

KINETIKA DAN EFEKTIFITAS PENGERINGAN CABAI MERAH (*Capsicum annum L*) MENGUNAKAN POMPA KALOR DAN GELOMBANG MIKRO

KINETICS AND EFFECTIVENESS OF RED CHILI (*Capsicum annum L*) DRIED BY HEAT PUMP AND MICRO WAVES DRYING

Sari Farah Dina¹

¹Balai Riset dan Standardisasi Industri Medan, Jl. Sisingamangaraja No.24 Medan-20217

Email: sfdina1@yahoo.com

ABSTRAK

Penelitian tentang pengeringan cabai merah (*Capsicum annum L*) menggunakan tenaga pompa kalor (1 PK) dan gelombang mikro (10, 30 dan 50% level daya) telah dilakukan. Tujuan dari penelitian ini untuk mendapatkan kurva pengeringan yang cocok, konsumsi energi spesifik (SEC), laju ekstraksi uap air spesifik (SMER) dan persen penurunan kadar vitamin C. Dalam rangka untuk memperkirakan dan memilih kurva pengeringan yang cocok, maka data profil rasio kadar air terhadap waktu dipasangkan kedalam empat model matematika (Newton, Page, Henderson & Pabis dan Wang & Singh). Koefisien determinasi (R^2), akar rata-rata kesalahan pangkat dua (RMSE) dan kesalahan bias rata-rata (MBE) digunakan untuk menentukan model terbaik yang tepat. Performansi pengeringan optimum ditentukan dari nilai SEC terendah dan SMER paling tinggi serta penurunan kadar vitamin C paling kecil dibanding cabai merah segar. Dari keempat model matematika yang diselidiki, model Wang & Singh dapat mewakili pengeringan cabai merah baik menggunakan pompa kalor maupun gelombang mikro dengan R^2 tertinggi dan RMSE dan MBE terendah. Pada pengeringan gelombang mikro, level daya berbanding lurus dengan suhu dan laju pengeringan serta SMER namun berbanding terbalik dengan waktu pengeringan dan SEC. Pengeringan dengan pompa kalor memberikan performa paling buruk. Penurunan kadar vitamin C paling rendah diperoleh pada pengeringan gelombang mikro dengan variasi 30% level daya dimana suhu rata-rata pengeringan adalah 71,4°C.

Kata kunci: cabai merah, pengeringan, pompa kalor, gelombang mikro, performans, mutu

ABSTRACT

*Research on drying red chili (*Capsicum annum L*) using dryer which are powered of heat pump (1 PK) and microwaves 2450Hz (10, 30 and 50% power level) has been conducted. The purpose of this study to get kinetics drying, the specific energy consumption (SEC), specific moisture extraction rate (SMER) and percent decrease in vitamin C. In order to estimate and select a suitable drying curve, the moisture ratio profile data to time were paired into four mathematical models (Newton, Page, Henderson&Pabis and Wang&Singh). The coefficient of determination (R^2), root mean square error (RMSE) and mean bias error (MBE) are used to determine of the best suitable model. The best performance are obtained from drying with the lowest SEC, highest SMER and lowest reducing of vitamin C compared to fresh red chili. Among the four investigated mathematical model, the model of Wang and Singh is best model to describe drying kinetics of red chili using heat pumps and micro wave with the highest R^2 and lowest RMSE and MBE. On microwaves drying showed that power level is proportional to the temperature, drying rate and SMER but inversely to the drying time and the SEC. Heat pump drying were provides the worst performance. The lowest decreasing levels of vitamin C were obtained on drying with microwave at variation of 30% power level where the average temperature of drying is 71,4°C.*

Keywords: red chili, drying, heat pump, microwave, performance, quality

PENDAHULUAN

Pengeringan adalah salah satu cara pengawetan makanan yang memerlukan biaya tinggi untuk melepaskan air dari bahan dengan perlakuan panas. Produk-produk makanan umumnya memiliki kadar air cukup tinggi (mencapai 93%) untuk kemudian diturunkan hingga mencapai nilai yang dapat ditolerir untuk mencegah pertumbuhan dan perkembangan mikroorganisme seperti bakteri, jamur dan kapang. Selain itu secara substansi juga menyebabkan terjadinya penurunan berat dan volume produk sehingga berdampak terhadap penurunan biaya pengemasan, penyimpanan dan transportasi serta memungkinkan untuk menyimpan produk pada suhu lingkungan [Jangam et.al, 2010].

Saat ini pengeringan telah menjadi unit operasi penting dalam berbagai industri dan pada pengoperasiannya memerlukan sejumlah energi yang cukup intensif untuk menguapkan air dan mengeluarkannya dari bahan yang dikeringkan. Oleh karenanya, riset-riset tentang metode pengeringan terus dikembangkan untuk mendapatkan teknologi yang hemat energi, lebih cepat, lebih ramah lingkungan tanpa mengabaikan kualitas bahan yang akan dikeringkan [Yashwant, 2015].

