

PENENTUAN KONDISI PROSES PENGERINGAN TEMU LAWAK UNTUK MENGHASILKAN SIMPLISIA STANDAR

THE DETERMINATION FOR CONDITION OF DRYING PROCESS ON CURCUMA XANTHORRHIZA ROXB TO PRODUCE STANDARD SIMPLISIA

Lamhot P. Manalu¹, Armansyah H. Tambunan² dan Leopold O. Nelwan²

¹ Pusat Teknologi Agroindustri BPPT

² Dept. Teknik Mesin & Biosistem Fateta IPB

e-mail : lpmanalu@yahoo.com

Diterima: 6 September 2012; Direvisi: 12 September – 02 Oktober 2012; Disetujui: 21 November 2012

Abstrak

Tujuan penelitian ini adalah untuk mempelajari pengaruh kondisi proses pengeringan terhadap mutu simplisia temu lawak (*Curcuma xanthorrhiza* Roxb.) dan menentukan kondisi proses pengeringan terbaik untuk menghasilkan simplisia standar. Kriteria kondisi tersebut adalah yang dapat memenuhi kadar air standar 10%, waktu pengeringan yang relatif cepat, hasil pengeringannya masih mengandung kadar kurkumin yang tinggi dan penyusutan serta tampilan visual yang optimal. Hasil studi menunjukkan bahwa pada kondisi pengeringan di bawah suhu 50 °C dan RH diatas 40% kadar air akhir temu lawak tidak dapat mencapai kadar air standar. Rata-rata penyusutan luas permukaan simplisia temu lawak selama proses pengeringan adalah 66,2%. Terdapat kecenderungan semakin rendah suhu dan semakin tinggi RH pengeringan maka semakin tinggi kadar kurkumin simplisia temu lawak. Kondisi proses pengeringan simplisia temu lawak yang direkomendasikan adalah pada suhu 50 °C dan RH 30%.

Kata kunci : Kurkumin, mutu, pengeringan, standar, temu lawak

Abstract

*The purpose of this research was to study the effect of drying conditions on the simplicia quality of java turmeric (*Curcuma xanthorrhiza* Roxb.) and determine the best conditions to make standardized simplicia. There are some criteria such as the conditions which can reach the standard moisture content of 10%, drying time is relatively fast, the result of dried simplicia still contains high level of curcumin, optimum shrinkage and good visual appearance. The results showed that the final moisture content can not reach 10% at the drying temperatures below 50 °C and RH above 40%. The average surface area shrinkage during the drying process crude ginger was 66.2%. There is a tendency of the lower temperatures and higher RH drying the higher levels of curcumin. Drying condition for Java turmeric recommended by this research is at a temperature of 50 °C and 30% RH.*

Keywords : Curcumin, drying, java turmeric, quality standard

PENDAHULUAN

Pengeringan merupakan cara yang paling umum digunakan untuk meningkatkan stabilitas bahan dengan mengurangi kandungan air bahan sehingga aktivitas airnya menurun. Pengeringan juga mengurangi aktivitas mikroba serta meminimalkan perubahan

fisik dan kimiawi selama bahan kering disimpan (Mayor dan Sereno, 2004). Perubahan kadar air selama pengeringan bahan-bahan yang mengandung air tinggi akan menyebabkan perubahan bentuk, densitas dan porositas bahan. Perubahan bentuk dan ukuran ini mempengaruhi sifat-sifat fisik dan

akhirnya juga berdampak pada berubahnya tekstur dan sifat-sifat transpor (*transport properties*) produk yang dihasilkan (Rizvi, 2005; Yan *et al.*, 2008).

