

PENDUGAAN POLA PENURUNAN KADAR AIR PADA PENGERINGAN GABAH DENGAN CARA KESETIMBANGAN PANAS

Oleh :

R. Doddy A. Darmajana *)

Intisari

Pola penurunan kadar air pada pengeringan gabah dengan pengering jenis bak datar, diduga dengan cara Kesetimbangan Panas. Dari iterasi yang telah dilakukan, diperoleh pola penurunan kadar air, rata-rata laju penurunan selama pengeringan 1.09% per jam, lama pengeringan 9.00 jam, perbedaan kadar air antara lapisan gabah terbawah dengan lapisan teratas 3.85%, kadar air akhir 14.43% dan suhu udara pengering maksimum yang mengenai adalah 41.36°C, terjadi pada lapisan terbawah.

Pendahuluan

Salah satu proses yang sangat penting dalam penanganan pasca panen padi adalah pengeringan. Pengeringan yang tepat dapat menghasilkan mutu gabah siap giling atau siap simpan untuk jangka lama. Pengeringan gabah dapat dilakukan dengan panas sinar matahari atau dengan panas buatan. Salah satu cara pengeringan panas buatan adalah dengan pengering gabah jenis bak datar (lihat Gambar 1). Keuntungan penggunaan pengeringan buatan adalah bahwa keadaan udara pengering, seperti suhu, kelembaban relatif dan kecepatan aliran udara dapat dikendalikan. Dengan mengendalikan keadaan udara penge-

ring dan dengan mengetahui data awal gabah, pola penurunan kadar air gabah dapat diduga sebelum proses pengeringan dilakukan dan juga dapat dihasilkan mutu gabah yang memenuhi syarat baik sebagai pangan atau benih.

Pada tulisan ini dikemukakan cara pendugaan pola penurunan kadar air gabah yang terjadi dalam lapisan tumpukan gabah pada pengeringannya dengan pengering jenis bak datar dengan cara Kesetimbangan Panas. Pendugaan ini dilakukan dengan pendekatan matematik, di antaranya dengan rumus perpindahan panas dan masa, dan beberapa rumus empiris.

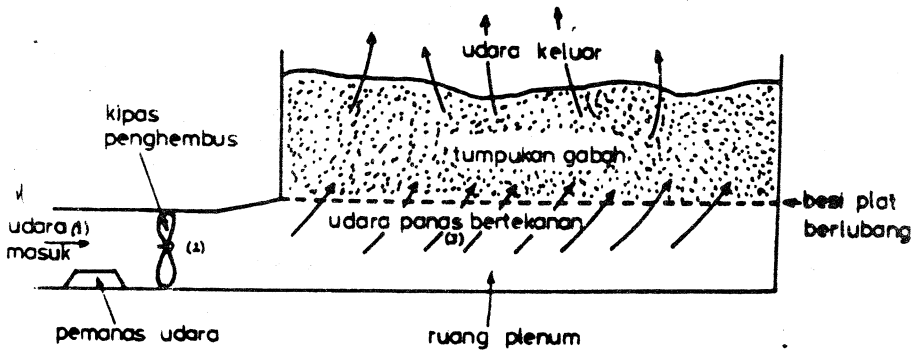
Pola penurunan kadar air memungkinkan pemanfaatannya untuk :

1. mengirakan laju penurunan kadar air gabah selama pengeringan.
2. mengirakan lama pengeringan yang dibutuhkan untuk mencapai kadar air gabah yang diinginkan.
3. mengirakan perbedaan kadar air gabah antar lapisan dan juga perbedaan kadar air gabah maksimum antara lapisan terbawah dan lapisan teratas.

Teori

1. Alat Pengering Jenis Bak Datar

*)Asisten Peneliti Muda pada Balai Pengembangan Teknologi Tepat Guna Puslitbang Fisika Terapan, LIPI, Subang.



Gambar 1. Pengereng gabah jenis bak datar

Cara kerja alat ini meliputi pemanasan udara sekitar (1) dengan pemanas, kemudian dihembuskan dengan kipas ke ruang plenum (2) Udara panas bertekanan di ruang plenum (3) bergerak ke atas mengeringkan gabah yang berada pada bak (di atas ruang plenum), demikian berlangsung terus menerus hingga dicapai tingkat kekeringan - yang diinginkan.

