SIFAT REOLOGI LARUTAN TAPIOKA

Danu Ariono, Lestri Fajrinia, Ria Julyana, Manullang

Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha 10 Bandung 40132.

danu@che.itb.ac.id

Abstrak

Salah satu karakteristik pati tapioka adalah peningkatan kemampuan dalam menyerap air yang menyebabkan nilai viskositas larutan tapioka turut berubah. Perubahan nilai viskositas ini dibahas dalam ilmu reologi. Pengetahuan mengenai sifat reologi pasta tapioka ini sangat diperlukan dalam perancangan proses maupun sistem utilitas pabrik. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menentukan hubungan antara nilai viskositas larutan tapioka terhadap perubahan temperatur dan konsentrasi pati serta memodelkan perilaku reologis dari larutan tapioka. Penelitian dilakukan dengan menghidrolisis pati tapioka menggunakan katalis enzim α -amylase. Variasi yang dilakukan dalam penelitian ini adalah konsentrasi pati tapioka dalam umpan sebesar 20, 30 dan 40%-b, serta temperatur operasi sebesar 55, 70 dan 900°C. Pengukuran nilai viskositas larutan pati tapioka dilakukan dengan menggunakan Brookfield Viscometer model RVF serial 76452. Hasil percobaan menunjukkan bahwa nilai viskositas larutan tapioka akan meningkat seiring dengan menurunnya temperatur larutan, dan meningkatnya konsentrasi pati tapioka. Pada setiap variasi, nilai viskositas larutan tapioka tak termodifikasi lebih tinggi bila dibandingkan dengan viskositas larutan tapioka termodifikasi. Larutan tapioka termodifikasi bersifat sebagai fluida pseudoplastic dengan rentang nilai viskositas antara 9.000-460.000 cP, sedangkan larutan tapioka termodifikasi bersifat sebagai fluida Bingham dengan nilai viskositas antara 40-240 cP

Kata Kunci : reologi; pati tapioka; viskositas

Abstract

The special characteristic of tapioca starch is raising the water absorption index (WAI) which causing the value of tapioca starch's viscosity varying. Changing of viscosity is discussed in rheology. Knowledge about rheology of tapioca starch is crucial for process and utility design. The objectives of this research are to determine the correlation of tapioca starch viscosity with the changes of temperature and tapioca starch concentration and also to model the rheology of tapioca starch. Research will be conducted by hydrolyzing tapioca starch by α -amylase. The experimental variables are tapioca starch concentration (20, 30 and 40%-wt) and operation temperature (55, 70 and 900 °C). Tapioca starch viscosity is measured by Brookfield Viscometer model RVF serial 76452. From the research results we can conclude that viscosity of tapioca starch will increase by decreasing temperature and also viscosity of tapioca starch will increase by increasing tapioca starch concentration. For the same condition, viscosity of unmodified tapioca starch is higher than modified one. Modified tapioca starch is pseudo-plastic fluid with 9.000-460.000 cP of viscosity while unmodified one is Bingham fluid with 40-240 cP of viscosity.

Key words: rheology, tapioca starch, viscosity

1. Pendahuluan

Penggunaan pati tapioka sebagai bahan baku maupun aditif dalam proses industri tidak hanya terbatas pada industri pangan. Industri-industri seperti industri tekstil, makanan ternak, kertas, lem, aluminium dan besi tuang, kosmetik, farmasi, detergen, baterai, serta industri fermentasi menggunakan pati tapioka sebagai bahan baku utama. Diperkirakan bahwa kebutuhan tapioka dunia pada tahun 2010 akan mencapai tujuh puluh juta ton (Anonim, 2005).

Sebagai bahan organik dengan struktur molekul yang kompleks, tapioka memiliki sifat-sifat yang spesifik. Salah satu karakteristik dari tapioka adalah kapasitas penyerapan air yang rendah pada suhu kamar, tetapi meningkat dengan adanya peningkatan temperatur. Peningkatan kemampuan dalam menyerap air tersebut menyebabkan nilai viskositas larutan tapioka turut berubah. Perubahan nilai viskositas ini dibahas dalam ilmu reologi.

