

PENENTUAN KOEFISIEN PERPINDAHAN MASSA DAN PANAS PADA PENGERINGAN BUSA SARI BUAH TOMAT MENGGUNAKAN TRAY DRYER

Tri Hariyadi

Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Bandung, Jl. Terusan Gegerkalong Hilir, Ds. Ciwaruga, Bandung
40012

mastri13@yahoo.com; tri.hariyadi@polban.ac.id

Abstrak

Tomat (*Lycopersicum esculentum*) merupakan salah satu produk hortikultura yang berpotensi, menyehatkan, dan mempunyai prospek pasar yang cukup menjanjikan. Buah tomat adalah salah satu bahan pangan yang memiliki kandungan antioksidan yang cukup tinggi. Pengeringan merupakan salah satu metoda pengawetan yang paling banyak digunakan, yaitu dengan cara menguapkan sebagian besar air yang terkandung dalam bahan pangan dengan menggunakan energi panas. Penelitian ini bertujuan menentukan koefisien perpindahan massa dan panas pada pengeringan busa sari buah tomat menggunakan peralatan *tray dryer* dengan penambahan *carrier agent* dextrin yang berfungsi sebagai *foam stabilizer* dan *foaming agent* tween 80 menggunakan persamaan Arrhenius. Bahan baku yang digunakan adalah tomat hibrida varietas Amala 474 yang tidak rusak secara fisiologis dan mekanis, telah matang, merah segar merata, diameter relatif sama. Peralatan pengering berupa *Tray Dryer* yang dilengkapi anemometer, neraca, termometer, dan *humidity meter*. Peralatan pendukung berupa blender dan ayakan. Di dalam penelitian ini, tomat diiris dan diblender selama 10 menit. Biji dan ampasnya dipisahkan dari bubur tomat dengan ayakan berukuran 60 *mesh*. Kemudian bubur tomat dicampurkan dextrin dan *foaming agent* tween 80 masing-masing sebanyak 5% berat, untuk selanjutnya diblender selama 10 menit. *Tray dryer* dialiri udara panas dengan laju 2,0 m/detik dengan variasi temperatur 40, 50, 60 atau 70 °C. Loyang *stainless steel* yang berisi bubur tomat dengan ketebalan 2 mm atau 4 mm dimasukkan ke dalam *tray dryer*. Berat bubur tomat diukur setiap 5 menit. Hasil yang diperoleh, kondisi operasi optimal tercapai pada tebal lapisan 4 mm, temperatur 70,19 °C dan waktu pengeringan 2,64 jam, dengan nilai koefisien perpindahan massa, $k_g = 0,066 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{detik} \cdot \text{atm})$, dan koefisien perpindahan panas aliran horisontal $h_c = 25,47 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{dt})^{0.8}$.

Kata kunci: pengeringan busa, perpindahan massa, perpindahan panas, tomat, *tray dryer*

Abstract

Tomato (Lycopersicum esculentum) is one of the horticultural products that has potential, healthy, and promising market prospects. Tomatoes are one of the foods that have high antioxidant content. Drying is one of the most widely used preservation methods, namely by evaporating most of the water contained in food by using heat energy. This work studied the coefficient of mass and heat transfer in foam drying of tomato using tray dryer equipment with the addition of a carrier agent dextrin which functions as a foam stabilizer and foaming agent tween 80 using Arrhenius equation. The raw material used is hybrid tomatoes Amala 474 variety which are not physiologically and mechanically damaged, ripe, evenly distributed fresh red, relatively the same diameter. Drying equipment in the form of Tray Dryer equipped with anemometer, balance, thermometer, and humidity meter. Supporting equipment

in the form of blenders and sieves. In this work, tomatoes were sliced and blended for 10 minutes. The seeds and pulp are separated from tomato slurry with a 60 mesh sieve. Then tomato slurry was mixed with dextrin and foaming agent tween 80 each by 5% by weight, to be blended for 10 minutes. The tray dryer was filled with hot air at 2.0 m/sec with temperature variation of 40, 50, 60 or 70°C. The stainless steel dish containing tomato cake with a thickness of 2 mm or 4 mm was inserted to the dryer. The tomato paste were weighted every 5 minutes. It is found that optimal foam drying at 4 mm layer thickness, 70.19 °C temperature and drying time 2.64 hours, with mass transfer coefficient, $k_g = 0.066 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{sec} \cdot \text{atm})$, and horizontal flow heat transfer coefficient $h_c = 25.47 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{sec})^{0.8}$.

Keywords : foam drying, heat transfer, mass transfer, tomato, tray dryer

PENDAHULUAN

Tomat (*Lycopersicon esculentum*) merupakan salah satu produk hortikultura yang berpotensi, menyehatkan, dan mempunyai prospek pasar yang cukup menjanjikan. Buah tomat adalah salah satu bahan pangan yang memiliki kandungan antioksidan yang cukup tinggi.

