

Technical Paper

Pemodelan Daya Pengadukan selama Proses Dehidrasi Osmotik Irisan Mangga dalam Larutan Gula

Modelling of Agitation Power during Osmotic Dehydration Process of Mango Slices in Sugar Solution

Leopold O. Nelwan, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor.
Email: lonelwan@yahoo.com

Fibula Yudisaputro, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor
Hiroshi Nabetani, National Food Research Institute, Tsukuba, Japan

Abstract

This study discusses mathematical model of agitation power due to the change of sugar solution concentration during the process of mango slices osmotic dehydration. The sugar solution agitation was performed in several levels of rotational speed to correlate the power number with the Reynolds number. Then, the obtained model was used to calculate the power consumption for various temperature and initial rotational speed of shaft. The results showed that the correlation can be used for various conditions of shaft rotational speed and solution concentration. Osmotic dehydration for 8 hours at conditions of 30-50°C with rotational speed of 143-525 rpm results in solution dilution from 61°Bx to 50.5-52.5°Bx. Temperature of 30°C with initial shaft rotational speed of 500 rpm results in power consumption ten times higher than that of 50°C and 148 rpm. Moreover, power consumption reduction up to 80% of initial energy consumption due to the dilution of the sugar solution during the osmotic dehydration process was obtained.

Keywords: *mathematical model, power consumption, Reynolds number, osmotic dehydration*

Abstrak

Studi ini membahas tentang model matematika daya pengadukan akibat perubahan konsentrasi larutan gula selama proses dehidrasi osmotik irisan mangga. Pengadukan larutan gula dilakukan pada berbagai tingkat kecepatan putaran dan konsentrasi untuk mendapatkan hubungan antara bilangan daya dan bilangan Reynolds. Selanjutnya model yang diperoleh digunakan untuk menghitung konsumsi daya pada berbagai kondisi suhu dan kecepatan putaran awal pengadukan. Hasil studi menunjukkan bahwa korelasi dalam persamaan pangkat dapat digunakan. Dehidrasi osmotik dalam waktu 8 jam pada kondisi suhu 30-50°C dan kecepatan putaran 143-525 rpm telah mengakibatkan pengenceran larutan menjadi dari 61°Bx menjadi 50.5-52.5°Bx. Aplikasi model tersebut pada suhu 30°C dan kecepatan putaran awal 500 rpm memberikan konsumsi daya yang mencapai 10 kali lebih besar dibandingkan pada suhu 50°C dan kecepatan putaran awal 148 rpm. Terjadi penurunan konsumsi daya sampai pada 80% dari konsumsi energi awalnya akibat adanya perubahan konsentrasi larutan selama dehidrasi osmotik berlangsung.

Kata kunci: model matematik, konsumsi daya, bilangan Reynolds, dehidrasi osmotik

Diterima: 24 Maret 2015; Disetujui: 22 Juli 2015

Pendahuluan

Dehidrasi osmotik merupakan proses pengeluaran air dari suatu bahan dengan cara merendam bahan di dalam larutan osmo-aktif (larutan osmotik). Teknik ini digunakan untuk menurunkan kadar air banyak jenis produk pertanian termasuk buah-buahan. Sistem dehidrasi osmotik pada prinsipnya merupakan reaktor sederhana yang

terdiri dari tangki, sub sistem pengadukan mekanik yang terdiri dari *impeller* dan motor penggerak, dan juga pemanas. Pengadukan mekanik pada proses dehidrasi osmotik merupakan operasi penting untuk menciptakan keseragaman konsentrasi larutan dan meningkatkan koefisien pindah pindah panas dan massa pada permukaan bahan yang bersentuhan dengan larutan sehingga laju perpindahan massa (air) dapat berlangsung secara memadai. Reynaldy

et al. (2005) melaporkan bahwa penggunaan kecepatan pengadukan 100, 500 dan 1000 rpm pada tangki larutan dengan diameter 20 cm dan tinggi larutan 28 cm mempengaruhi *water loss* (kehilangan air) dan *solid gain* (peningkatan padatan) pada dehidrasi osmotik buah apel. Gheybi *et al.* (2013) menyatakan pengaruh interaksi konsentrasi larutan dan agitasi terutama pada bilangan Re 5000-15000 terhadap kehilangan air pada dehidrasi osmotik melon (*honeydew*). Tonon *et al.* (2007) mendapatkan bahwa kecepatan putaran pengaduk mempengaruhi koefisien pindah massa air pada dehidrasi osmotik tomat tetapi tidak pada koefisien pindah massa solidnya.

Peningkatan laju perpindahan massa terutama dikontribusikan oleh terbentuknya aliran turbulen serta suhu larutan. Jenis aliran yang dapat diciptakan sangat bergantung pada peran pengadukan. Pentingnya pengadukan ini menjadi bertambah ketika jumlah bahan yang direndam dalam larutan osmotik ini meningkat, dimana pengadukan juga berfungsi untuk memindahkan posisi larutan sehingga konsentrasi dan juga suhu larutan menjadi lebih seragam.

