

**PERPINDAHAN MASSA PADA PENGERINGAN VAKUM DISERTAI
PEMBERIAN PANAS SECARA KONVEKTIF¹
(*MASS TRANSFER OF VACUUM DRYER WITH
CONVECTIVE HEAT TRANSFER*)**

Irawati², Budi Rahardjo³ dan Nursigit Bintoro³

ABSTRAK

Pengeringan merupakan perpindahan panas dan massa air dari bahan ke udara sekeliling dengan tujuan mengurangi sebagian air sampai kadar air tertentu agar produk dapat disimpan lebih lama.

Tujuan dari penelitian ini adalah mengembangkan model matematik perpindahan massa pada pengeringan gabah menggunakan pengering vakum disertai pemberian panas secara konveksi. Dalam penelitian ini variasi tekanan ruang pengering (P) yang digunakan adalah 75 kPa, 61 kPa, 48 kPa dan variasi suhu udara ruang pengering (Tu) adalah 30°C, 45°C, dan 60°C.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengeringan gabah menggunakan pengering vakum disertai pemberian panas secara konvektif dengan variasi tekanan ruang pengering (P) dan suhu udara ruang pengering (Tu) memiliki nilai konstanta laju pengeringan (k) antara 0,02/menit - 0,05/menit atau setara dengan 1,2/jam hingga 3/jam. Pada suhu konstan, semakin rendah tekanan ruang pengering (P) maka nilai konstanta laju pengeringan (k) semakin besar dan pada tekanan konstan, semakin rendah suhu udara ruang pengering (Tu) maka nilai konstanta laju pengeringan (k) juga semakin kecil. Nilai suhu observasi dengan suhu prediksi tidak berbeda jauh dan diperoleh persamaan model matematika hubungan antara tekanan ruang pengering (P) dan suhu udara ruang pengering (Tu) terhadap nilai konstanta laju pengeringan (k), yaitu :

$$k = 0,00074 P^{-0,034} T^1$$

Model matematis ini dapat diaplikasikan untuk mengkaji perpindahan panas dan perpindahan massa pada pengeringan bijian menggunakan pengering vakum dengan pemberian panas secara konvektif. Variasi tekanan ruang pengering (P) dan suhu udara ruang pengering (Tu) yang optimal untuk dilakukan pengeringan vakum dengan panas konvektif adalah P = 61 kPa, Tu=60 °C .

Kata Kunci: *gabah, vakum, konvektif*

ABSTRACT

Drying is a heat and mass transfer process from a product to its surface by evaporation that resulting in the removal of water until an optimum moisture content was obtain, so that its product can be store more longer.

The objective of this research is to develop a mathematic model of heat and mass transfer on gabah (unhulled paddy separated from the stalks) draining using the vacuum drier along with heat distribution by convection. The pressure variations are 75 kPa, 61 kPa, and 48 kPa while the temperature variations are 30°C, 45°C, dan 60°C.

¹ Disampaikan dalam Gelar Teknologi dan Seminar Nasional Teknik Pertanian 2008 di Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian UGM, Yogyakarta 18-19 November 2008

² Ditjen Pengolahan Pemasaran Hasil Pertanian, Departemen Pertanian RI - Jakarta

³ Fakultas Teknologi Pertanian, UGM, Yogyakarta- Indonesia

The result of this research shows that gabah draining using the vacuum drier along with heat distribution by convection with the pressure variations (P) and draining room temperature (Tu) has the constant value of draining rate (k) is between 0,02/minute - 0,05/minute or equal with 1,2/jam to 3/jam. In constant temperature, the lower the (P), the bigger the (k). In constant pressure, the lower the (Tu), the smaller the (k). The value of the observation temperature isn't far from the prediction temperature and the mathematic model equation obtained of the relationship between the (P) and (Tu) to the (k) value is:

$$k = 0,00074 P^{-0,034} T^1$$

This mathematic model can be applied to analyze the heat and mass transfer on the seeds draining using the vacuum drier with the heat distribution by convection. Optimal pressure and temperature to the vacuum draining with the convective heat is P = 61 kPa, Tu = 60 °C.

Key words: *gabah, vacuum, convective*

A. PENGANTAR

Upaya peningkatan produksi dan produktivitas padi di berbagai sentra produksi di Indonesia belum diikuti dengan penanganan panen dan pascapanen yang memadai, sehingga berakibat pada tingginya kehilangan hasil baik secara kuantitatif maupun kualitatif.

Data BPS menyebutkan kehilangan hasil panen dan pascapanen akibat dari ketidaksempurnaan penanganan pascapanen pada tahap pengeringan mencapai 2,13% (Anonim, 2005). Proses pengeringan merupakan tahap kritis karena keterlambatan proses pengeringan akan berakibat terhadap rusaknya gabah yang berpengaruh terhadap merosotnya harga jual gabah, sehingga posisi tawar petani menjadi lemah (Seo, 2003). Gabah hasil perontokan masih mempunyai kadar air sekitar 25-30% dimana kadar air memacu terjadinya respirasi yang berakibat pada penurunan mutu (Kartasapoetra, 1994). Gabah hasil panen baru dapat disimpan atau digiling apabila kadar air diturunkan hingga mencapai kadar air optimum (14%).