Buah tomat (*Lycopersicon esculentum* Mill.) merupakan produk hortikultura yang mudah diperoleh di Indonesia. Produksi tomat di sentra produksi terus meningkat, yang menyebabkan rendahnya harga pada saat panen raya. Buah tomat (*Lycopersicon esculentum* Mill.) merupakan produk hortikultura yang mudah diperoleh di Indonesia. Produksi tomat di sentra produksi terus meningkat, yang menyebabkan rendahnya harga pada saat panen raya.

Menurut Data Statistik Pertanian, dari Direktorat Jenderal Hortikultura, Kementerian Pertanian Republik Indonesia (2017), dari tahun 2005 hingga tahun 2014 terjadi peningkatan produksi tomat secara nasional sebesar 41,56 % yaitu dari 647.020 ton pada tahun 2005 menjadi 915.987 ton pada tahun 2014, sedangkan produksi di Provinsi Jawa Barat relatif stabil, yaitu antara 270 ribu ton hingga 350 ribu ton. Provinsi Jawa Barat memberikan kontribusi yang cukup besar terhadap produksi tomat secara nasional, yaitu antara 33 % hingga 44 %, atau rata-rata sebesar 37,11 % dari produksi nasional.

Tomat memiliki komponen gizi yang cukup lengkap dan kandungan vitamin A dan C-nya cukup tinggi. Dalam 180 gram buah tomat matang, vitamin C yang terkandung sekitar 34,38 mg dan vitamin A sekitar 1121,40 IU [Siswo Sumardiono]. Tomat sering

digunakan untuk mengatasi penyakit sariawan, gusi berdarah dan meningkatkan pertahanan tubuh. Walaupun memiliki berbagai kelebihan, tomat mudah rusak karena pengaruh mekanis.

Pengeringan merupakan salah satu metoda pengawetan yang paling banyak digunakan, yaitu dengan cara menguapkan sebagian besar air yang terkandung dalam bahan pangan dengan menggunakan energi panas.

Produk serbuk sari tomat dapat diperoleh dengan metode pengeringan semprot (*spray dryer*) dan pengeringan busa. Pengeringan semprot sulit dilakukan oleh perusahaan skala kecil dan menengah karena harga alat mahal dan juga sumber daya manusia yang diperlukan membutuhkan keahlian tinggi.

Pengeringan busa (*foam drying*) disebut juga *foam bed drying*, karena sebelum dimasukkan ke dalam wadah pengering, bahan dibuat busa dan dimasukkan di atas wadah atau nampan pengeringan.

Ulyatu Fitrotin (2007) melaporkan penggunaan Tween 80 sebagai emulsifier pada pembuatan bubuk sari buah tomat, komposisi dekstrin 5% dan tween 80 0,5 % memberikan hasil terbaik pada proses pengeringan sari buah tomat menggunakan *spray dryer*. Kadar vitamin C meningkat dengan meningkatnya konsentrasi Tween 80. Hal ini terjadi karena Tween 80 mampu membentuk lapisan pelindung diantara fase terdispersi dan fase kontinyu (Belitz dan Grosh, 1987). Lapisan inilah yang melindungi vitamin C dari kerusakan oksidatif. Oleh karena itu peningkatan konsentrasi Tween 80 dapat meningkatkan kadar vitamin C bubuk sari buah tomat.

Penambahan tween 80 menjadikan vitamin C yang tersisa lebih besar, sebab penambahan tween 80 menyebabkan terbentuknya lapisan pelindung dan muatan listrik di sekitar permukaan fase terdispersi (likopen) dan fase kontinyu (Vitamin C) sehingga partikel padat (fase terdispersi) dapat tersebar secara merata dalam fase kontinyu, akibatnya pengelompokan partikel padat tidak terjadi (Belitz and Grosch, 1987). Penambahan tween 80 lebih kepada memperbaiki emulsi larutan sebelum pengeringan, sehingga emulsi larutan stabil. Tween 80 merupakan surfaktan yang sering digunakan sebagai bahan pengemulsi pada “icing cake”.

Septinawati (2001) menggunakan busa putih telur dengan konsentrasi 5% pada pembuatan sari wortel instan dan Suryanto (2000) menggunakan busa putih telur sebanyak 2% pada pembuatan bubuk sari buah sirsak dengan metode pengeringan busa. Elmi Kamsiati (2006) melaporkan, pengeringan busa sari buah tomat dengan kadar Vitamin C 35,17 mg/100g dihasilkan rerata kadar vitamin C bubuk sari buah tomat berkisar antara 66,79 – 135,89 mg 10^{-2} g⁻¹. Kadar vitamin C meningkat dengan meningkatnya konsentrasi busa putih telur. Hal ini terjadi karena peningkatan konsentrasi busa putih telur dapat mempertebal lapisan film yang melindungi komponen yang ada dalam sistem buih termasuk vitamin C. Menurut Fennema (1996) putih telur mampu membentuk film yang mengelilingi gelembung udara. Film yang semakin tebal akan lebih melindungi bahan terlarut yang terletak diantara gelembung udara. Vitamin C adalah vitamin yang mudah teroksidasi (Winarno, 1991). Oleh karena itu kadar vitamin C meningkat dengan meningkatnya konsentrasi busa putih telur.

