aligned}
 \text{suhu } 333 \text{ K} & : \log \mu = -1.919 - 1.916 \cdot 10^{-2} t \\
 \text{suhu } 343 \text{ K} & : \log \mu = -2.043 - 1.630 \cdot 10^{-2} t \\
 \text{suhu } 353 \text{ K} & : \log \mu = -2.111 - 2.030 \cdot 10^{-2} t \\
 \text{suhu } 363 \text{ K} & : \log \mu = -2.281 - 4.075 \cdot 10^{-3} t \\
 \text{suhu } 373 \text{ K} & : \log \mu = -2.365 - 1.017 \cdot 10^{-3} t
 \end{aligned}$$

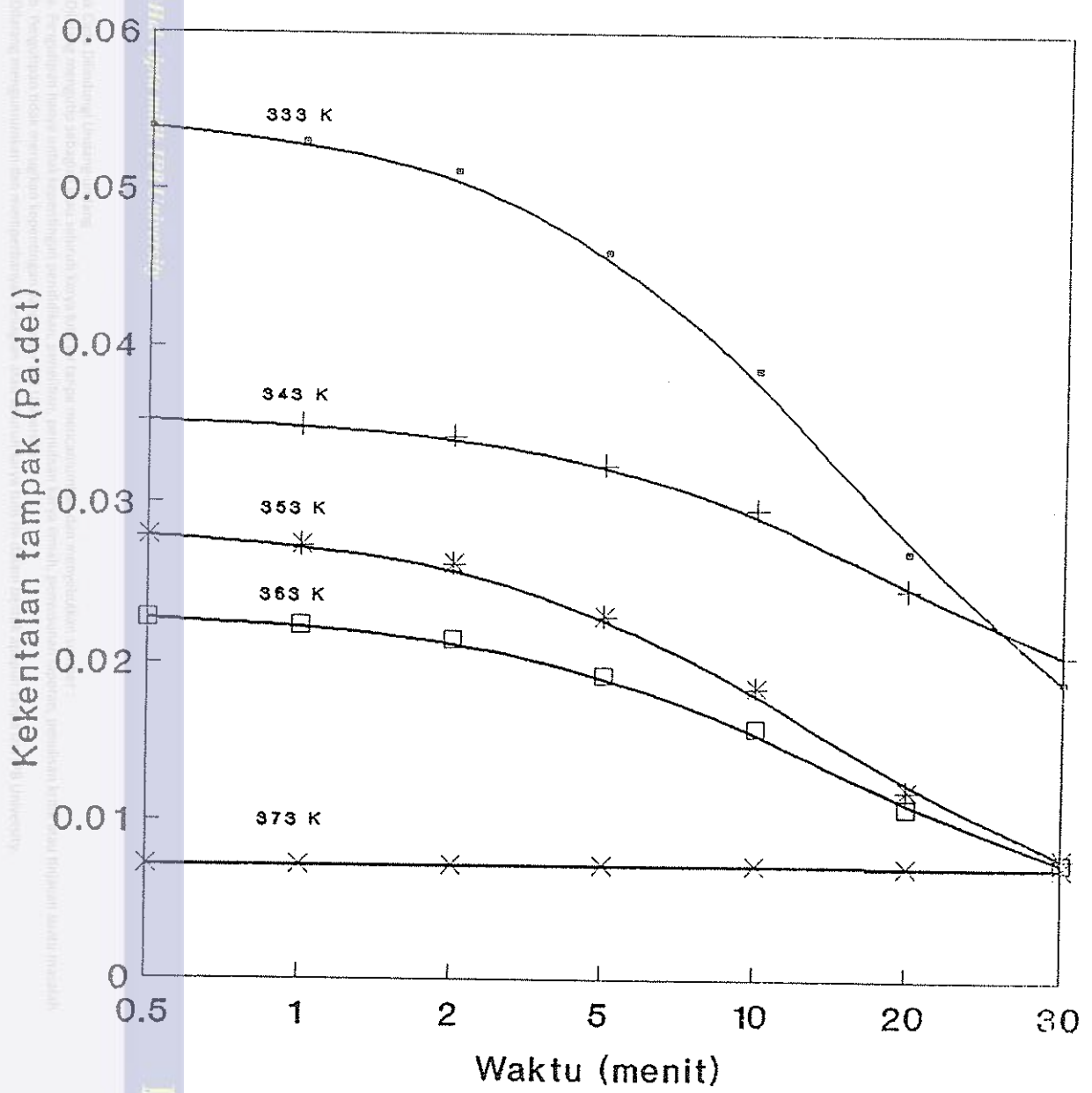
Ketergantungan terhadap waktu yakni menurunnya nilai kekentalan tampak dan konsistensi ataupun kebalikannya pada shear-rate yang konstan adalah analog dengan ketergantungan terhadap shear-rate. Faktor-faktor yang mempengaruhi perilaku thixotropik juga berpengaruh pada perilaku pseudoplastik, dan faktor-faktor yang menyebabkan perilaku rheopektik juga mempengaruhi perilaku dilatan. Hal ini karena ketergantungan waktu ataupun ketergantungan shear-rate merupakan hasil pembentukan struktur dari suatu sistem (Rha, 1978).

Hubungan konsistensi pure 1 dengan waktu seperti tampak pada Gambar 49, menggunakan model seperti di bawah ini :

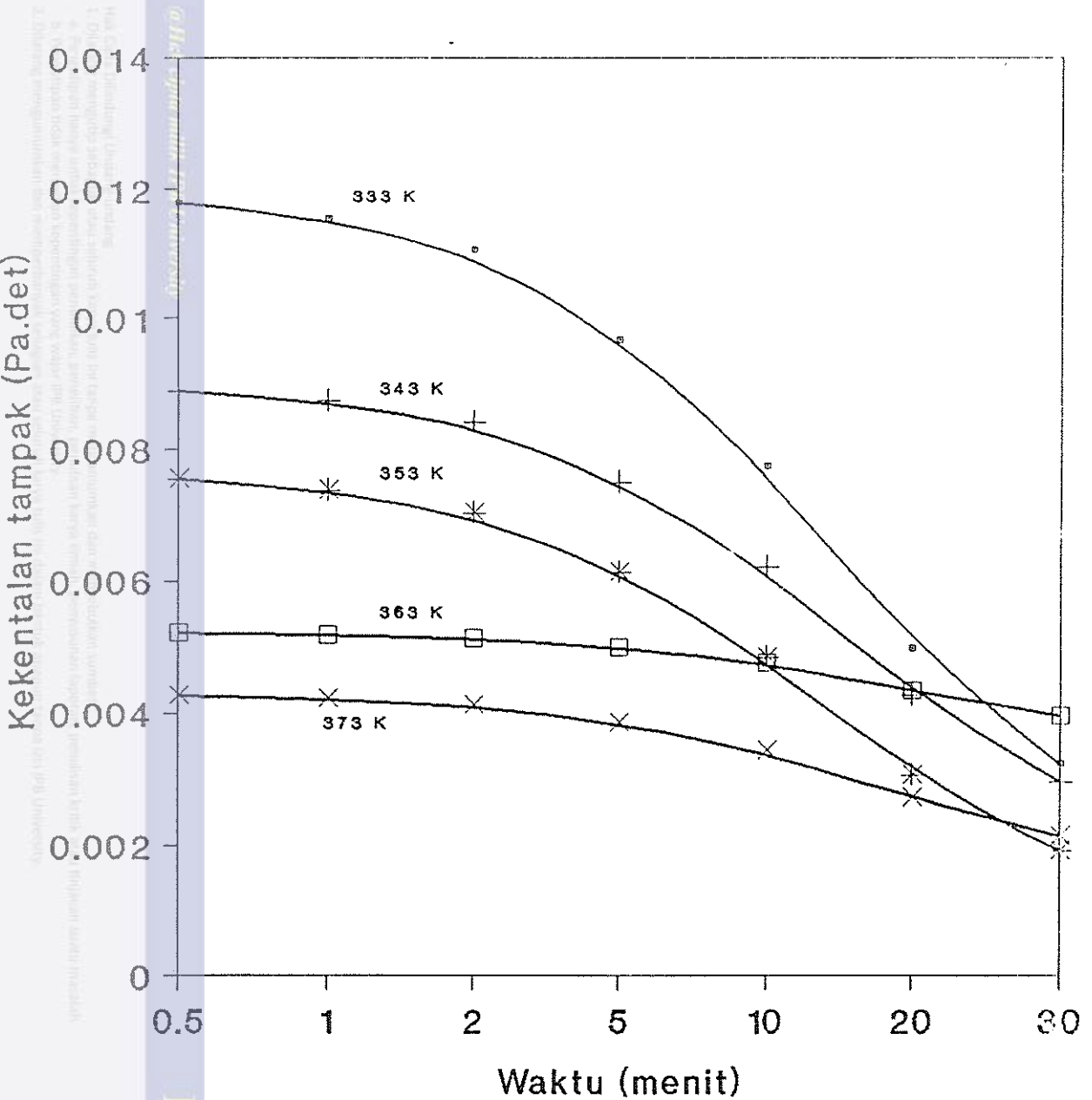
$$\begin{aligned}
 \text{suhu } 333 \text{ K} & : \log m = 0.402 + 3.502 \cdot 10^{-4} t \\
 \text{suhu } 343 \text{ K} & : \log m = 0.121 - 1.514 \cdot 10^{-3} t \\
 \text{suhu } 353 \text{ K} & : \log m = 0.210 - 2.058 \cdot 10^{-3} t \\
 \text{suhu } 363 \text{ K} & : \log m = 0.174 + 5.717 \cdot 10^{-4} t \\
 \text{suhu } 373 \text{ K} & : \log m = 0.184 - 6.377 \cdot 10^{-3} t
 \end{aligned}$$



Gambar 46. Hubungan antara kekentalan tampak pure 1 dengan waktu pada shear-rate 12.74 det^{-1}



Gambar 47. Hubungan antara kekentalan tampak pure 2 dengan waktu pada shear-rate 6.37 det^{-1}



Gambar 48. Hubungan antara kekentalan tampak nektar dengan waktu pada shear-rate 2.55 det^{-1}

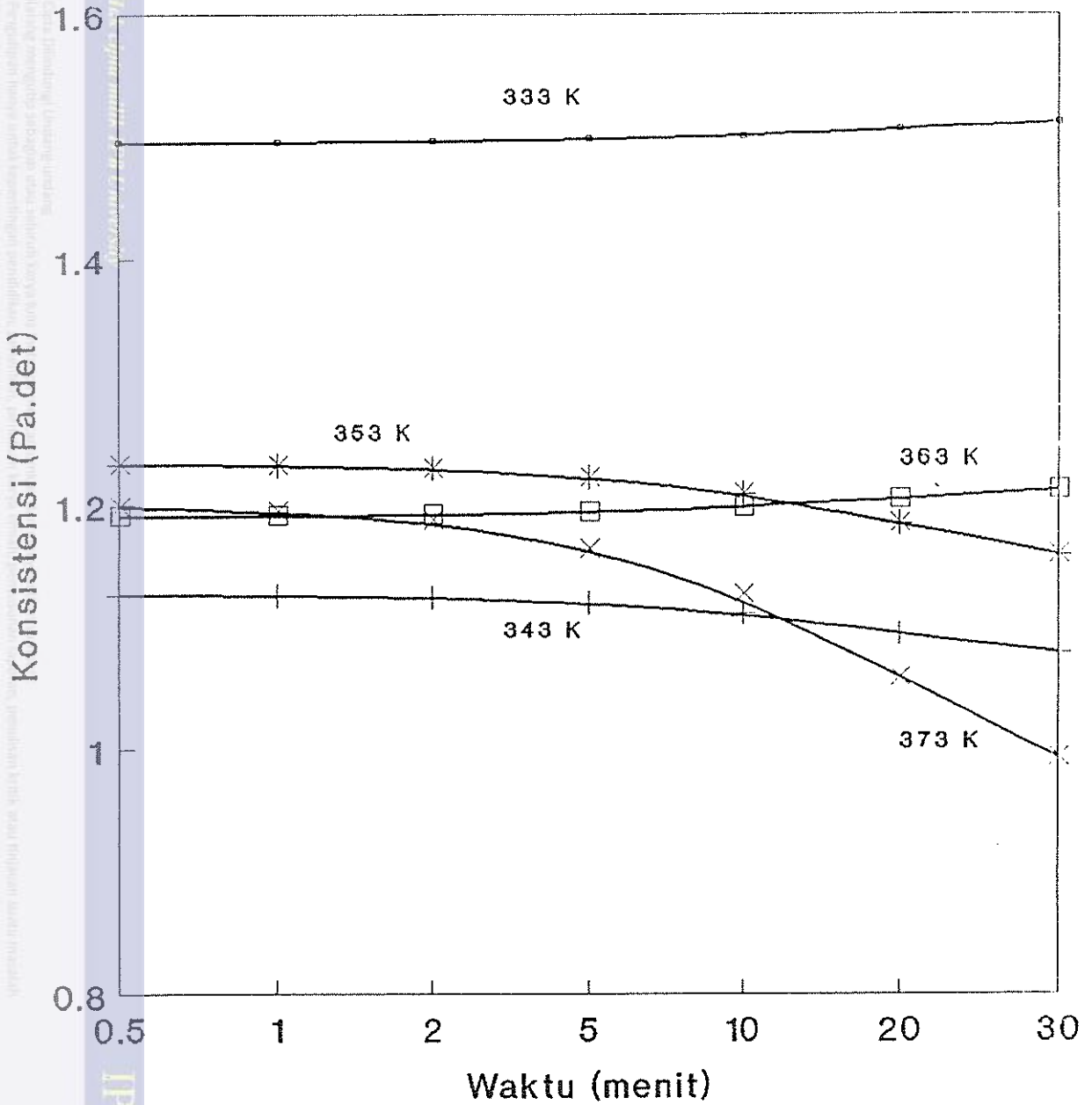
Nilai konsistensi pure 1 cenderung menurun dengan bertambahnya waktu. Perilaku thixotropik ini juga terjadi pada nektar, bahkan pengaruhnya sangat besar, karena terjadi penurunan yang tajam terhadap nilai konsistensi (Gambar 51). Model hubungan konsistensi nektar dengan waktu adalah sebagai berikut

$$\begin{aligned}\text{suhu } 333 \text{ K} & : \log m = -1.622 - 1.785 \cdot 10^{-2} t \\ \text{suhu } 343 \text{ K} & : \log m = -1.696 - 2.671 \cdot 10^{-2} t \\ \text{suhu } 353 \text{ K} & : \log m = -1.799 - 1.749 \cdot 10^{-2} t \\ \text{suhu } 363 \text{ K} & : \log m = -1.967 - 1.837 \cdot 10^{-2} t \\ \text{suhu } 373 \text{ K} & : \log m = -2.111 - 1.286 \cdot 10^{-2} t\end{aligned}$$