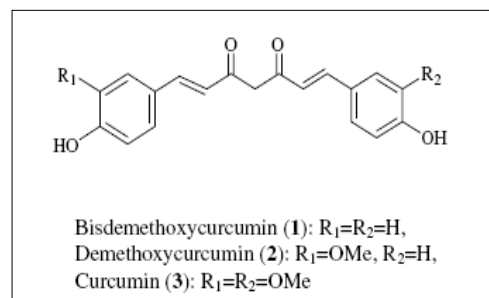
Salah satu produk pertanian yang memerlukan proses pengeringan adalah tanaman obat temu lawak (*Curcuma xanthorrhiza Roxb.*) yang termasuk ke dalam suku Zingiberaceae. Bagian tanaman ini yaitu umbi akarnya (*rhizome*) digunakan sebagai bahan baku obat tradisional atau lebih dikenal dengan jamu yang berupa irisan yang dikeringkan, disebut simplisia. Simplisia standar adalah bahan baku yang memenuhi standar mutu yang telah ditetapkan. Temu lawak merupakan tanaman asli Indonesia yang tumbuh liar di hutan-hutan di dataran rendah hingga 1500 m di atas permukaan laut (Duryatmo, 2003). Rimpang temu lawak segar terdiri atas minyak atsiri, lemak, zat warna, protein, resin, selulosa, pati, mineral dan air. Rimpang keringnya mengandung 7-30% minyak atsiri, 30-40% pati dan 0,02-2,0% kurkuminoid yang terdiri atas 58-71% kurkumin ($C_{21}H_{20}O_6$) dan 29-42% desmetoksikurkumin ($C_{20}H_{18}O_5$). Minyak atsiri memberi bau dan rasa yang khas sedangkan kurkuminoid (Gambar 1) memberi warna kuning. Berdasarkan beberapa studi diketahui bahwa rimpang temu lawak berkhsiat sebagai antibakteria, antikanker, antitumor dan antiradang. Selain itu rimpang temu lawak mengandung antioksidan dan hypokolesteromik (Masuda *et al.*, 1992; Choi *et al.*, 2005).

Kadar air rimpang temu lawak pada saat dipanen berkisar 80-90%, angka ini cukup tinggi sehingga komoditas ini mudah rusak bila tidak segera diolah atau dikeringkan. Menurut Farmakope Herbal Indonesia (Depkes, 2008) dan Keputusan Menteri Kesehatan RI No. 661/Menkes/SK/VII/1994 tentang Persyaratan Obat Tradisional, standar kadar air maksimum simplisia adalah 10%. Pada umumnya petani dan pedagang pengumpul melakukan pengeringan dengan cara penjemuran yang rawan kontaminasi. Selain itu tingkat suhu dan kelembaban

penjemuran tidak cukup memadai sehingga sulit untuk mencapai standar kadar air yang disyaratkan.

Salah satu perubahan fisik yang penting selama pengeringan adalah pengurangan volume eksternal bahan. Kehilangan air dan pemanasan menyebabkan struktur sel bahan mengalami tekanan dan diikuti dengan perubahan bentuk dan pengecilan ukuran. Penyusutan bahan yang dikeringkan mempunyai dampak negatif terhadap kualitas produk keringnya. Perubahan lain yang terjadi selama pengeringan adalah perubahan tampilan fisik produk seperti warna, tekstur dan aroma (Yadollahinia dan Jahangiri, 2009). Selain itu pengeringan juga mengakibatkan berkurangnya kandungan zat aktif bahan. Oleh karena itu proses pengeringan harus dilakukan pada kondisi proses yang tepat karena penggunaan suhu yang terlalu tinggi akan mengakibatkan semakin banyaknya zat aktif bahan yang hilang. Sedangkan penggunaan suhu rendah sulit untuk mencapai kadar air aman simpan (Babalís dan Belessiotis, 2004).

Studi tentang perilaku pengeringan tanaman obat telah menjadi topik yang menarik bagi berbagai peneliti, antara lain jahe (Balladin *et al.*, 2006), bawang (Shaarma *et al.*, 2005), terong (Ertekin dan Yaldiz, 2004) dan wortel (Doymaz, 2004). Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh kondisi proses pengeringan terhadap mutu simplisia temu lawak (*Curcuma xanthorrhiza Roxb.*) selama proses pengeringan konvektif dan menentukan kondisi proses pengeringan terbaik.



Gambar 1. Struktur kimia kurkuminoid *C. xanthorrhiza* (Masuda *et al.*, 1992)

BAHAN DAN METODE

A. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan adalah irisan rimpang temu putih dan temu lawak dengan umur panen 9 bulan yang diperoleh dari Kebun Petak Pamer Balai Penelitian Tanaman Obat dan Aromatik, Cimanggu-Bogor.