Fitrotin (2007) melaporkan bahwa kandungan vitamin C menurun setelah sari buah tomat dibuat menjadi bubuk. Penurunan tersebut akibat kerusakan vitamin C yang disebabkan oleh proses oksidasi. Fennema (1985) mengemukakan bahwa dekstrin tersusun atas unit glukosa yang dapat mengikat air, sehingga oksigen yang larut dapat dikurangi, akibatnya proses oksidasi dapat dicegah. Lin (1985) mengemukakan bahwa penggunaan bahan pengisi seperti dekstrin dapat mencegah proses oksidasi pada mikroenkapsulasi minyak ikan. Bhandari *et al.*,

(1992) berpendapat bahwa substitusi dekstrin pada gum arab dapat meningkatkan retensi volatil hingga 84%. Semakin besar konsentrasi dekstrin, maka semakin besar vitamin C yang tersisa. Rosenberg (1980) mengemukakan bahwa semakin tinggi proporsi dekstrin yang digunakan, lapisan film yang mengelilingi droplet akan semakin tebal dan kuat, sehingga ketika proses pengeringan dengan *spray drying* berlangsung partikel vitamin C akan terlindungi. Dengan demikian hanya sedikit komponen vitamin yang hilang selama pengeringan. Penambahan dekstrin sebagai *carrier agent* diharapkan dapat mengurangi kerusakan vitamin C.

Dalam pengeringan busa sari buah tomat terjadi 2 peristiwa perpindahan, yaitu perpindahan massa H₂O dari tomat ke permukaan dan perpindahan panas dari permukaan ke udara untuk menghilangkan air di permukaan.

Pembuatan sari tomat dilakukan dengan melalui beberapa tahap, yaitu pembuatan pasta, pengeringan, dan analisa produk sari tomat.

Penelitian ini bertujuan menentukan koefisien perpindahan massa dan panas pada pengeringan busa sari buah tomat menggunakan peralatan *tray dryer* dengan penambahan *carrier agent* dekstrin yang berfungsi sebagai *foam stabilizer* dan *foaming agent* tween 80.

Waktu pengeringan total (t_t) adalah jumlah waktu yang diperlukan pada periode laju konstan dan periode laju menurun pengeringan. Jika periode waktu tersebut dapat diukur, waktu pengeringan total dapat diperoleh dengan rumus :

$$t_t = t_c + t_f \quad (1)$$

Persamaan laju pengeringan pada periode laju konstan adalah :

$$t_c = \frac{(X_o - X_c)}{R_c} \quad (2)$$

dimana R_c , adalah konstanta laju pengeringan, dapat dihitung dengan persamaan :

$$R_c = \frac{\dot{m}_v}{A} = \frac{h_y(T - T_i)}{\lambda_i} \quad (3)$$

dimana \dot{m}_v adalah laju penguapan ($\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$), A adalah luas pengeringan (m^2), h_y koefisien perpindahan panas ($\text{J}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{C}^{-1}$), T adalah temperature udara panas ($^{\circ}\text{C}$), T_i adalah temperatur antarfasa ($^{\circ}\text{C}$), and λ_i adalah kalor laten pada temperatur T_i ($\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$).

Persamaan laju pengeringan pada periode laju menurun adalah :

$$\frac{-dX}{dt} = \frac{R_c}{X_c} (X) \quad (4)$$

Dengan cara integrasi, dengan batas antara waktu laju konstan (t_c) hingga waktu akhir pengeringan (t) dan hubungan antara kadar air dari X_c hingga X , persamaannya menjadi:

$$t - t_c = \frac{X_c}{R_c} \ln \frac{X_c}{X} \quad (5)$$

Dengan substitusi t_c dari persamaan 2, waktu total dapat ditentukan menjadi :

$$t = \frac{X_o - X_c}{R_c} + \frac{X_c}{R_c} \ln \frac{X_c}{X} \quad (6)$$

Persamaan tersebut dapat digunakan untuk menentukan periode laju penurunan pengeringan. Persamaan periode laju penurunan (*falling-rate period*) juga dapat ditentukan dengan menurunkan Hukum *Fick's* untuk difusi sebagai berikut :

$$MR = \frac{X - X_c}{X_o - X_c} = ae^{-kt} \quad (7)$$

dimana k adalah konstanta pengeringan (h^{-1}), t adalah waktu pengeringan (jam), dan a adalah konstanta.

Persamaan analitik untuk menentukan waktu pengeringan t_f tergantung pada bentuk fungsi laju pengeringan atau model yang digunakan untuk menentukan laju menurun, sebagai contoh, difusi cairan, kapilaritas, kondensasi-penguapan.

Penentuan waktu kritis (t_c) diperoleh dari pengolahan data kadar air sampel terhadap waktu menggunakan metoda kalkulus, yaitu membagi grafik kadar air terhadap waktu menjadi 3 bagian. Bagian 1, yaitu bagian yang membentuk garis lurus dilakukan regresi linier hingga diperoleh koefisien korelasi (R^2) maksimum, bagian 2 adalah bagian yang membentuk garis lengkung dilakukan regresi polinomial pangkat 2 hingga diperoleh koefisien korelasi (R^2) maksimum. Bagian 3 adalah yang membentuk garis horisontal, yang menunjukkan bahwa proses pengeringan sudah berhenti. Waktu perubahan antara bagian 1 dan bagian 2 merupakan waktu kritis (t_c).