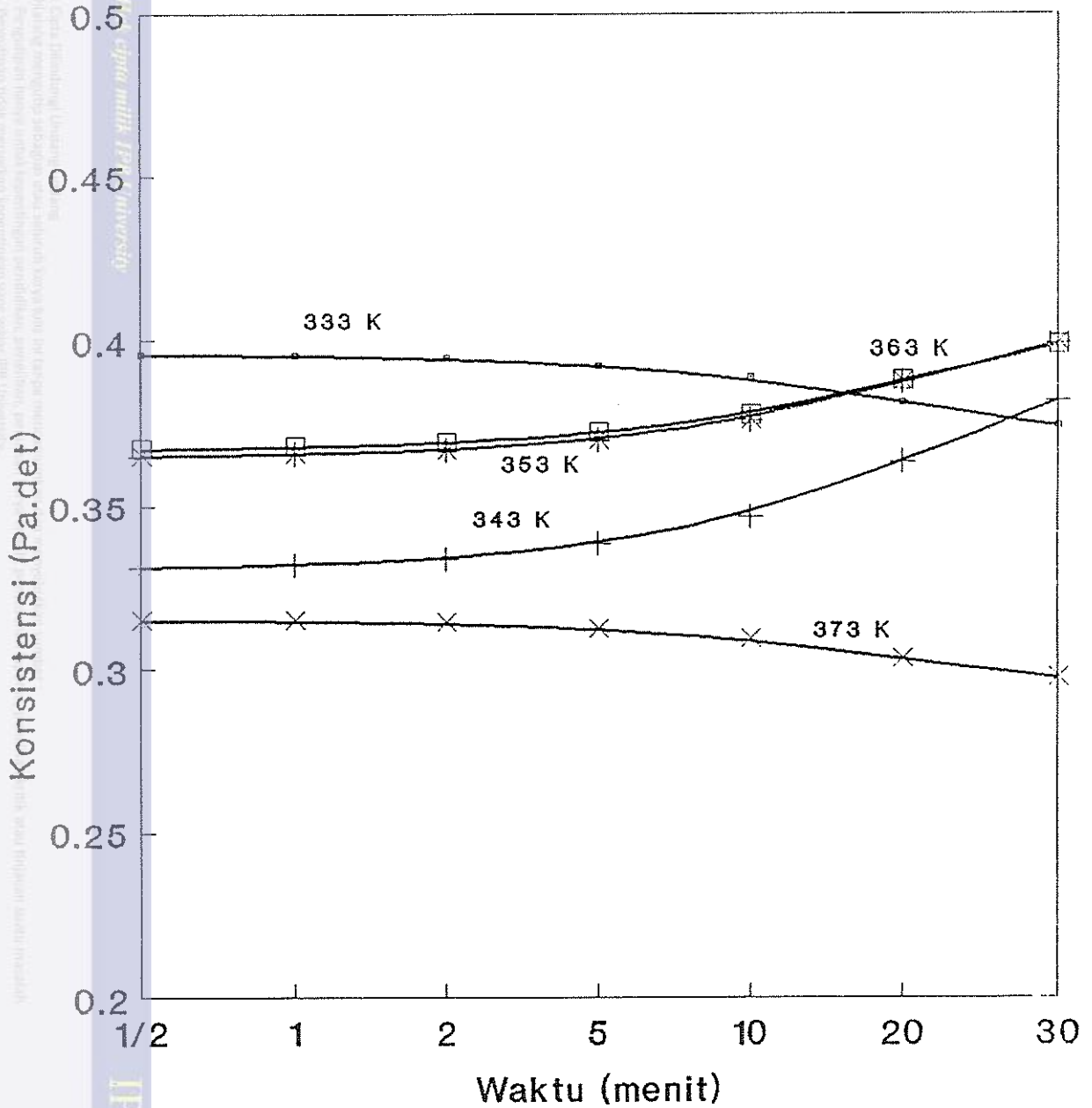
Pengaruh waktu terhadap konsistensi pure 2 cenderung menunjukkan perilaku rheopektik, dimana konsistensi meningkat dengan bertambahnya waktu dengan sebaran nilai konsistensi tertinggi terjadi pada suhu-suhu rendah (Gambar 50). Model hubungan konsistensi dengan waktu untuk pure 2 adalah :

$$\begin{aligned}\text{suhu } 333 \text{ K} & : \log m = -0.926 - 1.898 \cdot 10^{-3} t \\ \text{suhu } 343 \text{ K} & : \log m = -1.108 + 4.839 \cdot 10^{-3} t \\ \text{suhu } 353 \text{ K} & : \log m = -1.008 + 2.973 \cdot 10^{-3} t \\ \text{suhu } 363 \text{ K} & : \log m = -1.002 + 2.737 \cdot 10^{-3} t \\ \text{suhu } 373 \text{ K} & : \log m = -1.154 + 2.012 \cdot 10^{-3} t\end{aligned}$$

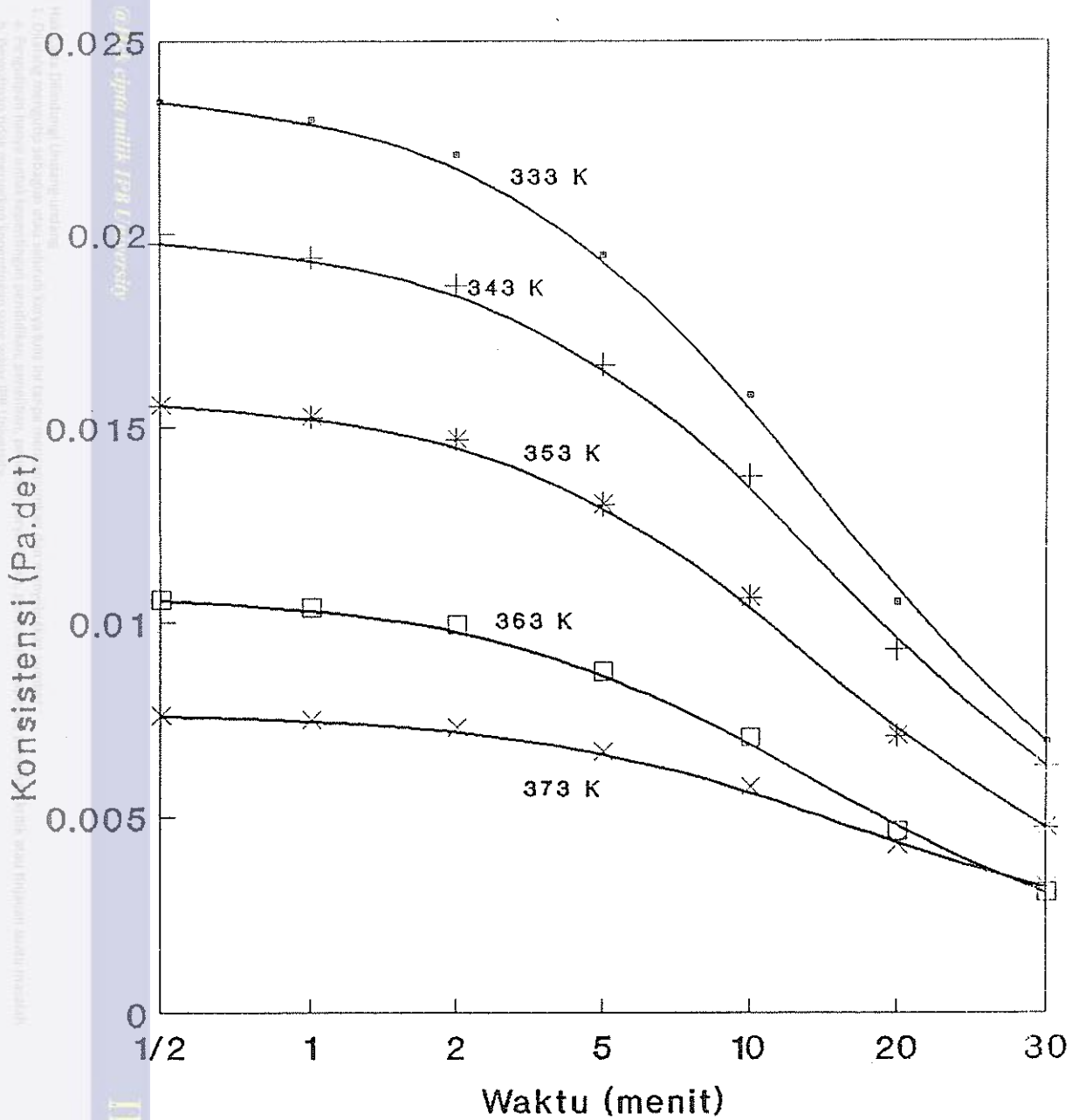
Perilaku thixotropik menunjukkan pemisahan secara kontinyu atau penyusunan struktur, dengan dihasilkan hambatan aliran. Meningkatnya hambatan aliran menyebabkan pembangunan susunan struktur (Rha, 1978).



Gambar 49. Hubungan antara konsistensi pure 1 dengan waktu



Gambar 50. Hubungan antara konsistensi pure 2 dengan waktu



Gambar 61. Hubungan antara konsistensi nektar dengan waktu

Jadi pada produk pure atau nektar sirsak yang menunjukkan perilaku thixotropik, terjadi pemisahan struktur bahan menjadi bagian-bagian yang lebih kecil. Dengan semakin bertambahnya waktu, dan pemecahan yang terus terjadi, maka struktur bahan menjadi lebih kecil sehingga kekentalan atau konsistensinya menurun.

Dan untuk produk produk pure atau nektar yang memperlihatkan perilaku rheopektik, struktur bahan mengalami penyusunan secara kontinyu. Pembangunan susunan struktur lebih cepat dari pemisahannya, yang juga terjadi bersamaan, sehingga kekentalan meningkat.

Ada kecenderungan pembentukan dan pemecahan struktur (agregat) pada berbagai variasi shear-rate. Suatu struktur pecah menjadi bagian yang lebih kecil (flock), pembentukan flock-flock tersebut membutuhkan waktu yang lama. Ketika struktur pecah, cairan yang tertahan dalam jaringan struktur dilepaskan dan ini menyebabkan penurunan kekentalan tampak.