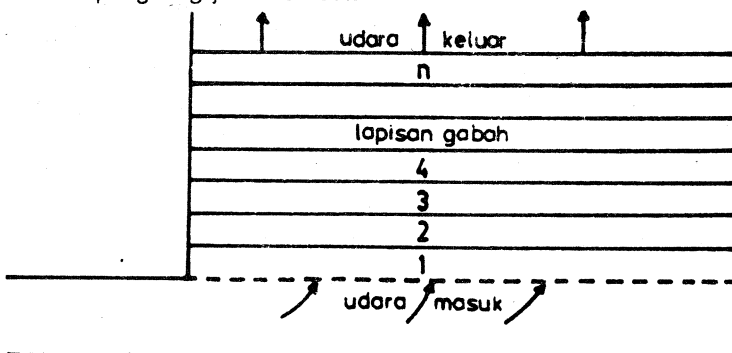
2. Proses Pengerengan

Proses pengeringan gabah yang terjadi pada alat pengereng jenis bak datar

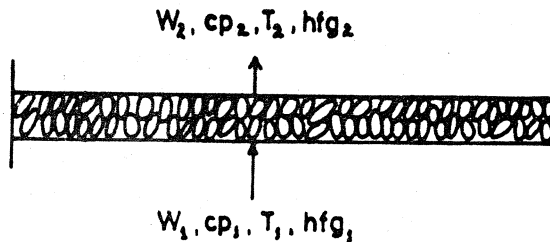
dapat dianggap sebagai proses pengeringan terhadap susunan beberapa lapisan tipis biji-biji gabah (Hall, 1980) (lihat Gambar 2). Berdasar hal tersebut maka analisis keadaan pengeringan dilakukan terhadap udara pengering yang melalui lapisan-lapisan tipis tersebut secara berurutan.

Untuk jelasnya lihat Gambar 3.

Kejadian yang akan diuji adalah perubahan suhu udara pengering yang melalui lapisan tipis gabah, karena suhu merupakan fungsi beberapa besaran dan pengamatannya relatif lebih mudah.



Gambar 2. Tumpukan gabah terdiri atas beberapa lapisan



Gambar 3. Kondisi udara pengering meliputi lapisan tipis gabah

Setelah mengetahui perubahan suhu udara pengering dan sifat-sifat termal gabah, besaran-besaran udara pengering lainnya dan perubahan kadar air gabah dapat ditentukan.

Prinsip perhitungan yang akan diuraikan berikut ini adalah pendugaan suhu gabah pada tiap lapisan yang ditentukan dengan menggunakan neraca panas. Dengan mengetahui suhu, maka kadar air gabah pada lapisan yang sama dapat ditentukan. Untuk itu akan perlu diketahui jumlah panas yang dibawa udara pengering tiap satuan waktu, dengan rumus berikut :

$$q_a = m_a \times c_p \times (T_1 - T_2) \dots (1)$$

$$m_a = V_a \rho \dots (2)$$

dalam hal ini :

q_a = panas yang dibawa udara pengering persatuan waktu (KJ/menit)

m_a = masa udara pengering yang masuk per satuan waktu (kg/menit)

c_p = panas jenis udara pengering (KJ/kg°C)

T_1 = suhu udara pengering masuk lapisan (°C)

T_2 = suhu udara pengering keluar lapisan (°C)

V_a = kecepatan aliran udara pengering (m³/menit)

ρ = masa jenis udara pengering (kg/m³)

Panas jenis udara (c_p) dihitung dengan rumus Nishiyama dan Hara⁽⁶⁾, seperti berikut :

$$c_p = 1,005 + 1,82 \times W \dots \dots \dots 3)$$

$$W = 0,622 \times (P_s / (1 - P_s)) \dots \dots \dots 4)$$

$$P_s = P_{Tw} - (T - T_w) / 1510 \dots \dots \dots 5)$$

$$P_{Tw} = \exp(11,97 - 3997,6 / (T_w + 234)) \dots \dots \dots 6)$$

dalam hal ini :

W = kelembaban mutlak udara pengering (kg air/kg udara kering)

P_s = tekanan uap air (atm)

P_{Tw} = tekanan uap air jenuh pada suhu bola basah (T_w) (atm).