Metode pengeringan yang penggunaannya sangat luas adalah pengeringan menggunakan udara panas, (*conventional air-drying*), namun cara ini memiliki beberapa kelemahan diantaranya dapat menyebabkan kerusakan terhadap produk yang dikeringkan, efisiensi energi yang rendah dan juga waktu pengeringan yang lebih lama (Wang & Xi, 2005; Mihindukulasuriya et.al., 2013).

Salah satu teknologi pengeringan yang dapat dioperasikan pada suhu relatif rendah tetapi memiliki laju pengeringan yang baik adalah pemanfaatan teknologi pompa kalor. Unit evaporator dari pompa kalor akan berfungsi mengkondensasikan uap air yang ada di udara pengering ketika melewatinya dan mencapai mencapai titik embunnya. Selanjutnya udara pengering yang sudah memiliki humiditas rendah (<21%) dilewatkan pada kondensor sehingga suhu udara dapat dinaikkan hingga 45°C (Tjukup et.al., 2012). Pompa kalor merupakan salah satu jenis pengeringan yang berpotensi menghemat energi jika dibandingkan dengan pengeringan konvensional menggunakan listrik (Meyers et.al, 2010; Denkenberberg et. al., 2013).

Kinerja dari suatu unit pompa kalor ditentukan oleh nilai COP (coefficient of performance) yaitu perbandingan antara panas yang dihasilkan dan energi yang dibutuhkan. Energi Listrik yang digunakan untuk menggerakkan pompa kalor yang digunakan untuk memanaskan lingkungan beriklim sedang biasanya memiliki COP 3,5 pada kondisi desain. Ini berarti bahwa untuk setiap 1 kWh listrik yang digunakan untuk menggerakkan pompa kalor akan menghasilkan panas sebesar 3,5 kWh [Brown, 2009].

Penggunaan gelombang mikro untuk mengeringkan produk makanan, buah-buahan maupun sayur-sayuran dapat menjadi alternatif pengganti pengeringan konvensional menggunakan udara panas. Terdapat beberapa keunggulan dari penerapan energi gelombang mikro pada proses pengeringan, diantaranya pemanasan bahan seragam, konversi energi lebih efisien dan perbaikan kualitas produk akhir. Dan juga waktu lebih singkat, ruang lebih kecil, pengendalian proses lebih mudah dan lebih cepat. Semakin tinggi daya yang diberikan (power level) maka semakin singkat waktu pengeringan, namun dampaknya terhadap kerusakan mutu produk yang dikeringkan harus menjadi pertimbangan. Oleh karenanya pengaturan besar daya untuk setiap produk harus diperhatikan ketika mengoperasikan pengeringan gelombang mikro sehingga kehilangan kandungan bahan didalam produk dapat diminimisasi [Yashwant, 2015]

Cabai merah (*Capsicum annum L*) telah menjadi bahan utama masakan khas di negara sub-tropis dan tropis . Sejumlah studi telah menunjukkan bahwa cabai merah merupakan sumber yang baik dari anti-oksidan yang kaya akan vitamin A dan C, mineral-mineral serta pitokimia lainnya sebagai sumber nutrisi [Ahmad et.al., 2013]. Namun karena

kadar airnya yang tinggi (80%), maka bahan ini cepat sekali mengalami kerusakan akibat aktifitas mikroorganisme. Oleh karena itu, pengeringan merupakan cara terbaik untuk mengawetkan cabai dalam bentuk kering. Meskipun pengeringan dengan energi matahari adalah yang terbaik dan murah [Dina et. al., 2013], namun sumber energi terbarukan ini bersifat *intermittent* dan sangat dipengaruhi oleh kondisi iklim/cuaca.

Penelitian ini dilakukan untuk membandingkan pengeringan cabai merah dengan metoda pompa kalor dan gelombang mikro ditinjau dari sisi model kinetika pengeringan, konsumsi energi spesifik dan juga kadar terhadap rasio penurunan kadar vitamin C.

BAHAN DAN METODE

Bahan

Sampel cabai merah (*C. annuum* L.) yang berasal dari kabupaten Tanah Karo-Sumatera Utara juga dikenal sebagai cabe merah kertiting diperoleh dari pasar tradisional di kota Medan. Cabai terlebih dahulu dilepas dari tangkainya, kemudian dicuci bersih dan ditiriskan hingga tidak ada air di permukaannya. Cabai merah ditimbang masing-masing sebanyak 500 gram \pm 2 gram kemudian dimasukkan kedalam pengering.

Pengeringan Pompa Kalor (Heat Pump Drying)

Pengering pompa kalor yang digunakan merupakan hasil rancang bangun Peneliti Balai Riset dan Standardisasi Industri Medan dengan kapasitas 3 kg, menggunakan unit pengkondisi udara (evaporator, kompresor dan kondensor) yang ada di pasaran dengan spesifikasi beban pendinginan setara 9000 BTU/jam.