Alat yang digunakan antara lain: pengering laboratorium terkendali-terakuisisi, timbangan digital model AQT 200 (kapasitas 200 gram dan ketelitian 0,01 gram), oven Ikeda Scientific SS204D, desikator, anemometer Kanomax A541, seperangkat kamera dan pengolah data.

B. Prosedur Percobaan

Kegiatan penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan, yaitu persiapan bahan, persiapan peralatan, dan pengambilan data perubahan massa dan citra. Sebelum dikeringkan dengan alat pengering lab terkendali, irisan temu lawak direndam dahulu dalam air dengan suhu 95 °C (diblansir) selama 5 menit (Ertekin dan Yaldiz, 2004). Sampel temu putih kemudian diletakkan pada wadah sedemikian rupa dalam bentuk lapisan tipis. Tebal irisan sampel sekitar 3-4 mm dan berat sampel setiap pengeringan berkisar 150 gram.

Kondisi percobaan pengeringan dikendalikan dengan sistem kontrol PID dengan akurasi suhu ± 1 °C dan kelembaban nisbi (RH) $\pm 2\%$ sesuai dengan standar (ASABE 2006). Sensor suhu dan RH menggunakan SHT15 Sensirion. Secara keseluruhan alat pengering dikontrol oleh mikroprosesor AVR Atmel. Alat ini dilengkapi juga dengan sistem humidifier 2000 W, sistem pemanas 2000 W, kipas elektrik dan dehumidifier. Kecepatan udara pengering yang melalui ruang pengering (*drying chamber*) yang berdimensi 35 cm \times 35 cm \times 35 cm dikontrol secara manual dan diukur dengan menggunakan anemometer digital Kanomax dengan akurasi $\pm 0,1$ m/s. Laju aliran udara 0,8-0,9 m/detik.

Pada setiap percobaan, alat pengering dihidupkan sekitar satu jam sebelum pengukuran dimulai untuk menstabilkan ruangan pengering sesuai dengan kondisi percobaan yang diinginkan. Percobaan dihentikan setelah berat sampel konstan. Berat dan suhu bahan serta suhu dan kelembaban udara pengering dimonitor secara kontinu dan direkam datanya setiap 5 menit selama percobaan. Perubahan berat sampel diukur langsung secara otomatis dengan menggunakan timbangan GF-3000 A&D (kapasitas 3000 g dan akurasi 0,01 g). Demikian juga perekaman citra diukur dan dicatat hingga pengeringan berakhir. Semua data yang diambil langsung direkam oleh perangkat komputer. Analisis citra disimpan dalam format digital yang akan diolah kemudian.

Kondisi pengeringan simplisia temu lawak yang dilakukan pada studi ini adalah pada suhu 50 °C, 60 °C dan 70 °C dengan RH 20%, 30% dan 40% sebagaimana tercantum pada Tabel 1. Kadar air akhir percobaan ditentukan dengan metode oven dengan mengeringkan sampel selama 24 jam pada suhu 103 ± 2 °C (Kashaninejad *et al.*, 2003).

Tabel 1. Kondisi percobaan pengeringan simplisia temu lawak

Suhu	RH		
	20%	30%	40%
50 °C	√	√	√
60 °C	√	√	√
70 °C	√	√	√

C. Standar Mutu Simplisia

Analisis mutu simplisia temu putih dan temu lawak dilakukan untuk melihat kadar proksimat dan bahan aktifnya dalam hal ini kadar kurkumoid. Analisis sampel dilakukan di laboratorium yang telah disertifikasi oleh Komite Akreditasi Nasional (KAN) yaitu Laboratorium Analisis Mutu Balitro Bogor dan Pusat Studi Biofarmaka Bogor. Hasil analisis dibandingkan dengan standar simplisia yang mengacu pada standar Materia

Medika Indonesia. Standar mutu simplisia didasarkan pada Farmakope Herbal Indonesia (FHI) dan Materia Medika Indonesia (MMI) (Depkes, 2008 dan 1979).

