

**ANALISIS SIFAT TERMIS BIJI KEDELAI SEBAGAI ACUAN RANCANG BANGUN ALAT
PENGERING
THERMAL PROPERTIES ANALYSIS OF SOYBEAN AS A REFERENCE OF DRYER DESIGN**

Oleh:

Siswantoro

Jurusan Teknologi Pertanian Fakultas Pertanian UNSOED

(Diterima: 3 Januari 2005, disetujui: 8 Maret 2005)

ABSTRACT

The objectives of this research were to give information about the characteristic of thermal conductivity (k), thermal diffusivity (α), and specific heat (C_p) of soybean grain due to the influence of moisture content and bulk density. This research was conducted in laboratory and was carried out at various moisture contents of 11 to 20 percent wet basis and bulk density from 850 to 900 kg/m³. The instrument used was PVC cylinder with 10 cm diameter and 25 cm length. At the central point along the cylinder was stretched a neckline heating wire as a line heat source supplied by a direct current (DC) electric. In order to get time-temperature data for calculating value of k , α , and C_p of soybean grain, instrument for measuring temperature were placed at two locations: first at the distance < 2.8 mm and second between 11.9 to 17.3 mm from center cylinder. Result of the experiment consisted of k in W/m. C, α in m² /sec., and C_p in J/kg. C described as following empirical equation:

$$k = 3,037 \times 10^{-1} + 3,924 \times 10^{-3} ka + 4,604 \times 10^{-4} \rho$$

$$\alpha = 4,051 \times 10^{-7} + 0,909 \times 10^{-8} ka + 4,709 \times 10^{-10} \rho$$

$$C_p = 4,478 \times 10^3 - 4,722 \times 10^1 ka - 2,807 \rho$$

Value thermal conductivity and diffusivity of soybean grain in bulk increase linearly due to the increasing moisture content and bulk density, but value of specific heat decreases linearly due to the increasing moisture content and bulk density. Implication of the experiment result is that standard moisture content and bulk density are needed for giving information of thermal properties value, especially for soybean grain.

PENDAHULUAN

Model pengembangan sektor pertanian yang hanya berdasar pendekatan konvensional dengan penekanan pada peningkatan produksi saja dianggap kurang menguntungkan. Pendekatan tersebut merupakan paradigma lama yang akan membawa akibat kurang dipertimbangkannya perlakuan dan pengendalian mutu produk setelah panen, yang pada akhirnya akan berpengaruh pada harga jual. Paradigma baru menghendaki sistem pertanian yang berke-lanjutan dan berorientasi pasar, sehingga diharapkan tidak terjadi penurunan

kualitas setelah panen, serta memiliki nilai jual yang relatif menguntungkan di pihak petani (Siswantoro dan Margiwiyatno, 2000).

Penanganan pascapanen hasil pertanian yang antara lain meliputi: pengeringan, penyimpanan, dan penanganan lebih lanjut, selalu berkaitan dengan masalah pindah panas. Guna melakukan analisis pindah panas, selalu dibutuhkan pengetahuan tentang sifat termis dan fisis bahan, seperti: panas jenis, kekonduktifan, dan kedifusian panas, serta massa jenis bahan (Siswantoro et al., 2000).

Nilai kedifusian panas bahan merupakan salah satu sifat termis

sehingga dapat ditentukan waktu optimum yang dibutuhkan dalam pengeringan, penyim-paman, dan pengolahan (Mohsenin, 1980). Pengetahuan tentang waktu optimum tersebut, selain dapat menghindari terjadinya kerusakan bahan juga dapat menghemat pemanfaatan energi yang semakin langka. Siswanto (2003) menyatakan, untuk menghitung keefisienan pengeringan diperlukan nilai panas jenis (C_p) bahan yang dikeringkan. Semakin besar nilai C_p bahan, energi panas yang dibutuhkan untuk pengeringan semakin banyak, demikian sebaliknya.