Alat Pendukung dan alat ukur meliputi: timbangan digital 0-2000 gram dengan ketelitian 0,01gram, *RH-temperature data logger* (0-100%RH, 0-120°C), *hot wire* anemometer (0,2-5 m/det dengan resolusi 0,01 m/det). Pompa kalor dihubungkan dengan aliran listrik dan dipastikan tekanan absolut fluida kerja masuk kompresor, keluar kompresor dan keluar kondensor berturut-turut P1, P2 dan P3 telah menunjukkan besaran 477, 1925 dan 1580 kPa. Sampel cabai merah disebarakan hingga membentuk lapisan tipis di atas rak pengering. Penurunan berat sampel, kelembaban, temperatur dan kecepatan aliran udara di dalam ruang pengering diukur dan dicatat setiap 30 menit. Pengeringan dihentikan ketika sudah dicapai berat konstan.

Pengering gelombang mikro (MW) yang digunakan pada skala laboratorium adalah yang ada di pasaran dengan spesifikasi daya 900 Watt dan frekwensi 2450 Hz. Pengering MW dapat dioperasikan pada variasi level daya 0-100%. Pada percobaan ini variasi yang dilakukan adalah pada level daya 10, 30 dan 50%. Berat dan temperatur sampel ditimbang dan diukur setiap 15 menit hingga dicapai berat konstan.

Pemodelan Kurva Pengeringan

Karakteristik pengeringan di tampilan dalam bentuk kurva penurunan kadar air (MR) cabai merah terhadap waktu pengeringan. Rasio kadar air (MR) digunakan sebagai variabel fungsi yang berkaitan dengan kadar air awal (M_i), kadar air setimbang (M_e) dan kadar air pada waktu aktual (M_t). Semua parameter ini dinyatakan dalam basis kering [Fudholi et. al., 2013].

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_i - M_t} \quad (1)$$

Kadar air dalam basis kering dihitung berdasarkan persamaan (2) berikut:

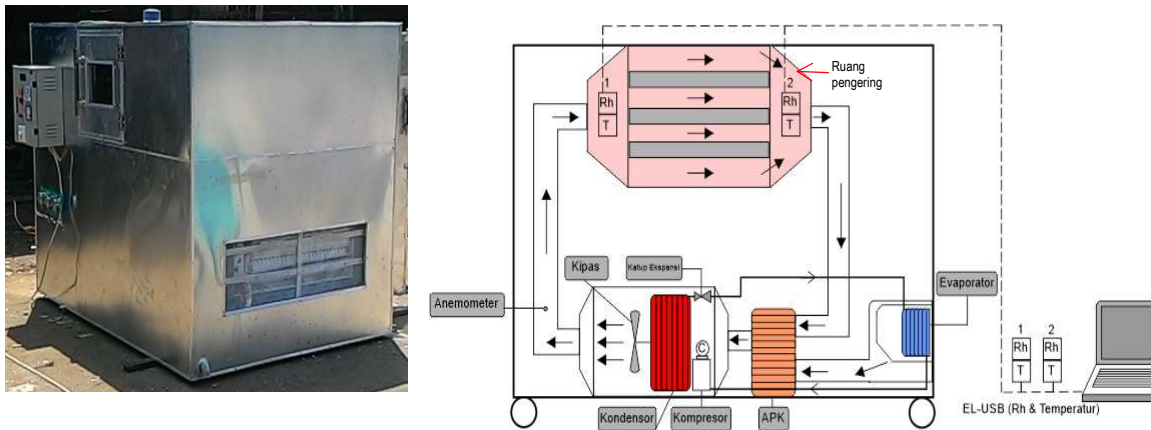
$$M = \frac{w(t) - d}{d} \quad (2)$$

dimana $w(t)$ adalah berat bahan basah (padatan kering+air) pada waktu t (kg atau gr) dan d adalah berat padatan kering (kg atau gr).

Laju pengeringan (*drying rate*) selanjutnya dinyatakan sebagai DR dinyatakan sebagai jumlah air yang diuapkan pada waktu tertentu dengan persamaan sebagai berikut:

$$DR = \frac{M_{t+dt} - M_t}{dt} \quad (3)$$

dimana M_t dan M_{t+dt} berturut-turut adalah kadar air pada waktu t dan kadar air pada waktu $t+dt$.



Gambar 1. Pengering Pompa Kalor

Pengeringan Gelombang Mikro (Microwave Drying)

Pencocokan kurvadilakukan untuk mendapatkan model terbaik untuk menggambarkan kurva pengeringan cabai merah menggunakan metode pengeringan pompa kalor dan gelombang mikro. Analisa regresi linier dan non linier diselesaikan menggunakan bantuan program Excell 2016. Kriteria utama yang digunakan untuk memilih model terbaik adalah dengan menetapkan nilai tertinggi dari koefisien determinasi (R^2) serta nilai terendah dari akar kesalahan rata-rata kuadrat (RMSE) dan kesalahan bias rata-rata (MBE). Empat tipe persamaan model yang digunakan adalah Newton, Page, Handerson & Pabis dan Wang and Singh (Tabel 1). Parameter statistik dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (MR_{perc,i} - MR_{pred,i})^2 \right]^{0,5} \quad (4)$$

$$MBE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (MR_{perc,i} - MR_{pred,i})^2$$

dimana $MR_{perc, i}$, $MR_{pred, i}$ dan N berturut-turut adalah nilai MR yang diperoleh dari percobaan, nilai MR dari hasil simulasi (prediksi) dan jumlah data.