Seo (2003), menjelaskan bahwa pengeringan alami dengan memanfaatkan sumber panas sinar matahari/penjemuran banyak dilakukan petani karena merupakan cara yang paling mudah dan relatif murah untuk mengamankan hasil pertanian. Tetapi cara ini tidak selalu dapat diandalkan karena pelaksanaannya sangat tergantung cuaca. Pada saat hujan, penundaan penjemuran akan mengakibatkan kerusakan-kerusakan. Usaha untuk mengatasi kerusakan karena penjemuran dilakukan dengan alat pengering buatan. Untuk mempercepat proses pengeringan dengan alat pengering dilakukan dengan cara udara pengering disirkulasikan secara kontinu melewati bahan yang dikeringkan melalui penggunaan peralatan mekanis kipas dan pembakaran. Salah satu alat pengering yang banyak digunakan adalah pengering tipe bak datar (*bed dryer*) dengan menggunakan suhu antara 50°C – 60°C, disertai “tempering” dan memerlukan waktu yang relatif lama (minimal 9 - 12 jam).

Pada penelitian ini dilakukan pengeringan gabah menggunakan tekanan vakum dengan pemberian panas secara konvektif. Pemberian tekanan vakum pada ruang pengering akan menaikkan beda tekanan uap di permukaan bahan dengan lingkungannya sehingga laju pindah massa uap air juga akan meningkat. Dengan demikian tekanan vakum dapat meningkatkan laju pengeringan (Bazyma et.al.,2006; Jena dan Das,2006; Montgomery et.al., 1998).

Pemanasan pada pengeringan vakum dapat dilakukan dengan microwave, ohmic dan secara konveksi-konduksi. Hingga saat ini belum dijumpai pengeringan vakum disertai dengan pemberian panas secara konvektif. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian

mengenai laju pengeringan pada gabah menggunakan alat pengering vakum yang disertai pemberian panas konvektif.

Secara umum tujuan dari penelitian ini adalah mengembangkan model matematik perpindahan massa pada pengeringan gabah menggunakan pengering vakum disertai pemberian panas secara konveksi dan diharapkan hasil penelitian sebagai dasar pengembangan suatu sistem pengeringan vakum disertai pemberian panas secara konvektif, karena alat pengering vakum disertai pemberian panas konveksi masih sangat sedikit sehingga bisa menjadi penyelesaian yang efektif bagi masalah-masalah yang ada dan memberikan terobosan baru dalam dunia pengetahuan dan industri.

B. METODE DAN BAHAN PENELITIAN

Bahan yang dipergunakan untuk penelitian ini adalah gabah varietas IR-36 dengan kadar air awal 22,69 %wb. Berat sampel untuk masing-masing perlakuan $\pm 8 -12$ gr yang ditempatkan dalam wadah secara berlapis (± 6 lapis) .

Beberapa sifat fisik dan thermis yang dianggap penting dalam penelitian ini :

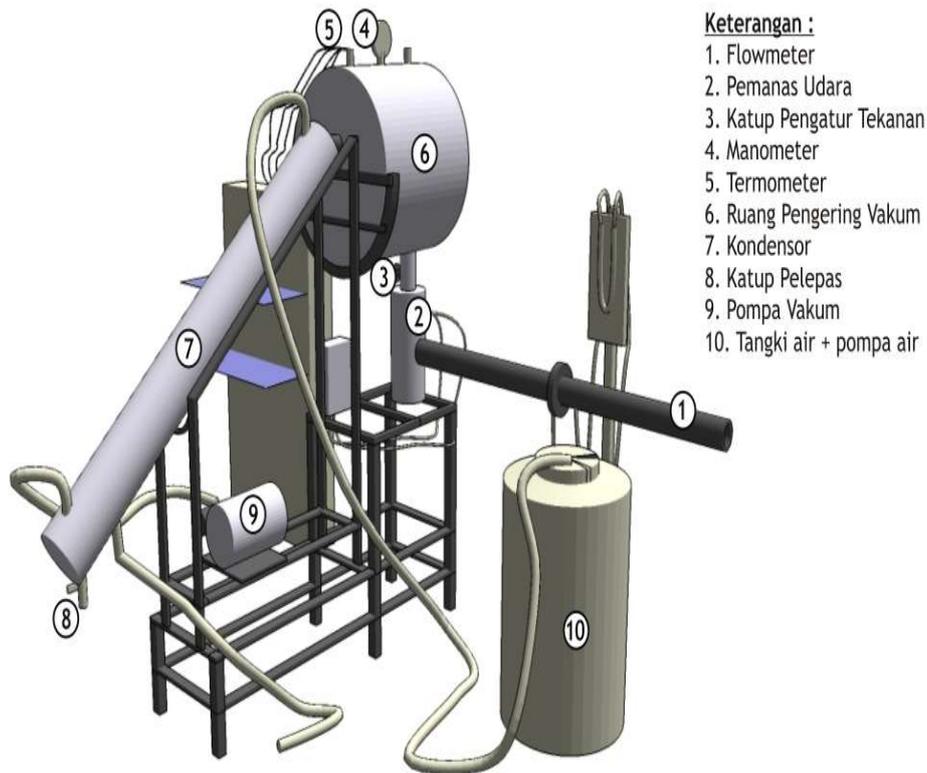
Tabel 1. Beberapa Sifat Fisik dan Thermis Gabah pada Kondisi Awal