Kedifusian panas (α) suatu bahan ada-lah parameter fisis yang didefinisikan sebagai perbandingan kekonduktifan panas (k) bahan terhadap panas jenis (C_p) dan massa jenisnya (ρ) (Bhowmik dan Hayakawa, 1979). Nilai kedifusian panas dirumuskan dengan persamaan berikut.

$$\alpha = k / (\rho \cdot C_p) \dots\dots\dots (1)$$

Nilai kedifusian panas dapat diperhi-tungkan sebagai laju panas yang didifusikan keluar dari bahan, serta merupakan sifat yang digunakan untuk menduga waktu yang dibutuhkan dalam suatu perlakuan panas. Nilai kedifusian panas dihubungkan dengan proses pindah panas konduksi secara transien (Siswanto, 1995). Nilai sifat termis dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti: susunan kimia bahan pangan, kadar air, dan massa jenisnya. Sifat termis bahan pangan yang berwujud butiran lebih sukar diduga, karena mempunyai struktur heterogen (padat, cair, dan gas) (Wallapapan et al., 1986). Penelitian analisis sifat termis hasil pertanian (bebijian) perlu dilakukan guna mengatasi masalah tersebut.

Pada penelitian ini, sifat termis yang dianalisis adalah sifat termis biji kedelai. Pemilihan biji kedelai didasarkan pada bebe-rapa alasan: 1) Salah satu produk pertanian yang berpotensi sebagai sumber protein. Dibanding dengan hasil pertanian lain, kedelai mempunyai kandungan protein sebanyak 40,4%, kacang tanah 28,4%, jagung kuning 10,3%, dan beras pecah kulit 7,5%. Di samping itu, bila dibanding dengan produk na-bati lain, kedelai mempunyai kandungan asam amino yang lengkap (Hardinsyah dan Briawan, 1994). 2) Kebutuhan kedelai di Indonesia setiap tahun terus meningkat sesuai dengan bertambahnya permintaan untuk pangan, pakan, dan industri. 3) Kadar air kedelai saat dipanen masih cukup tinggi, yaitu 20-30% basis basah. Tingkat kadar air biji kedelai yang aman untuk disimpan adalah 9-10%.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan di Laboratorium Teknik Pertanian, Universitas Jenderal Soedirman, bulan April sampai Juni 2003. Bahan yang akan dianalisis sifat panasnya adalah biji kedelai (varietas Wilis) dengan berbagai keragaman kadar air dan massa jenis. Peralatan yang digunakan terdiri atas tabung silinder dengan diameter 10 cm dan panjang 25 cm, kawat nikelin diameter 0,3 mm, termometer, tester kadar air, adaptor, avometer, dan neraca digital.

Urutan pekerjaan yang akan dilakukan dalam penelitian ini adalah:

1. Membuat tabung silinder tempat kedelai yang akan dianalisis sifat termisnya.
2. Mengukur kadar air bahan.
3. Menghitung massa jenis bahan.
4. Memasang kawat nikelin sebagai sumber pembangkit panas.

Pengukuran dilakukan sebanyak 16 kali, dengan keragaman kadar air dari 11–16% basis basah, dan keragaman massa jenis dari 850–900 kg/m³. Termometer sebagai sensor suhu yang digunakan sebanyak 2 buah, sensor suhu I ditempatkan pada jarak < 2,8 mm dan sensor suhu II ditempatkan pada jarak antara 11,9–17,3 mm dari sumber panas (Siswanto, 1995).

Sensor suhu I, untuk mengukur nilai k, dengan persamaan:

$$k = \frac{Q \ln (t_2/t_1)}{4\pi (T_2 - T_1)} \dots\dots\dots (2)$$

Q = energi panas/waktu–panjang (J/dt–m)

t = waktu pengukuran (dt)

T = suhu pengukuran (C)

Sensor suhu II, untuk mengukur nilai, dengan persamaan:

$$dT = \frac{Q}{2\pi k} \left[\frac{1}{2} - \ln(\beta) - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n (\beta^2)^n}{(2n)(n!)} \right] \dots (3)$$

dT = perubahan suhu selama pengukuran

Ce = konstanta Euler' s (0,5772)

$\beta = r / (2 \sqrt{\alpha t})$ (bilangan tak berdimensi)

r = jarak sensor suhu dari sumber panas (m)

