

Simulasi Proses Pengeringan melalui Pengkondisian Kelembaban Udara Pengering

Nasruddin

Laboratorium Teknik Pendingin dan Tata Udara
Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Indoensia
Email : nasruddin@eng.ui.ac.id

Abstrak

Pengeringan produk pertanian merupakan suatu yang sangat penting baik dalam pengawetan maupun sebagai salah satu tahapan untuk menghasilkan produk yang diinginkan. Negara berkembang memproduksi lebih kurang 12% dari produksi palawija dunia. Sementara hampir 80% dari produk tersebut dihasilkan oleh para petani kecil dengan kenyataan hampir 10-40% produk pertanian tersebut rusak setelah panen. Untuk itu pengetahuan tentang karakteristik alat pengering dan proses yang terjadi di dalamnya menjadi sangat penting untuk mengurangi kerugian-kerugian tersebut di atas.

Pada makalah ini akan disampaikan simulasi proses pengeringan dan membandingkannya dengan data yang dihasilkan melalui eksperimen. Produk pertanian yang akan dianalisa adalah gandum dengan terlebih dahulu mengkondisikan udara pengeringnya dengan temperatur 17,8°C dan kelembaban relatif 46%. Perbandingan hasil eksperimen dan simulasi menunjukkan suatu kesesuaian yang cukup baik.

Kata kunci : pengeringan, simulasi, kelembaban, isothermal

Pendahuluan

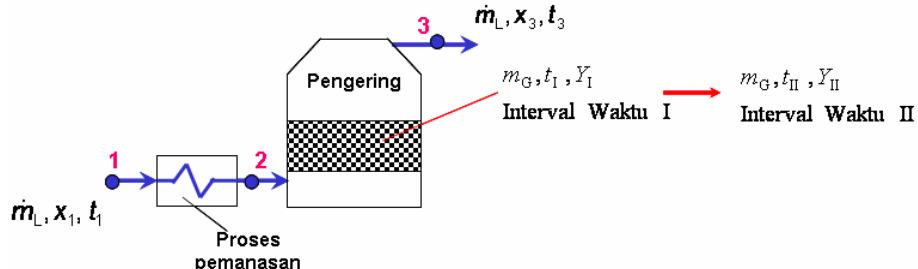
Berdasarkan data yang ada didapatkan bahwa negara-negara berkembang memproduksi hampir 12% dari seluruh produksi dunia [1]. Dengan jumlah ini maka posisi negara berkembang cukup penting dalam kestabilan produksi pangan dunia. Dan sebagaimana diketahui kebanyakan di negara berkembang hampir 80% adalah tergolong petani kecil [2] yang masih melakukan kegiatan tanam, panen dan pasca panen secara tradisional. Sekitar 10-40% produk pertanian tersebut hilang setelah panen. Kerugian-kerugian tersebut di antaranya disebabkan pada saat panen, proses pengeringan pasca panen, transportasi, penyimpanan dan pengeringan. Berdasarkan data FAO di negara Asia Tenggara kerugian akibat proses pengeringan secara tradisional sekitar 13% [3].

Mengingat jumlah kerugian yang cukup signifikan akibat proses pengeringan, maka pengetahuan dasar tentang karakteristik proses pengeringan menjadi suatu yang sangat penting. Pada makalah ini akan dibandingkan hasil eksperimen pengeringan produk gandum yang dilakukan oleh Ziegler and Kreutz [4] dengan simulasi yang lebih simpel dengan hasil kesesuaian yang cukup baik sehingga dapat digunakan untuk menganalisa sistem pengeringan agar menjadi lebih optimal dan efisien serta analisa kemungkinan untuk menggunakan jenis produk pertanian yang berbeda.