Kondisi operasi pengeringan optimal dapat ditentukan berdasarkan persamaan Arrhenius berikut :

$$K = A \exp\left[\frac{E_a}{RT}\right] \quad (8)$$

Persamaan tersebut dalam bentuk logaritma dapat ditulis :

$$\ln K = \ln A - \left[\frac{E_a}{RT}\right] \quad (9)$$

$$\ln K = -\left[\frac{E_a}{R}\right] x \frac{1}{T} + \ln A \quad (10)$$

Perpindahan massa air dalam bahan pangan ke permukaan bahan pangan oleh gaya *van der Waals* ditunjukkan pada Gambar 3.2 berikut. Perpindahan massa air dalam bahan pangan dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut [Suharto, (2015)]:

$$\frac{dw}{dt} = -kg.A (p_s - p_a) \quad (11)$$

Dengan : $\frac{dw}{dt}$ = kecepatan pengeringan, (kg/jam)

k_g = koefisien perpindahan massa

A = luas permukaan bahan pangan yang dikeringkan, (m^2)

p_s = tekanan uap air pada permukaan, (atm)

p_a = tekanan uap air pada permukaan, (atm)

Persamaan perpindahan panas:

$$\frac{dQ}{dt} = h_c.A (\theta_a - \theta_s) \quad (12)$$

Dengan :

$\frac{dQ}{dt}$ = kecepatan perpindahan panas, (kg/jam)

h_c = koefisien perpindahan panas

A = luas untuk perpindahan panas, (m^2)

θ_a = suhu bola kering udara, ($^{\circ}C$)

θ_s = suhu permukaan bahan pangan, ($^{\circ}C$)

Laju kehilangan kadar air bahan pangan per satuan luas per waktu, (F) dinyatakan dengan rumus :

$$F = \frac{h(\theta_a - \theta_s)}{\lambda} \quad (13)$$

Dengan :

h = koefisien perpindahan panas,

λ = panas laten evaporasi

Pada keadaan keseimbangan, nilai $\frac{dw}{dt} = \frac{dQ}{dt}$

Waktu pengeringan konstan :

$$F = \frac{\rho.\lambda.\chi.(M_i - M_c)}{h_c(\theta_a - \theta_s)} \quad (14)$$

Untuk *tray* yang berisi makanan paling atas, maka air yang diuapkan hanya dari permukaan lapisan atas, sehingga waktu pengeringan dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut :

$$M_c = \frac{h_c}{\rho.\lambda.\chi}(\theta_a - \theta_s) \quad (15)$$

Dengan :

M_c = kadar air kritis

χ = tebal bahan pangan di *tray*

Perubahan kualitas produk pangan yang dikeringkan adalah adanya reaksi pencoklatan sehingga terjadi perubahan warna, penurunan nilai gizi dan kelarutan, perubahan tekstur dan timbulnya bau tak sedap.

Pengeringan adiabatik adalah pengeringan berbasis pada aliran udara panas sejajar

dengan permukaan bahan pangan maupun aliran udara panas yang mengalir vertical tegak lurus menembus bahan pangan.

Jika aliran udara panas sejajar dengan permukaan bahan pangan yang akan dikeringkan, maka berlaku koefisien perpindahan panas h_c adalah sebagai berikut :

$$h_c = 14,30 G^{0,8} \quad (16)$$

Dengan nilai G = laju alir massa udara ($\text{kg/m}^2 \cdot \text{detik}$).

METODE

Peralatan utama berupa *tray dryer* dari *Elettronica Veneta Spa*, Italy, dilengkapi dengan peralatan pendukung pisau, blender, ayakan, mixer, anemometer, Water Activity meter, timbangan analitis, dan *Infrared Thermometer*

Bahan baku utama adalah adalah tomat hibrida varietas Amala 474 yang tidak rusak secara fisiologis dan mekanis, telah matang, merah segar merata, diameter relatif sama yang dipetik langsung di kebun di daerah Bandung utara. Bibit tomat tersebut diproduksi oleh PT. Agrosid Manunggal Sentosa, dengan kemampuan adaptasi yang baik di dataran tinggi dengan ketinggian 1.200 – 1.270 m dpl pada musim hujan. Umur tanam selama 72-85 hari. Bahan tambahan terdiri dari 2 jenis, yaitu bahan pengemulsi (Tween 80) dan *carrier agent (maltodextrin)*.