Sifat Fisik dan thermis bahan	Nilai	Satuan
Kadar air awal (Mo)	22,69	% wb
Massa bahan (m)	0,0086	kg
Luas permukaan wadah (A)	0,01	m ²

Pada penelitian ini dilakukan perlakuan dengan variasi tekanan ruang pengering (P) adalah 75 kPa, 61 kPa, 48 kPa dan suhu ruang pengering (Tu) adalah 30°C, 45°C, dan 60°C dengan interval waktu 30 menit selama 120 menit.

Peralatan utama yang digunakan adalah alat pengering vakum yang terdiri bagian-bagian utama : pompa vakum, ruang vakum, heater, dan manometer. Bagian-bagian tersebut memiliki fungsi adalah : pompa vakum untuk mengkondisikan tekanan $P < 1$ atmosfer, ruang vakum berfungsi sebagai tempat meletakkan sampel bahan, heater untuk memanaskan udara dengan sumber pemanas adalah listrik, dan manometer sebagai alat pengukur tekanan dalam ruang pengering. Alat pengering ini dihubungkan dengan komputer yang dilengkapi data logger untuk menampilkan data suhu hasil pengamatan. Agar data suhu bahan yang ada di dalam ruang pengering dan suhu lingkungan dapat terbaca maka dibutuhkan alat sensor suhu (termokopel). Pada peralatan pengering dipasang pengukur tekanan udara (manometer),

termometer (termokopel) dan flowmeter udara. Sedangkan alat pendukung lain adalah oven, desikator, timbangan digital dan wadah yang terbuat dari kawat kasa berbentuk kotak tanpa tutup dengan ukuran (10 x 10 x 2) cm³. Skema gambar pengering vakum dapat dilihat pada Gambar 1. di bawah ini :



Gambar 1. Skema alat pengering vakum

Cara penelitian : alat dinyalakan dengan menekan tombol power “on” kemudian diset sesuai suhu dan tekanan yang dikehendaki dengan mengatur katup pada ruang penyangga. Setelah kondisi yang diinginkan tercapai, mesin power dimatikan tanpa merubah setting suhu dan tekanan kemudian bahan dimasukkan ke dalam ruang pengering dan ditutup rapat. Mesin power kembali dinyalakan sambil mengontrol tekanan dan suhu hingga sesuai yang diinginkan kemudian proses pengeringan dilakukan sampai waktu tertentu. Kemudian dilakukan pengambilan data kadar air menggunakan metode thermogravimetri menggunakan persamaan berikut :

$$KA (wb) = \frac{\text{berat sebelum dioven} - \text{berat setelah dioven}}{\text{berat sebelum dioven}} \times 100\% \dots (1.1)$$

Selanjutnya dilakukan analisis dengan asumsi bahwa laju kehilangan lengas dari sebutir bijian yang dikelilingi oleh udara ruang pengering sebanding dengan perbedaan antara kadar air bijian dan kadar air setimbang, maka :

$$\frac{dM}{dt} = k(M - Me) \quad \dots\dots\dots (1.2)$$

Dari Persamaan (1.2), maka diperoleh persamaan penguapan :

$$\frac{M - Me}{Mo - Me} = e^{-k.t} \quad \dots\dots\dots (1.3)$$

$$\ln \left(\frac{M - Me}{Mo - Me} \right) = -k.t \quad \dots\dots\dots (1.4)$$

Nilai k sebagai fungsi suhu dan tekanan {k(T,P)} diperoleh dengan cara membuat grafik hubungan antara kadar air (M) versus waktu (t). Dengan menggunakan Excel, nilai k diperoleh dengan persamaan :

$$\log k_v = \log k_b + a \log T + b \log P \quad \dots\dots\dots (1.5)$$

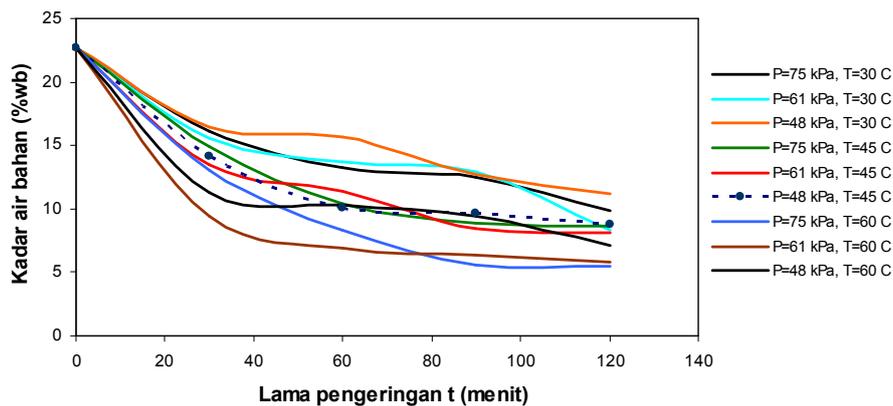
$$k_v = k_b \cdot T^a \cdot P^b \quad \dots\dots\dots (1.6)$$