Proses Pengeringan

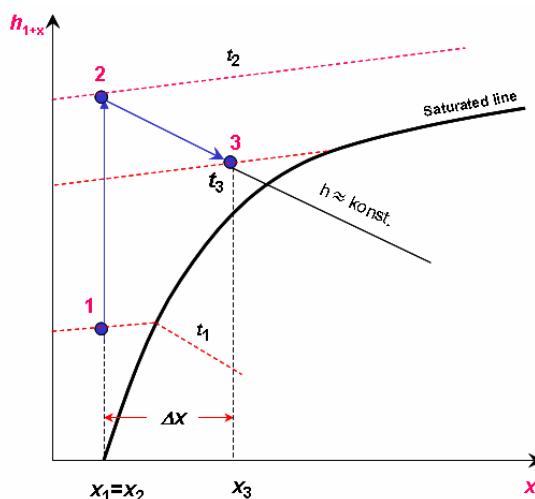
Secara umum proses pengeringan untuk produk yang bukan hidroskopis dapat digambarkan seperti terdapat dalam Gambar 1 dan 2. Proses pengeringan didahului dengan memberikan panas kepada udara yang akan digunakan untuk mengeringkan suatu produk dengan laju aliran \dot{m}_L dengan kandungan uap air sebesar x_2 dan temperatur sebesar t_1 ditunjukkan dengan titik 1 dan keluar dari proses pemanasan sehingga mencapai kondisi

titik 2. Dalam diagram $h_{x+1} - x$ proses 1 ke 2 berlangsung pada kandungan uap air yang konstan, proses ini hanya menaikkan temperatur dari udara.



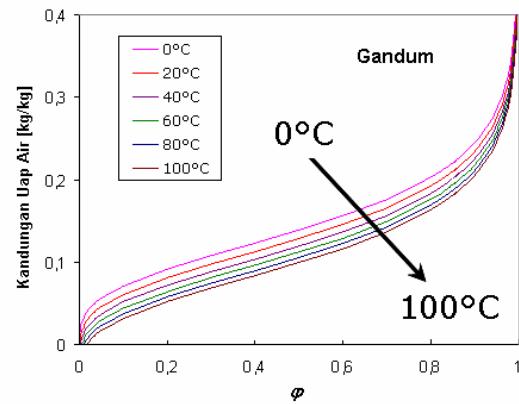
Gambar 1. Proses Pengeringan

Selanjutnya udara yang sudah dipanaskan akan mengalir menuju pengering yang berisi produk yang akan dikeringkan. Proses berlangsung dari titik 2 menuju titik 3. Pada proses ini udara akan menyerap uap air yang ada di diproduk sehingga menaikkan jumlah kandungan uap airnya, sementara produk akan menjadi lebih kering karena adanya proses desorpsi terhadap uap air yang terdapat di dalam produk, proses ini diikuti dengan penurunan temperatur udara pengering sebaliknya akan menaikkan temperatur produk. Besarnya uap air yang dapat diserap udara atau besarnya pengurangan uap air dari dalam produk diasumsikan sama nilainya sebesar Δx .



Gambar 2. Proses Pengeringan dalam Diagram Psychrometric

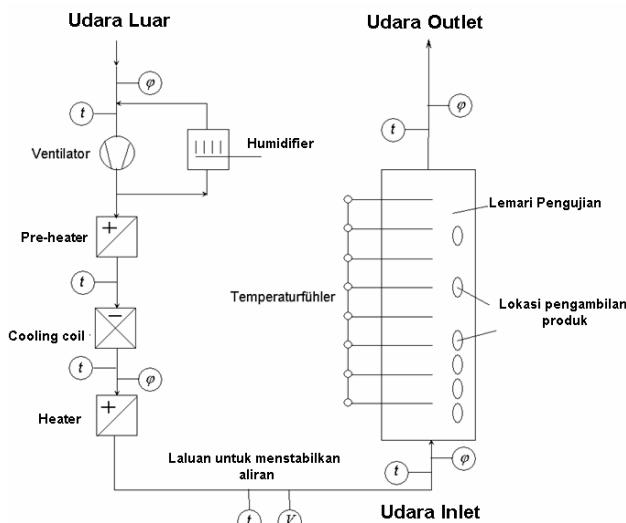
Hubungan antara kelembaban relatif dari udara dalam keadaan kesetimbangan dan kandungan uap air dari suatu produk dapat digambarkan dalam sebuah diagram yang disebut diagram isothermal sorption seperti ditunjukkan dalam Gambar 3. Pada diagram ini menunjukkan proses isothermal sorption dari gandum, dengan naiknya temperatur akan menyebabkan berkurangnya kandungan uap air pada kandungan uap air relatif dari udara yang konstan.