Pengambilan data dilakukan melalui beberapa tahapan. Tahap pertama berupa penyiapan bahan baku, yaitu tomat diiris dan diblender selama satu menit kemudian disaring untuk memisahkan sari buah tomat dengan biji dan ampasnya, kemudian sari buah tomat dicampur dengan dextrin sebanyak 5% berat dan *foaming agent* Tween 80 sebanyak 5% berat. Campuran tersebut dikocok dengan *mixer* pada kecepatan 3 selama 10 menit, untuk selanjutnya campuran tersebut dituangkan dengan ketebalan 2 mm atau 4 mm pada loyang stainless steel. Tahap berikutnya adalah proses pengeringan pasta tomat dengan cara pada *tray dryer* dihembuskan udara panas dengan temperatur 40, 50, 60 dan 70 °C, kemudian atur laju udara pengering sebesar 2,0 m/detik, ukur menggunakan anemometer, catat kelembaban udara menggunakan *water activity meter*. Setelah temperatur dalam *tray dryer* sesuai dengan yang diharapkan (40, 50, 60 atau 70 °C), masukkan loyang yang telah berisi

pasta tomat ke dalam *tray dryer*, catat berat loyang yang berisi pasta tomat setiap 5 menit menggunakan timbangan digital yang terhubung dengan loyang yang berisi sampel. Hentikan percobaan setelah diperoleh 3 data berat pasta tomat sama pada waktu yang berbeda atau setelah 8 jam. Tahap terakhir adalah pengolahan produk dengan cara lempengan produk pasta tomat yang telah kering digrinding hingga diperoleh serbuk tomat kering, kemudian serbuk yang diperoleh diayak dengan ayakan 60 mesh sehingga diperoleh serbuk sari buah tomat yang selanjutnya dikemas dengan aluminium foil. Sebagian produk tersebut diambil untuk diukur kadar air, dan kadar vitamin C nya.

Analisis yang dilakukan untuk bahan baku dan produk meliputi analisis kadar air dan analisis kadar vitamin C. Produk serbuk tomat yang dihasilkan dianalisa kadar air dengan metode Oven, dan kadar Vitamin C dilakukan dengan metode Titrasi Iodometri. Penentuan kadar air dengan Metode Oven meliputi tahapan, berat cawan kosong ditimbang, kemudian cawan dipanaskan dalam oven pada suhu 105 °C selama 10 menit, selanjutnya didinginkan di udara selama 5 menit, kemudian didinginkan dalam desikator selama 10 menit, dan dilakukan pemanasan hingga berat cawan konstan. Bahan ditimbang sebanyak 1 gram. Cawan dan bahan dipanaskan dalam oven pada suhu 105 °C selama dua jam, kemudian didinginkan di udara selama 5 menit, selanjutnya didinginkan dalam desikator selama 10 menit, untuk kemudian berat cawan dan bahan ditimbang.

Penentuan Kadar Vitamin C dengan Metode Titrasi Iodimetri meliputi beberapa tahapan. Tahapan pertama adalah pembuatan larutan kanji dengan cara, amilum ditimbang sebanyak 0,1 gram, kemudian diencerkan dengan aquades dalam gelas kimia hingga 50 ml. untuk selanjutnya dipanaskan hingga terbentuk larutan kanji yang agak bening, diperoleh indikator kanji 0,5%. Tahap kedua adalah pembuatan reagen H_2SO_4 10% dengan cara 10,2 mL H_2SO_4 98% dipipet, kemudian diencerkan hingga 100 mL, dan pembuatan reagen I_2 0,004 M dengan cara timbang 0,2540 gram I_2 kemudian tambahkan 0,3556 gram KI pada kristal I_2 tersebut, kemudian campuran tersebut dilarutkan dengan 25 mL alcohol, dan diencerkan hingga 500 mL

dengan aquades. Tahap ketiga adalah persiapan sampel dengan cara timbang 0,05 gram sampel, kemudian dilarutkan dalam aquades 50 mL, dan diencerkan hingga 100 mL dalam labu takar. Tahap terakhir adalah penentuan kadar vitamin C dengan cara sampel yang sudah di larutkan dipipet sebanyak 25 ml ke dalam Erlenmeyer, kemudian ditambahkan 1 mL larutan H₂SO₄ 10%, selanjutnya ditambah larutan kanji 0,5% sebanyak 10 tetes, dan dititrasi dengan larutan I₂ 0,004 M. Titik akhir titrasi ditandai dengan adanya perubahan warna larutan dari tak berwarna menjadi biru.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Temperatur Operasi Pengeringan terhadap Kadar Vitamin C

Berdasarkan hasil uji laboratorium tentang kadar vitamin C serbuk tomat produk hasil penelitian menggunakan metoda Titrasi Iodometri dapat dibuat tabel 1 berikut ini.

Tabel 1 Kadar vitamin C (mg%)

No	T		Tebal Bubur	
	(°C)	(K)	2 mm	4 mm
1	40	313	139,42	132,59
2	50	323	109,49	130,62
3	60	333	117,73	169,11
4	70	343	125,50	114,29

Vitamin C awal (C_o): 31,18 mg %

Dari tabel 1 tersebut terlihat bahwa pengeringan busa sari buah tomat dengan kadar Vitamin C 31,18 mg/100g penggunaan *foaming agent* Tween 80 dengan konsentrasi 5% menghasilkan kadar vitamin C bubuk sari

buah tomat berkisar antara 109,49 hingga 169,11 mg 10⁻² g⁻¹. Konsentrasi vitamin C cenderung meningkat dengan bertambahnya temperatur operasi pengeringan.