Analisis sifat reologi memiliki peran yang sangat penting dalam industri pengolahan pasta tapioka. Kualitas produk hasil pengolahan tapioka dapat ditingkatkan dengan cara memanfaatkan sifat reologi pasta tapioka. Selain itu, proses instrumentasi dalam industri-industri pengolahan tapioka perlu didasarkan pada perancangan yang mempertimbangkan sifat reologi pasta tapioka. Dengan adanya faktor koreksi pada sistem fluida, diharapkan proses produksi dapat berlangsung secara optimal, dan biaya produksi dapat ditekan.

Mengingat pentingnya pengetahuan mengenai sifat reologi pasta tapioka, maka perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui hubungan antara kondisi operasi terhadap nilai viskositas sehingga dapat diketahui sifat reologi dari pasta tapioka.

Kondisi operasi yang mempengaruhi nilai viskositas meliputi konsentrasi, temperatur, pH, dan waktu operasi. Pada penelitian ini, permasalahan dibatasi pada pengaruh konsentrasi dan temperatur larutan tapioka terhadap nilai viskositas larutan tapioka termodifikasi maupun tak termodifikasi. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan hubungan antara nilai viskositas larutan tapioka terhadap perubahan temperatur dan konsentrasi pati, dan memodelkan perilaku reologis dari larutan tapioka.

2. Fundamental

Pati merupakan cadangan karbohidrat (polisakarida) pada tumbuhan yang berbentuk granula dengan ukuran, bentuk dan karakteristik fisik yang spesifik untuk setiap spesies tumbuhan. Pati biasanya disimpan oleh tanaman

di akar, biji, daun, buah, dan batang tanaman. Rumus molekul umum pati adalah $(C_6H_{10}O_5)_n$. Pati olahan yang dijual di pasaran berbentuk tepung putih, tidak berbau, tidak berasa, dan ditemukan dalam bentuk granula. Pati memiliki karakteristik kimia dan fisika yang unik dibandingkan dengan sumber karbohidrat yang lain. Keunikan pati ini dikarenakan pati terdapat di alam dalam bentuk granula. Granula pati bersifat padat, tidak larut dalam air dan memiliki kapasitas hidrasi yang terbatas dalam air dingin (temperatur kamar). Pati akan terdispersi dalam air, menghasilkan *slurry* dengan viskositas rendah yang dapat dengan mudah dicampur dan di pompa walaupun dalam konsentrasi lebih dari 35%. Peningkatan viskositas terjadi ketika granula pati dipanaskan. Pemanasan 5% *slurry* pati (tidak termodifikasi) pada 80°C dengan pengadukan akan menghasilkan viskositas yang tinggi. Keunikan pati yang kedua adalah karena pati terdiri dari dua jenis polimer (polisakarida) yaitu amilosa dan amilopektin (Fennema, 1996).

Untuk keperluan industri, pati biasanya dimodifikasi terlebih dahulu agar memiliki sifat yang sesuai dengan penggunaannya. Modifikasi pati merupakan proses pengubahan sifat-sifat alami dari pati. Secara umum ada dua tipe modifikasi pati yaitu modifikasi kimiawi dan modifikasi fisika.

Reologi membahas tentang deformasi dan aliran dari suatu material, yang meliputi juga sifat-sifat mekanisnya. Hukum Newton menyatakan bahwa hubungan antara *shear rate*

$\left(\frac{dv_x}{dy}\right)$ dan *shear stress* (τ_{yx}) pada fluida

newtonian adalah linier dengan faktor pengali yang disebut viskositas. Sedangkan fluida yang kelakuannya tidak mengikuti Hukum Newton tentang viskositas dikategorikan sebagai fluida non-Newtonian (*non-Newtonian fluid*) [Bird, dkk, 1960].