Gambar 2. Pengeringan dengan Oven Gelombang Mikro

Tabel 1. Model Matematis yang Digunakan untuk Pencocokan Kurva Pengeringan

No	Persamaan Model	Nama
1	$MR = e^{-kt}$	Newton
2	$MR = e^{-kt^n}$	Page
3	$MR = a \cdot e^{-kt}$	Henderson & Pabis
4	$MR = 1 + at + bt^2$	Wang & Singh

Performansi Pengeringan

Konsumsi Energi Spesifik (Specific Energy Consumption) disingkat dengan simbol SEC
 KES ditentukan dengan membandingkan total energi yang diterima selama pengeringan terhadap jumlah air yang diuapkan, dinyatakan dalam MJ/kg air teruapkan sesuai persamaan sebagai berikut:

$$SEC = \frac{Q}{W_i - W_o} \quad (5)$$

dimana Q , W_i dan W_o berturut-turut adalah total energi yang disuplai selama pengeringan (MJ), berat awal bahan (kg) dan berat akhir bahan (kg)

Laju Ekstraksi Uap Air Spesifik (Specific Moisture Extraction Rate) disingkat dengan simbol SMER

SMER(kg/kWh) merupakan besaran yang menyatakan jumlah energi yang diperlukan untuk menghilangkan 1 kg air dan dapat dihitung sebagai kebalikan dari konsumsi energi spesifik sebagai berikut:

$$SMER = \frac{1}{SEC} \quad (6)$$

Pengaruh Pengeringan Terhadap Rendemen Vitamin C

Kadar vitamin C pada cabai merah paling tinggi dibanding bahan makanan lain seperti tomat bayam merah, wortel, selada, labu merah, kubis dll [Ahmad F. et. al., 2013]. Vitamin C merupakan senyawa yang mudah rusak akibat panas, oleh karena itu pengaruh variasi pengeringan yang dilakukan terhadap perubahan kadar vitamin C diamati pada penelitian ini. Penentuan kadar vitamin C menggunakan metode titrasi Iodimetri dengan prosedur sebagai berikut: sampel cabai merah dihaluskan dan seberat 100 mg dilarutkan dalam dengan aquadest didalam labu ukur 100 mL hingga sampai tanda batas, kemudian disaring menggunakan kertas saring. Filtrat yang diperoleh sebanyak 25 mL dimasukkan kedalam Erlenmeyer, ditambahkan indikator 1 mL larutan kanji 1%, kemudian dititrasi dengan larutan Iod 0,01N sampai timbul warna biru. Setiap 0,01N Iod ekuivalen dengan 0,88 mg asam askorbat. Vitamin C dihitung sebagai berikut :

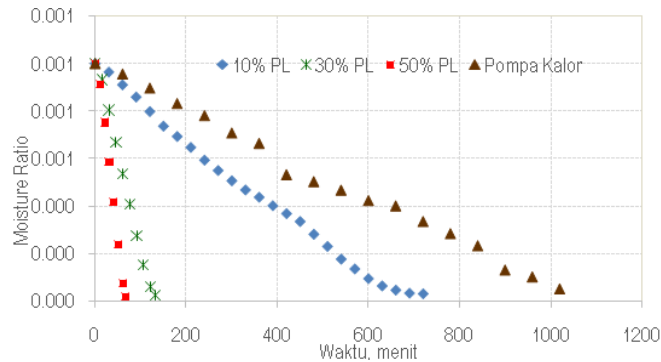
$$\frac{\text{mg Asam askorbat}}{100 \text{ gr bahan}} = \frac{\text{mL Iod } 0,01 \text{ N} \times 0,88 \times \text{pengenceran} \times n \times 100}{\text{berat contoh}} \quad (7)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

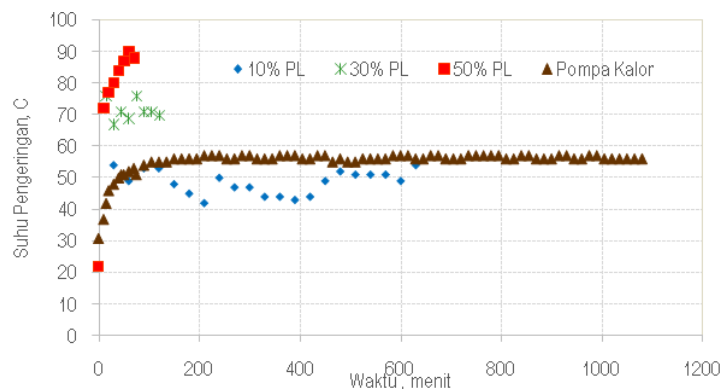
Profil Kurva Pengeringan

Cabai merah yang digunakan memiliki kadar air awal adalah 79,88% ± 1,65%. Data penurunan kadar air yang diperoleh selama percobaan dikonversikan menjadi rasio kadar air tanpa dimensi (*Moisture Ratio*) disingkat dengan MR. Selanjutnya profil MR, suhu pengeringan dan laju pengeringan masing-masing terhadap waktu pengeringan ditunjukkan pada Gambar 3, 4 dan 5. Pengeringan dengan pompa kalor memberikan laju penurunan kadar air paling rendah dibanding pengeringan dengan gelombang mikro. Pengeringan dengan gelombang mikro memberikan laju penurunan kadar air yang berbanding lurus terhadap level daya yang divariasikan. Semakin tinggi level daya yang disuplai maka semakin tinggi energi listrik yang diubah menjadi gelombang elektromagnetik. Kondisi ini selanjutnya memberikan pengaruh dengan semakin meningkatnya energi kinetik zat-zat terpolarisasi seperti air sehingga menimbulkan panas. Dengan semakin meningkatnya energi kinetik akibat meningkatnya level daya yang diberikan, maka suhu pengeringan semakin tinggi sehingga waktu pengeringan semakin singkat.