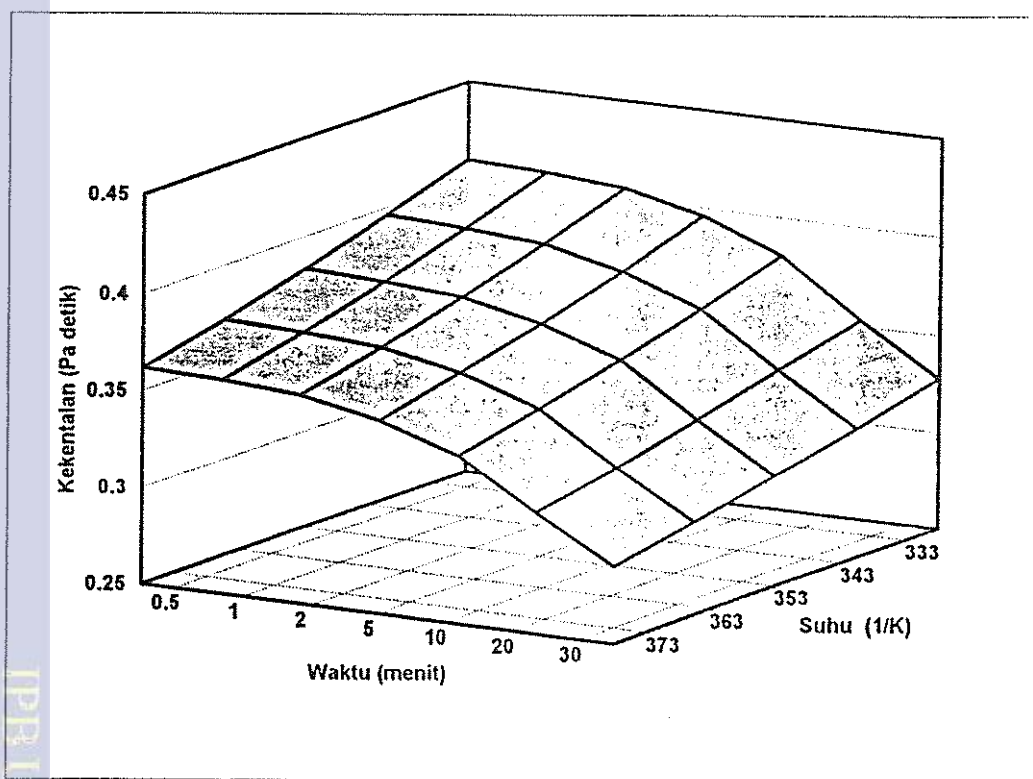
Pada pure 2 nilai konsistensi meningkat (*rheopektik*) hal ini dapat terjadi karena pengaruh bentuk produk. Pure 2 yang dipulper memiliki struktur bahan yang lebih halus. Bentuk yang lebih halus ini memiliki permukaan bahan yang lebih besar, yang lebih banyak menyerap air. Rha menyatakan bahwa lapisan yang melindungi bahan cairan menjadi lebih tipis. lapisan ini bertindak sebagai penghubung antar parti-

kel, dan ini memungkinkan hubungan antar partikel bahan meningkat. Partikel tersebut saling melekat membentuk struktur. Dan bila konsentrasi partikel tersebut meningkat dengan semakin banyaknya struktur yang terbentuk, bentuk cairan menjadi berubah dan ini menyebabkan kenaikan konsistensi.

E. KOMBINASI SUHU DAN WAKTU PADA SIFAT REOLOGI BAHAN

Hubungan antara kekentalan tampak pure 1 ditunjukkan dengan persamaan berikut (Gambar 52):

$$\mu = 1.28 \cdot 10^{-1} \exp(388.53/T - 7.60 \cdot 10^{-3}t)$$



Gambar 52. Hubungan antara kekentalan tampak pure 1 dengan suhu dan waktu pada shear-rate 6.37 det^{-1}

Kombinasi suhu dan waktu untuk pure 1 memperlihatkan terjadinya dua pengaruh yang sama. Semakin tinggi suhu dan waktu pengukuran maka nilai kekentalan tampak meningkat.

Kombinasi suhu dan waktu terhadap pure 2 menunjukkan pengaruh yang sama pula, nilai kekentalan tampak menurun dengan bertambahnya suhu dan waktu, seperti tampak pada Gambar 53. Model hubungan yang tampak pada gambar tersebut adalah :

$$\mu = 1.24 \cdot 10^{-8} \exp(5106.52/T - 2.76 \cdot 10^{-2}t)$$

Untuk nektar model hubungannya adalah sebagai berikut :

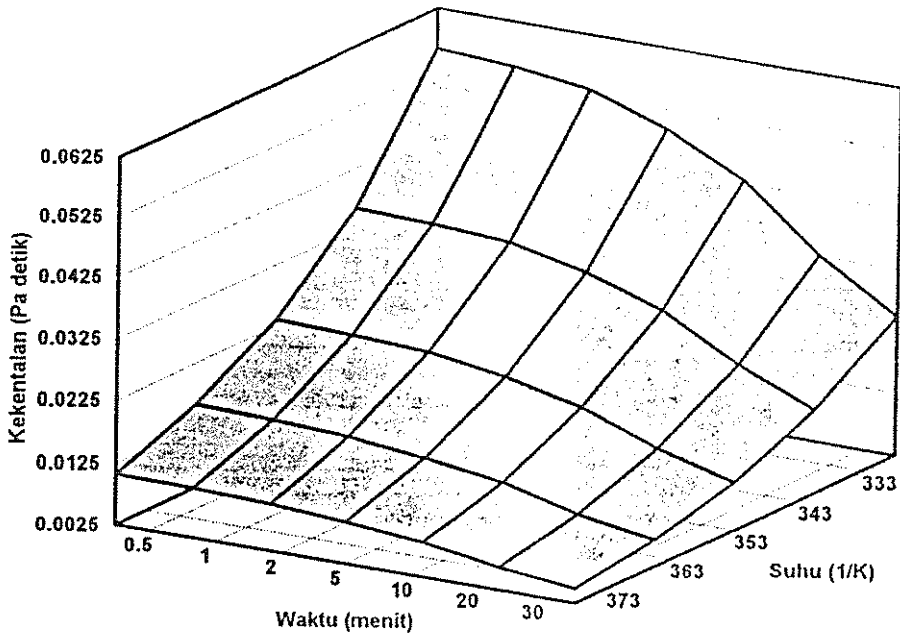
$$\mu = 1.55 \cdot 10^{-5} \exp(2176.61/T - 3.77 \cdot 10^{-2}t)$$

Gambar yang dihasilkan dari model di atas tampak pada Gambar 54. Kombinasi suhu dan waktu pada nektar ini juga memperlihatkan pengaruh yang sama terhadap kekentalan bahan seperti pada pure 2.

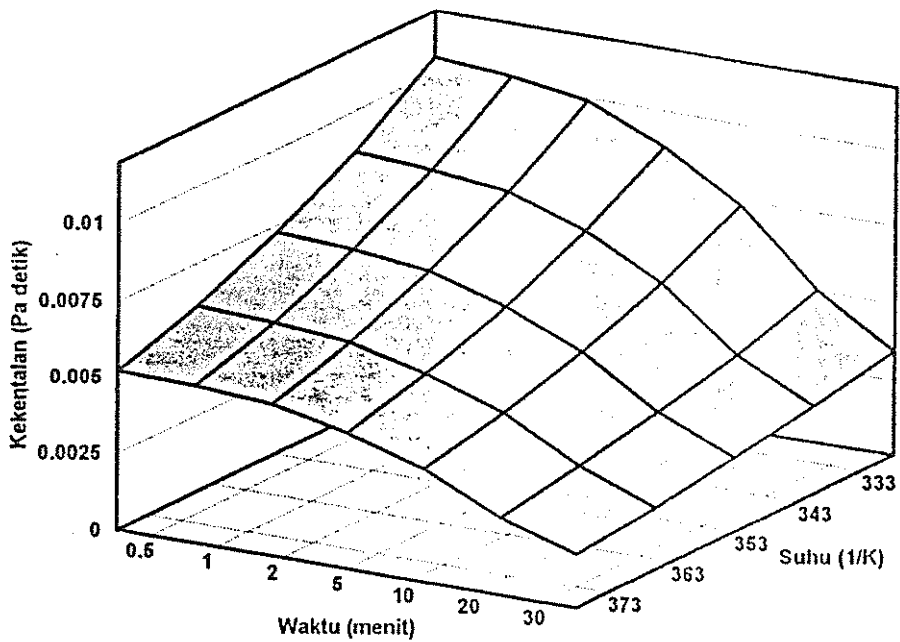
Pengaruh suhu dan waktu terhadap konsistensi pure 1 dapat dikombinasikan menjadi suatu model seperti tampak pada Gambar 55.

$$m = 2.73 \cdot 10^{-2} \exp(1444.57/T - 3.63 \cdot 10^{-2}t)$$

Suhu dan waktu memiliki pengaruh yang sama terhadap perilaku aliran pure 1. Meningkatnya suhu dan waktu mengakibatkan bertambahnya nilai konsistensi pure 1.



Gambar 53. Hubungan antara kekentalan tampak pure 2 dengan suhu dan waktu pada shear-rate 6.37 det^{-1}



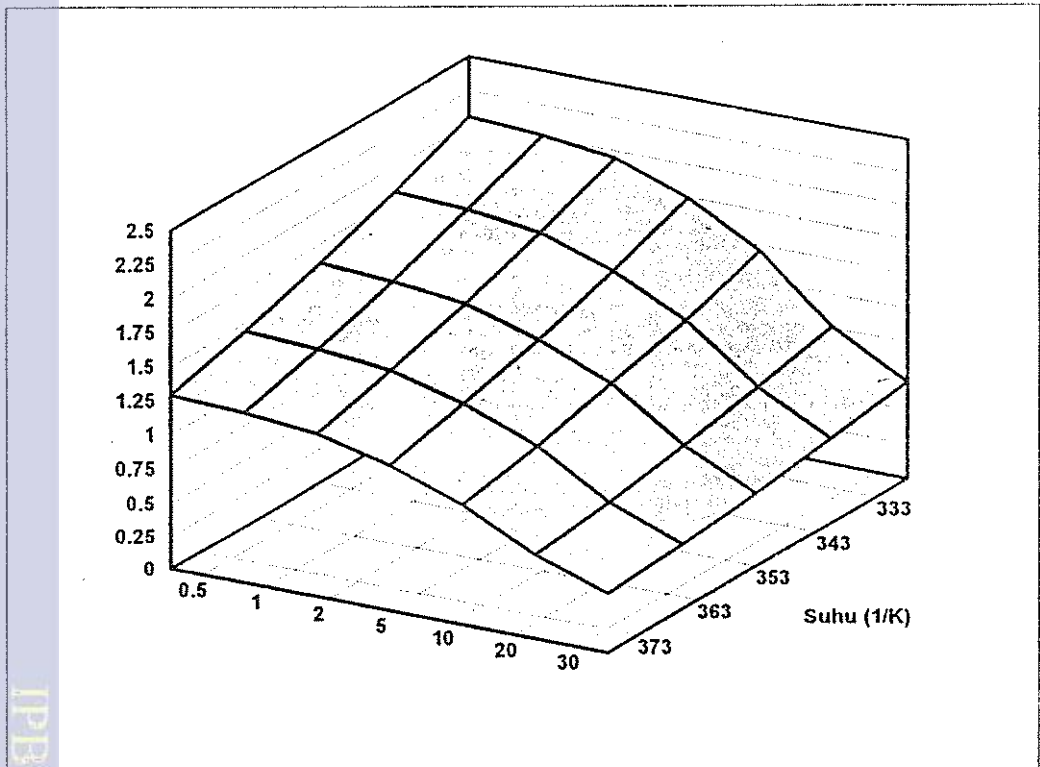
Gambar 54. Hubungan antara kekentalan tampak nektar dengan suhu dan waktu pada shear-rate 6.37 det^{-1}

Pada nektar, perilaku seperti di atas juga terjadi, seperti tampak pada Gambar 57, dengan model :

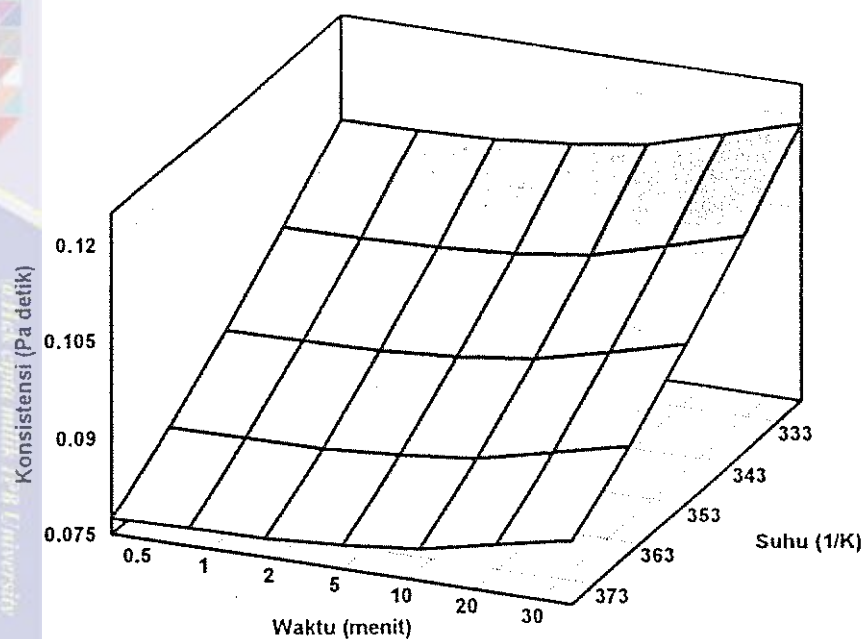
$$m = 1.15 \cdot 10^{-6} \exp(3328.54/T - 3.83 \cdot 10^{-2}t)$$

Kombinasi suhu dan waktu pada pure 2 memperlihatkan pengaruh yang berlawanan. Nilai konsistensi pure 2 meningkat dengan meningkatnya waktu pengukuran, dan menurun dengan bertambahnya suhu (Gambar 56). Kombinasi hubungan ini mengikuti model sebagai berikut :

