

Kajian Teoritis Sifat Termal Telur Ayam
(Theoretical Study of Thermal Properties in Chicken Eggs)

Cahyo Budiman

Departemen Ilmu Produksi dan Teknologi Peternakan
Fakultas Peternakan Institut Pertanian Bogor
Jln. Agatis Kampus IPB Dramaga, Fakultas Peternakan, IPB Bogor 16680

ABSTRACT

Thermal properties of eggs was used as basic information in processing design in order to prevents decreasing of functional nutritive value of eggs by thermal processing (i.e. boiling, frying, etc.). This research was investigated three thermal parameters, i.e. heat specific (C_p), heat capacity (C), and heat transfer estimation by calor as temperature function. The objects are part of chicken egg : shell, egg white, and yolk. The method was used Heldman and Singh (1981) approach in thermal parameters estimation for food with data of egg composition from Romanoff and Romanoff (1963) as secondary data. The results showed that white egg has the highest value of C_p and C_p than yolk and shell. C_p values among them are : 4.77, 3.58, and 0.84 kal/g°C. C values also has similar pattern with C_p , they were : 156.87 kal/°C (egg white), 66.88 kal/°C (yolk), and 4.76 kal/°C (shell). Egg white also was the fastest in heat transfer, however yolk in second rate and shell is the slowest.

Key words : *thermal properties, heat specific, heat capacity, heat transfer*

PENDAHULUAN

Telur merupakan sumber protein berkualitas serta sering dijadikan sebagai standar untuk mengukur kualitas protein pada bahan pangan lainnya. Selain itu, telur juga kaya dengan asam lemak, mineral besi, fosfor, dan mineral-mineral lainnya, serta vitamin A, E, K, dan B12 (Stadelman dan Cotterill, 1995). Nilai nutrisinya yang tinggi tersebut pada suatu kondisi akan menjadi sia-sia jika penanganan produk tersebut tidak dilakukan secara benar dan tepat. Mayoritas konsumen Indonesia memiliki kebiasaan mengolah produk tersebut melalui proses pemanasan, baik perebusan maupun penggorengan.

Winarno (1997) menyatakan bahwa zat gizi di dalam bahan pangan sangat rentan terhadap suhu tinggi yang bisa menyebabkan kerusakan pada zat-zat tersebut. Hal ini pada tahap lebih lanjut akan menyebabkan hilangnya nilai nutrisi telur tersebut. Kendala inilah yang mendorong perlunya informasi mengenai sifat termal bahan pangan, khususnya telur, sehingga pada tahap lebih jauh bisa didapatkan informasi mengenai suhu dan waktu yang tepat dalam proses pemanasan sebutir telur.

Sifat termal suatu bahan pangan Menurut Heldman dan Singh (1981) sangat penting dalam menentukan sebuah rancangan proses (process design) dalam pengolahan bahan pangan. Secara general sifat ini akan sangat mempengaruhi karakteristik produk saat mengalami proses yang melibatkan peranan suhu, seperti pembekuan, evaporasi, dan dehidrasi. Mohsein (1980) menambahkan bahwa informasi mengenai sifat termal suatu bahan pangan berperan sebagai informasi dasar untuk digunakan pada tahap aplikasi desain dan pemodelan serta rancang bangun proses suatu bahan pangan yang tepat. Sifat termal dari suatu bahan pangan yang umum dijadikan sebagai informasi dasar tersebut antara lain, kalor jenis (C_p), konduktivitas termal (k), kapasitas kalor (C), maupun daya hantar panas. Tanpa informasi dasar tersebut, desain dan rancang bangun pengolahan suatu bahan pangan tidak bisa diwujudkan secara optimal.

Pendekatan yang bisa digunakan untuk mengestimasi suatu bahan pangan sangat beragam. Menurut Heldman dan Singh (1981) pendekatan melalui komponen-komponen di dalam produk pangan merupakan pendekatan solutif dari beragamnya pendekatan yang lain. Hal ini diperkuat oleh Haliday dan Resnick (1985) yang menyatakan bahwa sifat termodinamika suatu zat sangat dipengaruhi oleh komponen atau partikel dalam zat tersebut. Hal inilah yang menyebabkan setiap bahan memiliki sifat termodinamika yang berbeda, diantaranya sifat termal tersebut.