Tabel 2. Standar mutu beberapa simplisia genus *Curcuma* ¹⁾

Parameter	Kunyit	Temu mangga	Temu lawak
Kadar air ²⁾	< 10%	< 10%	< 10%
Kadar abu	< 8.2%	< 6.1%	< 4.8%
Kadar abu tidak larut dalam asam	< 0.9%	< 2.4%	< 0.7%
Kadar sari larut dalam air	> 11.5%	> 19.6%	> 9.1%
Kadar sari larut dalam alkohol	> 11.4%	> 2.4%	< 3.6%
Kadar kurkumin	> 6.6%	-	> 4.0%
Bahan organik asing ³⁾	< 2%	< 2%	< 2%

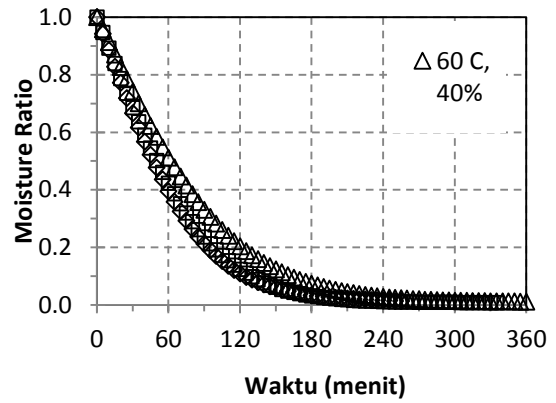
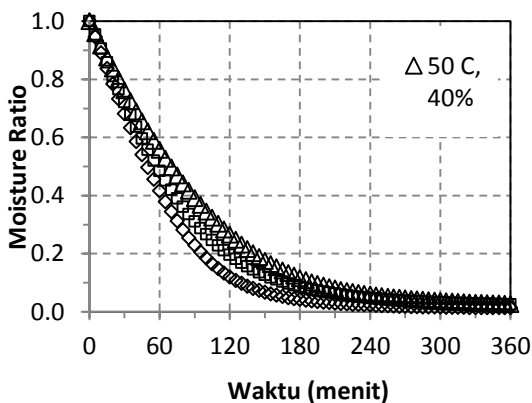
Sumber : ¹⁾ Depkes (2008); ²⁾ Kepmenkes 661/1994; ³⁾ Depkes (1979)

Pada Tabel 2 ditampilkan standar mutu beberapa genus *Curcuma* yaitu kunyit (*C. domestica*), temu mangga (*C. mangga*) dan temu lawak (*C. xanthorrhiza*).

HASIL DAN PEMBAHASAN

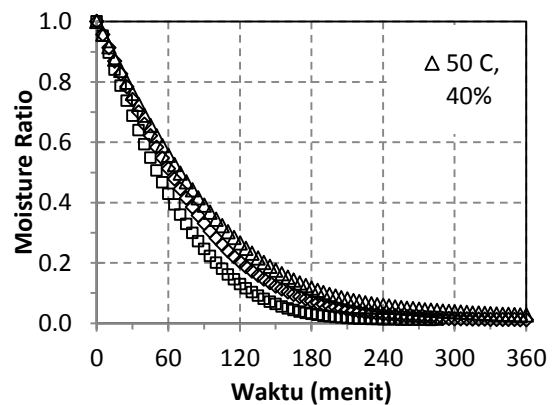
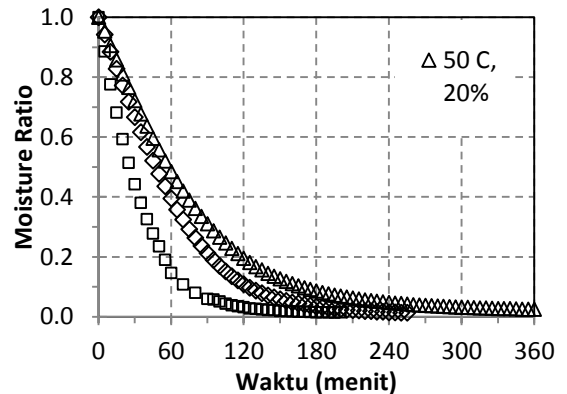
A. Profil Pengeringan Temu Lawak

Plot data pengeringan lapisan tipis temu lawak terlihat pada Gambar 2 yang menunjukkan pengaruh kelembaban udara pengeringan terhadap rasio kadar air (*moisture ratio*) pada suhu tetap.