Jenis pengadukan yang digunakan dalam industri pengolahan umumnya dapat dibedakan menjadi tiga, yaitu propeller, turbin dan kayuh. Turbin propeller membuat aliran larutan yang melalui impeller bergerak searah dengan sumbu putar, sedangkan turbin dan kayuh membuat aliran yang melalui impeller bergerak ke arah radial/tangensial. Pada penelitian ini pengaduk tipe kayuh (jangkar) digunakan untuk pengadukan pada proses dehidrasi osmotik irisan mangga.

Kebutuhan daya pengadukan bergantung pada jenis dan kondisi larutan, geometri dan dimensi sistem serta jenis, ada tidaknya penghalang (termasuk penggunaan *baffle*), posisi sumbu dan kecepatan putar *impeller*. Sebagaimana pada perancangan reaktor pengadukan lainnya, dalam perancangan sistem dehidrasi osmotik, adalah penting untuk mengembangkan model matematik hubungan antara faktor-faktor penentu ini dengan kebutuhan daya pengadukan. Furukawa *et al.* (2012) memodelkan hubungan antara bilangan daya (N_p) dan bilangan Reynolds (Re) untuk berbagai tipe impeller dengan cukup akurat tetapi kompleks. McCabe *et al.* (1999) merangkum model-model hubungan kedua parameter tadi ke dalam model korelasi pangkat yang lebih sederhana.

Selama proses dehidrasi osmotik, kerapatan dan viskositas larutan osmotik dapat berubah akibat perpindahan massa (air) dan zat terlarut (gula) dari atau ke bahan yang dikeringkan. Hal ini terjadi terutama pada dehidrasi osmotik dengan rasio bahan terhadap larutan yang tinggi, dimana jumlah air yang keluar relatif tinggi sehingga dapat mengencerkan larutan secara signifikan. Perpindahan massa tersebut dan sistem pengadukan tersebut saling mempengaruhi sehingga perubahan kebutuhan

daya dan kecepatan putar selama proses tersebut akan terjadi. Untuk mengaplikasikan daya yang sesuai terutama pada skala yang lebih besar dari sistem dehidrasi osmotik, pemodelan perubahan kecepatan putar daya pengadukan selama pengeringan penting untuk dilakukan.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengembangkan model matematik daya pengadukan selama proses dehidrasi osmotik irisan mangga yang menggunakan larutan gula sebagai larutan osmotik.

Bahan dan Metode

Model Dehidrator Osmotik

Dehidrator osmotik yang didisain pada penelitian ini disajikan pada Gambar 1. Dehidrator osmotik ini terdiri dari tangki produk dan tangki pemanas (keduanya berbentuk silindris) dan sistem pengaduk (*impeller* dan motor DC). Larutan osmotik bersama produk ditempatkan di dalam tangki produk, sedangkan air yang kemudian dipanaskan ditempatkan pada tangki pemanas. Tangki produk yang digunakan memiliki tinggi 18 cm dengan diameter 18 cm pada bagian atasnya dan 14 cm pada bagian bawahnya. Tangki produk ditempatkan di tengah tangki pemanas dimana tinggi muka larutannya lebih rendah dibandingkan tinggi muka air panas sehingga suhu larutan akan terpanaskan secara seragam. Suhu air panas diatur menggunakan termostat bimetal. Tipe *impeller* yang digunakan adalah tipe kayuh dengan diameter 8.5 cm.

Pembuatan Larutan Osmotik

Konsentrasi awal larutan yang digunakan pada penelitian ini adalah 61^oBx. Larutan osmotik dibuat dengan melarutkan gula dalam aquades. Sejumlah gula ditambahkan secara perlahan ke aquades yang dipanaskan pada suhu $\pm 60^{\circ}\text{C}$ dan konsentrasinya diukur menggunakan refraktometer. Penambahan dihentikan ketika konsentrasi larutan yang diukur mencapai 61^oBx.

Prosedur Percobaan Kebutuhan Daya

Pengukuran daya pengadukan pada berbagai kecepatan pengadukan dan berbagai konsentrasi larutan dilakukan secara terpisah dari percobaan pertama. Variasi tiga tingkat tegangan catu daya rendah, sedang dan tinggi digunakan pada larutan gula 62^oBx. Selanjutnya larutan diencerkan secara bertahap dengan interval 2^oBx sampai dengan konsentrasi 48^oBx. Daya pengadukan didekati dari pengukuran daya motor dengan mengukur tegangan dan arus listrik menggunakan volt meter dan ampere meter pada setiap tingkat konsentrasi yang dipilih. Percobaan dilakukan pada suhu 30^oC. Masing-masing pengujian dilakukan dengan dan tanpa menggunakan produk.