Jika nilai k diketahui maka dapat memprediksikan kadar air dan waktu untuk mengeringkan hingga dicapai kadar air optimal. Kemudian kadar air observasi dan prediksi diplotkan dalam satu grafik dan dilakukan uji korelasi keduanya.

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Pengaruh Tekanan dan Suhu Ruang Pengering terhadap Perubahan Kadar Air

Jika bahan diletakkan dalam ruang pengering bertekanan rendah maka akan terjadi perpindahan massa air dari dalam bahan ke permukaan bahan serta perpindahan massa uap air dari permukaan bahan ke udara ruang pengering. Laju pindah massa air ditandai oleh adanya perubahan kadar air dimana perubahan kadar air dipengaruhi oleh tekanan dan suhu udara ruang pengering. Dan pengaruh tekanan dan suhu ruang pengering terhadap kadar air tersaji pada Gambar 2 :



Gambar 2. Perubahan kadar air bahan terhadap waktu pada berbagai variasi

Dari gambar di atas terlihat bahwa pada suhu ruang pengering konstan maka pada tekanan ruang pengering yang lebih rendah akan mempercepat laju pindah massa air dari permukaan bahan ke udara ruang pengering. Perpindahan massa air terjadi karena perbedaan tekanan uap di permukaan bahan dengan ruang pengering. Jika perbedaan tersebut semakin besar maka laju pengeringan akan semakin cepat.

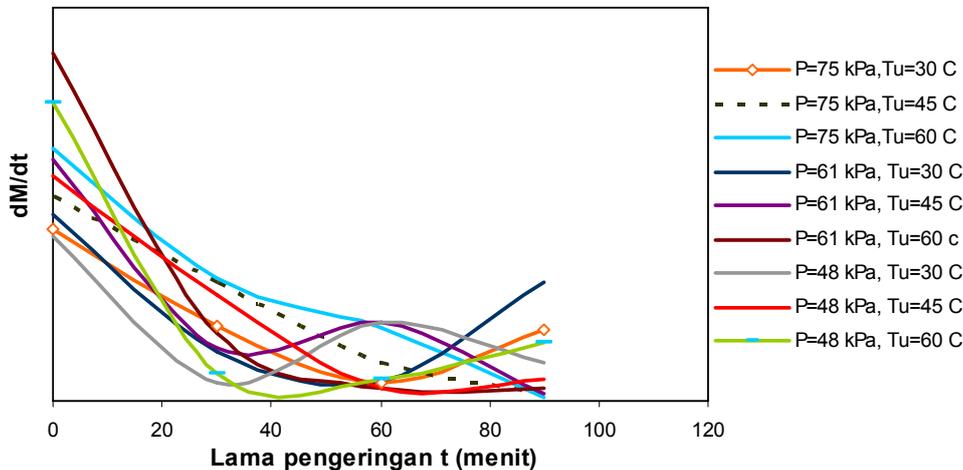
Dan pada tekanan ruang pengering konstan, nampak kecenderungan bahwa semakin tinggi suhu ruang pengering maka laju pengeringan akan semakin cepat. Hal ini dapat terjadi karena panas yang masuk ke dalam bahan akan menguapkan kandungan air bahan secara bertahap dari permukaan bahan, kemudian akan masuk ke dalam bahan. Uap air akan dibawa oleh udara media panas kemudian dikondensasikan menjadi bentuk cair dalam ruang kondensasi yang dialiri air sebagai media pendingin untuk di alirkan ke luar sistem. Proses hilangnya uap air juga dapat dijelaskan bahwa dengan tingginya suhu udara di sekitar bahan akan mengakibatkan gaya dorong antara permukaan bahan dengan udara ruang pengering semakin meningkat. Jika semakin besar perbedaan suhu antara udara ruang pengering dengan permukaan bahan maka akan semakin tinggi pula gaya dorong yang terjadi sehingga akan terjadi penguapan kadar air dari bahan.

2. Periode Laju Pengeringan

Laju pengeringan adalah banyaknya massa air yang dapat dikeluarkan dari bahan per satuan waktu. Pada semua variasi perlakuan, laju pengeringan gabah berada pada laju menurun. Pada awal proses pengeringan, laju penurunan kadar air sangat cepat kemudian semakin lambat hingga proses pengeringan berakhir. Hal ini disebabkan karena pada awal proses pengeringan kandungan air bahan masih tinggi sehingga perbedaan antara kadar air

bahan pada awal proses pengeringan dengan kadar air pada saat kadar air seimbang sangat besar.