Panas yang dibutuhkan untuk menguapkan air pada sejumlah biji gabah adalah mengikuti rumus berikut (Esmay et al, 1979).

$$q_w = m_w \times h_{fg} \dots \dots \dots 7)$$

dalam hal ini :

q_w = panas penguapan per satuan waktu (KJ/menit)

mw = jumlah/berat air yang harus diuapkan per satuan waktu (kg/menit)

hfg = panas laten penguapan pada suhu bola kering T (kJ/kg).

Jumlah air yang diuapkan per satuan waktu sama dengan berat kering gabah dikalikan perubahan/penurunan kadar air gabah per satuan waktu (Hara & Nishiyama, 1982). Dalam bentuk rumus adalah sebagai berikut :

$$mw = wd \times dM/d\theta \dots\dots\dots 8)$$

dalam hal ini :

- wd = berat kering gabah (kg)
- dM/d θ = perubahan/penurunan kadar air gabah per satuan waktu
- = laju penurunan kadar air gabah (% berat kering/menit)
- b.b. = berat basah
- b.k. = berat kering

Nilai panas laten penguapan air (hfg) dicari dengan menggunakan rumus Nishiyama dan Hara (Hara & Nishiyama, 1982) seperti berikut :

$$hfg = 2500 - 2,37 \times T \dots\dots 9)$$

dalam hal ini :

- T = suhu bola kering udara pengering (°C)

Laju penurunan kadar air gabah pada pengeringan lapisan tipis gabah menurut Henderson dan Perry (1955) adalah :

$$\frac{M - Me}{Mo - Me} = \exp (-k \times \theta) \dots\dots 10)$$

Jika persamaan tersebut di atas dideferensialkan terhadap θ (waktu) dan dikaitkan dengan persamaan 10, maka dihasilkan persamaan yang baru laju penurunan kadar air gabah, seperti berikut ini :

$$\frac{dM}{d\theta} = -k \times (M - Me) \dots\dots 11)$$

$$dM = -k \times (M - Me) \times d\theta \dots\dots 12)$$

dalam hal ini

- k = tetapan pengeringan gabah (1/menit)
- M = kadar air gabah pada suatu waktu (% b.k.)
- Me = kadar air kesetimbangan gabah (% b.k.)
- dM = penurunan kadar air gabah (% b.k.)
- d θ = selang waktu (menit)

Tetapan pengeringan gabah (k) dihitung dengan rumus empiris Nishiyama (Hara & Nishiyama, 1982), yakni :

$$k = \exp (8,350 - 4449/(T + 273,15)) \dots\dots\dots 13)$$

Kadar air kesetimbangan gabah (Me) dihitung dengan rumus empiris Thahir, yakni :

$$Me = 21,8372 - 1,4089 \times (T - Tw) + 0,0412 \times (T - Tw)^2 \dots\dots\dots 14)$$

dalam hal ini

- T = suhu bola kering udara pengering (°C)
- Tw = suhu bola basah udara pengering (°C)

Berdasar asas kesetimbangan panas

maka : panas yang dibawa oleh udara pengering (q_a) = panas yang digunakan untuk menguapkan air dari gabah (q_w).

$$q_a = q_w \dots\dots\dots 15)$$

Jika persamaan kesetimbangan panas tersebut di atas dikaitkan dengan persamaan 1, 2, 7, dan 8, maka persamaan menjadi :

$$V_a \times \rho \times c_p \times (T_2 - T_1) = w_d \times dM/d\theta \times hfg \dots\dots\dots 16)$$

Perubahan suhu udara pengering yang terjadi setelah melalui lapisan tipis gabah adalah :

$$\Delta T = \frac{w_d \times dM/d\theta \times hfg}{V_a \times \rho \times c_p} \dots\dots\dots 17)$$

Jika persamaan di atas dikaitkan dengan persamaan 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, dan 9, maka sebetulnya perubahan suhu adalah :

$$\Delta t = f(w_d, V_a, \rho, T, T_w) \dots\dots\dots 18)$$

Prosedur Penyelesaian

Pada analisis pendugaan pola penurunan kadar air proses pengeringan gabah dengan pengering jenis bak datar digunakan beberapa persamaan tersebut di atas. Agar model matematik dapat diterapkan atau mendekati keadaan sebenarnya, diperlukan beberapa asumsi, yaitu :

(a) kadar air awal gabah seragam, (b) tidak ada panas yang hilang pada sistem, (c) udara pengering mengalir serentak secara kontinyu, (d) suhu udara pengering sama dengan suhu gabah pada

lapisan dan waktu yang sama, (e) tidak dilakukan pengadukan, (f) perhitungan perpindahan panas dan masa hanya dilakukan terhadap udara pengering pada lapisan tumpukan gabah pada bak pengering, (g) suhu udara pengering yang masuk pada lapisan terbawah adalah tetap selama pengeringan.