Bilangan Reynolds dan Bilangan Daya

Dalam pemodelan sistem pengadukan ini, digunakan parameter-parameter tak berdimensi yang mencakup bilangan Reynolds (Re) dan bilangan daya (N_p) yang masing-masing didefinisikan sebagai (McCabe, et al., 1993):

$$Re = \frac{\rho D^2 N}{\mu} \quad (1)$$

Dan

$$N_p = \frac{P}{\rho N^3 D^5} \quad (2)$$

dengan

D = diameter impeller (m)

P = daya yang digunakan yang didekati dari daya motor listrik yang digunakan (W)

N = kecepatan putar poros pengaduk (putaran/s)

ρ = kerapatan larutan (kg/m^3)

μ = viskositas dinamik ($kg/m-s$)

Kerapatan dan viskositas kinematik (ν) larutan gula dihitung dari Chenlo et al. (2001) yang masing-masing dinyatakan sebagai:

$$\frac{\rho}{\rho_w} = (1 + am)^b \quad (3)$$

Dan

$$\frac{\nu}{\nu_w} = 1 + em \exp\left(\frac{m^f}{gT_R + h}\right) \quad (4)$$

dimana besarnya konstanta-konstanta pada persamaan (3) dan (4) adalah $a = 0.867$, $b = 0.164$, $e = 0.730$, $f = 1.10$, $g = 8.345$ dan $h = -7.042$, sedangkan viskositas dinyatakan sebagai

$$\nu_w = 0.09607 \times 10^{-6} \exp\left(\frac{2.9}{T_R}\right) \text{ dimana } T_R = \frac{T(K)}{273.1}$$

N_p dan Re yang diperoleh dikorelasikan dalam sebuah persamaan non linier pangkat dengan

bentuk:

$$N_p = cRe^d \quad (5)$$

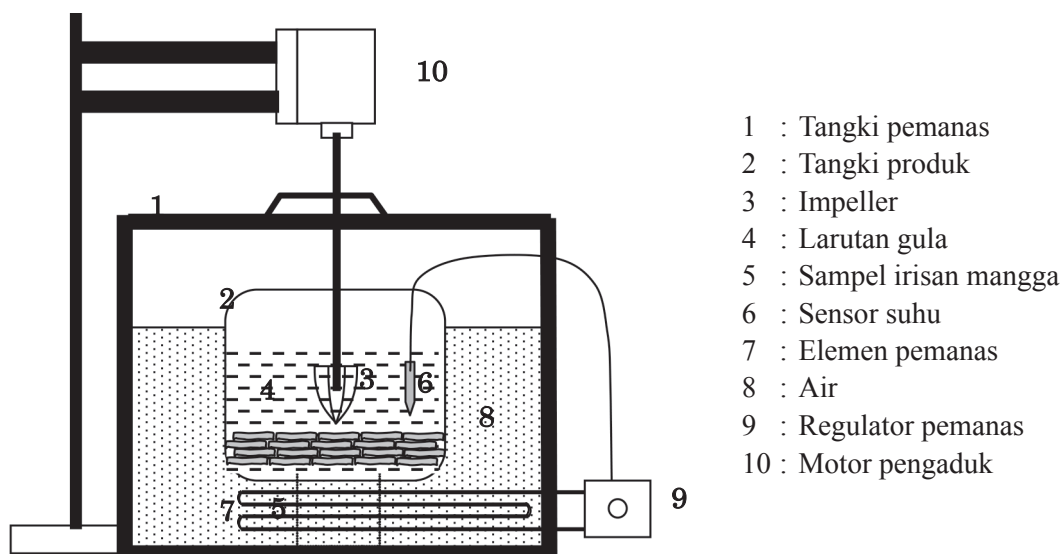
dimana c dan d adalah konstanta-konstanta. Metode regresi non linier kuadrat galat terkecil dalam *tool solver* Microsoft Excel yang didasarkan pada algoritma *Generalized Reduced Gradient* digunakan untuk mendapatkan konstanta c dan d tersebut berdasarkan data yang diperoleh.

Prosedur Percobaan Dehidrasi Osmotik

Buah mangga yang telah dicuci, dibersihkan dan dikupas kulitnya diiris dengan ukuran $3 \times 3 \times 1$ cm. Sampel sebanyak 6 buah diambil secara acak untuk mengetahui berat awal. Untuk keperluan pengukuran kadar air, 3 sampel di antaranya dimasukkan ke dalam oven dan 3 sampel lainnya digunakan untuk pengukuran kehilangan air dan peningkatan padatan.

Percobaan dilakukan dalam 9 kombinasi dari tiga suhu larutan yaitu 30 , 40 dan $50^\circ C$ dan tiga tingkat kecepatan pengadukan larutan awal rendah ($140-143$ rpm), sedang ($290-295$ rpm) dan tinggi ($480-488$ rpm). Kecepatan putar diukur menggunakan tachometer. Untuk seluruh percobaan digunakan larutan osmotik $61^\circ Bx$ sebanyak 2000 ml. Selanjutnya tangki larutan osmotik dimasukkan ke tangki pemanas. Suhu larutan dijaga konstan sedangkan kecepatan pengadukan dapat berubah sesuai perubahan kondisi larutan. Sebanyak sampel ± 700 g dimasukkan ke dalam larutan sehingga perbandingan berat sampel-larutan kira-kira $1:3$.