Untuk melihat pengaruh tekanan dan suhu ruang pengering terhadap laju pengeringan dapat diamati pada Gambar 3 berikut :



Gambar 3. Hubungan laju pengeringan terhadap waktu pada berbagai variasi

Dari gambar di atas dapat dijelaskan bahwa jika tekanan ruang pengering semakin rendah maka laju penurunan kadar air semakin besar. Hal ini disebabkan karena perbedaan tekanan uap pada permukaan bahan dengan tekanan uap air pada ruang semakin besar sehingga laju transfer massa akan semakin cepat. Sedangkan pengaruh suhu terhadap laju pengeringan, bahwa semakin tinggi suhu ruang pengering maka laju penurunan kadar air menjadi lebih cepat.

3. Penentuan Kadar Air Seimbang (Me)

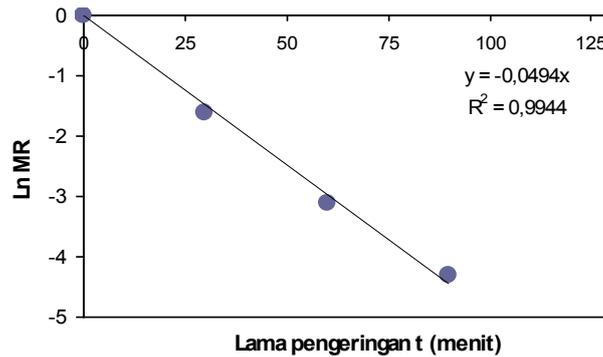
Dengan mengetahui kadar air seimbang maka dapat ditentukan kadar air minimum dimana kita dapat melakukan pengeringan. Dari data perubahan kadar air selama pengeringan pada variasi tekanan dan suhu ruang pengering dapat dihitung nilai Me menggunakan Persamaan (1.2) dengan hasil dibawah ini :

Tabel 2. Nilai Me gabah pada berbagai variasi tekanan dan suhu

Suhu T (°C)	Nilai Me (%) pada berbagai tekanan P (kPa)		
	75	61	48
30	9,44	9,00	9,50
45	8,12	8,25	8,70
60	4,47	6,12	8,54

4. Konstanta Laju Pengeringan (k) Berdasarkan Observasi

Konstanta laju pengeringan k menunjukkan jumlah uap air yang dipindahkan setiap menit. Nilai k dapat digunakan untuk memperkirakan kadar pada interval tertentu dan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kadar air yang diinginkan. Nilai k diperoleh dari slope garis plot yang dibuat antara $\ln ((M-M_e)/(M_o-M_e))$ vs waktu (t). Salah satu grafik hubungan $\ln MR$ dengan waktu disajikan pada Gambar 4 dibawah ini :



Gambar 4. Hubungan $\ln ((M-M_e)/(M_o-M_e))$ dengan waktu pada variasi tekanan dan suhu udara ruang pengering $P = 61 \text{ kPa}$, $T_u = 60^\circ\text{C}$

Dari Gambar 4 dapat dilihat bahwa grafik bernilai negatif, sehingga slope yang terbentuk juga negatif, hal menyebabkan nilai k adalah negatif. Tabel 3 menunjukkan nilai k pada variasi tekanan dan suhu ruang pengering.

Tabel 3. Tabel konstanta laju pengeringan gabah (1/menit) pada berbagai variasi suhu dan tekanan

Suhu T ($^\circ\text{C}$)	Nilai k prediksi k (T) Tekanan ruang pengering (kPa)		
	75	61	48
30	0,024	0,015	0,016
45	0,029	0,039	0,037
60	0,026	0,049	0,033

Tabel 3 menunjukkan nilai k cenderung naik turun dengan semakin naiknya suhu pengeringan. Pada berbagai suhu pengeringan, nilai k memiliki selisih sedikit dengan semakin turunnya tekanan.

5. Prediksi Konstanta Laju Pengeringan

Nilai k observasi dapat digunakan untuk menentukan k prediksi sebagai fungsi tekanan (P) dan suhu (T). Dengan menggunakan Persamaan (1.6) maka diperoleh beberapa modifikasi sebagai berikut :

$$k_v = ap^bT^c \quad \dots\dots\dots (1.7)$$

$$\log k_v = \log a + b \log p + c \log T \quad \dots\dots\dots (1.8)$$

Dengan regresi linear berganda yang ditampilkan untuk menentukan persamaan k (P, T). Hasil regresi diperoleh persamaan sebagai berikut :

$$K (P,T) = 0,00074 P^{-0,034} T^1 \quad \dots\dots\dots (1.9)$$

Dari persamaan tersebut diperoleh k prediksi yang tertera pada Tabel 4 dan nilai k prediksi tidak berbeda jauh dari nilai k observasi sebagai fungsi suhu.