Beberapa model yang menyatakan hubungan antara (τ_{yx}) dan $\left(\frac{dv_x}{dy}\right)$ pada fluida non-newtonian diantaranya adalah :

The Bingham Model

Bentuk persamaan dari Bingham's Model adalah :

$$\tau_{yx} = -\mu_0 \frac{dv_x}{dy} \pm \tau_0 \quad \text{jika} \quad |\tau_{yx}| > \tau_0 \quad (1)$$

$$\frac{dv_x}{dy} = 0 \quad \text{jika} \quad |\tau_{yx}| < \tau_0 \quad (2)$$

Tanda positif untuk τ_0 di ruas kanan berlaku untuk $\tau_{yx} > 0$ dan tanda negatif berlaku bila $\tau_{yx} < 0$. Persamaan kedua menyatakan bahwa selama $|\tau_{yx}|$ lebih kecil dari τ_0 , maka fluida berkelakuan sebagai benda yang kaku (*rigid*) seperti benda padat. Persamaan yang pertama menunjukkan bahwa bila terdapat *shear stress* yang lebih besar dari τ_0 , fluida akan bergerak mengikuti pola gerak fluida Newtonian.

The Ostwald-de Waele Model

Bentuk persamaan dari The Ostwald-de Waele Model adalah :

$$\tau_{yx} = -m \left| \frac{dv_x}{dy} \right|^{n-1} \frac{dv_x}{dy} \quad (3)$$

Bila $n = 1$, maka fluida berupa fluida Newtonian dengan nilai viskositas sebesar m . Bila $n < 1$, kurva hubungan *shear stress* terhadap *shear rate* menunjukkan harga η , yang akan makin

mengecil dengan kenaikan $\left(\frac{dv_x}{dy} \right)$. Fluida

yang berkelakuan seperti ini disebut sebagai fluida *pseudoplastic*. Sebaliknya, bila $n > 1$, maka η makin membesar dengan kenaikan

harga $\left(\frac{dv_x}{dy} \right)$, dan fluidanya berkelakuan sebagai fluida *dilatant*.

The Ellis-Sisko Model

Pada beberapa fluida, ketika *basic shear diagram* digambarkan dengan lengkap, maka kecenderungan plot antara *shear stress* dan *shear rate* menunjukkan bahwa kondisi material *pseudoplastic* terbagi kedalam tiga bagian, yaitu bagian Newtonian bawah, rejim *pseudoplastic* dan rejim newtonian atas. Ketika *shear rate* sangat rendah, maka fluida pseudoplastis akan bersifat newtonian dengan nilai viskositas tetap sebesar μ_0 . Begitupun pada *shear rate* tinggi, viskositas fluida bernilai tetap sebesar μ_∞ .

Daerah diantara kedua rejim newtonian tersebut adalah daerah *pseudoplastic*, dimana viskositas fluida berkurang seiring dengan meningkatnya *shear rate*. Faktor koreksi dari sifat pseudoplastis tersebut tidak dinyatakan didalam Power Law (persamaan Ostwald de Waele). Akan tetapi, dinyatakan dalam persamaan Ellis, Sisko. Persamaan Ellis berlaku pada *shear rates* rendah sedangkan persamaan Sisko berlaku untuk *shear rate* tinggi.

Bentuk persamaan dari The Ellis- Sisko Model adalah :

$$-\frac{dv_x}{dy} = \left(\varphi_0 + \varphi_1 |\tau_{yx}|^{\alpha-1} \right) \tau_{yx} \quad (4)$$

$$-\frac{dv_x}{dy} \tau_{yx} = -\frac{dv_x}{dy} \left(\mu_\infty + K_s |\tau_{yx}|^{\alpha_s-1} \right) \quad (5)$$

Parameter-parameternya adalah φ_0 , φ_1 , dan α , semuanya berharga positif. Bila $\alpha > 1$ dan harga τ_{yx} cukup kecil, model Ellis akan makin dekat dengan hukum Newton tentang viskositas. Bila $\alpha < 1$ kelakuan Newtonian makin terdekati pada harga-harga τ_{yx} yang besar.

The Reiner-Phillipof Model

Bentuk persamaan dari The Reiner-Phillipof Model adalah :

$$-\frac{dv_x}{dy} = \left[\frac{1}{\mu_\infty + \frac{\mu_0 - \mu_\infty}{1 + \left(\frac{\tau_{yx}}{\tau_s} \right)^2}} \right] \tau_{yx} \quad (6)$$

Fluida yang pola alirnya mengikuti model ini sering berpola laku seperti fluida Newtonian

pada harga-harga $\left(\frac{dv_x}{dy} \right)$ yang tinggi (τ_{yx} juga

tinggi) dan pada harga-harga $\left(\frac{dv_x}{dy} \right)$ yang rendah (τ_{yx} juga rendah).