Tahap-tahap perhitungan untuk analisis ini seperti pada gaftar alir pada Gambar 4. Perhitungan harus dilakukan berulang-ulang (proses iterasi) selama proses pengeringan berlangsung, sampai batas lama maksimum yang ditentukan atau kadar air gabah telah mencapai kadar air yang diinginkan.

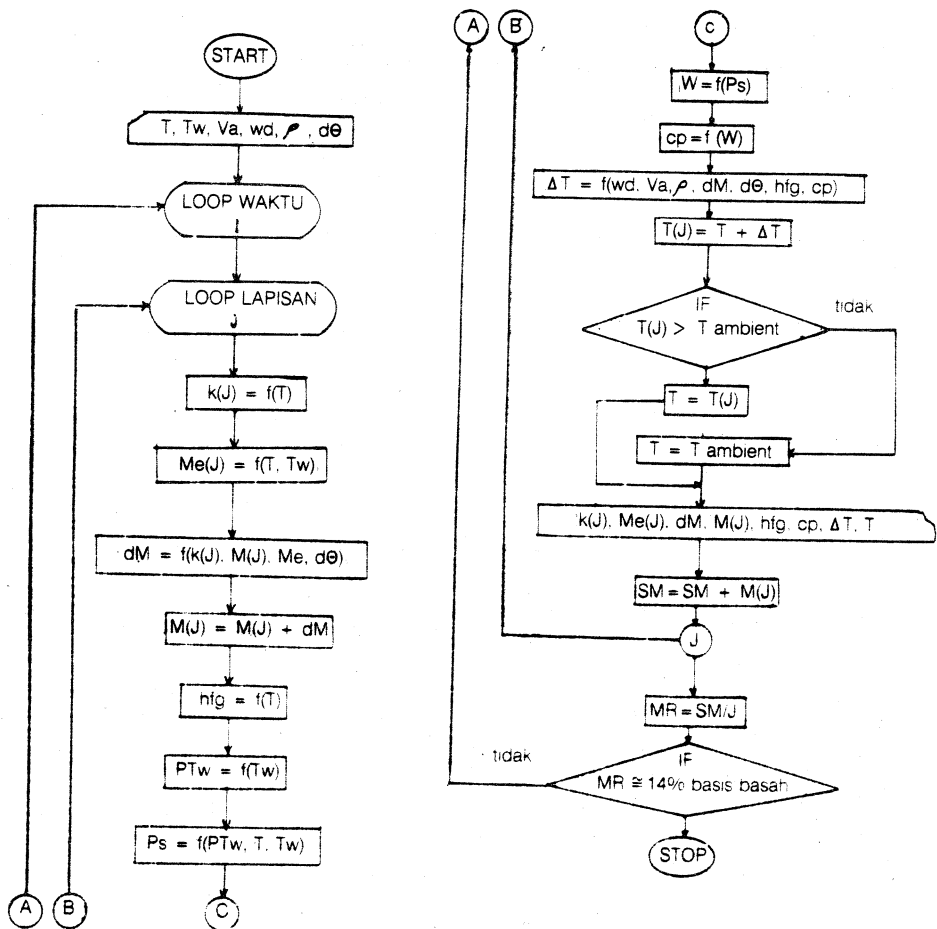
Penerapan

Cara kesetimbangan panas dicoba digunakan untuk menduga pola penurunan kadar air gabah dan lama pengeringan pada percobaan pengeringan gabah yang dilakukan di Balai Pengembangan Teknologi Tepat Guna, Puslitbang Fisika Terapan LIPI, Subang.