Proses dehidrasi osmotik dilakukan selama 8 jam dan perubahan konsentrasi larutan selama proses diukur menggunakan refraktometer pada menit ke 0 , 15 , 30 , 45 , 60 , 90 , 120 , 150 , 180 , 240 , 300 , 360 , 420 , dan 480 . Untuk menghindari perubahan jumlah sampel di dalam tangki larutan, pengukuran kadar air tidak dilakukan selama



Gambar 1. Skema dehidrator osmotik.

proses. Pada menit ke 480, 3 sampel yang telah diberikan penanda sebelumnya diukur berat dan kadar airnya sehingga dapat dihitung kehilangan air dan peningkatan padatan.

Kehilangan Air dan Peningkatan Padatan

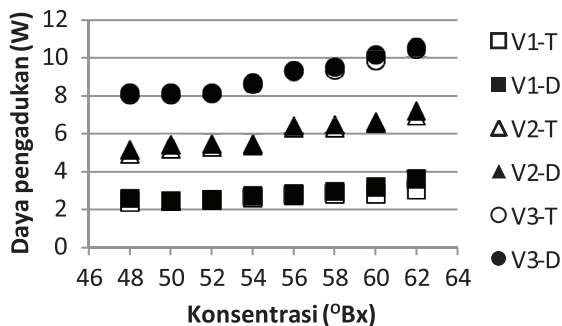
Kehilangan air (WL) merupakan rasio berat air yang keluar ke bahan terhadap berat awalnya, sedangkan peningkatan padatan (SG) merupakan rasio berat padatan (gula) yang masuk ke bahan dibandingkan berat awalnya. Untuk mencegah pengurangan jumlah sampel selama dehidrasi osmotik, WL dan SG hanya ditentukan pada kondisi setelah dehidrasi osmotik selesai (setelah menit ke 480). WL dan SG masing-masing dihitung menggunakan (Souza et al., 2007):

$$WL = \frac{W_i M_i - W_f M_f}{W_i} \times 100 \tag{6}$$

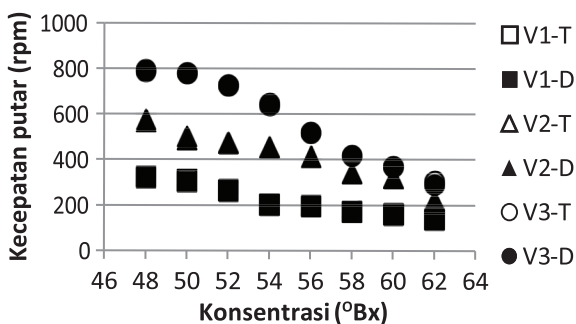
$$SG = \frac{W_f(1 - M_f) - W_i(1 - M_i)}{W_i} \times 100 \tag{7}$$

dimana

- M_i = kadar air awal (%b.b.)
- M_f = kadar air setelah 480 menit (%b.b.)
- W_i = berat sampel awal (g)
- W_f = berat sampel setelah 480 menit (g)



Gambar 2. Daya pengadukan pada berbagai konsentrasi larutan dan kecepatan putar awal dengan dan tanpa produk.



Gambar 3. Kecepatan putaran pengaduk pada berbagai konsentrasi larutan dan kecepatan putar awal dengan dan tanpa produk.

Hasil dan Pembahasan

Perubahan Daya Motor dan Kecepatan Putaran Pengaduk

Perubahan daya dan kecepatan putaran pengaduk pada tangki larutan gula tanpa produk dan dengan produk pada berbagai konsentrasi larutan diamati untuk tiga tingkat tegangan catu daya motor yaitu 1.89 ± 0.07 V, 2.95 ± 0.05 V dan 3.60 ± 0.07 V. Tiga tingkatan tegangan catu daya ini ditujukan untuk memberikan tiga tingkat kecepatan putaran pada konsentrasi tertentu. Masing-masing tingkat kecepatan putaran ini tentu memberikan tingkat konsumsi daya yang berbeda.

Gambar 2 dan 3 secara berturut-turut menunjukkan perubahan daya dan kecepatan putaran pengaduk untuk wadah larutan tanpa dan dengan produk. Pada konsentrasi larutan gula yang tinggi kebutuhan daya pengaduk menjadi besar dan kecepatan putar menjadi lebih rendah dan hal ini berlaku pada ada atau tidaknya produk untuk semua tingkat kecepatan awal putaran. Hal ini disebabkan oleh peningkatan viskositas dan densitas larutan gula sejalan dengan peningkatan konsentrasi, dimana pada viskositas yang tinggi torka yang dibutuhkan oleh impeller untuk membuat gerakan fluida akan meningkat. Pada konsentrasi 48-52°Bx kebutuhan daya relatif sama untuk ketiga tingkat catu daya motor yakni kira-kira kurang dari 80% kebutuhan daya pada 62°Bx, walaupun kecepatan putarannya lebih dari dua kali kecepatan putaran pada 62°Bx. Perubahan keduanya pada selang konsentrasi tersebut lebih landai dibandingkan pada konsentrasi yang lebih tinggi. Peningkatan torka akan sangat besar pada konsentrasi larutan yang tinggi yang ditunjukkan oleh meningkatnya daya sedangkan kecepatan putaran menurun. Perbedaan kecepatan putaran antar tingkat konsentrasi yang lebih signifikan terjadi pada tingkat tegangan catu daya yang lebih tinggi. Walaupun demikian, selisih daya yang dikonsumsi antar tingkat konsentrasi hampir sama pada kecepatan putaran sedang dan tinggi.