Pengeringan dengan pompa kalor, gelombang mikro 10%PL, 30%PL dan 50%PL berturut-turut berlangsung pada suhu rata-rata 55,2°C; 48,6°C; 71,4°C dan 82,6°C. Berdasarkan Gambar 3 dan Gambar 4 terlihat bahwa pengeringan dengan gelombang mikro pada level daya paling rendah (10%) meskipun menghasilkan suhu pengeringan lebih rendah, namun memberikan laju penurunan kadar air lebih tinggi dibanding pengeringan pompa kalor. Laju penguapan pada pengeringan gelombang mikro lebih tinggi dikarenakan panas yang dibangun adalah secara internal (akibat gesekan molekuler uap air) dari dalam bahan sehingga memberikan laju difusifitas uap air keluar yang lebih tinggi dibanding jika sumber panas berasal dari luar kedalam secara konduksi seperti yang terjadi pada pengeringan pompa kalor.

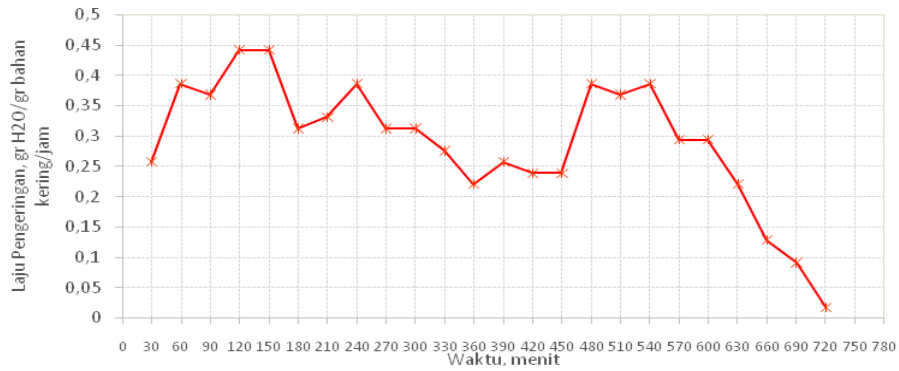


Gambar 3. Moisture Ratio terhadap Waktu Pengeringan

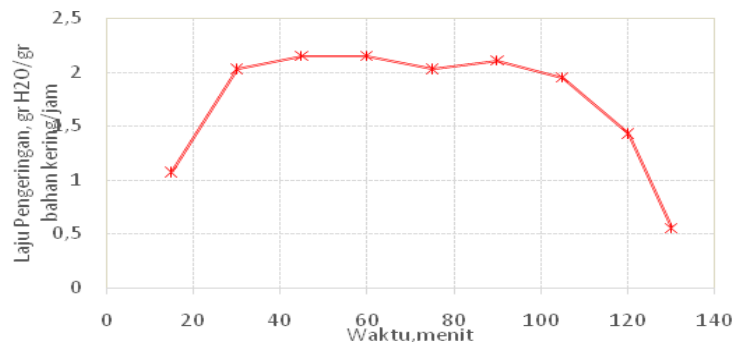


Gambar 4. Profil Suhu Pengeringan terhadap Waktu Pengeringan

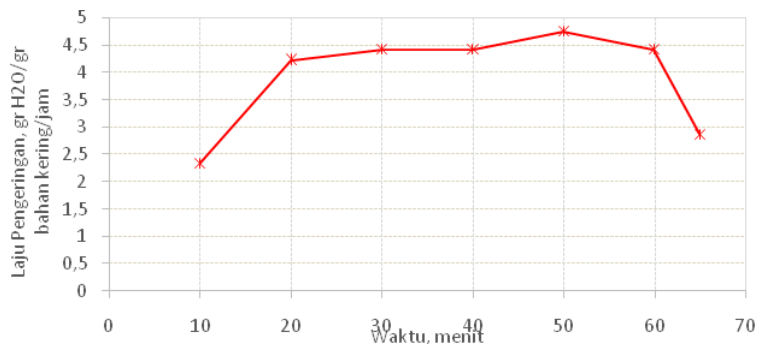
Dari kurva laju pengeringan (Gambar 5) khusus untuk pengeringan dengan gelombang mikro menunjukkan profil yang mengikuti pola pengeringan produk pertanian pada umumnya, terdiri atas tiga fasa yakni laju penguapan meningkat, konstan dan akhirnya menurun. Semakin tinggi level daya yang diberikan, semakin tinggi suhu pengeringan akibat peningkatan energi kinetika molekul polar (Gambar 4) sehingga laju pengeringan semakin tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa laju pengeringan memiliki korelasi positif yang kuat terhadap temperatur. Pada awal pengeringan dimana uap air masih memiliki resistansi internal yang cukup rendah, oleh karenanya ketika sejumlah energi termal diberikan, uap air dengan mudahnya bergerak ke permukaan sehingga penguapan terjadi. Ketika jumlah panas yang diberikan seimbang dengan energi penguapan yang diperlukan, maka pada saat ini dicapai laju penguapan konstan. Namun seiring dengan berjalannya proses pengeringan, diperlukan energi lebih besar untuk memecah ikatan molekuler uap air, dan ketika pasokan energi adalah konstan maka diperlukan waktu lebih lama untuk memecah ikatan tersebut. Pada kondisi ini dikatakan laju pengeringan menurun.