Penentuan Kondisi Operasi Pengeringan Optimal

Dari data kadar vitamin C pada tabel 1 tersebut, dapat ditentukan berdasarkan persamaan 8, 9 dan 10.

Bila K adalah konsentrasi vitamin C pada suatu waktu, dan A adalah konsentrasi vitamin C awal (C_o), maka persamaan 16 dapat ditulis :

$$\ln (\text{vit C}/\text{vit C}_o) = - \left[\frac{E_a}{R} \right] x \frac{1}{T}$$

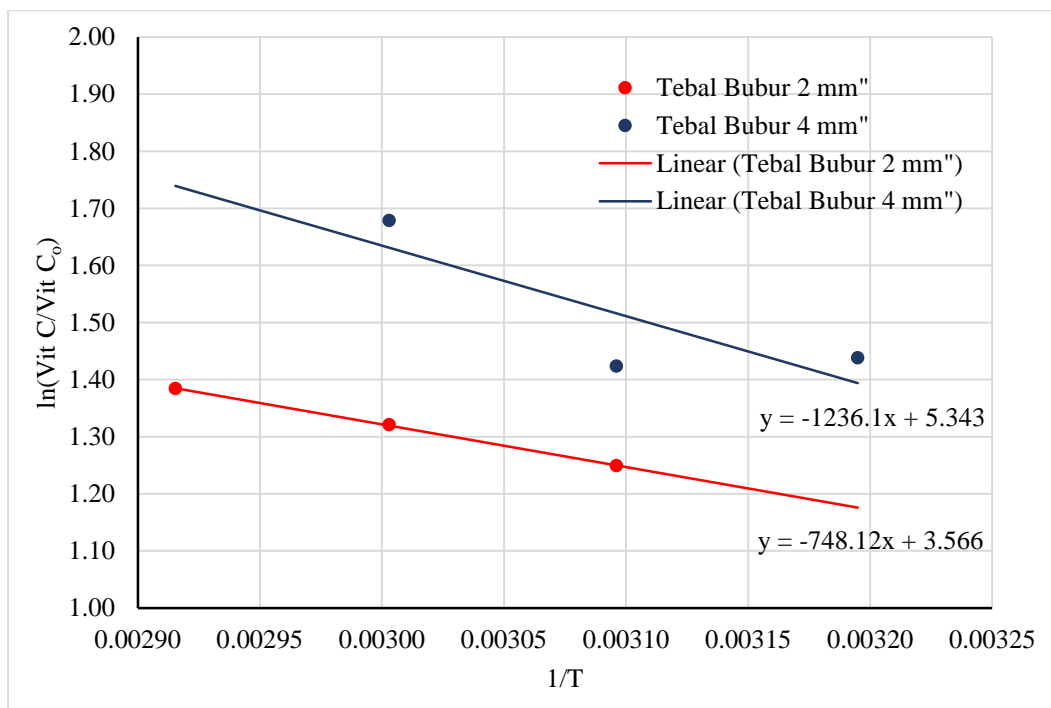
Sehingga dari tabel 1 dapat dibuat tabel 2 dan grafik pada gambar 1 untuk menentukan kondisi operasi pengeringan yang optimal.

Tabel 2 Penentuan operasi pengeringan optimal

No	1/T (1/K)	ln (Vit C/Vit C _o)	
		2 mm	4 mm
1	0,00319	1,50	1,45
2	0,00310	1,26	1,43
3	0,00300	1,33	1,69
4	0,00292	1,39	1,30
slope		-756,0	-1.252,8

Vitamin C awal (C_o): 31,18 mg %

Dari Gambar 1 terlihat bahwa Operasi Pengeringan Optimal terjadi pada : Foaming Agent Tween 80 dengan ketebalan padatan 4 mm karena pada grafik ln (Vit C/Vit C_o) vs 1/T diperoleh tg α terbesar, yaitu -1.252,8.



Gambar 1 Grafik penentuan kondisi operasi pengeringan optimal

Dengan $R = 8,314 \text{ J/mol K}$, dan $\text{tg } \alpha = -1.252,8$, maka diperoleh $-(\Delta E/R) = -1.252,8$, sehingga $\Delta E_{a,\text{optimal}} = -1.236,1 \text{ K} \times 8,314 \text{ J/mol K} = 10.277 \text{ Joule/mol}$.

Penentuan Waktu dan Temperatur Pengeringan Optimal

Berdasarkan perhitungan penentuan waktu kritis (t_c) dari pengolahan data kadar air sampel terhadap waktu menggunakan metoda kalkulus, diperoleh data waktu kritis pada penggunaan foaming agent Tween 80 dengan tebal padatan 4 mm pada berbagai temperatur operasi pengeringan disajikan pada tabel 3 berikut.

Tabel 3 Waktu kritis pengeringan

No	T (oC)	t_c jam	Persamaan Linier
1	70	2.75	$y = -2,6755x + 7,9919$
2	60	1.83	$y = -2,9921x + 8,2507$
3	50	1.50	$y = -3,4126x + 8,5268$

Dari tabel 3 tersebut, dapat ditentukan temperatur optimal berdasarkan grafik pada gambar 2 berikut.