3. Metodologi

Penelitian dilakukan dengan mengukur nilai viskositas larutan tapioka pada berbagai konsentrasi dan temperatur menggunakan alat ukur jenis *rotational viscometer* dan menentukan sifat reologi pasta tapioka. Larutan tapioka yang digunakan pada penelitian ini merupakan larutan tapioka tak termodifikasi dan larutan tapioka termodifikasi. Pembuatan larutan tapioka termodifikasi dilakukan dengan cara mencampurkan tapioka, air dan enzim pada temperatur 55°C. Larutan tersebut kemudian dipanaskan hingga mencapai 90°C dan dijaga konstan selama dua jam. Hal yang sama berlaku pula pada larutan tapioka tak termodifikasi tetapi tidak ditambahkan enzim.

Viskositas larutan tapioka diukur menggunakan *rotational viscometer* jenis Brookfield model RVF serial 76452. Alat ini bekerja dengan cara mengukur torsi yang diperlukan untuk memutar *spindle* dalam

larutan. Besar torsi yang terukur kemudian dikonversikan menjadi besaran viskositas.

4. Hasil dan Analisis

Hasil percobaan menunjukkan bahwa nilai viskositas larutan tapioka tak termodifikasi memiliki nilai yang lebih besar daripada nilai viskositas larutan tapioka termodifikasi dengan rentang perbedaan yang cukup signifikan. Nilai viskositas larutan tapioka tak termodifikasi berada pada rentang 9.000-460.000 cP, sedangkan nilai viskositas larutan tapioka termodifikasi berada pada rentang 40-240 cP.

Hubungan antara nilai viskositas larutan tapioka terhadap konsentrasi pati ditunjukkan pada Gambar 4.1

Gambar 4.1. Hubungan nilai viskositas larutan tapioka dengan konsentrasi pati pada kecepatan putar rotor 10 rpm

Gambar 4.1 memperlihatkan bahwa peningkatan konsentrasi menyebabkan peningkatan nilai viskositas baik untuk larutan tapioka termodifikasi maupun tak termodifikasi untuk semua temperatur dan pada kecepatan rotor 10 rpm. Nilai viskositas larutan tapioka termodifikasi meningkat dari 40 menjadi 80 cP seiring dengan kenaikan konsentrasi tapioka dari 20 hingga 40 % berat. Begitu pula dengan nilai viskositas untuk larutan tapioka tak termodifikasi yang meningkat dari 12.000

menjadi 106.000 cP dengan kenaikan konsentrasi tapioka yang sama.

Konsentrasi pati yang tinggi menyebabkan larutan menjadi lebih pekat dan kental. Hal ini disebabkan oleh fraksi massa tapioka yang lebih besar sehingga berat molekul total pada larutan tapioka menjadi lebih tinggi.

Gambar 4.2 menunjukkan hubungan antara nilai viskositas larutan tapioka terhadap temperatur pada berbagai konsentrasi pati dan pada kecepatan putar 10 rpm.

Gambar 4.2 Hubungan nilai viskositas larutan tapioka dengan temperatur pada kecepatan putar rotor 10 rpm

Gambar 4.2 memperlihatkan nilai viskositas larutan tapioka termodifikasi maupun tak termodifikasi menurun seiring dengan kenaikan temperatur. Pada larutan tapioka termodifikasi, penurunan nilai viskositas ini disebabkan karena kerja enzim semakin meningkat seiring dengan peningkatan temperatur. Enzim α -amylase yang digunakan pada percobaan ini memiliki temperatur optimal pada 90-105°C. Oleh karena itu, ketika temperatur meningkat enzim akan bekerja optimal dalam memutuskan ikatan glikosidik pada pati. Hal ini menyebabkan fraksi pati

dengan rantai pendek lebih banyak dan viskositas larutan pati menurun.