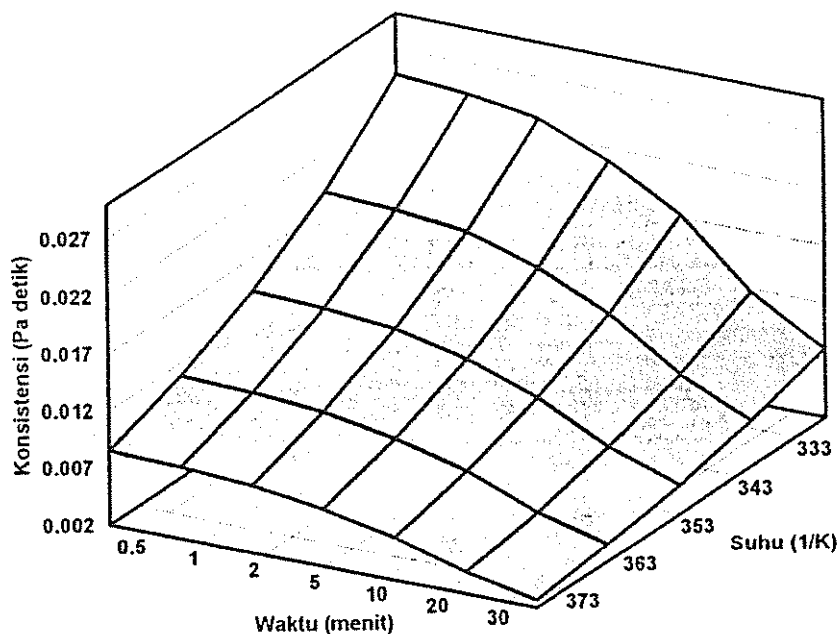
$$m = 4.72 \cdot 10^{-3} \exp(1043.81/T + 3.06 \cdot 10^{-3}t)$$



Gambar 55. Hubungan antara konsistensi pure 1 dengan suhu dan waktu pada shear-rate, 6.37 det^{-1}



Gambar 56. Hubungan antara konsistensi pure 2 dengan suhu dan waktu pada shear-rate 6.37 det^{-1}



Gambar 57. Hubungan antara konsistensi nektar dengan suhu dan waktu pada shear-rate 6.37 det^{-1}

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

A. KESIMPULAN

Hasil penelitian memperlihatkan adanya perbedaan sifat reologi antara pure 1, pure 2, dan nektar sirsak pada berbagai variasi shear-rate, suhu dan waktu.

Kekentalan tampak pure dan nektar sirsak menurun dengan meningkatnya shear-rate. Ketergantungan nilai kekentalan tampak pure dan nektar sirsak terhadap shear-rate, menjadikan produk-produk olahan tersebut digolongkan dalam cairan *pseudoplastik*.

Suhu berpengaruh nyata terhadap kekentalan tampak serta konsistensi pure dan nektar sirsak. Semakin tinggi suhu, semakin rendah nilai kekentalan dan konsistensi. Energi aktivasi cenderung turun dengan meningkatnya waktu pengukuran. Dan nilai indeks perilaku aliran cenderung meningkat dengan bertambahnya suhu. Nilai konsistensi pure dan nektar sirsak lebih besar dari nol, sedangkan nilai indeks perilaku aliran lebih kecil dari satu, sehingga produk olahan tersebut termasuk dalam tipe aliran *pseudoplastik*.

Pengaruh waktu terhadap kekentalan tampak serta konsistensi pure dan nektar sirsak berbeda-beda. Pada pure 1, pure 2 dan nektar nilai kekentalan tampak menurun dengan meningkatnya waktu (*thixotropik*). Nilai konsistensi pure 1 dan nektar menurun dengan

bertambahnya waktu (*thixotropik*) sedangkan untuk pure 2 nilai konsistensinya meningkat (*rheopektik*).

Kombinasi suhu dan waktu terhadap kekentalan tampak pure dan nektar sirsak menunjukkan pengaruh yang sama. Pada pure 1, pure 2 serta nektar semakin tinggi suhu dan waktu maka nilai kekentalan tampak menurun. Hal ini terjadi pula pada nilai konsistensi pure 1 dan nektar. Tetapi pada pure 2 terjadi pengaruh yang berlawanan, dimana nilai konsistensi meningkat dengan bertambahnya waktu dan menurun dengan meningkatnya suhu.

Model matematik hubungan antara kekentalan tampak dengan suhu dan waktu pure 1, pure 2, dan nektar masing-masing adalah

$$\mu = 1.28 \cdot 10^{-1} \exp(388.53/T - 7.60 \cdot 10^{-3}t)$$

$$\mu = 1.24 \cdot 10^{-8} \exp(5106.52/T - 2.76 \cdot 10^{-2}t)$$

$$\mu = 1.55 \cdot 10^{-5} \exp(2176.61/T - 3.77 \cdot 10^{-2}t)$$

Dan model matematik hubungan antara konsistensi dengan suhu dan waktu untuk masing-masing produk adalah

$$m = 2.73 \cdot 10^{-2} \exp(1444.57/T - 3.63 \cdot 10^{-2}t)$$

$$m = 4.72 \cdot 10^{-3} \exp(1043.81/T + 3.06 \cdot 10^{-3}t)$$

$$m = 1.15 \cdot 10^{-6} \exp(3328.54/T - 3.83 \cdot 10^{-2}t)$$

B. SARAN

1. Untuk membandingkan sifat reologi olahan sirsak pada suhu-suhu rendah (di bawah 60°C), perlu dilakukan penelitian dimana pengukuran dilakukan pada kisaran suhu yang rendah.
2. Perlu dilakukan penelitian untuk membuat model kombinasi hubungan antara kombinasi suhu, waktu, dan shear-rate untuk mengetahui suhu pasteurisasi yang mungkin dicapai untuk mengontrol tingkat kekentalan produk.
3. Perlunya dilakukan penelitian mengenai pengaruh perubahan konsentrasi terhadap sifat reologi pure dan nektar sirsak serta kombinasi konsentrasi dengan suhu.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonymous. 1975. Underexploited Tropical Plants With Promising Economic Value. National Academy of Sciences, Washington, D.C.
- Bagley, E.B. and Christianson, D.D. 1982. Swelling Capacity of Starch and Its Relationship to Suspension Viscosity-Effect of Cooking Time, Temperature and Concentration. J. Texture Studies(13):115-126.
- Balmaceda, E., C. Rha, and F. Huang. 1973. Rheology of Hydrocolloids. J. Food Sci. 38 : 1169.
- Bueso, C.E. 1980. Sorsop, Tamarind, and Chironja. In Tropical and Subtropical Fruits. Steven N and Phillips E.S. AVI Publ. Co., Inc. Westport, Connecticut.
- Chaffai, A.H. 1990. Effect of Manufacturing Conditions on Rheology of Banana Gelified Milk : Optimization of the Technology. J. Food Sci. (55) : 6.
- Clark, J.P. 1978. Dough Rheology in Extrusion Cooking. J. Food Tech. 7 : 73.
- DeMan, J.M., P.W. Voisey, V.F. Rasper and D.W. Stanley. 1976. Rheology and Texture in Food Quality. AVI Publ. Co., Westport, Connecticut.
- Escher, F. 1983. Relevance of Rheology Data in Food Processing in Physical Properties of Food. Applied Science Publisher, London.
- Glicksman, M. 1969. Gum Technology in The Food Industry. Academic Press, New York.
- Hadi, S. 1983. Analisis Regresi. Yayasan Penerbitan Fakultas Psikologi, UGM, Yogyakarta.
- Heldman, D.R. and Singh, R.P. 1981. Food Processing Engineering. 2nd ed. AVI Publ. Co., Westport, Connecticut.
- Illicali, C. 1985. Correlations for The Consistency Coefficients of Apricot and Pear Purees. J. Food Engineering. 8 : 47-51.
- Jagtiani, J., Harvey T.C. and William. 1988. Tropical Fruit Processing. Academic Press, Inc., London.

Kaslan A.T. 1981. Bercocok Tanam Pohon Buah-Buahan. Pradnya Paramita, Jakarta.

Kleinert, J. 1976. Rheology of Chocolate. In Rheology and Texture in Food Quality. AVI Publ. Co., Westport, Connecticut.

Lang, E.R. and C. Rha. 1982. Apparent Shear Viscosity of Native Egg White. J. Food Tech. (17):606.

Luh, B. S. 1980. Nectars, Pulpy Juices and Fruit Juice Blends. In Fruit and Vegetable Juice Processing Technology. 3rd ed. Nelson and Tressler. AVI Publ. Co., Westport, Connecticut.

MacLeod, A.J and Nirmala M.P. 1981. Volatile Flavor Components of Soursop (*Annona muricata*). J. Agric. Food Chem. 29 : 488-490.

Moresi, M and M. Spinosi. 1984. Physical Properties of Concentrated Apple Juice. In Engineering Food. Vol.1. Applied Publ., London.

Rha, C. 1975. Theory, Determination and Control of Physical Properties of Food Materials. D. Reidel Publ. Co., Dordrecht, Holland.

Rha, C. 1978. Rheology of Fluid Foods. J. Food Technol (32) : 7.

Rao, M.A. and H.J. Cooley. 1983. Applicability of Flow Models with Yield for Tomato Concentrates. J. Food Process Engineering(6):159-173.

Rismunandar. 1983. Membudidayakan Tanaman Buah-buahan. Sinar Baru, Bandung.

Samimi, H.M., K.R. Swartzel and H.R. Ball JR. 1984. Flow behavior of Liquid Whole Egg During Thermal Treatments. J. Food Sci. (49): 1.

Saptarini N., Diah P., dan Endang P.P. 1990. Mengenal Buah Unggul Indonesia. Penebar Swadaya, Jakarta.

Saravacos, G.D. 1968. Tube Viscometry of Fruit Purees and Juices. J. Food Tech. 22 : 1585-1588.

Saravacos, G.D. 1970. Effects of Temperature of Viscosity of Fruit Juices and Purees. J. Food Sci. (35): 1.

Sarjito, M. 1992. Mari Mengenal Buah Unggul Indonesia. Sari Jaya Indah, Jakarta.



Soewarno T.S. 1990. Dasar-Dasar Pengawasan dan Standarisasi Mutu Pangan. Pusat Antar Universitas Pangan dan Gizi. IPB, Bogor, Indonesia.

Rosidah, U. 1990. Mempelajari Sifat Reologi Konsentrat Nangka Akibat Perubahan Suhu Selama Pengolahan. Tesis-MS, Jurusan Ilmu Keteknikan Pertanian. IPB, Bogor, Indonesia.

Vitali, A. and Rao. 1982. Flow Behavior of Guava Puree as a Funtion of Temperature and Concentration. J. Texture Studies. 13 : 275-289.

Vitali, A. and Rao. 1984. Flow Properties of Low-Pulp Concentrated Orange Juice : Effect of Temperature and Concentration. J. Food Sci. 49 : 882.

Winarno dan B.S. Jenie. 1983. Kerusakan bahan Pangan dan Cara Pencegahannya. Ghalia, Jakarta.



Hak Cipta dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyediakan sumber

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, karya ilmiah, penyediaan laporan, penulisan buku atau terjemahan

b. Pengutipan tidak diperbolehkan untuk kepentingan yang melanggar IPB University

L A M P I R A N

Lampiran 1. Spesifikasi Alat Viskometer Brookfield

Viskometer Brookfield model BM memiliki sistem perubahan kecepatan (*speed change*) dengan 4 tingkatan RPM yakni 6, 12, 30, dan 60. Alat ini dilengkapi rotor pengukur yang terdiri dari rotor nomor 1, 2, 3, dan 4. Tiap rotor mempunyai batas atas pengukuran nilai kekentalan, seperti terlihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Batas atas nilai kekentalan (cp)

Rotor	RPM			
	60	30	12	6
No. 1	100	200	500	1.000
No. 2	500	1.000	2.500	5.000
No. 3	2.000	4.000	10.000	20.000
No. 4	10.000	20.000	50.000	100.000

Alat ini dikalibrasi dengan keadaan dimana rotor dengan pelindungnya diputar di dalam cairan produk yang akan diukur. Pengukuran dapat dibenarkan bila rotor dengan pelindungnya di tempatkan di tengah-tengah wadah dengan diameter lebih dari 70 mm dan diputar. Untuk konversi rotor yang digunakan maka digunakan nilai konversi seperti pada Tabel 9.