Nilai k dan dari persamaan (2) dan (3) dapat dihitung dengan program komputer menggunakan bahasa BASIC. Nilai Cp dihitung dengan menggunakan persamaan (1), dengan terlebih dahulu mengukur ρ bahan yang sedang diuji. Hasil pengukuran nilai sifat termis bahan yang terdiri dari k, α , dan Cp dibuat regresi berganda dengan kadar air dan massa jenisnya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian dilakukan dengan cara mela–kukan pengukuran suhu tiap

waktu tertentu atau dikenal dengan istilah pengukuran suhu–waktu. Salah satu hasil pengukuran suhu–waktu dengan sumber panas 7,98 J/dt–m pada kadar air 13% dan massa jenis 842 kg/m³ disajikan pada Tabel 1 dan Gambar 1.

Menggunakan data hasil pengukuran suhu–waktu, nilai k dihitung menggunakan persamaan (2), nilai α dihitung menggunakan persamaan (3), dan nilai Cp dihitung menggunakan persamaan (1). Siswanto (1995) menyatakan, data suhu–waktu dari pengukuran suhu I digunakan untuk menghitung nilai k dengan syarat data suhu–waktu telah me–nunjukkan garis lurus. Seperti terlihat pada Gambar 1, bahwa kecenderungan garis lurus dimulai pada titik sekitar waktu 6 menit. Oleh karena itu nilai k dihitung pada periode 6–20 menit, kemudian hasilnya dirata–rata untuk mendapatkan nilai bahan yang diuji. Hasil perhitungan menggunakan data suhu–waktu tersebut di atas diperoleh nilai k sebesar 0,14 J/dt.m.C.

Data suhu–waktu dari pengukuran suhu II digunakan untuk menghitung nilai α . Nilai α dihitung dari Tabel 1. Hasil Pengukuran Suhu–waktu selama periode waktu pengukuran, Kedelai Wilis, sedang hasilnya dirata–rata untuk

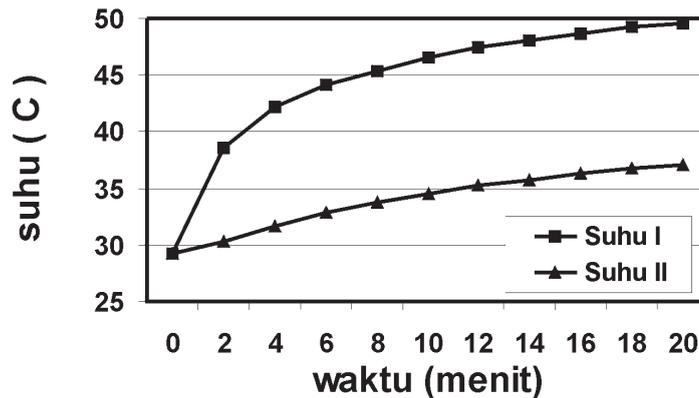
mendapatkan nilai α bahan yang diuji.

Hasil perhitungan menggunakan data

suhu–waktu tersebut di atas diperoleh

nilai α sebesar $1,234 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{dt}$

Waktu (dt)	Suhu (C)	Suhu (C)
0	29,2	29,2
2	38,9	30,2
4	42,1	31,6
6	44,1	32,8
8	45,4	33,8
10	46,5	34,5
12	47,4	35,3
14	48,1	35,7
16	48,6	36,3
18	49,2	36,7
20	49,6	37,1



Gambar 1. Hubungan suhu-waktu hasil pengukuran kedelai Wilis

Dari hasil perhitungan nilai k , α , dan C_p secara keseluruhan dari 16 kali pengukuran dengan satuan kadar air persen basis basah dan massa jenis kg/m^3 tersebut, dibuat regresi berganda dengan persamaan:

$$k = -3,037 \times 10^{-1} + 3,924 \times 10^{-3} k_a + 4,604 \times 10^{-4} \rho \text{ (W/m.C)} \rightarrow R^2 = 0,79$$