Penentuan sifat reologi larutan tapioka dilakukan dengan cara menentukan hubungan antara *shear stress* dan *shear rate* untuk larutan tapioka termodifikasi maupun tak termodifikasi. Hasil penentuan hubungan tersebut ditunjukkan pada Gambar 4.3 sampai 4.8.

Gambar 4.3 Hubungan antara *shear stress* dan *shear rate* pada larutan tapioka tak termodifikasi pada temperatur 55 °C

Gambar 4.4 Hubungan antara *shear stress* dan *shear rate* pada larutan tapioka tak termodifikasi pada temperatur 70 °C

Gambar 4.5 Hubungan antara *shear stress* dan *shear rate* pada larutan tapioka tak termodifikasi pada temperatur 80 °C

Gambar 4.6 Hubungan antara *shear stress* dan *shear rate* pada larutan tapioka termodifikasi pada temperatur 55 °C

Gambar 4.7 Hubungan antara *shear stress* dan *shear rate* pada larutan tapioka termodifikasi pada temperatur 70 °C

Gambar 4.8 Hubungan antara *shear stress* dan *shear rate* pada larutan tapioka termodifikasi pada temperatur 90 °C

Pada Gambar 4.3 sampai 4.5, dapat dilihat bahwa viskositas larutan tapioka tak termodifikasi cenderung menurun seiring dengan kenaikan gradien kecepatan. Hasil aluran nilai *shear rate* terhadap *shear stress* pada larutan tapioka tak termodifikasi dapat dinyatakan dalam bentuk matematis sesuai dengan *Ostwald-de Waele Model*.

Persamaan matematis untuk larutan tapioka tak termodifikasi untuk tiap temperatur ditunjukkan pada Tabel 4.1. Dari persamaan yang diperoleh dapat dilihat bahwa parameter n dalam model Ostwald-de Waele bernilai kurang dari satu sehingga dapat disimpulkan bahwa larutan tapioka tak termodifikasi bersifat *pseudo-plastic*.

Pada Gambar 4.6 sampai 4.8, dapat dilihat bahwa viskositas larutan tapioka termodifikasi cenderung menurun seiring dengan kenaikan gradien kecepatan. Hasil aluran nilai *shear rate* terhadap *shear stress* pada larutan tapioka termodifikasi dapat dinyatakan dalam bentuk matematis sesuai dengan *The Bingham Model*.

Tabel 4.1 Persamaan matematis sifat reologi larutan tapioka tak termodifikasi

Temp. (°C)	fraksi (% berat)	Persamaan
55	20	$\tau_{yx} = -507879.75 \left \frac{dv_x}{dy} \right ^{-0.5325} \frac{dv_x}{dy}$
	30	$\tau_{yx} = -572060.48 \left \frac{dv_x}{dy} \right ^{-0.5043} \frac{dv_x}{dy}$
70	20	$\tau_{yx} = -317108.73 \left \frac{dv_x}{dy} \right ^{-0.4524} \frac{dv_x}{dy}$
	30	$\tau_{yx} = -410446.14 \left \frac{dv_x}{dy} \right ^{-0.4574} \frac{dv_x}{dy}$
	40	$\tau_{yx} = -911639.59 \left \frac{dv_x}{dy} \right ^{-0.4476} \frac{dv_x}{dy}$
90	20	$\tau_{yx} = -33156.7 \left \frac{dv_x}{dy} \right ^{-0.3327} \frac{dv_x}{dy}$
	30	$\tau_{yx} = -262760.96 \left \frac{dv_x}{dy} \right ^{-0.4192} \frac{dv_x}{dy}$
	40	$\tau_{yx} = -404739.93 \left \frac{dv_x}{dy} \right ^{-0.405} \frac{dv_x}{dy}$

Persamaan matematis untuk larutan tapioka termodifikasi untuk tiap temperatur ditunjukkan pada Tabel 4.2. Dari persamaan yang diperoleh dapat dilihat bahwa nilai τ_0 untuk masing-masing larutan tapioka termodifikasi cenderung meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi tapioka. Konsentrasi tapioka yang tinggi akan menghasilkan viskositas yang tinggi pula. Meningkatnya viskositas akan menyebabkan dibutuhkan τ_0 yang lebih besar agar fluida dapat bergerak mengikuti pola gerak fluida Newtonian.