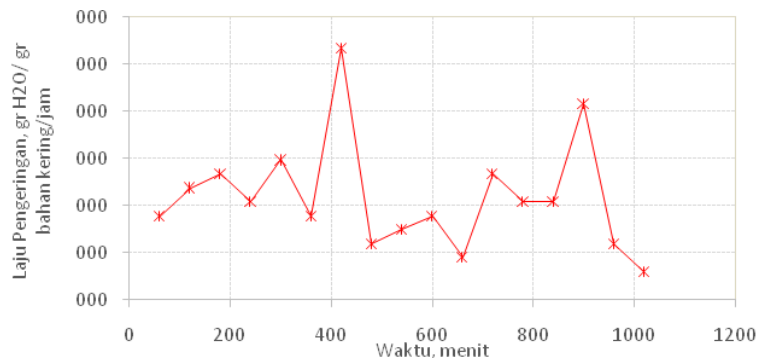
(a) Pengeringan Gelombang Mikro 10% PL



(b) Pengeringan Gelombang Mikro 30% PL



(c) Pengeringan Gelombang Mikro 50% PL



(d) Pengeringan Pompa Kalor

Gambar 5. Laju Pengeringan Cabai Merah

Pemodelan Kurva Pengeringan

Dari data penurunan kadar air yang diperoleh selama percobaan pengeringan dikonversikan dalam bentuk hubungan rasio kadar air (MR) terhadap waktu pengeringan, seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Selanjutnya dilakukan perhitungan pencocokan kurva untuk keempat model pengeringan yang diberikan pada Tabel 1. Untuk menetapkan nilai konstanta dan koefisien model persamaan kinetika k , n , a dan b (Tabel 2) pada masing-masing model, maka penyelesaiannya adalah dengan menggunakan bantuan analisis regresi yang terdapat pada program Excel.

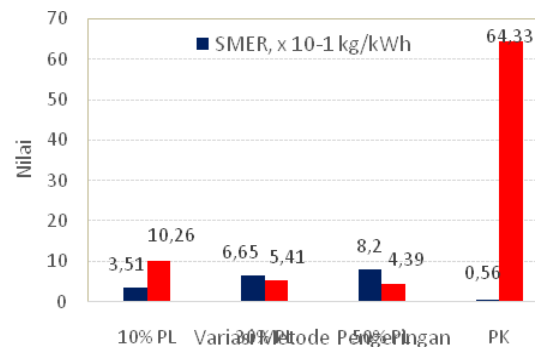
Tabel 2. Nilai Konstanta Pengeringan dan Koefisien Matematika yang Dihitung Melalui Metode Regresi

No	Model Kinetika	Metode Pengeringan	Konstanta dan Koefisien Model	R ²	MBE	RMSE
1	Newton	- Gelombang Mikro 10% PL	k= 0.004	0.8326	0.0229	0.1514
		- Gelombang Mikro 30% PL	k= 0.020	0.8037	0.0275	0.1658
		- Gelombang Mikro 50% PL	k= 0.040	0.7407	0.0387	0.1969
		- Pompa kalor	k= 0.002	0.8234	0.0121	0.1103
2	Page	- Gelombang Mikro 10% PL	k= 0.0003; n= 1.3950	0.9793	0.0272	0.1651
		- Gelombang Mikro 30% PL	k= 0.0005; n= 1.7736	0.9869	0.0171	0.1377
		- Gelombang Mikro 50%	k= 0.0010; n= 1.9133	0.9729	0.0408	0.2019
		- PLPompa Kalor	k= 0.0001; n= 1.3996	0.9816	0.0218	0.1477
3	Henderson & Pabis	- Gelombang Mikro 10% PL	k= 0.0046; n= 1.6049	0.8859	0.1322	0.3636
		- Gelombang Mikro 30% PL	k= 0.0258; n= 1.7248	0.8651	0.1864	0.4318
		- Gelombang Mikro 50% PL	k= 0.0535; n= 1.8489	0.8044	0.3370	0.5805
		- Pompa Kalor	k= 0.0024; n= 1.3905	0.8686	0.0859	0.2931
		- Gelombang Mikro 10% PL	a= -0.0141; b= -1e ⁻⁰⁵	0.9973	0.0004	0.0188
4	Wang & Singh	- Gelombang Mikro 30% PL	a= -0.0077; b= -9.e ⁻⁰⁷	0.9936	5.559.e ⁻⁰⁷	0.0273
		- Gelombang Mikro 50% PL	a= -0.0122; b= -5.e ⁻⁰⁵	0.9966	0.0004	0.0205
		- Pompa Kalor	a= -0.001 ; b= 8e ⁻⁰⁸	0.9941	0.0005	0.0226