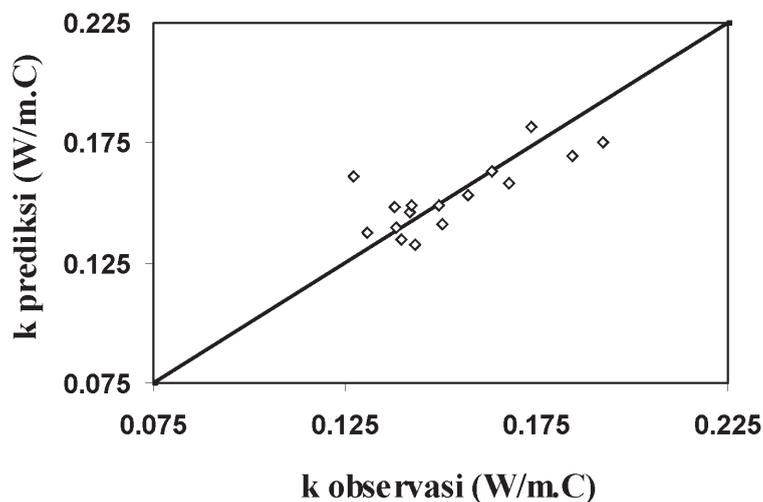
$$\alpha = -4,051 \times 10^{-7} + 0,909 \times 10^{-8} k_a + 4,709 \times 10^{-10} \rho \text{ (m}^2/\text{dt)} \rightarrow R^2 = 0,75$$

$$C_p = 4,478 \times 10^3 - 4,722 \times 10^1 k_a - 2,807 \rho \text{ (J/kg.C)} \rightarrow R^2 = 0,78$$

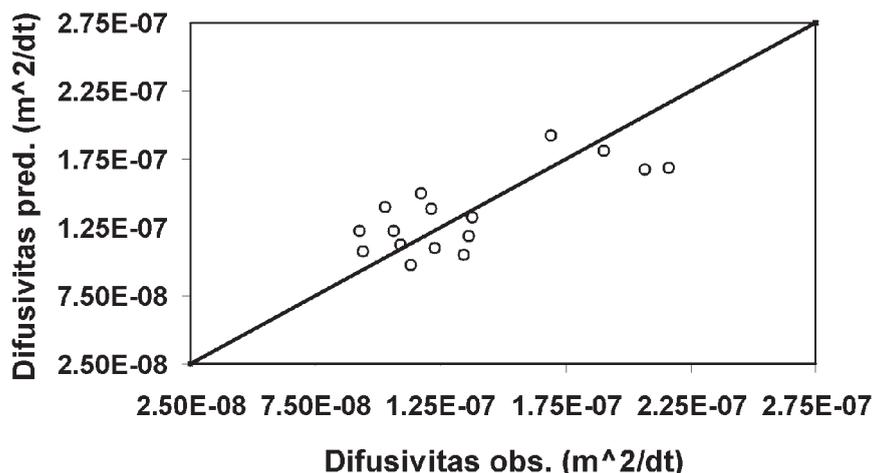
Hasil pengamatan dan pendugaan nilai k , α , dan C_p terhadap perubahan kadar air dan massa jenis dapat dilihat

pada Gambar 2, 3, dan 4. Pada gambar tersebut, suatu titik yang terletak pada garis mempunyai arti nilai pengamatan sama dengan nilai pendugaan.

Kekonduktifan panas kedelai berdasar hasil penelitian ini akan meningkat dengan bertambahnya kadar air dan massa jenis. Kondisi ini disebabkan oleh nilai kekonduktifan panas air sekitar $0,628 \text{ W/m.C}$ pada suhu 38°C (Sreenarayanan and Chattopadhyay, 1986). Nilai tersebut cukup besar dibanding dengan kekonduktifan panas udara maupun partikel padatan kedelai. Juga dengan makin besarnya massa jenis kedelai tumpukan (bulk) menyebabkan