Gambar 3. Hubungan antara ϕ dan kandungan uap air terhadap temperatur pengeringan untuk gandum

Metodologi

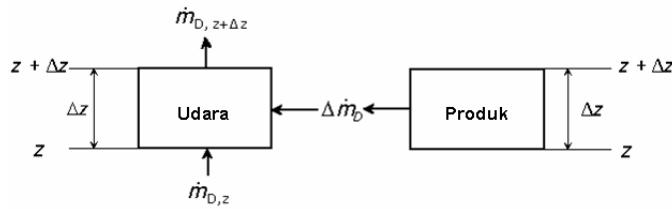
Untuk mendapatkan potensi optimasi dari parameter yang terdapat dalam proses pengeringan, maka dilakukan simulasi yang selanjutnya akan dibandingkan dengan hasil eksperimen yang dilakukan oleh Ziegler and Kreutz [4]. Skema peralatan yang digunakan ditunjukkan dalam Gambar 4. Secara umum komponen utama yaitu atas sebuah sistem tata udara yang berguna untuk me kondisikan udara yang akan digunakan, lemari pengujian yang didalamnya terdapat produk yang akan dikeringkan.



Gambar 4. Skema peralatan pengujian [4]

Pada simulasi ini ada beberapa asumsi-asumsi yang digunakan yaitu : proses pengeringan berlangsung secara 1 dimensi searah sumbu z, tekanan udara yang melalui produk dianggap konstan, sistem dianggap adiabatis, tidak ada akumulasi dari energi dan massa dari udara, perubahan volume produk dari proses pengeringan juga diabaikan.

Persamaan yang digunakan untuk simulasi ini menggunakan hukum kesetimbangan massa dan energi. Kesetimbangan massa dari proses ini ditunjukkan dalam Gambar 5 dan diuraikan dalam persamaan (1) sampai dengan (4).



Gambar 5. Kesetimbangan Massa dalam Proses Pengeringan

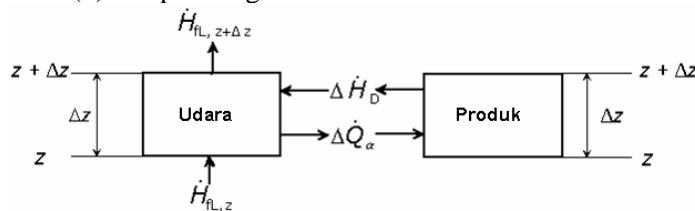
$$\dot{m}_{D,z+\Delta z} - \dot{m}_{D,z} = \Delta \dot{m}_D \quad (1)$$

$$\frac{\partial \dot{m}_D}{\partial z} \Delta z = -(1-\psi) A \rho_G \Delta z \frac{\partial Y}{\partial \tau} \quad (2)$$

$$w_0 \rho_L \frac{\partial x}{\partial z} = -(1-\psi) \rho_G \frac{\partial Y}{\partial \tau} \quad (3)$$

$$w_0 \rho_L (c_{pL} + x c_{pD}) \frac{\partial t_L}{\partial z} = -\alpha A_v (t_L - t_G) - (1-\psi) \rho_G c_{pD} (t_L - t_G) \frac{\partial Y}{\partial \tau} \quad (4)$$

Sedangkan kesetimbangan energi ditunjukkan dalam Gambar 6 serta persamaan-persamaannya diturunkan dari persamaan (5) sampai dengan



Gambar 6. Kesetimbangan Energi dalam Proses Pengeringan

$$(1-\psi) \rho_G (c_{pG} + Y c_w) \frac{\partial t_G}{\partial \tau} = \alpha A_v (t_L - t_G) + (1-\psi) \rho_G q(t, Y) \frac{\partial Y}{\partial \tau} \quad (5)$$

Persamaan model transport massa kinetik dari material yang digunakan menggunakan persamaan linear sebagaimana terdapat pada persamaan (6)

$$\frac{\partial Y}{\partial \tau} = -k (Y - Y_{Gg}) \quad (6)$$

Dengan nilai konstanta k untuk gandum menggunakan rumus [5,6] :

$$k = 139,3 \text{ s}^{-1} \exp \left[\frac{-4426 \text{ K}}{t + 273,15} \right] \quad (7)$$

Data-data awal yang digunakan untuk mensimulasikan proses ini ditunjukkan dalam Tabel 1.