Hasil pendekatan menggunakan analisis statistik seperti tertera pada Tabel 2, menggambarkan bahwa koefisien determinasi yang tinggi ($R^2 > 0,95$) ditemukan untuk model Page dan Wang & Singh baik untuk pengeringan pompa kalor maupun gelombang mikro. Namun model Wang & Singh memiliki koefisien determinasi tinggi ($R^2 > 0,99$) serta nilai MBE dan RMSE terendah. Oleh karena itu secara keseluruhan, model Wang & Singh dapat diasumsikan untuk mewakili perilaku pengeringan cabai merah.

Performansi Pengeringan

Semakin tinggi nilai laju ekstraksi air spesifik (SMER) atau semakin rendah nilai konsumsi energi spesifik (SEC) maka performansi pengeringan semakin baik. Dari hasil perhitungan SMER dan SEC untuk keempat variasi pengeringan yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 6. Performansi paling buruk dihasilkan pada pengeringan pompa kalor. Pada pengeringan dengan gelombang mikro, semakin tinggi level daya yang diberikan maka semakin tinggi nilai SMER dan semakin kecil energi yang dibutuhkan untuk menguapkan 1 kg air.



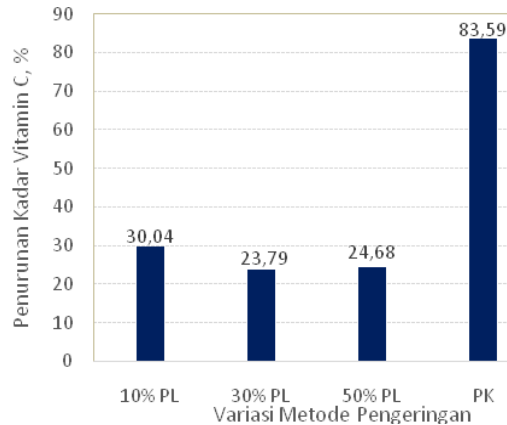
Gambar 6. Hasil Perhitungan Nilai SEC dan SMER

Meski suhu rata-rata pengeringan pompa kalor (55,2°C) lebih tinggi dibanding suhu pengeringan gelombang mikro 10% PL (48,6°C), namun laju penguapan pada pompa kalor lebih rendah, sehingga waktu pengeringan lebih lambat. Pada pengeringan pompa kalor dimana sumber panas berasal dari luar kedalam, sisi permukaan cabai akan lebih kering sedangkan di bagian dalam masih basah. Kondisi ini akan memberikan efek perlawanan terhadap transportasi panas, dan karenanya menghasilkan penurunan tingkat penguapan yang pada akhirnya menyebabkan semakin tingginya konsumsi energi spesifik terutama pada pengeringan suhu rendah [Sarocho et. al., 2013].

Pengaruh Pengeringan Terhadap Rendemen Vitamin C

Vitamin C dikenal sebagai senyawa yang dibutuhkan tubuh dalam berbagai proses penting, mulai dari pembuatan kolagen (protein berserat yang membentuk jaringan ikat pada tulang), pengangkut lemak, pengangkut elektron dari berbagai reaksi enzimatik, pemacu gusi yang sehat, pengatur tingkat kolesterol, serta pemacu imunitas. Selain itu, vitamin C sangat diperlukan tubuh untuk penyembuhan luka dan meningkatkan fungsi otak agar dapat bekerja maksimal. Kebutuhan tubuh akan vitamin C adalah 75 mg per hari untuk wanita dewasa dan 90 mg per hari untuk pria dewasa (Dewi I., 2011).

Vitamin C merupakan senyawa yang mudah rusak akibat panas dan teroksidasi menjadi senyawa diketogulonat (DKG) pada suhu tinggi sehingga tidak memiliki keaktifan sebagai vitamin C. Selain itu, juga memiliki sifat larut dalam air sehingga dapat terbawa bersama uap air selama proses pengeringan berlangsung (Galih W et.al., 2016).