Gambar 2. Kurva pengeringan simplisia temu lawak pada suhu 50 °C dan 60 °C

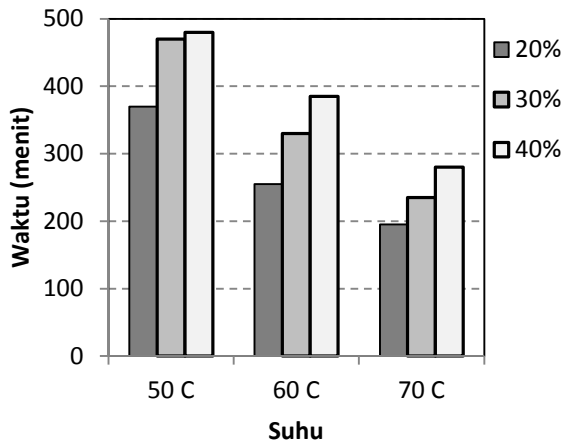
Gambar 3 menunjukkan pengaruh suhu pengeringan pada RH tetap. Dari gambar kurva pengeringan tersebut terlihat bahwa proses pengeringan temu lawak berjalan cepat pada saat awal pengeringan yang ditandai dengan menurunnya kurva secara tajam dan kemudian semakin melambat di akhir pengeringan.



Gambar 3. Kurva pengeringan simplisia temu lawak pada RH 20% dan 40%

Gambar 4 memperlihatkan waktu pengeringan yang dibutuhkan untuk mencapai keseimbangan pada berbagai suhu dan RH. Baik suhu dan RH

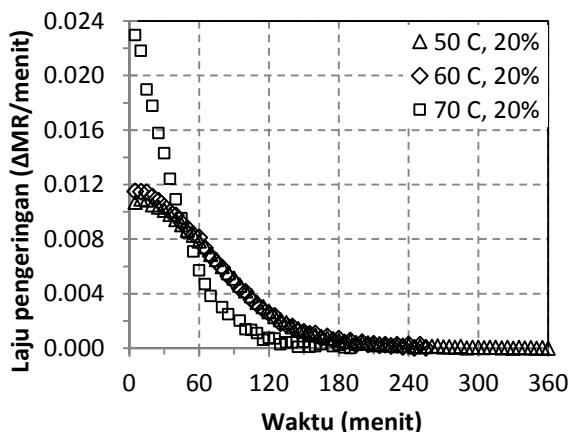
berpengaruh terhadap waktu pengeringan, semakin tinggi suhu dan semakin rendah RH, maka waktu untuk mencapai keseimbangan semakin cepat.



Gambar 4. Waktu pengeringan untuk mencapai kadar air keseimbangan

Gambar 5 menunjukkan pengaruh suhu terhadap laju pengeringan menurut waktu pada RH tetap. Kurva ini memperlihatkan bahwa pada laju pengeringan tinggi di saat awal dan semakin melambat pada akhir proses pengeringan.

Hal ini disebabkan masih tingginya kadar air bahan yang membuat gradien tekanan uap air bahan terhadap lingkungannya cukup besar sehingga migrasi air dari dalam bahan ke luar juga tinggi.



Gambar 5. Pengaruh suhu terhadap laju pengeringan temu lawak pada RH 20%

B. Kadar Air Keseimbangan Temu Lawak

Pada Tabel 3 tercantum nilai kadar air keseimbangan temu lawak pada berbagai suhu dan kelembaban nisbi udara pengeringan. Dari tabel tersebut dapat diketahui bahwa semakin tinggi suhu pengeringan maka kadar air keseimbangan semakin rendah dan sebaliknya. Berlawanan dengan suhu, semakin tinggi kelembaban nisbi (RH) udara pengeringan maka kadar air keseimbangan akan semakin tinggi pula dan sebaliknya. Kadar air keseimbangan dipengaruhi oleh tekanan udara lingkungan yang merupakan fungsi dari suhu dan kelembaban udara (ASABE, 2006).