Tabel 9. Konversi pengali untuk viskometer Brookfield

Rotor	RPM			
	60	30	12	6
No. 1	1	2	5	10
No. 2	5	10	25	50
No. 3	20	40	100	200
No. 4	100	200	500	1.000

Lampiran 2. Nilai Konsistensi dan Indeks Perilaku Aliran Pure Sirsak 1

T (K)	t (men)	m (Pa.det)	n
333	0.5	2.497	0.045
	1	2.391	0.025
	2	2.480	-0.005
	5	2.672	-0.073
	10	2.746	-0.106
	20	2.438	-0.094
	30	2.589	-0.135
343	0.5	1.428	0.362
	1	1.311	0.374
	2	1.293	0.378
	5	1.152	0.407
	10	1.303	0.307
	20	1.309	0.303
	30	1.155	0.340
353	0.5	1.758	0.215
	1	1.766	0.209
	2	1.558	0.224
	5	1.496	0.183
	10	1.395	0.245
	20	1.361	0.211
	30	1.545	0.226
363	0.5	1.606	0.191
	1	1.466	0.218
	2	1.476	0.203
	5	1.398	0.199
	10	1.566	0.108
	20	1.521	0.121
	30	1.562	0.101
373	0.5	1.605	0.126
	1	1.436	0.177
	2	1.420	0.194
	5	1.405	0.221
	10	1.356	0.215
	20	1.191	0.296
	30	0.948	0.405

Lampiran 3. Nilai Konsistensi dan Indeks Perilaku Aliran Pure Sirsak 2

T (K)	t (men)	m (Pa.det)	n
333	0.5	0.106	0.629
	1	0.112	0.557
	2	0.115	0.519
	5	0.127	0.340
	10	0.137	0.236
	20	0.102	0.316
	30	0.101	0.103
343	0.5	0.082	0.659
	1	0.076	0.644
	2	0.080	0.579
	5	0.081	0.441
	10	0.092	0.365
	20	0.089	0.313
	30	0.114	0.161
353	0.5	0.082	0.521
	1	0.093	0.254
	2	0.112	0.036
	5	0.114	0.431
	10	0.109	-0.018
	20	0.116	-0.089
	30	0.115	-0.065
363	0.5	0.117	0.200
	1	0.087	0.236
	2	0.098	0.150
	5	0.115	-0.027
	10	0.084	0.0005
	20	0.137	-0.301
	30	0.112	-0.145
373	0.5	0.081	-0.206
	1	0.074	-0.125
	2	0.072	-0.117
	5	0.057	-0.030
	10	0.059	-0.248
	20	0.069	-0.052
	30	0.062	-0.014

Lampiran 4. Nilai Konsistensi dan Indeks Perilaku Aliran Nektar Sirsak

T (K)	t (men)	m (Pa.det)	n
333	0.5	0.0109	0.9546
	1	0.0099	0.7117
	2	0.0084	0.7662
	5	0.0079	0.6803
	10	0.0094	0.5166
	20	0.0071	0.6445
	30	0.0078	0.6004
343	0.5	0.0081	0.8093
	1	0.0075	0.7904
	2	0.0067	0.8021
	5	0.0066	0.8430
	10	0.0060	0.8098
	20	0.0060	0.7321
	30	0.0057	0.7059
353	0.5	0.0077	0.7630
	1	0.0068	0.8046
	2	0.0066	0.7756
	5	0.0065	0.7583
	10	0.0057	0.8291
	20	0.0050	0.8629
	30	0.0052	0.7735
363	0.5	0.0063	0.8145
	1	0.0059	0.7743
	2	0.0051	0.8205
	5	0.0042	0.9409
	10	0.0037	1.0021
	20	0.0038	1.0293
	30	0.0038	0.9784
373	0.5	0.0057	0.7897
	1	0.0043	0.8658
	2	0.0039	0.9514
	5	0.0024	1.1334
	10	0.0040	0.8693
	20	0.0045	0.8169
	30	0.0022	1.1297

Lampiran 5. Nilai pengukuran kekentalan tampak pure sirsak 1

No Rotor	RPM	Faktor Pengali	Ulangan															
				60°C Menit							70°C Menit							
	0.5	1	2	5	10	20	30	0.5	1	2	5	10	20	30	0.5			
2	6	50	1	45.5	41	44.5	51	54	45.8	60	25	23	28	23	33	35.7	24	25.5
			2	36	37.3	40	42	44.5	39	31.5	24.5	22	19.5	17	15.5	12	15	31
			rata-rata	40.75	39.15	42.25	46.5	49.25	42.4	45.75	24.75	22.5	23.75	20	24.25	23.85	19.5	28.25
			nilai	2.0375	1.9575	2.1125	2.325	2.4625	2.12	2.2875	1.2375	1.125	1.1875	1	1.2125	1.1925	0.975	1.4125
	12	25	1	36	33.5	31	28.5	26.8	28.5	27	26.8	24.5	22.5	24	22.2	23	23	31
			2	44	42	40.5	38.5	35	33	33	33	31.6	29	27.3	24	24	24	37
			rata-rata	40.00	37.75	35.75	33.50	30.90	30.75	30.00	29.90	28.05	25.75	25.65	23.10	23.50	23.50	34.00
			nilai	1	0.9438	0.8938	0.8375	0.7725	0.7688	0.75	0.7475	0.7013	0.6438	0.6413	0.5775	0.5875	0.5875	0.85
	30	10	1	41.5	35	33.5	35.5	33.8	24.8	25.2	50.5	50	46.5	46	41.5	41	41.5	40.2
			2	40	37.5	37	35.2	38	32.5	32.6	40.5	40.2	39	36	35.4	37.5	38.6	48.5
			rata-rata	40.75	36.25	35.25	35.35	35.9	28.65	28.9	45.5	45.1	42.75	41	38.45	39.25	40.05	44.35
			nilai	0.4075	0.3625	0.3525	0.3535	0.359	0.2865	0.289	0.455	0.451	0.4275	0.41	0.3845	0.3925	0.4005	0.4435
	60	5	1	43.8	40.5	43.4	37.5	38	37	35	59	57	51	45.2	40.2	20.8	24.6	40.5
			2	47.3	44.5	40.5	37.5	33	30.8	29.8	49.5	44.2	55.5	53.2	49.6	66.5	53.5	49.8
			rata-rata	45.55	42.50	41.95	37.50	35.50	33.90	32.40	54.25	50.60	53.25	49.20	44.90	43.65	39.05	45.15
			nilai	0.2278	0.2125	0.2098	0.1875	0.1775	0.1695	0.162	0.2713	0.253	0.2663	0.246	0.2245	0.2183	0.1953	0.2258

NILAI KEKENTALAN TAMPAK Pa.det

SUHU																				
80°C Menit						90°C Menit						100°C Menit								
1	2	5	10	20	30	0.5	1	2	5	10	20	30	0.5	1	2	5	10	20	30	
24	20	19	19	18	15	27	25.5	24.5	20	22.3	27	29	31	29	30	28.5	27	26	22	
30	28	25	24	21.5	21	30	24	25	27	37	24.5	22.5	30	25	25	27	20	20	13	
27	24	22	21.5	19.75	18	28.5	24.75	24.75	23.5	29.65	25.75	25.75	30.5	27	27.5	27.75	23.5	23	17.5	
1.35	1.2	1.1	1.075	0.9875	0.9	1.425	1.2375	1.2375	1.175	1.4825	1.2875	1.2875	1.525	1.35	1.375	1.3875	1.175	1.15	0.875	
30	28	27.4	32.5	30.5	27	23.2	22.6	23.6	26.5	26.5	34	37	18	17	17.5	21.5	24	20.5	18	
36.5	35.5	34	30.5	31	26	30	31.5	30.6	23.2	15.5	15.5	15.2	25	25.5	24	20	24	22	22	
33.25	31.75	30.70	31.50	30.75	26.50	26.60	27.05	27.10	24.85	21.00	24.75	26.10	21.50	21.25	20.75	20.75	24.00	21.25	20.00	
0.8313	0.7938	0.7675	0.7875	0.7688	0.6625	0.665	0.6763	0.6775	0.6213	0.525	0.6188	0.6525	0.5375	0.5313	0.5188	0.5188	0.6	0.5313	0.5	
38	35.2	30	31	30.5	25.2	40.5	39	37.5	38	31	30	30	34	31.6	32	32.5	30.4	25.5	26.6	
48.5	48.6	45	41	35.5	36.5	33.5	32	31	30.5	33	31	28.5	36.5	35	34.5	36.2	34.8	32.5	34.8	
43.25	41.9	37.5	36	33	30.85	37	35.5	34.25	34.25	32	30.5	29.25	35.25	33.3	33.25	34.35	32.6	29	30.7	
0.4325	0.419	0.375	0.36	0.33	0.3085	0.37	0.355	0.3425	0.3425	0.32	0.305	0.2925	0.3525	0.333	0.3325	0.3435	0.326	0.29	0.307	
37.8	35.2	31.2	29	28	26.5	46	43	42.5	38.4	36.5	35	33	33.6	31	29	31.5	28.3	29.5	31	
47.2	43	35	36	39.5	35.5	37.2	36.5	35	32	30.5	30.5	31.4	36.5	41.5	47.5	50.5	45.5	60	56	
42.50	39.10	33.10	32.50	33.75	31.00	41.60	39.75	38.75	35.20	33.50	32.75	32.20	35.05	36.25	38.25	41.00	36.90	44.75	43.50	
0.2125	0.1955	0.1655	0.1625	0.1688	0.155	0.208	0.1988	0.1938	0.176	0.1675	0.1638	0.161	0.1753	0.1813	0.1913	0.205	0.1845	0.2238	0.2175	

Lampiran 6. Nilai pengukuran kekentalan tampak pure sirsak 2

No Rotor	RPM	Faktor Pengali	Ulangan																	
2	6	50		60°C						70°C										
				Menit						Menit										
				0.5	1	2	5	10	20	30	0.5	1	2	5	10	20	30	0.5	1	
			1	2	2.1	2.1	2.2	2.2	1.6	1.8	1.7	1.6	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
			2	2.1	2.4	2.4	2.5	2.4	1.7	1.4	1.5	1.5	1.4	1.3	1.6	1.4	1.6	1.5	1.5	
			rata-rata	2.05	2.25	2.25	2.35	2.3	1.65	1.6	1.6	1.55	1.45	1.4	1.55	1.45	1.55	1.5	1.5	
			nilai	1.025	1.125	1.125	1.175	1.15	0.825	0.8	0.8	0.775	0.725	0.7	0.775	0.725	0.775	0.75	0.75	
			1	2.6	2.5	2.4	1.6	1.5	1.2	1	2.4	2.3	2.8	2.8	2.7	1.6	2.1	2.2	1.7	
			2	2.60	2.40	2.50	3.00	3.60	3.60	2.50	2.00	1.50	1.60	1.60	1.50	2.50	3.50	1.70	1.70	
			rata-rata	2.6	2.45	2.45	2.3	2.55	2.4	1.75	2.2	1.9	2.2	2.2	2.1	2.05	2.8	1.95	1.7	
			nilai	0.65	0.6125	0.6125	0.575	0.6375	0.6	0.4375	0.55	0.475	0.55	0.55	0.525	0.5125	0.7	0.4875	0.425	
			1	6.5	6	5.9	5	4	2.5	2	4.1	3.6	3.4	2.4	2.4	1.6	1.5	4	3.5	
	2	5.6	4.6	4.3	3.6	3.1	2.7	2	4.6	4	3.4	2.6	2.9	2.9	3	3.4	2.9			
	rata-rata	6.05	5.3	5.1	4.3	3.55	2.6	2	4.35	3.8	3.4	2.5	2.65	2.25	2.25	3.7	3.2			
	nilai	0.605	0.53	0.51	0.43	0.355	0.26	0.2	0.435	0.38	0.34	0.25	0.265	0.225	0.225	0.37	0.32			
	1	8.2	7.2	6.8	4.7	3.7	4.8	2	7	6.6	5.5	4.6	3.8	2.8	2.6	4.4	2.6			
	2	7.60	7.40	6.60	4.40	3.90	2.60	2.00	7.20	6.60	5.90	4.50	3.70	3.60	2.60	5.00	2.00			
	rata-rata	7.9	7.3	6.7	4.55	3.8	3.7	2	7.1	6.6	5.7	4.55	3.75	3.2	2.6	4.7	2.3			
	nilai	0.395	0.365	0.335	0.2275	0.19	0.185	0.1	0.355	0.33	0.285	0.2275	0.1875	0.16	0.13	0.235	0.115			

NILAI KEKENTALAN TAMPAK Pa.det (x10-1)

SUHU																				
80°C					90°C							100°C								
Menit					Menit							Menit								
2	5	10	20	30	0.5	1	2	5	10	20	30	0.5	1	2	5	10	20	30		
1.4	1.4	1.1	1.4	1.5	1.6	1.5	1.5	1.9	1.6	1.6	1.5	0.6	0.4	0.6	0.1	0.1	0.1	0.1		
1.6	1.4	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4	1.5	1.6	1.5	1.5	1.5	1.4	1.6	1.5	1.5	1.6	2	1.8		
1.5	1.4	1.3	1.45	1.5	1.55	1.45	1.5	1.75	1.55	1.55	1.5	1	1	1.05	0.8	0.85	1.05	0.95		
0.75	0.7	0.65	0.725	0.75	0.775	0.725	0.75	0.875	0.775	0.775	0.75	0.5	0.5	0.525	0.4	0.425	0.525	0.475		
2	2.4	3	2.6	1.8	1.5	1.6	1.6	1.1	1.1	2.5	2.5	1.5	1.5	1.5	1.8	2	2.3	2.2		
1.90	2.20	2.50	3.00	3.50	2.20	1.60	2.10	3.00	1.10	2.60	2.00	1.40	1.10	1.00	0.60	0.60	0.10	0.10		
1.95	2.3	2.75	2.8	2.65	1.85	1.6	1.85	2.05	1.1	2.55	2.25	1.45	1.3	1.25	1.2	1.3	1.2	1.15		
0.4875	0.575	0.6875	0.7	0.6625	0.4625	0.4	0.4625	0.5125	0.275	0.6375	0.5625	0.3625	0.325	0.3125	0.3	0.325	0.3	0.2875		
3.3	1.6	1.1	0.9	1	3	2.5	1	1	1.1	1	1	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6		
2.2	2	1.5	1	0.9	3.2	3.1	3.4	1.6	1.3	1	0.7	0.9	0.9	0.7	0.5	0.5	0.9	0.8		
2.75	1.8	1.3	0.95	0.95	3.1	2.8	2.2	1.3	1.2	1	0.85	0.75	0.75	0.65	0.55	0.55	0.75	0.7		
0.275	0.18	0.13	0.095	0.095	0.31	0.28	0.22	0.13	0.12	0.1	0.085	0.075	0.075	0.065	0.055	0.055	0.075	0.07		
1.9	2.9	2.2	2.5	2.7	2.5	1.6	2.2	1.5	1.5	1.1	1.6	1.1	0.9	0.9	1	0.9	0.8	0.8		
1.00	1.00	1.20	1.00	1.10	2.60	2.60	2.00	2.40	1.50	1.50	1.40	1.30	0.90	1.10	1.00	1.50	1.40	1.40		
1.45	1.95	1.7	1.75	1.9	2.55	2.1	2.1	1.95	1.5	1.3	1.5	1.2	0.9	1	1	1.2	1.1	1.1		
0.0725	0.0975	0.085	0.0875	0.095	0.1275	0.105	0.105	0.0975	0.075	0.065	0.075	0.06	0.045	0.05	0.05	0.06	0.055	0.055		