Tabel 4 Konstanta laju pengeringan k prediksi

Suhu T (°C)	Nilai k prediksi Tekanan ruang pengering (kPa)		
	75	61	48
30	0,0192	0,0193	0,0195
45	0,0288	0,0289	0,0292
60	0,0383	0,0386	0,0389

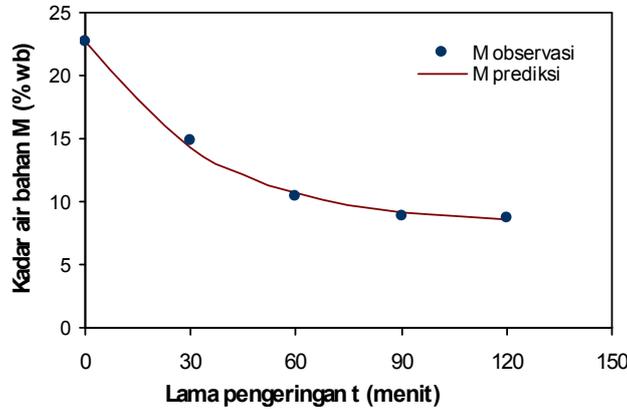
Konstanta laju pengeringan k prediksi memiliki kecenderungan semakin besar dengan semakin rendahnya tekanan ruang pengering. Jika tekanan ruang pengering semakin rendah maka nilai k akan semakin besar dan jika suhu ruang pengering semakin tinggi maka nilai k akan semakin besar. Dari tabel diatas k berkisar antara 0,02 – 0,05 per menit atau 1,2 – 3 per jam. Hal tersebut menunjukkan laju pengeringan gabah menggunakan pengering vakum ternyata lebih cepat dibandingkan dengan pengeringan gabah menggunakan *bed dryer* yang mempunyai laju pengeringan 1 – 2 per jam (Seo, 2003).

6. Validasi Konstanta Laju Pengeringan (k) observasi dan (k) prediksi

Hasil k observasi dan k prediksi perlu divalidasi yaitu dengan menggambarkan nilai kadar air dari nilai k observasi dan k prediksi.

a. Prediksi kadar air bahan (dihitung menggunakan k observasi)

Nilai k observasi yang tertera pada Tabel 3 digunakan untuk memperkirakan perubahan kadar air bahan. Di bawah ini adalah contoh perbandingan kadar air observasi dan prediksi pada variasi P = 75 kPa, Tu=45.



Gambar 5. Kadar air gabah observasi dan prediksi terhadap waktu (dihitung dengan k observasi) pada P = 75 kPa, Tu = 45°C

Dari gambar di atas terlihat bahwa semakin lama waktu pengeringan yang diperlukan maka kadar air bahan akan semakin mengalami penurunan, hal ini terjadi baik untuk kadar air observasi maupun prediksi.

b. Prediksi kadar air bahan (dihitung dengan k Prediksi)

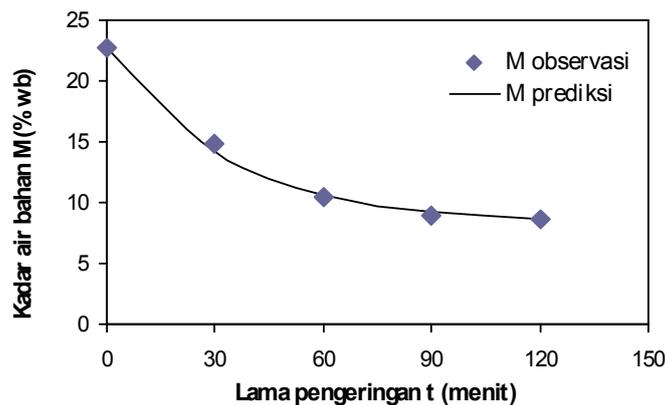
Nilai k prediksi dapat digunakan untuk menentukan kadar air prediksi dari waktu ke waktu dengan persamaan sebagai berikut :

$$\frac{\bar{M}(t) - M(eq)}{M(in) - M(eq)} = \exp((0,00074 P^{-0,034} T^1).t) \dots\dots\dots (1.10)$$

Untuk menentukan M(t) prediksi digunakan persamaan :

$$M(t) = (M(in) - M(eq))(\exp((0,00074 P^{-0,034} T^1).t)) + M(eq) \dots\dots (1.11)$$

Contoh plot perbandingan antara kadar air observasi dan prediksi (dihitung menggunakan k prediksi) pada variasi P = 75 kPa, Tu = 45°C adalah :

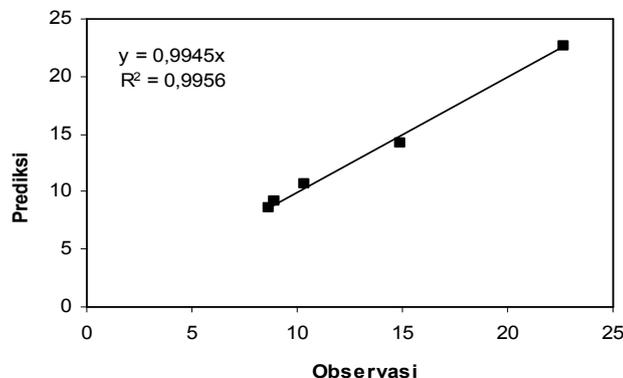


Gambar 6. Grafik kadar air gabah observasi dan prediksi terhadap waktu (dihitung dengan k prediksi) pada $P = 75 \text{ kPa}$, $T_u = 45^\circ\text{C}$.