Tabel 3. Kadar air keseimbangan (% bb) simplisia temu lawak

Kondisi pengeringan	20%	30%	40%
70 °C	7.0	7.7	7.9
60 °C	7.8	8.2	9.0
50 °C	8.1	9.0	10.3

Dengan kata lain untuk mendapatkan kadar air keseimbangan yang rendah diperlukan suhu udara pengeringan yang tinggi dan RH udara pengeringan yang rendah.

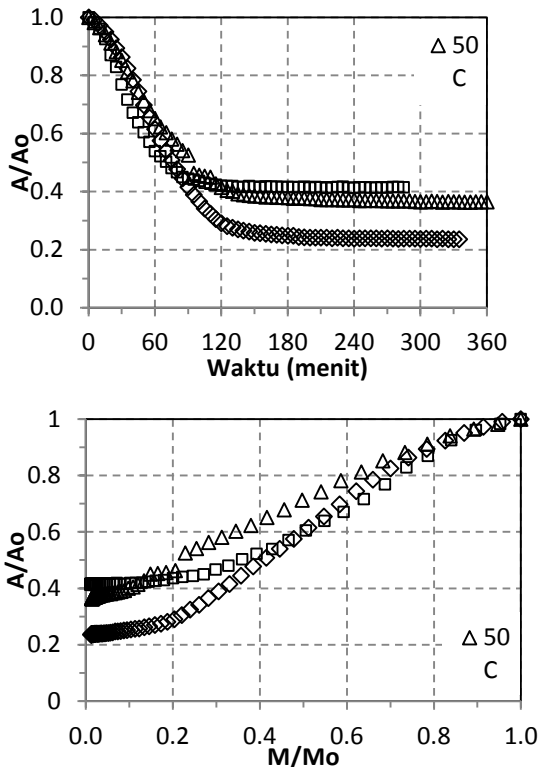
Berdasarkan tabel tersebut diketahui bahwa kadar air standar 10% (bb.) dapat dicapai pada semua kondisi percobaan pengeringan kecuali pada kondisi suhu 50 °C dan RH 40%.

Hal ini dapat menjelaskan mengapa pengeringan temu lawak dengan penjemuran membutuhkan waktu yang sangat panjang dan seringkali tidak dapat mencapai kadar air standar 10%.

C. Penyusutan Temu Lawak

Berdasarkan hasil pengukuran diketahui luas permukaan sampel simplisia untuk pengolahan citra bervariasi antara 276 hingga 496 mm². Pengamatan terhadap penyusutan luas permukaan irisan temu lawak diplot menjadi kurva rasio area (A/A_0) terhadap waktu (Gambar 6). Dari gambar tersebut

terlihat luas permukaan irisan temu lawak menyusut cepat pada awal pengeringan dan semakin perlahan pada akhir pengeringan.



Gambar 6. Penyusutan permukaan simplisia terhadap waktu dan terhadap rasio kadar air

Penyusutan volume temu lawak menurut waktu terlihat identik dengan kurva pengeringan, hal ini sejalan dengan grafik penyusutan (A/A_0) terhadap kadar air (M/M_0) (Gambar 6 kanan) yang menunjukkan kecenderungan hubungan yang linier terutama pada saat awal pengeringan. Hasil uji anova menunjukkan bahwa suhu berpengaruh tidak nyata ($\alpha = 0,01$) terhadap penyusutan temu lawak dengan P -value sebesar 0,03. Dari hasil pengukuran diketahui bahwa rata-rata penyusutan luas permukaan simplisia selama proses pengeringan bervariasi sebesar $(66,2 \pm 9,2)\%$ atau rata-rata $(79,9 \pm 7,8)\%$ untuk besaran penyusutan volume simplisia temu lawak.

D. Analisis Mutu Simplisia

Hasil analisis kadar kurkumin dan proksimat simplisia temu lawak dicantumkan pada Tabel 4 dan 5.

Berdasarkan tabel tersebut terlihat kecenderungan bahwa semakin tinggi suhu pengeringan maka semakin rendah kadar kurkuminnya. Pada kondisi suhu 50 °C dan 60 °C juga terdapat kecenderungan bahwa semakin rendah RH maka semakin rendah kadar kurkumin simplisia temu lawak.