Alat pengering gabah yang digunakan adalah jenis bak datar dengan kotak pengering dari bahan multipleks, tungku pemanas jenis gravitasi dengan bahan bakar minyak tanah, kipas penghembus udara jenis aksial. Kapasitas maksimum kotak pengering 1250 kg gabah basah. Alat ini dibuat di Laboratorium Desain dan Konstruksi, BPTTG, P3FT, LIPI dan diuji coba di Stasiun Lapangan BPTTG, Dawuan, Subang.

Beberapa data awal gabah dan udara lingkungan pada saat percobaan adalah sebagai berikut :

1. Tanpa pengaturan kondisi varietas gabah : Cisadane, berat gabah awal :



Gambar 4. Diagram alir proses iterasi program komputer

947,3 kg, kadar air gabah awal : 24,3% berat basah, 32,1% berat kering, tebal tumpukan gabah : 33,5 cm, suhu bola kering udara sekitar : 30,6°C, kelembaban nisbi udara sekitar : 69,6%.

2. Dengan pengaturan kondisi tebal tumpukan gabah dibagi : 6 lapisan, suhu bola kering udara pengering (ruang plenum) : 42,0°C, kelembaban relatif udara penge-

ring : 37,5%, dengan diagram psikrometrik didapat suhu bola basah (Tw) udara pengering : 28,7°C, masa jenis udara pengering ρ : 1,09 kg/m³, laju aliran udara : 0,825 m³/det, selang waktu perhitungan (dθ) : 5 menit, kadar air akhir yang dikehendaki rata-rata : 14% berat basah, 16,3% berat kering.

Pada perhitungan dalam tulisan ini, lama maksimum pengeringan tidak ditentukan, tetapi perhitungan akan dihentikan setelah kadar air gabah rata-rata semua lapisan mendekati 14% berat basah. Hal ini bertujuan untuk mengetahui lama pengeringan yang dibutuhkan untuk mencapai kadar air gabah 14% berat basah.

Hasil dan Pembahasan

Tahapan perhitungan dalam penyelesaian masalah ini harus dilakukan secara berulang-ulang atau cara iterasi. Hasil perhitungan untuk setiap parameter

kondisi udara pengering dan kondisi gabah ditampilkan pada Tabel 1, 2, dan 3, meliputi nilai-nilai tetapan pengeringan (k), kadar air kesetimbangan gabah (Me), penurunan kadar air gabah (dM), kadar air gabah (M), panas jenis udara pengering (cp), panas laten penguapan air (hfg), perubahan suhu (ΔT) dan suhu (T) udara pengering yang keluar dari lapisan tertentu.

Pada lapisan 1 nilai k, Me, hfg dan cp selama pengeringan adalah tetap, hal ini karena keempat besaran tersebut merupakan fungsi udara pengering yang masuk pada lapisan 1, yakni dari ruang plenum yang diatur tetap. Pada selang

Tabel 1. Kondisi gabah dan udara pengering tiap lapisan setelah pengeringan selama 5 menit

Lapisan	k (1/menit)	Me (% b.k.)	dM (% b.k.)	M (% b.k.)	hfg (kJ/kg)	cp (kJ/kg C)	ΔT (°C)	T Keluar (°C)
1	3.13×10^{-3}	10.39	— 0.34	31.76	2400.46	1.040	— 3.46	38.54
2	2.67×10^{-3}	11.97	— 0.27	31.83	2408.67	1.043	— 2.75	35.79
3	2.35×10^{-3}	13.92	— 0.21	31.89	2415.18	1.045	— 2.19	33.60
4	2.12×10^{-3}	15.92	— 0.17	31.93	2420.36	1.047	— 1.76	31.84
5	1.96×10^{-3}	17.81	— 0.14	31.96	2424.53	1.048	— 1.43	30.60
6	1.84×10^{-3}	19.31	— 0.12	31.98	2427.48	1.049	— 1.20	30.60

Tanda kurang (—) pada dM dan ΔT menunjukkan pengurangan.