Gambar 2. Hubungan nilai kekonduktifan pendugaan dan pengamatan kedelai Wilis



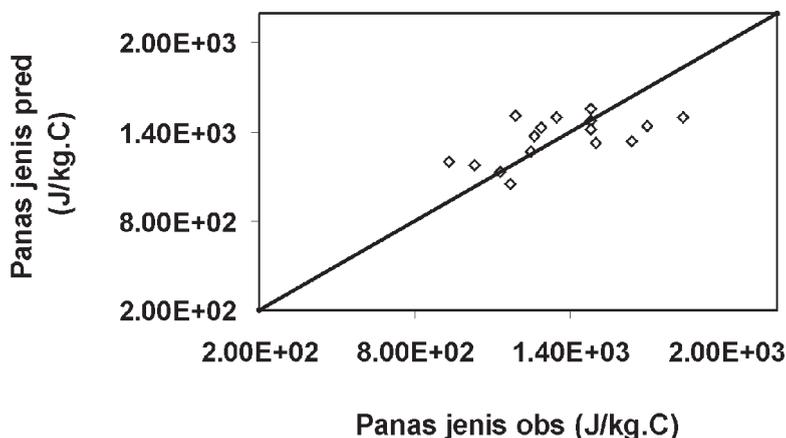
Gambar 3. Hubungan nilai kedifusian pendugaan dan pengamatan kedelai Wilis

pada suhu 50° C (Sreenarayanan and Chattopadhyay, 1986).

Fenomena ini dapat dimengerti karena makin besar massa jenis kedelai tumpukan, keporian udaranya makin kecil, dengan demikian udara yang menyebabkan kecilnya kekonduktifan panas secara keseluruhan dapat dikurangi. Pada akhirnya, akan menyebabkan kekonduktifan panas secara keseluruhan meningkat dengan bertambahnya massa jenis. Dugaan lain yang menyebabkan nilai k bertambah dengan meningkatnya massa jenis adalah karena meningkatnya massa

jenis akan memperluas permukaan persinggungan antara biji kedelai yang satu dengan lainnya.

Kedifusian panas kedelai akan semakin meningkat dengan bertambahnya kadar air dan massa jenisnya. Keadaan ini diduga karena peningkatan kadar air dan massa jenis akan meningkatkan kekonduktifan, sehingga nilai difusivitas juga meningkat, mengingat besarnya α berbanding langsung dengan nilai k . Dugaan lain karena nilai kedifusian panas air ($1,75 \times 10^{-7} \text{ m}^2 / \text{dt}$) lebih besar dari kedifusian panas kedelai butiran tunggal ($0,45 \times 10^{-7} \text{ m}^2 / \text{dt}$)



Gambar 4. Hubungan nilai panas jenis pendugaan dan pengamatan kedelai Wilis

serta luas persinggungan antar-butiran semakin besar, sehingga nilai k akan meningkat dan mengakibatkan bertambahnya nilai α .

Kecenderungan perubahan nilai sifat panas biji kedelai terhadap perubahan massa jenis dan kadar air dari hasil penelitian ini, sejalan dengan hasil penelitian untuk tepung kedelai. Kekonduktifan panas tepung kedelai sebesar $0,209 \text{ W/m}\cdot\text{C}$ sampai dengan $0,310 \text{ W/m}\cdot\text{C}$, sedangkan kedifusian panasnya sebesar $4,586\text{E}-08 \text{ m}^2/\text{dt}$ sampai dengan $5,212\text{E}-08 \text{ m}^2/\text{dt}$ (Siswantoro et al., 1998).

Guna mengetahui kesahihan metode pengukuran sifat termis pada penelitian ini dilakukan pengujian tingkat penyimpangan suhu antara hasil perhitungan dan pengukuran. Cara yang digunakan adalah memasukkan kembali nilai k dan α rata-rata dari hasil perhitungan ke dalam persamaan (3) untuk memperoleh suhu perhitungan (pendugaan), kemudian suhu hasil perhitungan dibandingkan dengan suhu hasil pengukuran (pengamatan). Cara perhitungan tersebut akan lebih cepat

dan mudah apabila digunakan program komputer dengan bahasa BASIC. Hasil pengukuran (pengamatan) dan perhitungan (pendugaan) serta tingkat penyimpangan dari salah satu contoh pengukuran dapat dilihat pada Tabel 2.

Dari tabel tersebut terlihat bahwa penyimpangan suhu pengukuran (pengamatan) dan perhitungan (pendugaan) cukup kecil, $< 0,45$ persen.