5. Validasi Data Kadar Air

a. Kadar Air (yang dihitung dengan k observasi)

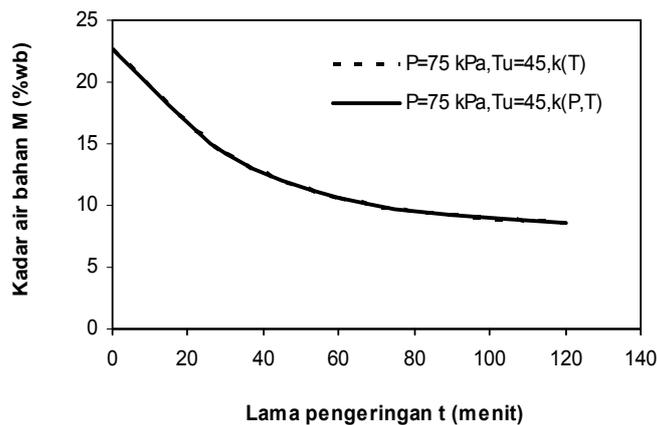
Hasil kadar air prediksi (yang dihitung dengan k observasi) di validasi dengan kadar air observasi dengan hasil pada gambar 7 di bawah ini dan nilai koefisien determinasi (R^2) yang dihasilkan mendekati 1, artinya hasil prediksi mendekati hasil observasi (data observasi valid).



Gambar 7 Validasi kadar air observasi dan prediksi pada $P=75 \text{ kPa}$, $T_u = 45^\circ\text{C}$.

6. Perbandingan Kadar Air (dihitung dengan k observasi & prediksi)

Perbandingan kadar air (diperoleh dari k observasi dan k prediksi) dengan variasi tekanan $P = 75 \text{ kPa}$ $T_u = 45^\circ\text{C}$ disajikan pada Gambar 8.

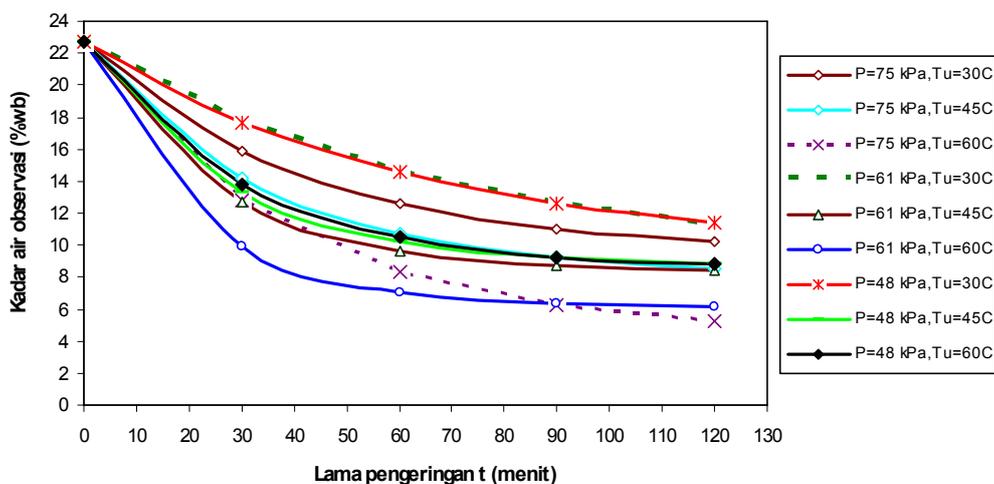


Gambar 8. Perbandingan kadar air pada variasi kPa, $T_u = 45^\circ\text{C}$.