Lampiran 7. Nilai pengukuran kekentalan tampak nektar sirsak

No Rotor	RPM	Faktor Pengali	Ulangan																
				60°C Menit							70°C Menit								
				0.5	1	2	5	10	20	30	0.5	1	2	5	10	20	30	0.5	1
2	6	50	1	0.6	0.5	0.4	0.4	0.2	0.1	0.1	0.6	0.4	0.5	0.6	0.1	0.4	0.2	0.4	0.5
			2	0.6	0.5	0.5	0.5	0.1	0.5	0.3	0.4	0.1	0.4	0.2	0.4	0.1	0.1	0.6	0.2
			rata-rata nilai	0.6	0.5	0.45	0.45	0.15	0.3	0.2	0.5	0.25	0.45	0.4	0.25	0.25	0.15	0.5	0.35
	12	25	1	0.6	0.5	0.6	0.3	0.2	0.2	0.1	0.4	0.4	0.4	0.3	0.1	0.2	0.2	0.4	0.3
			2	0.6	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.6	0.4	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1	0.4	0.5
			rata-rata nilai	0.6	0.45	0.45	0.3	0.2	0.2	0.15	0.5	0.4	0.35	0.25	0.15	0.15	0.15	0.4	0.4
	30	10	1	1.50	1.13	1.13	0.75	0.50	0.50	0.38	1.25	1.00	0.88	0.63	0.38	0.38	0.38	1.00	1.00
			2	0.7	0.5	0.5	0.6	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.4	0.3	0.4	0.3	0.3	0.5	0.4
			rata-rata nilai	0.7	0.4	0.5	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.3	0.3	0.3	0.4	0.3	0.3	0.5	0.4
	60	5	1	0.7	0.45	0.5	0.5	0.45	0.45	0.45	0.5	0.4	0.35	0.3	0.4	0.3	0.3	0.5	0.4
			2	0.7	0.45	0.5	0.5	0.45	0.45	0.45	0.5	0.4	0.35	0.3	0.4	0.3	0.3	0.5	0.4
			rata-rata nilai	0.7	0.45	0.5	0.5	0.45	0.45	0.45	0.5	0.4	0.35	0.3	0.4	0.3	0.3	0.5	0.4
			1	1.5	1.1	1.1	0.9	0.6	0.8	0.6	1	0.9	0.7	1	0.5	1.3	0.7	0.9	0.8
			2	1.1	0.9	1.1	1	0.8	0.9	1.3	0.8	0.8	0.6	0.6	0.9	0.6	0.5	0.7	0.8
			rata-rata nilai	1.3	1	1.1	0.95	0.7	0.85	0.95	0.9	0.85	0.65	0.8	0.7	0.95	0.6	0.8	0.8
				0.65	0.50	0.55	0.48	0.35	0.43	0.48	0.45	0.43	0.33	0.40	0.35	0.48	0.30	0.40	0.40

NILAI KEKENTALAN TAMPAK Pa.det (x10-2)

SUHU																		
80°C					90°C						100°C							
Menit					Menit						Menit							
2	5	10	20	30	0.5	1	2	5	10	20	30	0.5	1	2	5	10	20	30
0.2	0.5	0.3	0.3	0.2	0.4	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.4	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.5	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
0.15	0.3	0.2	0.2	0.15	0.4	0.25	0.15	0.15	0.1	0.1	0.1	0.3	0.15	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
0.75	1.5	1	1	0.75	2	1.25	0.75	0.75	0.5	0.5	0.5	1.5	0.75	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
0.2	0.1	0.12	0.1	0.1	0.4	0.3	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
0.4	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1	0.3	0.2	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1
0.3	0.15	0.11	0.1	0.1	0.25	0.25	0.25	0.15	0.15	0.1	0.1	0.25	0.2	0.2	0.15	0.15	0.1	0.1
0.75	0.38	0.28	0.25	0.25	0.63	0.63	0.63	0.38	0.38	0.25	0.25	0.63	0.50	0.50	0.38	0.38	0.25	0.25
0.2	0.2	0.3	0.1	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.1	0.3	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1
0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3	0.2	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1
0.3	0.3	0.35	0.2	0.25	0.3	0.25	0.3	0.3	0.2	0.25	0.15	0.3	0.2	0.25	0.2	0.15	0.15	0.1
0.3	0.3	0.35	0.2	0.25	0.3	0.25	0.3	0.3	0.2	0.25	0.15	0.3	0.2	0.25	0.2	0.15	0.15	0.1
0.7	0.8	0.6	0.6	0.8	0.8	0.6	0.6	0.7	0.6	0.7	0.4	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	0.4
0.6	0.6	0.6	0.5	0.7	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5	0.7	0.6	0.5	0.5	0.6	0.4	0.5
0.65	0.7	0.6	0.55	0.75	0.75	0.65	0.65	0.65	0.6	0.6	0.45	0.6	0.6	0.55	0.55	0.6	0.55	0.45
0.33	0.35	0.30	0.28	0.38	0.38	0.33	0.33	0.33	0.30	0.30	0.23	0.30	0.30	0.28	0.28	0.30	0.28	0.23

Lampiran 8. Hasil perhitungan shear-stress pure 1

No Rotor	RPM	Shear rate (1/det)																
			60°C								70°C							
			Menit								Menit							
			0.5	1	2	5	10	20	30		0.5	1	2	5	10	20	30	
2	6	1.27	25.96	24.94	26.92	29.63	31.38	27.01	29.15	15.77	14.34	15.13	12.74	15.45	15.2	12.42	18	17.2
	12	2.55	25.48	24.05	22.78	21.34	19.69	19.59	19.11	19.05	17.87	16.41	16.34	14.71	14.97	14.97	21.66	21.18
	30	6.37	25.96	23.1	22.46	22.46	22.87	18.25	18.41	29.99	28.73	27.24	26.12	24.5	25.01	25.52	28.26	27.56
	60	12.74	29.02	27.08	26.73	23.89	22.3	21.6	20.64	34.56	32.24	33.93	31.35	28.61	27.81	24.88	28.77	27.08

SHEAR-STRESS Pa. (x 10-1)

SUHU																			
waktu uji	80°C					90°C							100°C						
	Menit					Menit							Menit						
	2	5	10	20	30	0.5	1	2	5	10	20	30	0.5	1	2	5	10	20	30
	15.29	14.02	13.7	12.58	11.47	18.16	15.77	15.77	14.97	18.89	16.41	16.41	19.43	17.2	17.52	17.68	14.97	14.65	11.15
	20.03	19.59	20.07	19.59	16.88	16.95	17.23	17.27	15.83	13.38	15.77	16.63	13.7	13.54	13.22	13.22	15.29	13.54	12.74
26.7	23.89	22.94	21.02	19.66	23.57	22.62	21.82	21.82	20.39	19.43	18.64	22.46	21.22	21.18	21.82	20.77	18.48	19.56	
24.91	21.09	20.71	21.5	19.75	26.5	25.33	24.69	22.42	21.34	20.87	20.52	22.33	23.1	24.37	26.12	23.54	28.51	27.71	

Lampiran 9. Hasil perhitungan shear-stress pure 2

No Rotor	RPM	Shear rate (1/det)																	
			60°C							70°C									
			Menit							Menit									
			0.5	1	2	5	10	20	30	0.5	1	2	5	10	20	30	0.5	1	
2	6	1.27	1.31	1.43	1.43	1.5	1.47	1.05	1.02	1.02	0.99	0.92	0.89	0.99	0.92	0.99	0.96	0.96	
	12	2.55	1.66	1.56	1.56	1.47	1.62	1.53	1.11	1.4	1.21	1.4	1.4	1.34	1.31	1.78	1.24	1.08	
	30	6.37	3.85	3.38	3.25	2.74	2.26	1.66	1.27	2.77	2.42	2.17	1.59	1.69	1.43	1.43	2.36	2.04	
	60	12.74	5.03	4.64	4.27	2.9	2.42	2.36	1.27	4.52	4.2	3.63	2.9	2.39	2.04	1.66	2.99	1.47	

SHEAR-STRESS Pa. (x 10-1)

SUHU																		
80°C					90°C							100°C						
Menit					Menit							Menit						
2	5	10	20	30	0.5	1	2	5	10	20	30	0.5	1	2	5	10	20	30
0.96	0.89	0.83	0.92	0.96	0.99	0.89	0.96	1.11	0.99	0.99	0.96	0.64	0.64	0.67	0.51	0.54	0.67	0.6
1.24	1.47	1.75	1.78	1.69	1.79	1.02	1.18	1.31	0.7	1.62	1.43	0.92	0.83	0.8	0.76	0.83	0.76	0.73
1.75	1.15	0.8	0.61	0.61	1.98	1.78	1.4	0.83	0.76	0.64	0.54	0.48	0.48	0.41	0.35	0.35	0.48	0.45
0.92	1.24	1.08	1.11	1.21	1.62	1.34	1.34	1.24	0.96	0.64	0.96	0.76	0.57	0.64	0.64	0.76	0.7	0.7

Lampiran 10. Hasil perhitungan shear-stress nektar

No Rotor	RPM	Shear rate (1/det)																
			60°C								70°C							
			Menit								Menit							
			0.5	1	2	5	10	20	30	0.5	1	2	5	10	20	30	0.5	1
2	6	1.27	0.38	0.32	0.29	0.29	0.1	0.19	0.13	0.32	0.16	0.29	0.25	0.16	0.16	0.1	0.32	0.22
	12	2.55	0.38	0.29	0.29	0.19	0.13	0.13	0.1	0.32	0.25	0.22	0.16	0.1	0.1	0.1	0.25	0.25
	30	6.37	0.45	0.29	0.32	0.32	0.29	0.29	0.29	0.32	0.25	0.22	0.19	0.25	0.19	0.19	0.32	0.25
	60	12.74	0.82	0.64	0.7	0.61	0.45	0.54	0.61	0.57	0.54	0.41	0.51	0.45	0.61	0.38	0.51	0.51

SHEAR-STRESS Pa. (x 10⁻¹)

SUHU																			
80°C Menit					90°C Menit							100°C Menit							
2	5	10	20	30	0.5	1	2	5	10	20	30	0.5	1	2	5	10	20	30	
0.1	0.19	0.13	0.13	0.1	0.25	0.16	0.1	0.1	0.06	0.06	0.06	0.19	0.1	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	
0.19	0.1	0.1	0.06	0.06	0.16	0.16	0.16	0.1	0.1	0.06	0.06	0.16	0.13	0.13	0.1	0.1	0.06	0.06	
0.19	0.19	0.22	0.18	0.16	0.19	0.16	0.19	0.19	0.16	0.16	0.16	0.19	0.16	0.16	0.16	0.1	0.1	0.06	
0.41	0.45	0.38	0.35	0.48	0.48	0.41	0.41	0.41	0.38	0.38	0.29	0.38	0.38	0.35	0.35	0.38	0.35	0.29	

Lampiran 11. Pemilihan Model Matematik

Untuk menentukan model matematik dari berbagai parameter yang ada digunakan analisa regresi baik itu regresi linier, logaritmik, maupun eksponensial. Model-model tersebut kemudian diuji tingkat korelasi dan variansinya. Adapun hasil perhitungan model tersebut adalah sebagai berikut :