Tabel 4.2 Persamaan matematis sifat reologi larutan tapioka termodifikasi

Temp. (°C)	fraksi (% berat)	Persamaan
55	20	$\tau_{yx} = -35 \frac{dv_x}{dy} + 4388$
	30	$\tau_{yx} = -30 \frac{dv_x}{dy} + 9408$
	40	$\tau_{yx} = -105 \frac{dv_x}{dy} + 2612$
70	20	$\tau_{yx} = -35 \frac{dv_x}{dy} + 4388$
	30	$\tau_{yx} = -32 \frac{dv_x}{dy} + 8265$
	40	$\tau_{yx} = -67 \frac{dv_x}{dy} + 7694$
90	20	$\tau_{yx} = -35 \frac{dv_x}{dy} + 4388$
	30	$\tau_{yx} = -23 \frac{dv_x}{dy} + 10122$
	40	$\tau_{yx} = -50 \frac{dv_x}{dy} + 18408$

5. Kesimpulan

Berdasarkan percobaan yang dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa modifikasi larutan tapioka dengan cara hidrolisis dapat menurunkan viskositas pati tapioka, sedangkan nilai viskositas larutan tapioka baik pada larutan tapioka termodifikasi maupun tak termodifikasi meningkat seiring dengan menurunnya temperatur larutan. Nilai viskositas larutan tapioka baik pada larutan tapioka termodifikasi maupun tak termodifikasi meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi pati tapioka.

Larutan tapioka tak termodifikasi bersifat sebagai fluida pseudoplastis dengan rentang nilai viskositas antara 9.000-460.000 cP. Larutan tapioka termodifikasi bersifat sebagai fluida Bingham dengan nilai viskositas antara 40-240 cP.

Daftar Notasi

τ_{yx} = *Shear stress*, gaya per satuan luas, g cm/s²

$\left(\frac{dv_x}{dy} \right)$ = *Shear rate*, gradien kecepatan, (1/s)

η = Viskositas fluida non-newtonian, g cm/s [=] cP

τ_0 = Parameter Bingham, g-cm/s²

τ_s = *Shear stress*, g-cm/s²

μ_0 = Parameter Bingham, g-cm/s [=] cP

μ_∞ = Viskositas, g-cm/s [=] cP

- m = Parameter Ostwald de-Waele, tergantung nilai n
 n = Parameter Ostwald de-Waele, tak berdimensi
 A = Parameter Eyring, g-cm/s²
 B = Parameter Eyring, sekon
 φ_0 = Parameter Ellis, s/(g-cm)
 φ_1 = Parameter Ellis, tergantung pada α
 α = Parameter Ellis, tak berdimensi
 K_s = Parameter Sisko, tergantung α_s
 α_s = Parameter Sisko, tak berdimensi
 ω = Kecepatan putar rotor, rpm
 R_i = Radius silinder dalam, cm
 R_o = Radius silinder luar, cm

Daftar Pustaka

- [1] Bird, R. B., Stewart, W.E., Lightfoot, E.N., (1960), " *Transport Phenomena*," New York : John Willey & Sons, Inc.
- [2] Fennema, O.R., (1996), " *Food Chemistry*," New York : Marcel Dekker, Inc.
- [3] Anonim, (2005), " *National Starch announces price rises for tapioca starch*," Europe: <http://foodnavigator.com>.
- [4] Anonim, (2005), " *Aspek Pemasaran-Ubi Kayu*," Sistem Informasi Pengembangan Usaha Kecil, Jakarta : <http://bankindonesia.com>
- [5] Anonim, (1999), " *Modification of Starch*," New York: www.ftns.wau.nl/agridata.htm.
- [6] Widiasta, I N. (2004), " *Hidrolisis Enzimatis Pati Tapioka dalam Bioreaktor Membran Hollow Fiber*," *Disertasi Doktorat*, Departemen Teknik Kimia, Institut Teknologi Bandung.