Tabel 2. Kondisi gabah dan udara pengering tiap lapisan setelah pengeringan selama 10 menit

Lapisan	k (1/menit)	Me (% b.k.)	dM (% b.k.)	M (% b.k.)	hfg (kJ/kg)	cp (kJ/kg C)	ΔT (°C)	T Keluar (°C)
1	3.13×10^{-3}	10.39	— 0.33	31.43	2400.46	1.040	— 3.41	38.59
2	2.68×10^{-3}	11.93	— 0.27	31.56	2408.54	1.043	— 2.72	35.87
3	2.36×10^{-3}	13.86	— 0.21	31.67	2414.99	1.045	— 2.18	33.69
4	2.13×10^{-3}	15.83	— 0.17	31.76	2420.15	1.047	— 1.76	31.94
5	1.96×10^{-3}	17.71	— 0.14	31.82	2424.31	1.048	— 1.43	30.60
6	1.84×10^{-3}	19.31	— 0.12	31.87	2427.48	1.049	— 1.19	30.60

Tanda kurang (—) pada dM dan ΔT menunjukkan pengurangan.

waktu tertentu (Tabel 1), nilai kadar air gabah (M) makin ke atas makin besar; hal ini disebabkan oleh penurunan kadar air gabah (dM) yang makin kecil. Penurunan kadar air gabah (dM) dipengaruhi oleh tetapan pengeringan (k) dan kadar air kesetimbangan (Me) (lihat persamaan 11 dan 12). Jika k makin kecil maka penurunan kadar air gabah (dM)

menurun, atau sebaliknya, sedang jika kadar air kesetimbangan gabah (Me) semakin tinggi maka penurunan kadar air gabah (dM) menurun.

Tabel 4 menampilkan nilai-nilai kadar air gabah (M% berat basah) dan suhu udara pengering (T°C) pada saat pengeringan berlangsung 8 jam dan 9 jam.

Tabel 3. Kondisi gabah dan udara pengering tiap lapisan setelah pengeringan selama 15 menit

Lapisan	k (1/menit)	Me (% b.k.)	dM (% b.k.)	M (% b.k.)	h _{fg} (kJ/kg)	cp (kJ/kg C)	Δ T (°C)	T Keluar (°C)
1	$3,13 \times 10^{-3}$	10.39	— 0.33	31.10	2400.46	1.040	— 3.36	38.64
2	$2,69 \times 10^{-3}$	11.90	— 0.26	31.30	2408.42	1.043	— 2.70	35.95
3	$2,37 \times 10^{-3}$	13.79	— 0.21	31.46	2414.81	1.045	— 2.17	33.78
4	$2,14 \times 10^{-3}$	15.74	— 0.17	31.58	2419.94	1.047	— 1.75	32.03
5	$1,97 \times 10^{-3}$	17.61	— 0.14	31.68	2424.10	1.048	— 1.43	30.60
6	$1,84 \times 10^{-3}$	19.31	— 0.12	31.75	2427.48	1.049	— 1.18	30.60

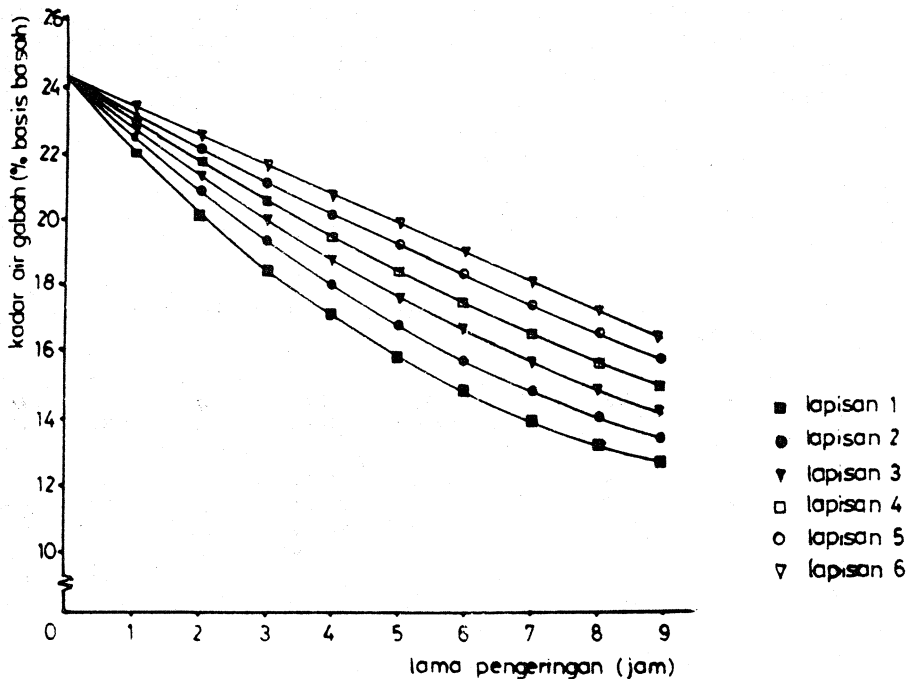
Tanda kurang (—) pada dM dan ΔT menunjukkan pengurangan.