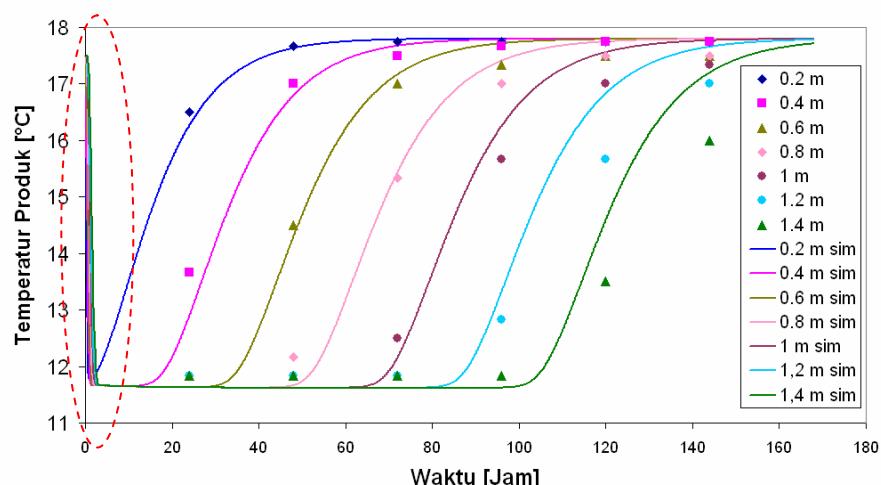
Tabel 1. Data awal yang digunakan untuk simulasi

Kandungan uap air awal dari produk	0,31 kg/kg
Temperatur awal dari produk	17,5°C
Tinggi produk dalam pengering	1,85 m

Temperatur udara inlet	17,8°C
Kandungan uap air udara inlet	5,9 g/kg
RH udara inlet	46%
Kecepatan alir udara	0,15 m/s

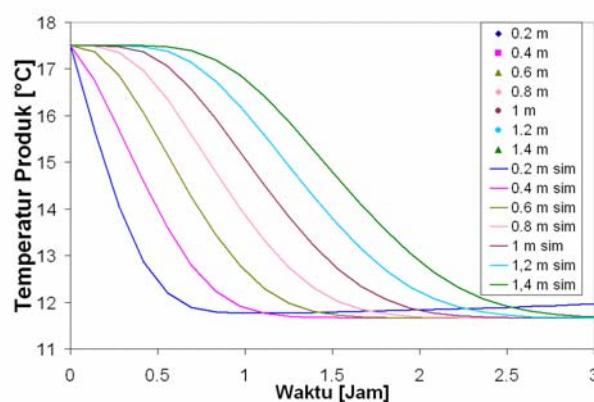
Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan hasil simulasi didapatkan profil temperatur produk pada ketinggian lapisan yang berbeda di dalam lemari pengering yang dibandingkan dengan hasil eksperimen sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 7. Dari grafik didapatkan bahwa proses kenaikan temperatur dari gandum akan mencapai maksimum untuk semua lapisan pada waktu pengeringan sekitar 160 jam, pada saat tersebut temperatur produk akan mendekati temperatur udara yang masuk ke lemari pengering.