Tabel 10. Model matematik hubungan antara kekentalan tampak pure 1 dengan suhu

Shear rate (1/det) (men)	t	Model Matematik	r ²	F _{reg.}
1.27	0.5	$\mu=7.13 \cdot 10^{-3} \exp(1742.19/T)$	0.797	11.78
	1	$\mu=1.06 \cdot 10^{-2} \exp(1565.66/T)$	0.718	7.64
	2	$\mu=4.03 \cdot 10^{-2} \exp(1052.90/T)$	0.318	1.40
	5	$\mu=3.79 \cdot 10^{-2} \exp(1003.18/T)$	0.462	2.58
	10	$\mu=7.34 \cdot 10^{-3} \exp(1589.45/T)$	0.568	3.94
	20	$\mu=2.34 \cdot 10^{-2} \exp(1149.98/T)$	0.419	2.16
	30	$\mu=7.09 \cdot 10^{-3} \exp(1572.63/T)$	0.914	31.88
2.55	0.5	$\mu=1.44 \cdot 10^{-3} \exp(2099.42/T)$	0.873	20.62
	1	$\mu=1.07 \cdot 10^{-3} \exp(2166.40/T)$	0.911	30.71
	2	$\mu=8.03 \cdot 10^{-4} \exp(2220.14/T)$	0.860	18.43
	5	$\mu=4.15 \cdot 10^{-3} \exp(1558.00/T)$	0.769	9.99
	10	$\mu=2.41 \cdot 10^{-3} \exp(1748.66/T)$	0.494	2.93
	20	$\mu=1.90 \cdot 10^{-2} \exp(1016.89/T)$	0.383	1.86
	30	$\mu=5.53 \cdot 10^{-2} \exp(650.08/T)$	0.187	0.69
6.37	0.5	$\mu=4.91 \cdot 10^{-3} \exp(1437.53/T)$	0.850	17.00
	1	$\mu=5.14 \cdot 10^{-3} \exp(1369.27/T)$	0.835	15.18
	2	$\mu=1.19 \cdot 10^{-2} \exp(1077.43/T)$	0.626	5.02
	5	$\mu=3.48 \cdot 10^{-2} \exp(689.22/T)$	0.483	2.80
	10	$\mu=2.64 \cdot 10^{-2} \exp(777.11/T)$	0.611	4.71
	20	$\mu=4.13 \cdot 10^{-2} \exp(631.32/T)$	0.513	3.16
	30	$\mu=7.60 \cdot 10^{-3} \exp(444.85/T)$	0.331	1.48

Tabel 10. (lanjutan)

12.74	0.5	$\mu=3.02 \cdot 10^{-2} \exp(524.42/T)$	0.387	1.89
	1	$\mu=3.89 \cdot 10^{-2} \exp(432.09/T)$	0.303	1.30
	2	$\mu=1.73 \cdot 10^{-1} \exp(-115.27/T)$	0.051	0.16
	5	$\mu=1.30 \exp(-834.31/T)$	0.524	3.30
	10	$\mu=3.48 \exp(-1180.46/T)$	0.626	5.02
	20	$\mu=1.21 \exp(-768.14/T)$	0.562	3.85
	30	$\mu=2.62 \cdot 10^{-2} \exp(650.03/T)$	0.162	0.58

Hasil perhitungan model matematik hubungan antara kekentalan tampak pure 1 dengan suhu pada berbagai shear-rate, menunjukkan bahwa untuk taraf signifikansi 5% ($F_{5\%}=10.13$, Hadi 1983), pada shear rate 1.27 det^{-1} dan 6.37 det^{-1} terdapat 5 model yang tidak signifikan. Pada shear-rate 12.74 det^{-1} semua model signifikan karena lebih besar dari nilai F, sedangkan pada 2.55 det^{-1} ada 4 model yang tidak signifikan. Jadi untuk pure 1 dipilih model shear-rate 2.55 det^{-1} .

Untuk pure 2 (Tabel 11), dengan taraf signifikan 5%, pada shear-rate 1.26 det^{-1} tidak ada model yang signifikan. Shear-rate 12.74 memiliki 3 model yang signifikan. Shear-rate 6.37 dan 2.55 det^{-1} masing-masing 5 model signifikan.

Tapi bila diambil taraf signifikan 1% ($F_{1\%}=34.12$), maka shear-rate 6.37 memiliki model signifikan lebih banyak yakni 3 model, sehingga pada shear-rate 6.37 ini model dipilih.

Untuk pure 2 shear-rate 12.61 det^{-1} hanya memiliki 1 model yang tidak signifikan sehingga model pada shear-rate ini dipilih.

Tabel 11. Model matematik hubungan antara kekentalan tampak pure 2 dengan suhu

Shear rate (1/det) (men)	t	Model Matematik	r^2	F _{reg.}
1.27	0.5	$\mu=4.34 \cdot 10^{-4} \exp(1816.54/T)$	0.763	9.66
	1	$\mu=1.62 \cdot 10^{-4} \exp(2160.61/T)$	0.735	8.32
	2	$\mu=3.94 \cdot 10^{-4} \exp(1852.34/T)$	0.179	0.65
	5	$\mu=8.19 \cdot 10^{-5} \exp(2392.76/T)$	0.057	0.18
	10	$\mu=7.07 \cdot 10^{-5} \exp(2441.60/T)$	0.025	0.08
	20	$\mu=4.38 \cdot 10^{-3} \exp(977.26/T)$	0.458	2.54
	30	$\mu=1.81 \cdot 10^{-3} \exp(1289.11/T)$	0.911	0.37
2.55	0.5	$\mu=4.13 \cdot 10^{-4} \exp(1685.31/T)$	0.636	5.24
	1	$\mu=3.02 \cdot 10^{-4} \exp(1756.48/T)$	0.855	17.69
	2	$\mu=2.25 \cdot 10^{-4} \exp(1883.96/T)$	0.764	9.71
	5	$\mu=4.04 \cdot 10^{-4} \exp(1690.96/T)$	0.925	37
	10	$\mu=4.85 \cdot 10^{-5} \exp(2419.57/T)$	0.881	22.20
	20	$\mu=1.04 \cdot 10^{-3} \exp(1384.14/T)$	0.945	51.55
	30	$\mu=1.55 \cdot 10^{-3} \exp(1229.21/T)$	0.905	28.58
6.37	0.5	$\mu=6.54 \cdot 10^{-9} \exp(5407.01/T)$	0.968	90.75
	1	$\mu=1.81 \cdot 10^{-8} \exp(5011.37/T)$	0.989	269.73
	2	$\mu=4.99 \cdot 10^{-9} \exp(5418.17/T)$	0.879	21.79
	5	$\mu=1.70 \cdot 10^{-9} \exp(5685.66/T)$	0.475	2.71
	10	$\mu=3.00 \cdot 10^{-9} \exp(5449.34/T)$	0.166	0.60
	20	$\mu=1.70 \cdot 10^{-7} \exp(3981.62/T)$	0.910	30.30
	30	$\mu=2.81 \cdot 10^{-7} \exp(3768.00/T)$	0.960	72.00
12.74	0.5	$\mu=9.81 \cdot 10^{-10} \exp(964.04/T)$	0.945	51.55
	1	$\mu=2.49 \cdot 10^{-10} \exp(686.66/T)$	0.790	11.29
	2	$\mu=5.52 \cdot 10^{-10} \exp(619.23/T)$	0.604	4.58
	5	$\mu=1.47 \cdot 10^{-8} \exp(207.52/T)$	0.889	24.03
	10	$\mu=4.75 \cdot 10^{-8} \exp(268.81/T)$	0.729	8.07
	20	$\mu=1.61 \cdot 10^{-7} \exp(-320.18/T)$	0.830	14.65
	30	$\mu=5.02 \cdot 10^{-5} \exp(-341.22/T)$	0.638	5.27

Tabel 12. Model matematik hubungan antara kekentalan tampak nektar dengan suhu

Shear rate (1/det) (men)	t	Model Matematik	r ²	F _{reg.}
1.27	0.5	$\mu=3.95 \cdot 10^{-9} \exp(5329.36/T)$	0.900	27.00
	1	$\mu=2.95 \cdot 10^{-6} \exp(2979.57/T)$	0.343	1.57
	2	$\mu=5.46 \cdot 10^{-9} \exp(5106.95/T)$	0.873	20.62
	5	$\mu=1.05 \cdot 10^{-8} \exp(4916.43/T)$	0.068	0.22
	10	$\mu=1.99 \cdot 10^{-5} \exp(2089.79/T)$	0.421	2.18
	20	$\mu=1.78 \cdot 10^{-7} \exp(3779.06/T)$	0.911	30.71
	30	$\mu=1.21 \cdot 10^{-5} \exp(2229.95/T)$	0.008	0.024
2.55	0.5	$\mu=1.85 \cdot 10^{-6} \exp(3007.98/T)$	0.997	997.00
	1	$\mu=5.48 \cdot 10^{-6} \exp(2573.69/T)$	0.867	19.56
	2	$\mu=7.37 \cdot 10^{-6} \exp(2440.06/T)$	0.931	40.48
	5	$\mu=6.21 \cdot 10^{-6} \exp(2345.10/T)$	0.946	52.56
	10	$\mu=5.49 \cdot 10^{-4} \exp(700.96/T)$	0.770	10.04
	20	$\mu=6.51 \cdot 10^{-4} \exp(601.58/T)$	0.911	30.71
	30	$\mu=4.50 \cdot 10^{-3} \exp(-99.38/T)$	0.036	0.11
6.37	0.5	$\mu=1.82 \cdot 10^{-6} \exp(2743.08/T)$	0.901	27.30
	1	$\mu=2.19 \cdot 10^{-6} \exp(2572.51/T)$	0.864	19.06
	2	$\mu=1.38 \cdot 10^{-5} \exp(1930.30/T)$	0.890	24.27
	5	$\mu=4.71 \cdot 10^{-6} \exp(2283.28/T)$	0.753	9.15
	10	$\mu=1.17 \cdot 10^{-7} \exp(3560.50/T)$	0.910	30.30
	20	$\mu=5.52 \cdot 10^{-7} \exp(2969.27/T)$	0.829	19.54
	30	$\mu=4.94 \cdot 10^{-9} \exp(4582.98/T)$	0.976	122.00
12.74	0.5	$\mu=9.69 \cdot 10^{-6} \exp(2141.48/T)$	0.960	72.00
	1	$\mu=4.16 \cdot 10^{-5} \exp(1596.39/T)$	0.984	184.50
	2	$\mu=2.83 \cdot 10^{-5} \exp(1701.26/T)$	0.711	7.38
	5	$\mu=4.08 \cdot 10^{-5} \exp(1580.97/T)$	0.988	247
	10	$\mu=6.17 \cdot 10^{-4} \exp(579.27/T)$	0.763	9.66
	20	$\mu=3.13 \cdot 10^{-5} \exp(1656.60/T)$	0.673	6.17
	30	$\mu=6.70 \cdot 10^{-6} \exp(2163.63/T)$	0.737	8.41

Hasil perhitungan model matematik hubungan antara konsistensi pure 1 dengan suhu terdapat pada Tabel 13.

Tabel 13. Model matematik hubungan antara konsistensi pure 1 dengan suhu

No. Rotor	t (men)	Model Matematik	r^2	F _{reg.}
2	0.5	$m=1.08 \cdot 10^{-1} \exp(981.55/T)$	0.340	1.55
	1	$m=1.35 \cdot 10^{-1} \exp(885.46/T)$	0.250	1.00
	2	$m=5.85 \cdot 10^{-2} \exp(1168.06/T)$	0.379	1.83
	5	$m=2.38 \cdot 10^{-2} \exp(1474.23/T)$	0.323	1.43
	10	$m=1.87 \cdot 10^{-2} \exp(1569.52/T)$	0.420	2.17
	20	$m=4.81 \cdot 10^{-3} \exp(2037.52/T)$	0.752	9.10
	30	$m=3.46 \cdot 10^{-3} \exp(2132.97/T)$	0.511	3.13

Untuk pure 2 (Tabel 14), terdapat hanya 1 model yang signifikan yakni pada waktu 10 menit.

Tabel 14. Model matematik hubungan antara konsistensi pure 2 dengan suhu

No. Rotor	t (men)	Model Matematik	r^2	F _{reg.}
2	0.5	$m=4.64 \cdot 10^{-2} \exp(243.43/T)$	0.032	0.10
	1	$m=7.10 \cdot 10^{-3} \exp(844.80/T)$	0.441	2.37
	2	$m=7.67 \cdot 10^{-3} \exp(881.67/T)$	0.298	1.27
	5	$m=1.15 \cdot 10^{-3} \exp(1553.57/T)$	0.349	1.61
	10	$m=1.87 \cdot 10^{-4} \exp(2185.95/T)$	0.790	11.29
	20	$m=3.33 \cdot 10^{-2} \exp(387.07/T)$	0.036	0.11
	30	$m=3.56 \cdot 10^{-3} \exp(1169.99/T)$	0.323	1.43

Dan untuk pure 1 (Tabel 16), shear-rate 6.37 det^{-1} memiliki 4 model yang signifikan (taraf signifikan $5\%=6.61$, Hadi 1983), jadi dipilih shear-rate 6.37^{-1} .