Tabel 4. Kadar air gabah dan suhu udara pengering tiap lapisan

Waktu Pengeringan		8 Jam		9 Jam	
Lapisan		K.A. Gabah (% bb)	Suhu (°C)	K.A. Gabah (% bb)	Suhu (°C)
1		13.17	41.23	12.54	41.36
2		13.94	40.36	13.24	40.63
3		14.76	39.41	14.01	39.80
4		15.60	38.40	14.80	38.91
5		16.43	37.35	15.60	37.96
6		17.22	36.30	16.39	36.98

Hasil akhir proses iterasi dalam pendugaan pola penurunan kadar air gabah ditampilkan dalam bentuk kurva penurunan kadar air, dan kurva perubahan suhu udara pengering, seperti tampak pada Gambar 4 dan Gambar 5. Pada Gambar 4 dapat juga dilihat perbedaan kecepatan

penurunan kadar air gabah antar lapisan, seperti yang dijelaskan sebelumnya. Sampai menit ke 270 penurunan kadar air gabah lapisan 1, 2 dan 3 relatif lebih tinggi, sedang pada lapisan lebih atas mendekati harga tetapan selama pengeringan. Hal ini sangat jelas bahwa penu-



Gambar 5. Penurunan dasar iterasi program komputer pengeringan

runan kadar air gabah dipengaruhi oleh suhu udara pengering (lihat Gambar 5).

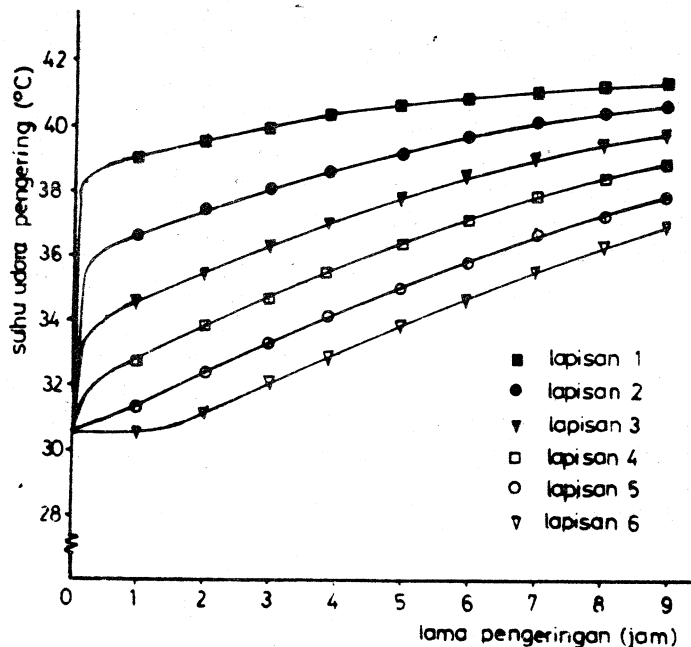
Pada lapisan bawah (1 dan 2) suhu udara pengering relatif lebih tinggi dibanding terhadap lapisan di atasnya. Perbedaan suhu udara pengering tiap lapisan sangat nyata pada awal pengeringan kemudian mendekati perbedaan yang konstan.

Rata-rata penurunan kadar air gabah relatif lebih cepat sampai 300 menit pertama, kemudian berkurang setelah kadar air gabah lebih rendah. Hal ini ditunjukkan oleh kelengkungan bentuk kurva (Gambar 4), hal ini menunjukkan bahwa makin rendah kadar air gabah, makin sulit pelepasan uap air dari dalam gabah.