Fenomena dan pola yang terjadi pada kebutuhan daya pengadukan dan kecepatan putaran impeller antara tanpa dan dengan produk sangat mirip dengan besar yang hampir sama. Pada larutan dengan produk, besarnya kebutuhan daya hanya sedikit yang lebih tinggi dengan perbedaan kurang dari 5% kecuali pada 60 dan 62°Bx, sedangkan kecepatan putarannya sedikit lebih rendah yakni kurang dari 5% untuk seluruh tingkat konsentrasi. Adanya produk tidak membuat gerakan larutan dalam tangki terhambat secara signifikan. Hal ini dapat disebabkan oleh celah yang dapat dilalui aliran larutan cukup besar, sehingga disipasi daya untuk pengadukan tidak signifikan.

Data konsentrasi digunakan untuk menghitung viskositas dan selanjutnya bersama-sama dengan kecepatan putaran digunakan untuk menghitung

Tabel 1. Perlakuan yang digunakan untuk percobaan dehidrasi osmotik.

Perlakuan	T(°C)	N (rpm)
T1N1	30	143-153
T1N2	30	290-315
T1N3	30	488-517
T2N1	40	143-156
T2N2	40	295-318
T2N3	40	485-521
T3N1	50	140-158
T3N2	50	293-324
T3N3	50	480-525

bilangan Reynolds. Korelasi antara bilangan daya dan bilangan Reynolds menyatakan hubungan antara friksi dengan gaya inersia dari larutan. Gambar 4 memperlihatkan plot untuk antara bilangan daya dan bilangan Reynolds pada berbagai tingkat kecepatan untuk dengan dan tanpa produk.

Dengan menggabungkan untuk berbagai tingkat kecepatan, perhitungan menggunakan *non-linear least square* memberikan persamaan antara bilangan daya terhadap bilangan Reynolds untuk wadah tanpa dan dengan produk masing-masing adalah:

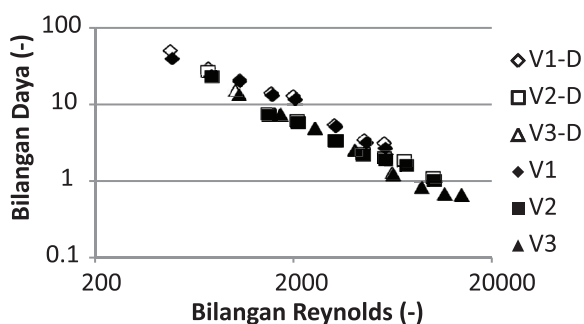
$$N_p = 62025.2 Re^{-1.186} \tag{8}$$

dan

$$N_p = 157580.4 Re^{-1.304} \tag{9}$$

Walaupun koefisien-koefisien pada kedua persamaan di atas berbeda, akan tetapi perbedaan ini cukup kecil. Hal ini lebih jelas dari Gambar 2 dan Gambar 3 yang memperlihatkan perbedaan antara kecepatan awal jauh lebih mempengaruhi dibandingkan dengan dan tanpa produk.

Gambar 4 memperlihatkan plot pada grafik log-log membentuk kurva linier sampai pada bilangan Reynolds lebih dari 10000, walaupun ada kecenderungan gradien kurva melandai pada tingkat kecepatan putaran yang paling tinggi.



Gambar 4. Plot antara bilangan daya dan bilangan Reynolds.

Foucault et al. (2005) memodelkan pencampuran menggunakan turbin koaksial (yang terdiri dari turbin *Rushton* dan jangkar) untuk fluida Newtonian menggunakan korelasi pangkat akan tetapi hanya sesuai untuk bilangan Reynolds kurang dari 10000. Begitu pula hasil penelitian dari Furukawa et al. (2012). Pada bilangan Reynolds yang relatif tinggi, sebagaimana kebanyakan hasil pengujian (McCabe et al., 1999) bilangan daya relatif konstan.

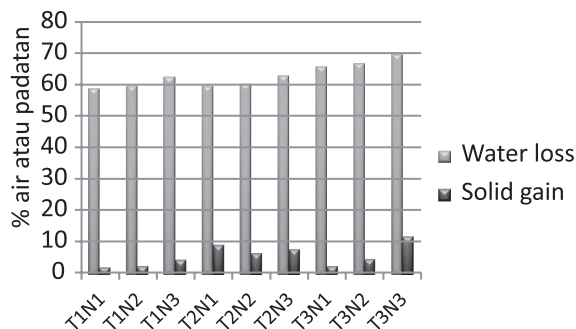
Perubahan bilangan Reynolds akibat perubahan viskositas larutan bergantung pada kecepatan putaran awal (N_0) yang diberikan. Penggunaan *non-linear least square* biasa akan membuat error pada bilangan Re rendah menjadi relatif besar. Karena pendugaan untuk bilangan Re yang rendah sangat penting, maka untuk mendapatkan model hubungan antara Re dan kedua parameter tersebut dilakukan *non-linear least square* berbasis error relatif. Persamaan yang diperoleh untuk menyatakan hubungan tersebut pada pengadukan larutan gula dengan produk dinyatakan sebagai:

$$Re = (-1.713 \times 10^{-5} + 4.806 \times 10^{-7} N_0) v^{1.558} \tag{10}$$

Perubahan Konsentrasi Larutan Selama Dehidrasi Osmotik

Selama proses dehidrasi osmotik, air dari mangga akan keluar menuju larutan gula dan sebaliknya gula akan meninggalkan larutan menuju sampel akibat perbedaan tekanan osmotiknya. Sehubungan dengan perbandingan berat sampel-larutan yang relatif tinggi yaitu kira-kira 1:3 maka jumlah air yang keluar dari sampel cukup besar untuk mempengaruhi konsentrasi larutan. Untuk menghindari penurunan jumlah sampel selama proses, kehilangan air dan peningkatan padatan diamati hanya pada akhir proses. Pada percobaan ini, tingkat suhu dan tingkat kecepatan putaran disajikan pada Tabel 1.

Gambar 5 memperlihatkan kehilangan air dan peningkatan padatan selama proses dehidrasi osmotik. Kehilangan air untuk seluruh kondisi cukup tinggi yaitu berkisar dari 59 - 70% sedangkan peningkatan padatan jauh lebih rendah dibandingkan kehilangan air yaitu kurang dari 2-12%. Sebagai catatan, pada proses ini larutan



Gambar 5. Kehilangan air dan peningkatan padatan pada akhir dehidrasi osmotik.

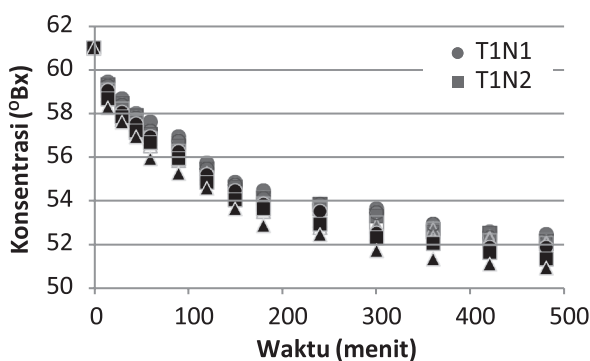
Tabel 2. Parameter C_f dan k pada berbagai kondisi percobaan.

Perlakuan	C_f (°Bx)	k (1/menit)	R^2
T1N1	52,55	0,00840	0,991
T1N2	52,48	0,00920	0,989
T1N3	52,43	0,01069	0,987
T2N1	52,49	0,00907	0,984
T2N2	52,43	0,01027	0,986
T2N3	52,28	0,01131	0,984
T3N1	51,97	0,00922	0,985
T3N2	51,78	0,00998	0,982
T3N3	51,32	0,01088	0,978

terencerkan akibat kehilangan air dan peningkatan padatan. Pada konsentrasi konstan 66°Bx dehidrasi osmotik dapat mencapai 65% dalam waktu 5 jam (Nelwan et al., 2013).

Kedua perpindahan ini menyebabkan terjadinya penurunan konsentrasi larutan. Gambar 6 memperlihatkan penurunan konsentrasi selama proses untuk tiga tingkat suhu dan tingkat catu daya motor dari konsentrasi awal 61°Bx menjadi konsentrasi akhir 52.5 – 50.9°Bx. Penurunan konsentrasi yang curam pada awalnya akan semakin landai sejalan dengan waktu proses. Hal ini disebabkan oleh penurunan *driving force* air dari produk ke larutan yang cukup signifikan akibat penurunan konsentrasi larutan dan penurunan kadar air dari produk. Selain itu selama proses ini terjadi peningkatan kecepatan putar impeller akibat penurunan viskositas dari larutan.

Sebagaimana yang dapat diduga, semakin tinggi suhu dan kecepatan putaran, konsentrasi akhir larutannya semakin rendah. Gambar 5 terutama untuk data kehilangan air juga mendukung hal yang sama yaitu peningkatan suhu dan kecepatan meningkatkan data kehilangan air yang berlangsung. Peningkatan suhu meningkatkan proses difusi air sehingga laju air yang keluar dari produk, akan tetapi walaupun perbedaan jumlah air dari kehilangan air antara suhu 30 dan 50°C mencapai lebih dari 10%, perbedaan konsentrasi larutan gula selama proses



Gambar 6. Penurunan konsentrasi selama dehidrasi osmotik.

yang dihasilkan tidak terlalu besar. Kecepatan putaran impeller juga mempengaruhi kehilangan air sehingga menurunkan konsentrasi larutan gula selama proses. Pada semua tingkat suhu, secara konsisten konsentrasi larutan sedikit lebih rendah pada kecepatan putaran yang lebih tinggi selama proses dehidrasi. Selain menyeragamkan konsentrasi larutan, koefisien pindah massa menjadi lebih besar pada kecepatan pengadukan yang tinggi sehubungan dengan gerakan fluida yang lebih intensif pada permukaan produk.