KESIMPULAN

1. Kisaran nilai sifat termis kedelai varietas Wilis berdasar hasil penelitian pada kadar air 11% basis basah dan massa jenis 850 kg/m^3 sampai dengan kadar air 20% basis basah dan massa jenis 900 kg/m^3 adalah: $\alpha = 0,626 \times 10^{-7} - 2,006 \times 10^{-7} \text{ (m}^2/\text{dt)}$, $k = 0,104 - 0,189 \text{ (W/m}\cdot\text{C)}$, dan $C_p = 1008 - 1761 \text{ (J/kg}\cdot\text{C)}$.
2. Kekonduktifan dan kedifusian panas me-ningkat dengan meningkatnya kadar air dan massa jenis, sedangkan panas jenis me-nurun dengan bertambahnya kadar air dan

Tabel 2. Tingkat Penyimpangan Suhu Hasil Pengukuran dan Perhitungan

Waktu (detik)	β	Suhu ($^{\circ} \text{C}$)		Penyimpangan (%)
		Pengukuran	Perhitungan	
120	1,04	30,2	30,07	0,42
240	0,74	31,6	31,53	0,21
360	0,60	32,8	32,72	0,26
480	0,52	33,8	33,67	0,38
600	0,46	34,5	34,47	0,10
720	0,42	35,3	35,15	0,43
840	0,39	35,7	35,74	0,11
960	0,37	36,3	36,26	0,10
1080	0,35	36,7	36,73	0,10
1200	0,33	37,1	37,16	0,17

Keterangan: $r = 8 \text{ mm}$, $\rho = 842 \text{ kg/m}^3$, suhu awal = $29,2^{\circ} \text{C}$.

dilakukan dengan mudah, murah, dan waktu pengukuran relatif cepat, serta dengan kebutuhan sampel yang sedikit.

DAFTAR PUSTAKA

- Bhowmik, S.R. and K. Hayakawa. 1979. A New Method for Determining the Apparent Thermal Diffusivity of Thermally Conductive Food. *J. Food Sci.* 44:469-474.
- Hardinsyah dan D. Briawan. 1994. Penilaian dan Perencanaan Konsumsi Pangan. Jurusan Gizi Masyarakat dan Sumberdaya Keluarga, Fakultas Pertanian, IPB-Bogor.
- Mohsenin, N.N. 1980. *Thermal properties of Foods and Agricultural Materials*. Gordon and Breach Science Publishers, New York.
- Siswanto. 1995. "Pengukuran Kekonduktifan dan Kedifusian Panas Bijian Dalam Bentuk Curah Menggunakan Sumber Panas Lini". Thesis S2, Program Studi Mekanisasi Pertanian, Program Pasca-sarjana UGM, Yogyakarta.
- Siswanto, Masrukhi, dan Triyanto. 1998. Kekonduktifan dan Kedifusian Panas tepung Kedelai Sebagai Fungsi Kadar Air dan Massa Jenis. *Majalah Ilmiah Universitas Jenderal Soedirman* XXIV(3): 13-24.
- Siswanto, dan A. Margiwiyatno. 2000. Rancang Bangun Alat Pengering Dengan Energi Panas Sekam dan Serbuk Gergaji Untuk Menunjang Industri Pedesaan. Laporan Hasil Penelitian, Fakultas Pertanian, Unsoed, Purwokerto.
- Siswanto, A. Margiwiyatno, Prihananto, dan Masrukhi. 2000. Rekayasa Pembuatan Alat Pengering dengan Pemanfaatan Serbuk Gergaji dan Sekam sebagai Bahan Isolator dan Sumber Energi Panas. Laporan Hasil Penelitian, Fakultas Pertanian, Unsoed, Purwokerto.
- Siswanto. 2003. Peningkatan Efisiensi Pro-ses Pengeringan melalui Pengembangan Alat Pengering Model Kabinet. *Jurnal Agrin* 7(1): 49-59.
- Sreenarayanan, V.H. and P.K. Chattopadhyay. 1986. Thermal Conductivity and Diffusivity of Rice Brand. *J. Agric. Engng. Res.* 34: 115-121.
- Wallapapan, K., V.E. Sweat, K.G. Diehl, and C.R. Engler. 1986. Thermal Properties of Porous Foods. In: M.R. Okos (Ed.), *Physical and Chemical Properties of Foods*, ASAE. St. Joseph, Michigan.
- Watts, K.C. and W.K. Bilanski. 1973.