Pada saat kadar air gabah akhir rata-rata seluruh lapisan mendekati 14% b.b., proses iterasi dihentikan; lama pengeringan menunjukkan 9 jam (540 menit), dan kadar air gabah rata-rata 14,43% b.b. Kadar air gabah akhir tiap lapisan adalah :

lapisan 1 = 12,54% b.b, lapisan 2 = 13,24% b.b., lapisan 3 = 14,01% b.b., lapisan 4 = 14,80% b.b., lapisan 5 = 15,60% b.b., dan lapisan 6 = 16,39% b.b.

Rata-rata laju penurunan kadar air gabah selama pengeringan dihitung secara sederhana yaitu kadar air gabah awal dikurangi kadar air gabah akhir dibagi lama pengeringan (Henderson & Perry, 1955). Dari hasil perhitungan



Gambar 6. Perubahan suhu udara pengering tiap lapisan selama pengeringan

didapat laju penurunan kadar air gabah lapisan 1 = 1,31% b.b./jam, lapisan 2 = 1,23% b.b./jam, lapisan 3 = 1,14% b.b./jam, lapisan 4 = 1,06% b.b./jam, lapisan 5 = 1,03% b.b./jam, dan lapisan 6 = 0,88% b.b./jam, dengan rata-rata seluruh lapisan sama dengan 1,09% b.b./jam.

Gambar 5 menunjukkan kurva perubahan suhu udara pengering yang cenderung meningkat, kecuali pada lapisan teratas terjadi penurunan pada awal pengeringan. Kenaikan suhu tertinggi dicapai pada lapisan terbawah (lapisan 1), yaitu pada akhir pengeringan, sebesar 41,36°C. Suhu udara pengering ini masih dapat disarankan untuk pengeringan biji-bijian yang ditujukan untuk konsumsi manusia (Hall, 1982), atau pada operasi pengeringan dengan ketebalan

lapisan maksimum 45 cm (Hall, 1980), yaitu pada suhu 43,3°C (110°F). Hall (1980) menyatakan bahwa secara umum pengeringan biji-bijian untuk benih termasuk pengeringan kategori suhu rendah yakni di bawah 56°C.

Kesimpulan

Melalui pendekatan matematik dan azas kesetimbangan panas, maka dengan mengetahui masukan parameter awal dari operasi pengeringan yang direncanakan; pola penurunan kadar air gabah, laju penurunan kadar air gabah dan lama pengeringan serta suhu udara pengering maksimum yang akan diterima butiran gabah dapat ditentukan sebelum operasi pengeringan dilakukan.

Dengan menggunakan data awal dapat diduga pola penurunan kadar air gabah dan laju penurunan kadar air gabah rata-rata seluruh lapisan, yaitu sekitar 1,09% b.b./jam. Perbedaan kadar air gabah antara lapisan 1 (terbawah) dan lapisan 6 (teratas) adalah 3,85% b.b. kadar air gabah akhir rata-rata 14,43% b.b. dan membutuhkan pengeringan selama 9 jam.

Daftar Pustaka

- Esmay, M. *et al*, 1979. Rice postproduction technology in the tropics, 141 pp, The University Press of Hawaii, Honolulu.
- Hall, C.W., 1980. Handling and storage of food grains in tropical and subtropical areas, 3rd, 350 pp. FAO of The United Nations, Rome.
- Hall, C.W., 1974. Drying and storage of agricultural crops, pp : 120 — 150, Avi Publishing Company, Inc., Westport, Connecticut.
- Hara, Nishiyama, Y., 1982. Mathematical of moist air conditions. Journal of the Faculty Iwate University, Vol. 1, pages 35 — 43.
- Henderson, S.M. and Perry, R.L., 1955. Agricultural process engineering, 367 pp, John Wiley, New York.

DAFTAR PENGIRIMAN WESEL (AGUSTUS S/D OKTOBER 1990)

- | | |
|-----------------------------|--------------|
| 1. UPT Perpustakaan Unsud | - Purwokerto |
| 2. Fak. Pertanian Unbar | - Bandung |
| 3. Ir. Evi Endang Indriasih | - Ungaran |
| 4. Univ. Wangsa Manggala | - Yogya |
| 5. Ir. Irvan Fauzani | - Jakarta |
| 6. Ir. Jati Yuniarto | - Mojokerto |
| 7. Ir. Henricus Suripto | - Yogya |
| 8. Ir. Daryanti | - Yogya |