Dari grafik tersebut diperoleh persamaan garis :

$$T = -15,547 t^2 + 82,074 t - 38,13.$$

Waktu kritis optimum diperoleh saat $dT/dt = 0$

$$dT/dt = 0 = -15,547 \cdot 2t + 82,074$$

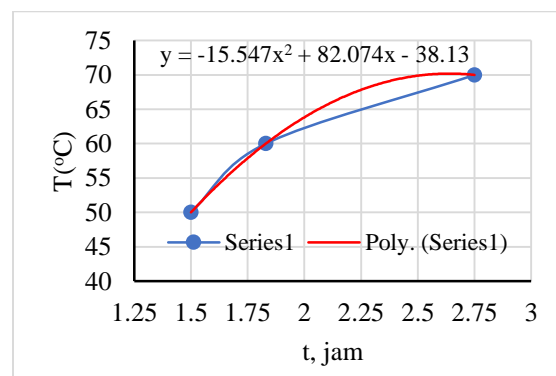
$$t = 82,074 / (2 \cdot 15,547)$$

$$t_c = 2,64 \text{ jam}$$

$$T_c = -15,547 \cdot t_c^2 + 82,074 t_c - 38,13$$

$$T_c = 70,19 \text{ }^\circ\text{C}$$

Dari hasil perhitungan tersebut, diperoleh hasil waktu kritis, t_c , adalah = 2,64 jam, dan temperatur kritis, T_c , adalah = 70,19 $^\circ\text{C}$.



Gambar 2 Grafik penentuan temperatur pengeringan optimal

Penentuan Koefisien Perpindahan Massa dan Panas

Pengeringan suatu bahan akan terjadi bila terdapat proses perpindahan massa dan panas, sehingga air yang terkandung dalam suatu bahan akan berpindah ke fasa uap. Dari proses perpindahan massa dan panas, dapat

ditentukan konstanta perpindahan massa dan panas dari suatu bahan yang dikeringkan. Penentuan koefisien perpindahan massa dan panas ditentukan berdasarkan persamaan-persamaan berikut.

Penentuan Koefisien Perpindahan Massa

Dari persamaan 11, diperoleh persamaan :

$$k_g = \left(-\frac{dw}{dt}\right) / (A (p_s - p_a))$$

Dengan :

-dW/dt = laju perpindahan massa

k_g = konstanta perpindahan massa

A = luas permukaan kontak $tray = 0.12 \text{ m}^2$

p_a = P parsial uap air pada temperatur udara ruang = 25 °C

p_s = P uap air pada permukaan padatan

Dari Tabel 3, diperoleh data :

Persamaan Linier, T 70 °C :

$$y = -2.6755x + 7.9919$$

Persamaan Linier, T 60 °C :

$$y = -2.9921x + 8.2507$$

Dengan cara ekstrapolasi, diperoleh -dW/dt pada saat T optimal, 70,19 °C adalah 2,67 gram/jam

$$PV = nRT$$

n = berat udara/BM udara

Berat udara : 10 gram

BM udara : 29 gram/mol

n udara = 0.345 mol

R = 8,314 J/mol K atau 0,082 L atm/mol K

V udara = 22,4 liter

T_a = Temperatur udara ruang : 25 °C = 298 K,

Maka dengan persamaan $p_a = nRT_a/V$, diperoleh $p_a = 0,376 \text{ atm}$

Dari data $T_s = T_{\text{pengeringan optimal}} = 63,03 \text{ °C} = 343,19 \text{ K}$, dan persamaan $p_s = nRT_s/V$, maka diperoleh $p_s = 0,433 \text{ atm}$.

Dari persamaan $k_g = (-dW/dt)/(A(p_s - p_a))$, maka diperoleh :

$$k_g = 0,018 \text{ gram}/(\text{m}^2 \cdot \text{jam} \cdot \text{atm})$$

$$= 18,28 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{jam} \cdot \text{atm})$$

$$= 0,0658 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{detik} \cdot \text{atm})$$

Dari hasil perhitungan tersebut, diperoleh hasil koefisien perpindahan massa, k_g adalah 0,066 kg/(m².detik.atm).

Penentuan Koefisien Perpindahan Panas Aliran Horizontal

Penentuan koefisien perpindahan panas aliran horizontal menggunakan persamaan 16, yaitu :

$$h_c = 14,30 G^{0,8} \quad (16)$$

Dari data spesifikasi alat : outlet section 280 x 450 mm = 0.126 m²

Dari data kondisi operasi, laju alir udara, $v = 2 \text{ m/dt}$

Berat jenis udara = 1.184 kg/m³

$$P = \rho(R/M_r)T$$

$$\rho = P/(R/M_r)T$$

Pada tekanan 1 atm dan temperatur operasi optimal : 70,19 °C (343,19 K)

$$\rho = 101.325 \text{ kJ/m}^3 / (8.314 \text{ kJ/k.mol.K} * 336.03 \text{ K} / 28.97 \text{ kg/kmol})$$

$$\rho = 101.325 \text{ kJ/m}^3 / (8.314 \text{ kJ/k.mol.K} * 343.19 \text{ K} / 28.97 \text{ kg/kmol})$$

$$\rho = 1,029 \text{ kg/m}^3$$

G laju alir massa udara, kg/m².detik

$$G = \rho_{\text{udara}} * v$$

$$G = 1.029 \text{ kg/m}^3 * 2 \text{ m/dt}$$

$$G = 2,058 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{dt})$$

$$h_c = 14,30 G^{0,8}$$

$$h_c = 14,30 * (2,058 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{dt}))^{0,8}$$

$$h_c = 25,47 \text{ (kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{dt}))^{0,8}$$