Tabel 15. Model matematik hubungan antara konsistensi nektar dengan suhu

No. Rotor	t (men)	Model Matematik	r ²	F _{reg.}
2	0.5	$m=2.01 \cdot 10^{-5} \exp(2468.46/T)$	0.928	38.67
	1	$m=2.77 \cdot 10^{-6} \exp(3021.16/T)$	0.791	11.35
	2	$m=1.71 \cdot 10^{-8} \exp(4741.18/T)$	0.905	28.58
	5	$m=2.97 \cdot 10^{-8} \exp(4501.72/T)$	0.972	104.14
	10	$m=1.56 \cdot 10^{-5} \exp(2145.20/T)$	0.607	4.63
	20	$m=7.75 \cdot 10^{-8} \exp(3993.46/T)$	0.942	48.72
	30	$m=5.53 \cdot 10^{-6} \exp(2428.30/T)$	0.953	60.83

Tabel 16. Model matematik hubungan antara kekentalan tampak pure 1 dengan waktu

Shear rate	T (K)	Model Matematik	r ²	F _{reg.}
1.27	333	$\log \mu = 0.326 + 1.275 \cdot 10^{-3} t$	0.167	1.00
	343	$\log \mu = 0.070 - 1.730 \cdot 10^{-3} t$	0.217	1.39
	353	$\log \mu = 0.110 - 5.692 \cdot 10^{-3} t$	0.825	23.57
	363	$\log \mu = 0.113 + 1.070 \cdot 10^{-4} t$	0.001	0.005
	373	$\log \mu = 0.162 - 6.767 \cdot 10^{-3} t$	0.907	48.76
2.55	333	$\log \mu = -0.039 - 3.623 \cdot 10^{-3} t$	0.618	8.09
	343	$\log \mu = -0.167 - 2.803 \cdot 10^{-3} t$	0.552	6.16
	353	$\log \mu = -0.082 - 2.774 \cdot 10^{-3} t$	0.803	20.38
	363	$\log \mu = -0.193 - 6.390 \cdot 10^{-4} t$	0.034	0.18
	373	$\log \mu = -0.267 - 5.852 \cdot 10^{-4} t$	0.070	0.38
6.37	333	$\log \mu = -0.422 - 4.434 \cdot 10^{-3} t$	0.806	20.77
	343	$\log \mu = -0.363 - 1.734 \cdot 10^{-3} t$	0.463	4.31
	353	$\log \mu = -0.372 - 5.100 \cdot 10^{-3} t$	0.900	45.00
	363	$\log \mu = -0.449 - 3.089 \cdot 10^{-3} t$	0.904	47.08
	373	$\log \mu = -0.466 - 2.147 \cdot 10^{-3} t$	0.678	10.53
12.74	333	$\log \mu = -0.675 - 4.557 \cdot 10^{-3} t$	0.816	22.17
	343	$\log \mu = -0.581 - 4.403 \cdot 10^{-3} t$	0.923	59.94
	353	$\log \mu = -0.697 - 4.318 \cdot 10^{-3} t$	0.582	6.96
	363	$\log \mu = -7.100 - 3.384 \cdot 10^{-3} t$	0.734	13.80
	373	$\log \mu = -0.737 - 2.995 \cdot 10^{-3} t$	0.665	9.93

Untuk pure 2, pada shear-rate 2.55 dan 12.74 det^{-1} masing-masing memiliki 3 model signifikan, sehingga yang dipilih adalah pada shear-rate 6.37 dengan 4 model signifikan.

Tabel 17. Model matematik hubungan antara kekentalan tampak pure 2 dengan waktu

Shear rate	T (K)	Model Matematik	r^2	F _{reg.}
1.27	333	$\log \mu = -0.937 - 5.415 \times 10^{-3}t$	0.748	14.84
	343	$\log \mu = -1.122 + 6.966 \times 10^{-5}t$	0.0014	0.007
	353	$\log \mu = -1.140 + 1.339 \times 10^{-5}t$	0.0001	0.001
	363	$\log \mu = -1.111 - 6.516 \times 10^{-5}t$	0.001	0.005
	373	$\log \mu = -1.322 + 2.011 \times 10^{-4}t$	0.0024	0.012
2.55	333	$\log \mu = -1.192 - 4.064 \times 10^{-3}t$	0.637	8.77
	343	$\log \mu = -1.290 + 3.024 \times 10^{-3}t$	0.440	3.93
	353	$\log \mu = -1.302 + 5.759 \times 10^{-3}t$	0.592	7.25
	363	$\log \mu = -1.381 + 4.502 \times 10^{-3}t$	0.195	1.21
	373	$\log \mu = -1.481 - 1.972 \times 10^{-3}t$	0.462	4.29
6.37	333	$\log \mu = -1.260 - 1.547 \times 10^{-2}t$	0.971	167.41
	343	$\log \mu = -1.450 - 7.911 \times 10^{-3}t$	0.626	8.37
	353	$\log \mu = -1.545 - 1.894 \times 10^{-2}t$	0.788	18.58
	363	$\log \mu = -1.634 - 1.659 \times 10^{-2}t$	0.725	13.18
	373	$\log \mu = -1.147 - 1.969 \times 10^{-4}t$	0.0016	0.008
12.74	333	$\log \mu = -1.451 - 1.782 \times 10^{-2}t$	0.885	38.48
	343	$\log \mu = -1.507 - 1.395 \times 10^{-2}t$	0.894	42.17
	353	$\log \mu = -1.925 - 4.602 \times 10^{-3}t$	0.093	0.51
	363	$\log \mu = -1.953 - 6.982 \times 10^{-3}t$	0.663	9.48
	373	$\log \mu = -2.278 + 2.225 \times 10^{-3}t$	0.350	2.69

Penentuan model matematik untuk nektar (Tabel 18) menghasilkan pilihan model pada shear-rate 2.51 det^{-1} yang memiliki 3 model yang signifikan.

Tabel 18. Model matematik hubungan antara kekentalan tampak nektar

Shear rate	T (K)	Model Matematik	r ²	F _{reg.}
1.27	333	$\log \mu = -1.631 - 1.393 \cdot 10^{-2} t$	0.490	4.80
	343	$\log \mu = -1.694 - 1.348 \cdot 10^{-2} t$	0.673	10.29
	353	$\log \mu = -1.813 - 1.082 \cdot 10^{-2} t$	0.381	3.08
	363	$\log \mu = -2.018 - 2.179 \cdot 10^{-3} t$	0.011	0.06
	373	$\log \mu = -2.255 - 2.152 \cdot 10^{-3} t$	0.132	0.76
2.55	333	$\log \mu = -1.919 - 1.916 \cdot 10^{-2} t$	0.794	19.27
	343	$\log \mu = -2.043 - 1.630 \cdot 10^{-2} t$	0.685	10.87
	353	$\log \mu = -2.111 - 2.030 \cdot 10^{-2} t$	0.743	14.46
	363	$\log \mu = -2.281 - 4.075 \cdot 10^{-3} t$	0.081	0.44
	373	$\log \mu = -2.365 - 1.017 \cdot 10^{-2} t$	0.088	0.48
6.37	333	$\log \mu = -2.276 - 3.102 \cdot 10^{-3} t$	0.248	1.65
	343	$\log \mu = -2.399 - 4.806 \cdot 10^{-3} t$	0.404	3.39
	353	$\log \mu = -2.416 - 8.610 \cdot 10^{-3} t$	0.547	6.04
	363	$\log \mu = -2.533 - 8.206 \cdot 10^{-3} t$	0.669	10.11
	373	$\log \mu = -2.613 - 1.287 \cdot 10^{-2} t$	0.832	24.76
12.74	333	$\log \mu = -2.280 - 3.090 \cdot 10^{-3} t$	0.219	0.86
	343	$\log \mu = -2.389 - 2.408 \cdot 10^{-3} t$	0.129	1.26
	353	$\log \mu = -2.447 - 1.489 \cdot 10^{-3} t$	0.075	0.41
	363	$\log \mu = -2.453 - 5.487 \cdot 10^{-3} t$	0.841	26.45
	373	$\log \mu = -2.523 - 2.977 \cdot 10^{-3} t$	0.674	10.34

Tabel 19. Model matematik hubungan antara konsistensi pure 1 dengan waktu

No. Rotor	T (K)	Model Matematik	r^2	$F_{reg.}$
2	333	$\log m = 0.402 + 3.502 \cdot 10^{-4}t$	0.032	0.17
	343	$\log m = 0.121 - 1.514 \cdot 10^{-3}t$	0.264	1.79
	353	$\log m = 0.210 - 2.058 \cdot 10^{-3}t$	0.274	1.89
	363	$\log m = 0.174 + 5.717 \cdot 10^{-4}t$	0.097	0.54
	373	$\log m = 0.184 - 6.377 \cdot 10^{-3}t$	0.937	74.37

Tabel 20. Model matematik hubungan antara konsistensi pure 2 dengan waktu

No. Rotor	T (K)	Model Matematik	r^2	$F_{reg.}$
2	333	$\log m = -0.926 - 1.898 \cdot 10^{-3}t$	0.185	1.13
	343	$\log m = -1.108 + 4.839 \cdot 10^{-3}t$	0.847	27.68
	353	$\log m = -1.008 + 2.973 \cdot 10^{-3}t$	0.346	2.65
	363	$\log m = -1.002 + 2.737 \cdot 10^{-3}t$	0.166	0.10
	373	$\log m = -1.154 - 2.012 \cdot 10^{-3}t$	0.162	0.10

Tabel 21. Model matematik hubungan antara konsistensi nektar dengan waktu

No. Rotor	T (K)	Model Matematik	r^2	$F_{reg.}$
2	333	$\log m = -1.622 - 1.785 \cdot 10^{-2}t$	0.673	10.29
	343	$\log m = -1.696 - 1.671 \cdot 10^{-2}t$	0.759	15.75
	353	$\log m = -1.799 - 1.749 \cdot 10^{-2}t$	0.696	11.45
	363	$\log m = -1.967 - 1.837 \cdot 10^{-2}t$	0.694	11.34
	373	$\log m = -2.111 - 1.286 \cdot 10^{-2}t$	0.489	4.78

Dalam pemilihan model matematik hubungan antara kekentalan tampak dengan suhu dan waktu, diperoleh 1 model dari tiap produk dengan nilai F_{reg} terbesar.

Untuk pure 1 dipilih model pada shear-rate 6.37 det^{-1} . Disini dipakai taraf signifikan 5% ($F_{5\%}=3.31$, Hadi 1983).

Model matematik pada shear-rate 6.37 det^{-1} juga dipilih untuk pure 2.

Tabel 22. Model matematik hubungan antara kekentalan tampak pure sirsak 1 dengan suhu dan waktu

No.	Shear	Model	r^2	$F_{reg.}$
Rotor	rate	Matematik		
1.27	$\mu=4.02 \cdot 10^{-2} \exp(1263.04/T - 6.83 \cdot 10^{-3}t)$		0.347	8.49
2.55	$\mu=3.69 \cdot 10^{-15} \exp(11591.01/T - 4.90 \cdot 10^{-3}t)$		51.45	-16.32
2	6.37	$\mu=1.28 \cdot 10^{-1} \exp(388.53/T - 7.60 \cdot 10^{-3}t)$	0.472	14.29
12.74	$\mu=8.51 \cdot 10^{-2} \exp(302.17/T - 2.15 \cdot 10^{-3}t)$		0.076	1.31

Tabel 23. Model matematik hubungan antara kekentalan tampak pure sirsak 2 dengan suhu dan waktu

No.	Shear	Model	r^2	$F_{reg.}$
Rotor	rate	Matematik		
1.27	$\mu=3.29 \cdot 10^{-4}$	$\exp(1894.20/T - 2.55 \cdot 10^{-3}t)$	0.696	36.71
2.55	$\mu=3.09 \cdot 10^{-4}$	$\exp(1769.20/T + 3.38 \cdot 10^{-3}t)$	0.533	18.30
2	6.37	$\mu=1.24 \cdot 10^{-8} \exp(5106.52/T - 2.76 \cdot 10^{-2}t)$	0.825	75.56
12.74	$\mu=4.50 \cdot 10^{-12}$	$\exp(7713.52/T - 1.86 \cdot 10^{-2}t)$	2.64	-25.75

Model matematik pada shear-rate 2.55 det^{-1} dipilih untuk produk nektar (Tabel 24).

Untuk model hubungan antara konsistensi tiap produk terhadap suhu dan waktu, juga dipilih model dengan nilai F_{reg} terbesar.

Tabel 24. Model matematik hubungan antara kekentalan tampak nektar sirsak dengan suhuan waktu

No.	Shear	Model	r ²	F _{reg.}
Rotor	rate	Matematik		
2	1.27	$\mu=1.09 \cdot 10^{-6} \exp(3340.50/T - 2.81 \cdot 10^{-2}t)$	0.679	33.86
	2.55	$\mu=1.55 \cdot 10^{-5} \exp(2176.61/T - 3.77 \cdot 10^{-2}t)$	0.884	121.93
	6.37	$\mu=7.76 \cdot 10^{-7} \exp(2972.46/T - 1.73 \cdot 10^{-2}t)$	0.877	114.55
	12.61	$\mu=3.20 \cdot 10^{-5} \exp(1681.97/T - 7.36 \cdot 10^{-3}t)$	0.740	45.51

Tabel 25. Model matematik hubungan antara konsistensi pure sirsak 1, pure sirsak 2, dan nektar dengan suhu dan waktu

No.	Produk	Model	r ²	F _{reg.}
Rotor		Matematik		
2	Pure 1	$m=2.73 \cdot 10^{-2} \exp(1444.57/T - 3.63 \cdot 10^{-2}t)$	0.639	28.27
	Pure 2	$m=4.72 \cdot 10^{-3} \exp(1043.81/T + 3.06 \cdot 10^{-3}t)$	0.286	6.42
	Nektar	$m=1.15 \cdot 10^{-6} \exp(3328.54/T - 3.83 \cdot 10^{-2}t)$	0.777	55.75