Williams (2000) menjelaskan bahwa informasi mengenai sifat termal pada telur bisa digunakan untuk menetapkan suhu dan waktu perebusan yang tepat. Sifat termal telur tersebut dipengaruhi oleh sifat termal komponen utamanya, yaitu kerabang, putih telur, dan kuning telur. Menurut Sears *et al.* (1962) yang mempengaruhi sifat termal masing-masing komponen tersebut adalah kandungan zat di dalamnya, yaitu : protein, lemak, air, karbohidrat, dan mineral.

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan informasi dasar mengenai sifat termal pada telur ayam melalui pendekatan Heldman dan Singh (1981). Informasi ini diharapkan pada tahap lebih lanjut bisa digunakan sebagai dasar dalam

menetapkan desain dan rancang bangun proses pengolahan telur, misalnya waktu dan suhu perebusan yang paling tepat untuk berbagai telur.

MATERI DAN METODE

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan beberapa data hasil dari penelusuran pustaka untuk estimasi beberapa sifat termal telur ayam. Penghitungan sifat termal memanfaatkan data komposisi telur ayam secara lengkap dari Romanoff dan Romanoff (1963). Dasar pemanfaatan data tersebut disamping lengkap juga karena hasil penelitian dalam pustaka tersebut telah digunakan secara luas. Komposisi setiap komponen telur ayam secara lengkap disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Komponen Kimiawi Telur Ayam

Komponen Kimia	Bagian Telur		
	Kerabang	Putih	Kuning
Air (%)	1,6	87,9	48,7
Protein (%)	3,3	10,6	50,2
Lemak (%)	0,03	0,03	32,6
Karbohidrat (%)	0	0,9	1,0
Mineral (%)	95,1	0,6	1,1
Berat (g)	5,7	32,9	18,7

Sumber : Romanoff dan Romanoff (1963)

Data tersebut kemudian dijadikan dasar dalam perhitungan sifat termal telur ayam. Sifat termal tersebut meliputi :

1. Kapasitas Kalor (C) dan Kalor Jenis (Cp) (Heldman dan Singh, 1981).

Kapasitas kalor adalah besaran yang menyatakan jumlah kalor yang dibutuhkan oleh suatu benda untuk menaikkan suhunya sebesar 1°C. Kapasitas Kalor untuk setiap unit massa suatu bahan disebut dengan Kalor Jenis (Cp) yang menunjukkan karakteristik setiap bahan. Hubungan antara kedua sifat tersebut secara matematis disajikan pada persamaan dibawah :

$$C = \frac{\Delta Q}{\Delta T} \dots \dots \dots (1)$$

dengan, ΔQ = Jumlah kalor yang diberikan ; dan ΔT = perubahan temperatur yang terjadi.

$$C_p = \frac{C}{\text{massa}},$$

$$\text{sehingga } C = C_p \times \text{massa} \dots \dots \dots (2)$$

Sedangkan untuk menduga nilai C_p pada suatu bahan pangan dilakukan berdasarkan pendekatan Heldman dan Singh (1981) dengan menggunakan persamaan :

$$C_p = 1,424 X_{\text{karbohidrat}} + 1,549 X_{\text{protein}} + 1,675 X_{\text{lemak}} + 0,837 X_{\text{mineral}} + 4,187 X_{\text{air}} \dots\dots\dots(3)$$

Dengan C_p = kalor jenis bahan pangan ;

X = fraksi dari komponen bahan pangan tersebut.

2. Pendugaan Daya Hantar Panas (modifikasi dari Heldman dan Singh, 1981).

Pendugaan daya hantar panas suatu bahan pangan dilakukan secara kualitatif dengan menggunakan fungsi perubahan kalor terhadap waktu. Fungsi tersebut menunjukkan seberapa besar perubahan kalor disetiap perubahan suhu. Persamaan umum yang digunakan diperoleh dari derivasi persamaan berikut :