Dari hasil perhitungan tersebut, diperoleh hasil koefisien perpindahan panas, h_c adalah 25,47 (kg/(m².dt))^{0.8}

SIMPULAN DAN SARAN

Hasil yang diperoleh, kondisi operasi optimal tercapai pada tebal lapisan 4 mm, temperatur 70,19 °C dan waktu pengeringan 2,64 jam, dengan nilai koefisien perpindahan massa, $k_g = 0,066 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{detik} \cdot \text{atm})$, dan koefisien perpindahan panas aliran horizontal $h_c = 25,47 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{dt})^{0,8}$.

DAFTAR PUSTAKA

Abdulmalik I. O., Amony M. C., Ambali A. O., Umeanuka P. O., Mahdi M., March 2014, *Appropriate Technology for Tomato Powder Production*, International Journal of Engineering Inventions, Volume 3, Issue 8 () PP: 29-34.

Aline Jorge, Denise Milleo Almeida, Maria Helene Giovanetti Canteri, Thiago Sequinel, Evaldo Toniolo Kubaski & Sergio Mazurek Tebcherani, 2014, *Evaluation of the chemical composition and colour in long-life tomatoes (Lycopersicon esculentum Mill) dehydrated by combined drying*

- methods*, International Journal of Food Science and Technology.
- Amelia, Verona, Bery Kristianti dan Moh. Djaeni, 2013, *Pengaruh Kondisi Operasi dengan Foam*, Universitas Diponegoro, Semarang.
- Ching Lik Hii, Sachin Vinayak Jangam, Choon Lai Chiang and Arun Sadashiv Mujumdar (Editors), 2013, *Processing and Drying of Foods, Vegetables and Fruits*.
- Direktorat Jenderal Hortikultura, 2017. *Data Statistik Pertanian*, Kementerian Pertanian Republik Indonesia.
- Djaeni, M., & A. Prasetyaningrum & S. B. Sasongko & W. Widayat & C. L. Hii, February 2015, *Application of foam-mat drying with egg white for carrageenan: drying rate and product quality aspects*, J Food Sci Technol.
- Elmi Kamsiati, Agustus 2006, *Processing Tomato Powder (Licopersicon esculentum Mill.) By "Foam-Mat Drying"*, Jurnal Teknologi Pertanian, Vol. 7 No. 2 : 113-119.
- Hariyadi,T., Judy Retty Witono, Herry Santoso, 2017, *Pengaruh Jenis Foaming Agent dan Ketebalan Cake pada Proses Pengerangan Tomat Menggunakan Tray Dryer*, Makalah Seminar Nasional Integrasi Proses (SNIP) 2017, Jurusan Teknik Kimia, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Banten.
- Hariyadi, T., Judy Retti Witono, Herry Santoso, 2017, *Pengaruh Kondisi Operasi dan Foaming Agent terhadap Kualitas Serbuk Tomat pada Pengerangan Menggunakan Tray Dryer*, Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi (Semnastek 2017), Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jakarta.
- Kalaivani, K., V. Chitra Devi, December, 2013, *Mathematical modeling on drying of Syzygium Cumini (L.)*, Int J Agric & Biol Eng, Vol. 6 No.4.
- Saripudin, Tri Hariyadi, 2018, *The Making of Tomato Powder with Addition of Maltodextrin as a Carrier Agent and Egg White Powder as a Foaming Agent*, Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan" Yogyakarta.
- Siswo Sumardiono, Mohamad Basri, Rony Pasonang Sihombing, *Analisis sifat-sifat psiko-kimia buah tomat (Lycopersicon Esculentum) jenis tomat apel, guna peningkatan nilai fungsi buah tomat sebagai komoditi pangan lokal*.
- Suharto, 2015, *Unit Proses Dalam Sintesis Pangan*, Unpar Press, Bandung.
- Sunarmani, Iceu Agustinisari, Nur Hastuti dan Yulianingsih, *Studi pembuatan pasta tomat dari beberapa varietas*, Prosiding Seminar Nasional Teknologi Inovatif Pascapanen untuk Pengembangan Industri Berbasis Pertanian.
- Ulyatu Fitrotin, Hari Purnomo, Tri Susanto, 2007. *Pembuatan bubuk sari buah tomat dengan metode spray drying. Kajian dari pH awal, konsentrasi dextrin, tween 80 dan lama penyimpanan*.
- _____, 2015, *Tray Dryer Apparatus Mod. TDC/EV, Teacher/Student Handbook*, Elettronica Veneta Spa