Sebuah model eksponensial yang analog dengan persamaan pendinginan Newton digunakan untuk memodelkan untuk penurunan konsentrasi larutan selama dehidrasi osmotik. Model tersebut dinyatakan sebagai:

$$\frac{C - C_f}{C_0 - C_f} = \exp(-kt) \tag{11}$$

dimana C adalah konsentrasi larutan pada waktu t , C_0 adalah konsentrasi awal, t adalah waktu proses sedangkan k dan C_f merupakan konstanta yang masing-masing menyatakan laju dan konsentrasi akhir yang dicapai pada kondisi tersebut. Dengan menggunakan regresi non-linier kuadrat galat terkecil dalam *tool solver* Microsoft Excel maka diperoleh k dan C_f untuk masing-masing kondisi percobaan yang dirangkum pada Tabel 2. Model yang digunakan dapat menduga perubahan konsentrasi dengan baik dimana nilai R^2 untuk keseluruhan perlakuan lebih dari 0.978. Perlu diingat bahwa nilai-nilai parameter tersebut tentu sangat mungkin berubah terutama pada kondisi rasio air terhadap sampel yang berbeda. Dapat dilihat kecenderungan penurunan C_f dan peningkatan k terhadap peningkatan suhu dan kecepatan. Nilai k yang tinggi yang dikombinasikan dengan C_f yang rendah menunjukkan laju penurunan konsentrasi yang semakin besar.

Simulasi Perubahan Daya Selama Dehidrasi Osmotik

Karena tingkat tegangan catu daya tidak diubah selama proses, sebagaimana yang dijelaskan sebelumnya penurunan konsentrasi larutan terhadap waktu mengakibatkan penurunan viskositas sehingga menyebabkan perubahan kecepatan putaran motor pengaduk dan daya yang dikonsumsi secara gradual. Untuk melihat perubahan tersebut simulasi dilakukan untuk kondisi yang sama dengan percobaan, akan tetapi kecepatan putaran porosnya tidak dipertahankan. Kecepatan putaran poros awal diberikan dari rata-rata pada kolom 3 Tabel 1 yang diberikan menggunakan simbol N01 – N03 (Gambar 7 dan 8) yang bersesuaian dengan N1 – N3 pada Tabel 1, sedangkan simbol T1-T3 pada gambar tersebut menyatakan suhu yang sama dengan Tabel 1. Gambar 7a memperlihatkan bilangan Re terhadap waktu yang meningkat akibat penurunan viskositas

dan peningkatan kecepatan putaran poros. Peningkatan terutama terjadi pada awal proses ketika viskositasnya masih cukup tinggi karena penurunan viskositas cukup besar.

Gambar 7b memperlihatkan konsumsi daya yang cukup besar pada kecepatan putaran awal poros yang tinggi dan suhu yang rendah. Viskositas yang masih tinggi menyebabkan tahanan pada impeller menjadi besar. Sejalan dengan penurunan konsentrasi, konsumsi daya menurun kira-kira sampai 80% dari konsumsi awalnya untuk hampir seluruh perlakuan. Peningkatan suhu sangat mempengaruhi penurunan viskositas sehingga konsumsi daya yang dibutuhkan secara signifikan lebih rendah ketika suhu ditingkatkan sebesar 10°C.

Gambar 5 telah memperlihatkan bahwa efek suhu dan kecepatan terhadap perbedaan kehilangan air maksimum kira-kira mencapai 10% tetapi Gambar 8 memperlihatkan bahwa daya putaran poros yang dibutuhkan dapat mencapai 10 kalinya. Fenomena yang demikian cukup menarik sebagai dasar untuk melakukan kajian pada proses *intermittent* untuk maksud optimasi penggunaan daya pengadukan.

Simpulan

Model korelasi antara bilangan daya dan bilangan Reynolds dalam bentuk persamaan pangkat sesuai untuk larutan gula 48-62°Bx dalam tangki silindris untuk dehidrasi osmotik irisan mangga. Selain itu dengan menggunakan *non-linear least square* berbasis error relatif telah dikembangkan model hubungan antara bilangan Reynolds yang mewakili perubahan kecepatan putaran terhadap viskositas larutan dan kecepatan awal putaran. Dehidrasi