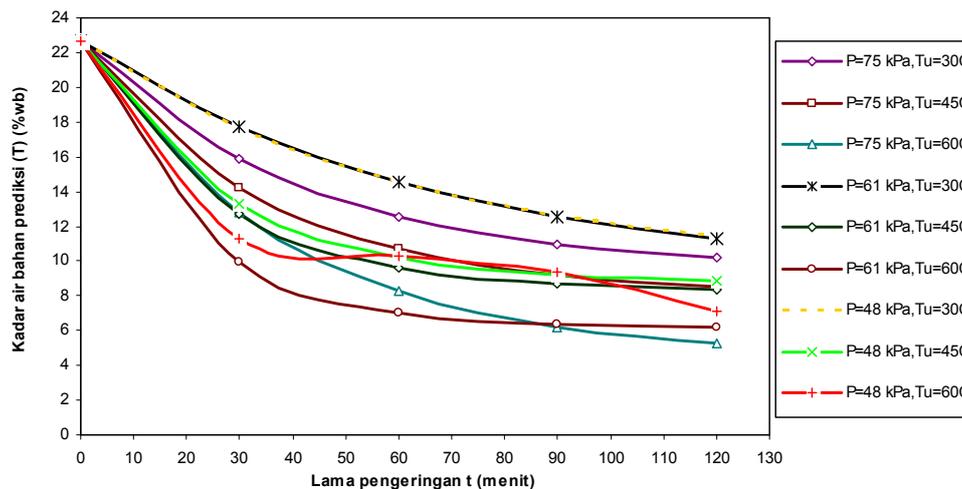
7. Kondisi Pengeringan Optimal

Kadar air optimal gabah semakin lama akan mendekati nilai konstan. Pada kadar air optimal maka bahan tersebut aman untuk disimpan jangka panjang tergantung pada penggunaannya karena relatif stabil sehingga kerusakan karena jamur dan bakteri dapat ditekan dengan kondisi pengemasan dan penyimpanan yang tepat. Jika pengeringan melebihi batas optimal atau terlalu lama dan suhu terlalu tinggi maka kerusakan fisik dan kimiawi bahan akan terjadi.

Untuk menghasilkan kadar air optimal pada gabah, maka diperlukan pengeringan dengan variasi tekanan dan suhu yang optimal pula. Hal ini dapat dilihat pada grafik perubahan kadar air prediksi (yang dihitung menggunakan k observasi) dan grafik perubahan kadar air prediksi (yang dihitung menggunakan k prediksi) dibawah ini :



Gambar 9 Grafik perubahan kadar air prediksi (dihitung dengan k observasi)



Gambar 10. Grafik perubahan kadar air prediksi (dihitung dengan k prediksi)

Dari Gambar 1.9 dan 1.10 dapat diamati bahwa perubahan kadar air paling besar dengan lama pengeringan yang sama terjadi pada variasi tekanan dan suhu ruang pengering $P = 61 \text{ kPa}$, $T = 60^\circ\text{C}$. Hal ini dapat dilihat dari garis grafik dengan posisi paling bawah, maka dapat disimpulkan untuk mendapatkan kadar air optimal untuk gabah maka proses pengeringan sebaiknya dilakukan dengan variasi tekanan dan suhu ruang pengering $P = 61 \text{ kPa}$, $T = 60^\circ\text{C}$

D. KESIMPULAN

1. Konstanta laju pengeringan (k) pada pengeringan gabah menggunakan pengering vakum dengan pemberian panas secara konveksi dengan variasi tekanan dan suhu ruang pengering masing-masing 45 kPa , 61 kPa , 75 kPa dan 30°C , 45°C , 60°C berkisar antara $0,02/\text{menit}$ hingga $0,05/\text{menit}$ atau setara dengan penurunan kadar air $1,2/\text{jam}$ hingga $3/\text{jam}$.
2. Pada suhu konstan, semakin rendah tekanan ruang pengering maka konstanta laju pengeringan (k) semakin tinggi, demikian pula pada tekanan konstan, semakin rendah suhu ruang pengering maka konstanta laju pengeringan (k) juga semakin rendah.
3. Didapatkan persamaan model matematika hubungan antara tekanan (P) dan suhu udara ruang pengering terhadap nilai k , yaitu :
$$k = 0,00074 P^{-0,034} T^1$$
Dimana T adalah suhu udara ruang pengering ($^\circ\text{C}$), P adalah tekanan (kPa)
4. Nilai suhu observasi dengan suhu prediksi tidak berbeda jauh

5. Berdasarkan analisa, kondisi pengeringan yang paling optimal dilakukan adalah sama antara keduanya yaitu pada perlakuan $P = 61 \text{ kPa}$, $T_u = 60^\circ\text{C}$.
6. Model matematis dapat diaplikasikan untuk mengkaji perpindahan panas dan perpindahan massa pada pengeringan bijian menggunakan pengering vakum dengan pemberian panas secara konvektif.

DAFTAR PUSTAKA

- Bazyma, L. A., V. P. Guskov, A. V. Basteev, A. M. Lyashenko, V. Lyakhno and V. A. Kutovoy, 2006. *The investigation of low temperature vacuum drying processes of agricultural materials*. J. of Food Eng., 74(3), p. 410-415
- Kartasapoetra, A.G., 1994. *Teknologi Penanganan Pasca Panen*. Rineka Cipta., Jakarta
- Lewis, M.J.,2003. *Physical Properties of Food Processing System*. Ellis Horwood Ltd. Chichester, England
- Montgomery, S. W., V. W. Goldschmidt and M. A. Franchek,1998. *Vacuum assisted drying of hydrophilic plates: static drying experiments*. Int. J. of Heat and Mass Trans., 41(4-5), p. 735-744
- Purwanto, Aris Y. 2005. *Kehilangan Pasca Panen Padi Kita Masih Tinggi*. MAJALAH INOVASI, Vol.4/XVII
- Seo, Yasuhisa, 2003. *Pedoman Penanganan Pasca Panen Gabah*. Japan Grain Inspection Associatio (KOKKEN), ODA Project-Food Agency Japan