Tabel 4. Kadar kurkumin simplisia temu lawak pada berbagai kondisi pengeringan

Suhu	RH			Rata-rata menurut suhu
	20%	30%	40%	
70 °C	2.26%	3.58%	2.14%	2.66%
60 °C	3.07%	4.67%	5.18%	4.31%
50 °C	7.56%	7.60%	7.99%	7.72%
Kadar kurkumin (dengan penjemuran)				5.62%

Hasil analisis proksimat simplisia temu lawak pada Tabel 5 menunjukkan bahwa semua nilai parameter sudah sesuai dengan standar Farmakope Herbal Indonesia (Depkes 2008) kecuali parameter kadar abu. Kadar abu yang terbentuk pada simplisia lebih disebabkan oleh faktor budidaya tanaman daripada faktor pengeringan mekanis yang terkontrol dan tertutup.

Pada Gambar 7 dan 8 terlihat tampilan fisik simplisia temulawak hasil pengeringan pada berbagai kondisi suhu dan RH pengeringan. Secara visual terlihat adanya gradasi warna temulawak kering baik berdasarkan suhu maupun RH dengan kecenderungan yang sama, semakin tinggi suhu dan RH pengeringan maka warna simplisia yang dihasilkan semakin pudar.

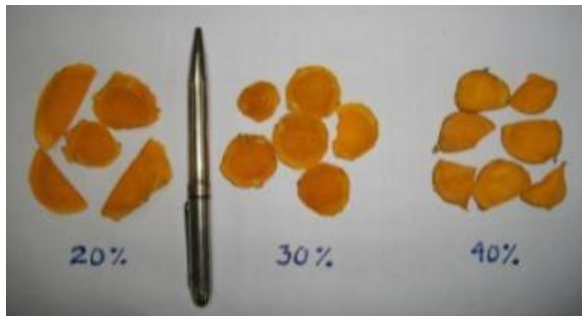


Gambar 7. Gradasi warna simplisia temulawak yang dikeringkan pada suhu 50, 60 dan 70 °C

Tabel 5. Hasil analisis proksimat simplisia temu lawak

Parameter	Simplisia Temulawak	
	Standar FHI	Sampel
Kadar abu	< 4.8%	5.44%
Kadar abu tidak larut dalam asam	< 0.7%	0.47%
Kadar sari larut dalam air	> 9.1%	16.67%
Kadar sari larut dalam alkohol	> 3.6%	4.57%

Gambar 9 memperlihatkan hasil pengeringan simplisia temulawak dengan menggunakan pengering mekanis pada suhu 50 °C dan dengan penjemuran. Warna temulawak hasil penjemuran terlihat lebih gelap dan pucat dibandingkan dengan hasil pengeringan mekanis.



Gambar 8. Gradasi warna simplisia temulawak yang dikeringkan pada RH 20, 30 dan 40%

Hasil pengukuran kurkumin simplisia temu lawak yang dikeringkan dengan penjemuran (sebesar 5,62%) juga masih di bawah kadar kurkumin temu lawak yang dikeringkan dengan pengeringan mekanis (7,72%).



Gambar 9. Hasil pengeringan simplisia temulawak dengan pengering mekanis (kiri) dan penjemuran (kanan)

Ini mengindikasikan bahwa penjemuran langsung dibawah paparan sinar matahari membuat secara fisik-visual hasil pengeringannya tidak begitu baik.

E. Kondisi Proses Pengeringan Simplisia Temu Lawak

Kondisi proses pengeringan yang direkomendasikan adalah yang dapat memenuhi kriteria standar mutu simplisia temu lawak. Kriteria tersebut antara lain adalah kadar air akhir di bawah 10%, waktu pengeringan relatif cepat, simplisia hasil pengeringan masih mengandung kurkumin yang tinggi atau tertinggi dan penyusutan serta tampilan visual yang optimal. Merujuk hasil percobaan di atas maka kondisi proses tersebut adalah pada suhu 50 °C dan RH 30% atau bila dibuat pada suatu interval yaitu pada rentang suhu 50-60 °C dan RH 20-30%.