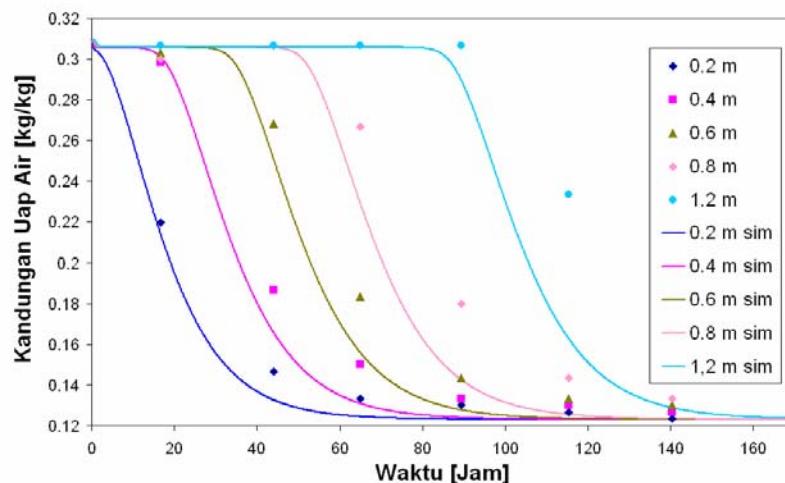
Gambar 7. Perubahan temperatur produk pada setiap level ketinggian di lemari Pengering terhadap fungsi waktu pengeringan.

Pada saat 3 jam pertama dari proses pengeringan, temperatur turun pada semua level ketinggian produk hingga mencapai temperatur *dew point*, pada bagian ini proses pengeringan berlangsung dengan proses penguapan uap air (evaporasi) yang pada permukaan produk. Untuk lebih jelasnya proses 3 jam pertama ini diperbesar skalanya dan ditunjukkan dalam Gambar 8.



Gambar 8. Penurunan temperatur produk pada 3 jam pertama dengan proses penguapan (evaporasi) di permukaan produk

Kandungan uap air yang terdapat dalam produk ditampilkan dalam Gambar 9 yang membandingkan antara hasil simulasi dengan hasil eksperimen. Gambar 9 menunjukkan bahwa kandungan uap air dalam produk pada bagian teratas merupakan bagian yang paling akhir untuk mencapai kesetimbangan dan ini merupakan ciri dari pengeringan produk secara *bulk*.



Gambar 9. Perubahan kandungan uap air produk pada setiap level ketinggian di lemari Pengering terhadap fungsi waktu pengeringan.

Kesimpulan

Telah dilakukan simulasi proses pengeringan dan membandingkannya dengan data yang dihasilkan melalui eksperimen. Produk pertanian yang akan dianalisa adalah gandum dengan terlebih dahulu mengkondisikan udara pengeringnya dengan temperatur 17,8°C dan kelembaban relatif 46%. Perbandingan hasil eksperimen dan simulasi menunjukkan suatu kesesuaian yang cukup baik. Perbedaan yang terjadi antara hasil eksperimen dan simulasi antara lain disebabkan oleh adanya asumsi dari persamaan yang digunakan terutama dengan mengabaikan perubahan tekanan dan juga volume dari produk yang dikeringkan.

Notasi

m : massa [kg]

ρ : berat jenis [kg/m^3]

c : panas spesifik [$\text{kJ}/\text{kg.K}$]

k : koefisien transport kinetik [1/s]

Y_{Gg} : kandungan uap air equilibrium dalam produk [kg/kg]

Y : kandungan uap air rata-rata pada waktu t dalam produk [kg/kg]

t : temperatur produk [°C]

Daftar Pustaka

1. Sodha et al., *Solar Crop Drying*, Boca Raton, Fla. CRC Press 1987
2. Esper and Mühlbauer, *Renewable Energy* Vol. 15 No.1 pp.95-100, 1998
3. Lucia and Assenato, *Agricultural Engineering in Development*, Rome FAO, 1994
4. Ziegler and Kreutz, *Modellierung und Simulation der Solar unterstuetzen Schuettguttrocknung am BeispielWeizen*, FB-VDI, 1999
5. Giner et al. ,*Two-Dimensional Simulation Model of Steady State Mixed Flow Grain Drying Part 1* Vol.71 No.1,,pp. 37-50 J. agric. Engng Res. ,1998

6. *Giner et al. ,Two-Dimensional Simulation Model of Steady State Mixed Flow Grain Drying Part 2 Vol. 71 No. 1, ,pp. 51-66 J. agric. Engng Res. ,1998*