Gambar 7. Hasil Perhitungan Penurunan Kadar Vit-C pada Cabai Merah Akibat Pengeringan

Hasil pengujian kadar vitamin C seperti disajikan pada Gambar 7 menunjukkan bahwa lama pengeringan sangat menentukan laju penurunan kadar vitamin C pada cabai merah. Meskipun pada level daya 50% waktu pengeringan semakin singkat, namun karena suhu pengeringan juga semakin tinggi ($82,6^{\circ}\text{C}$) maka semakin banyak vitamin C yang teroksidasi. Persen penurunan kadar vitamin C paling rendah diperoleh pada variasi pengeringan gelombang mikro dengan level daya 30% dan persen kehilangan vitamin C paling tinggi adalah pada pengeringan pompa kalor. Semakin lama waktu pengeringan maka semakin besar potensi kehilangan vitamin C karena semakin banyak yang terlarut bersama uap air yang dilepaskan.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa model kinetika yang paling cocok dilihat dari nilai $R^2 > 0,99$ serta nilai RMSE dan MBE paling kecil untuk kedua metode pengeringan cabai merah (*Capsicum annum L*) baik dengan pengering pompa kalor maupun gelombang mikro adalah model Wang & Singh. Konsumsi energi spesifik (SEC) dan laju ekstraksi uap air spesifik (SMER) serta temperatur dan lama pengeringan dengan gelombang mikro dipengaruhi oleh level daya yang diberikan. Semakin tinggi level daya maka semakin rendah SEC dan waktu pengeringan tetapi semakin tinggi SMER dan suhu pengeringan. Performance paling buruk dicapai oleh pengeringan dengan pompa kalor karena menghasilkan nilai SEC tertinggi, SMER terendah dan waktu pengeringan paling lama. Secara keseluruhan, berdasarkan performans dan persen penurunan kadar vitamin C paling rendah dibanding vitamin C yang terdapat pada cabai merah segar, maka pengeringan dengan gelombang mikro pada variasi level daya 30% adalah yang terbaik dengan menghasilkan SEC, SMER dan penurunan kadar vitamin C berturut-turut adalah 5,414 MJ/kg; 0,665 kg/kWh dan 23,79%.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Kepala Balai Riset dan Standardisasi Industri Medan, sehingga penelitian ini dapat terlaksana. Ucapan terimakasih juga disampaikan kepada rekan-rekan analis yang membantu dalam pengujian.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad F., M.Y. Othman, M.H. Ruslan, Kamaruzzaman S., Drying of Malaysian *Capsicum annum L.I* (Red Chili) Dried Open and Solar Drying, International Journal of Photoenergy, Volume 2013, Article ID 167895, 9 pages, <http://dx.doi.org/10.1155/2013/167895>, 2013.
- Brown R., Heat Pumps – A Guidance Document, BSRIA BG 7, 2009.
- Dina S.F., Farel H.N., Himsar A., 2013. Kajian Berbagai Metode Pengeringan Untuk Perbaikan Mutu Biji Kakao Indonesia”, Jurnal Riset Industri, Vol. 7, No.1: 35 – 52.
- Denkenberberg D., C. Calwell, N. Beck, B. Trimboli and D. Driscoll, 2013, "Analysis of Potential Energy Saving from Heat Pump Clothes Dryers in North America," Ecova Christophe World (CLASP).
- Dewi Isti'anah, 2011, Mempelajari Pengaruh Suhu dan Bentuk Irisan Pada Proses Pengeringan Irisan Paprika Merah (*Capsicum Annum L.*) [Skripsi]. Fakultas Teknologi Pertanian – IPB, Bogor.
- Galih W., Sudarminto S.Y., Indria P., 2016, Pengaruh Lama Pelayuan Dan Suhu Pengeringan Terhadap Kualitas Produk Apel Celup Anna (*Malus domestica*), Jurnal Pangan dan Agroindustri Vol. 4 No.1: 449-457.
- Jangam S.V., C.L. Law, A.S. Mujumdar, 2010, Drying of Food, Vegetables and Fruits, Volume 1, ISBN: 978-981-08-6759-1
- Krokida, M.K., Karathanos V.T., Maroulis Z.B., Marinou-Kouris D., 2003, Drying Kinetics of Some Vegetables, Journal of Food Engineering, Vol. 59: 391-403.
- Meyers, V. H. Franco, A. B. Lekov, L. Thompson and A. Sturges, "Do Heat Pump Clothes Dryers Make Sense for the U.S Market?," 2010 ACEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, Berkeley.
- Mihindukulasuriya S.D.F., Jayasuriya H.P.W., 2013, Mathematical Modeling of Drying Characteristics of Chili in Hot Air Oven and Fluidized Bed Dryers, Agriculture Engineering International: CIGR Journal, vol. 15, No.1: 154-166.
- Sarocho C., Wanchana Y., Anuchit J., Phadungsak R., Somsak V., 2013, Analysis of Energy Consumption in a Drying Process of Particleboard Using a Combined Multi-Feed Microwave-Convective Air and Continuous Belt System (CMCB), Thammasat International Journal of Science and Technology, Vol. 18, No. 3: 1-15.
- Tjukup Marnoto, Endang S., Mahreni, M. Syahri, 2010, The Characteristic of Heat Pump Dehumidifier Drier in the Drying of Red Chili (*Capsium annum L.*), International Journal of Sci. and Eng., Vol. 3 (1):20-25, 2012.
- Wang J., Xi Y.S., 2005, Drying Characteristics and Drying Quality of Carrot Using a Two-Stage Microwave Process, Journal of Food Engineering, Vol. 68: 505-511.
- Yashwant Kumar, 2015, Application of Microwave in Food Drying, International Journal of Engineering Studies and Technical Approach, ISSN No. 2395-0900, Vol. 01, No. 6, June, 2015.