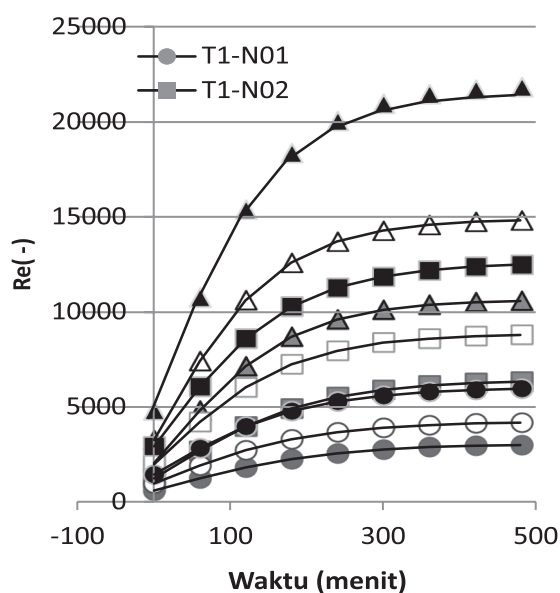
osmotik dalam waktu 8 jam dengan larutan awal 61°Bx dan kondisi suhu 30-50°C dan kecepatan putaran 143-525 rpm telah memberikan kehilangan air 59-70% yang mengakibatkan pengenceran larutan menjadi 50.5-52.5°Bx. Selanjutnya hasil model pada dehidrasi osmotik dengan kondisi tersebut memberikan konsumsi daya pada suhu 30°C dan kecepatan putaran awal 500 rpm mencapai 10 kali lebih besar dibandingkan pada suhu 50°C dan kecepatan putaran awal 148 rpm. Konsumsi daya menurun sampai pada 80% dari konsumsi energi awalnya sejalan dengan terjadinya perubahan konsentrasi larutan selama dehidrasi osmotik berlangsung.

Ucapan Terima Kasih

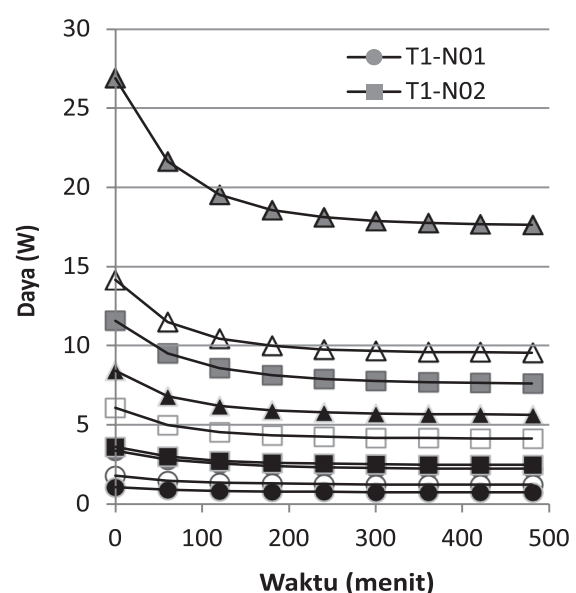
Penelitian ini didanai melalui program penelitian UNU-Kirin Follow-up Research dengan no. Kontrak 600 UU-2010-536.

Daftar Pustaka

- Chenlo, F., R. Moreira, G. Pereira and A. Ampudia. Viscosities of aqueous solutions of sucrose and sodium chloride of interest in osmotic dehydration processes. *Journal of Food Engineering* 54 (2002) 347–352
- Foucault, S., G. Ascanio, and P. A. Tanguy. Power Characteristics in Coaxial Mixing: Newtonian and Non-Newtonian Fluids. *Ind. Eng. Chem. Res.* 2005, 44, 5036-5043
- Furukawa, H. Y. Kato, Y. Inoue, T. Kato, Y. Tada and S. Hashimoto. Correlation of Power Consumption



(a)



(b)

Gambar 7. Simulasi perubahan: (a) bilangan Re dan (b) konsumsi daya selama dehidrasi osmotik.

- for Several Kinds of Mixing Impellers. *International Journal of Chemical Engineering* Volume 2012. doi:10.1155/2012/106496
- Gheybi F., R.A. Rahman, J. Bakar and S.H.A. Aziz. 2013. Optimization Of Osmotic Dehydration Of Honeydew Using Responce Surface Methodology. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences* 5(19): 2308-2317.
- McCabe, W.L., J.C. Smith and P. Harriot. 1993. *Unit Operations of Chemical Engineering* 5th ed., McGraw Hill Inc., New York.
- Nelwan, L.O., M. Jannah and H. Nabetani. Kinetics model of Osmotic Dehydration of Uncoated and Chitosan-coated Mango. *The International Symposium on Agricultural and Biosystem Engineering (ISABE) 2013: A21-1 – A21-10*
- Reynaldy, S., H.E. Wibowo dan N. Indrawati. 2005. Dehidrasi Osmotik Apel: Pengaruh pengadukan, konsentrasi larutan gula dan waktu perendaman. *Jurnal Ilmiah Nasional Widya Teknik* vol.4 no.2
- Souza J.S., Medeiros, M.F.D., Magalhaes, M.M.A., and Fernandes, F.A.N. 2007. Optimization of osmotic dehydration of tomatoes in a ternary system followed by air-drying. *Journal of Food Engineering* 83: 501-509.
- Tonon, R.V., Baroni, A.F and Miriam D. Hubinger. Osmotic dehydration of tomato in ternary solutions: Influence of process variables on mass transfer kinetics and an evaluation of the retention of carotenoids. *Journal of Food Engineering* 82 (2007) 509–517