KESIMPULAN

Pada kondisi pengeringan 50 °C dan RH 40% kadar air akhir temu lawak tidak dapat mencapai kadar air standar 10%. Dengan demikian tidak disarankan untuk melakukan pengeringan simplisia temulawak pada kombinasi di bawah suhu dan di atas RH tersebut. Hasil penelitian ini juga menunjukkan bahwa variasi suhu udara pengeringan berpengaruh tidak nyata terhadap penyusutan simplisia temu lawak. Rata-rata penyusutan luas permukaan simplisia temulawak selama proses pengeringan adalah 66,2% .

Terdapat kecenderungan semakin rendah dan semakin tinggi RH pengeringan maka semakin tinggi kadar kurkumin simplisia temu lawak. Demikian juga terdapat pengaruh kondisi pengeringan terhadap tampilan warna simplisia temulawak kering baik berdasarkan suhu maupun RH, semakin tinggi suhu dan RH pengeringan maka warna simplisia yang dihasilkan semakin pudar.

Kondisi proses pengeringan simplisia temu lawak yang direkomendasikan adalah pada suhu

50 °C dan RH 30% atau bila dibuat pada suatu interval yaitu pada rentang suhu 50-60 °C dan RH 20-30%.

DAFTAR PUSTAKA

- ASABE [American Society of Agricultural and Biological Engineers]. (2006). *ASABE Standard: thin-layer drying of agricultural crops*. Michigan: St. Joseph.
- Babalís S.J., Belessiotis V.G. (2004). Influence of the drying conditions on the drying constants and moisture diffusivity during the thin-layer drying of figs. *Journal of Food Engineering*. 65:449–458.
- Balladin D.A., Yen I.C., McGaw D.R., Headley O. (2006). Solar drying of West Indian ginger rhizome using a wire basket dryer. *Renewable Energy* 7(4):409-418.
- Choi M.A., Kim S.H., Chung W.Y., Hwang J.K., Park K.K. (2005). Xanthorrhizol, a natural sesquiterpenoid from *Curcuma xanthorrhiza*, has an anti-metastatic potential in experimental mouse lung metastasis model. *Biochemical and Biophysical Research Communications*. 326: 210–217.
- Depkes [Departemen Kesehatan]. (1979). *Materia Medika Indonesia*. Jilid III. Jakarta: Departemen Kesehatan Republik Indonesia.
- Depkes [Departemen Kesehatan]. (2008). *Farmakope Herbal Indonesia*. Edisi I. Jakarta: Departemen Kesehatan Republik Indonesia.
- Doymaz I. (2004). Convective air drying characteristics of thin layer carrots. *Journal of Food Engineering*. 61:359–364.
- Duryatmo S. (2003). *Aneka Ramuan Berkhasiat dari Temu-temuan*. Jakarta: Puswa Swara.
- Ertekin C., Yaldiz O. (2004). Drying of eggplant and selection of a suitable thin layer drying model. *Journal of Food Engineering*. 63:349–359.
- Kashaninejad M., Tabil L.G., Mortazavi A., Safekordi A. (2003). Effect of drying methods on quality of pistachio nuts. *Drying Technology* 21(5):821–838.
- Masuda T., Isobe J., Jitoe A., Nakatani N. (1992). Antioxidative curcuminoids from rhizomes of *Curcuma xanthorrhiza*. *Phytochemistry*. 13: 3645–3647.
- Mayor L, Sereno A.M. (2004). Modelling shrinkage during convective drying of food materials: a review. *Journal of Food Engineering*. 61: 373–386.
- Rizvi S.S.H. (2005). *Thermodynamic properties of foods in dehydration*. In: Rao M.A., Rizvi S.S.H., Datta A.K., (Eds). *Engineering Properties of Foods*. 3rd Ed. Singapore: CRC Press.
- Sharma G.P., Verma R.C., Pathare P.B. (2005). Thin-layer infrared radiation drying of onion slices. *Journal of Food Engineering*. 67:361–366.
- Yadollahinia A, Jahangiri M. (2009). Shrinkage of potato slice during drying. *Journal of Food Engineering*. 94: 52–58.
- Yan Z, Sousa-Gallagher M.J., Oliveira F.A.R. (2008). Shrinkage and porosity of banana, pineapple and mango slices during air-drying. *Journal of Food Engineering*. 84: 430–440.