$$C_p = \frac{C}{\text{massa}}; \text{ dengan } C = \frac{\Delta Q}{\Delta T}.$$

$$C_p = \frac{\Delta Q}{\Delta T} \cdot \frac{1}{\text{massa}}$$

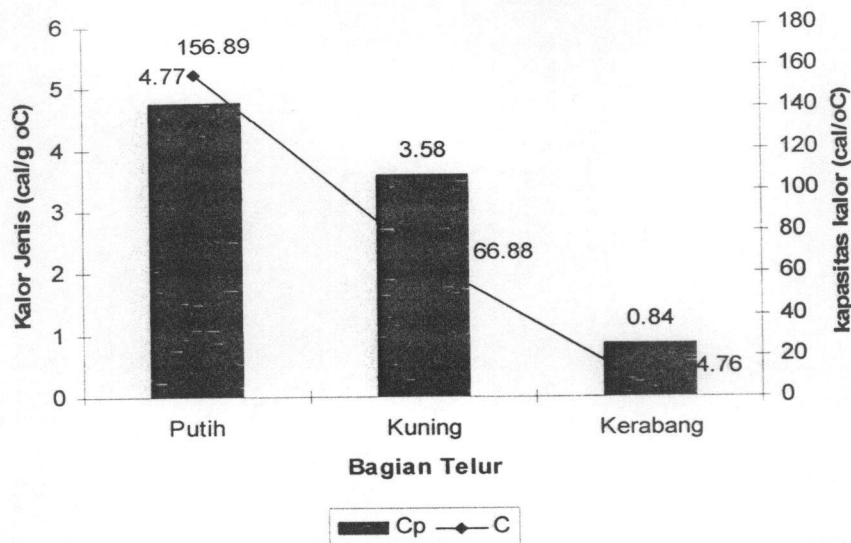
$\Delta Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T$ jika massa dan C_p bahan pangan dianggap konstan, maka fungsi dari ΔQ terhadap ΔT adalah :

$$\Delta Q = \alpha \Delta T \text{ (dengan } \alpha = m \times C_p \text{)}$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kalor Jenis dan Kapasitas Kalor

Kalor jenis ini berbeda-beda antara satu bahan pangan dengan bahan pangan yang lain (spesifik). Hal ini disebabkan karena komponen setiap bahan pangan ataupun bagian-bagiannya berbeda-beda. Atas dasar hal tersebut, Heldman dan Singh (1981) mengembangkan metode-metode pendugaan kalor jenis bahan pangan melalui pendekatan komponen bahan pangan secara menyeluruh, yaitu lemak, protein, karbohidrat, air, dan komponen anorganik (mineral). Pendekatan ini dianggap memiliki tingkat akurasi yang lebih baik. Hal ini didasarkan pada konsep kalor sebagai suatu sistem yang tidak bisa melepaskan setiap molekul di dalam bahan tersebut (Zemansky dan Dittman, 1986). Setiap molekul memiliki perilaku khas terhadap respon termal yang dialaminya, sehingga untuk menduga parameter sifat termal suatu bahan harus melibatkan setiap komponen penyusun bahan tersebut.



Gambar 1. Nilai Kalor Jenis dan Kapasitas Kalor setiap Bagian Telur dengan Pendekatan Heldman dan Singh (1981)

Perbandingan banyaknya tenaga kalor (ΔQ) yang diberikan kepada sebuah bahan pangan untuk menaikkan temperaturnya (ΔT) dinamakan kapasitas kalor (heat capacity, C). Lebih tegas Halliday dan Resnick (1985) menjelaskan bahwa kapasitas kalor bukanlah sifat yang menunjukkan sebuah bahan atau benda dalam menahan panas di dalamnya, tetapi lebih mengarah pada kalor (kalori) yang dibutuhkan oleh suatu benda untuk menaikkan temperatur sebanyak satu derajat (1°C). Nilai kalor jenis dan kapasitas kalor berbagai bagian telur disajikan pada Gambar 1.

Gambar 1 menunjukkan bahwa kerabang telur membutuhkan lebih sedikit kalor untuk untuk menaikkan suhunya sebesar 1°C yaitu 4.76 kalori (Kapasitas kalor). Setiap gram kerabang telur membutuhkan 0.84 kalori (Kalor jenis). Kebutuhan ini meningkat pada kuning telur, yaitu 66,88 kalori dan 3,58 kalori untuk setiap gramnya. Kebutuhan kalor paling besar terjadi diputih telur yaitu sebesar 156,89 kalori sementara untuk setiap gram putih telur membutuhkan 4,77 kalori.

Kondisi ini bisa dijelaskan dari perbedaan komponennya. Hal tersebut menunjukkan juga bahwa semakin solid suatu bahan maka akan semakin rendah nilai kalor jenisnya. Kerabang telur merupakan bagian yang memiliki densitas yang tinggi. Berturut-turut densitas menurun dari kuning telur hingga putih telur. Menurut Sears (1950) kalor jenis dari setiap bahan pasti berbeda satu sama lainnya jika mengandung molekul-molekul yang berbeda. Benda atau bahan yang dibangun oleh molekul-molekul sejenis dengan jumlah yang sama akan memiliki kalor jenis yang sama pula. Pola perbedaan kalor jenis tersebut sama dengan kapasitas kalor masing-masing bagian sebab dipengaruhi oleh komponen yang sama hanya berbeda cakupannya saja.

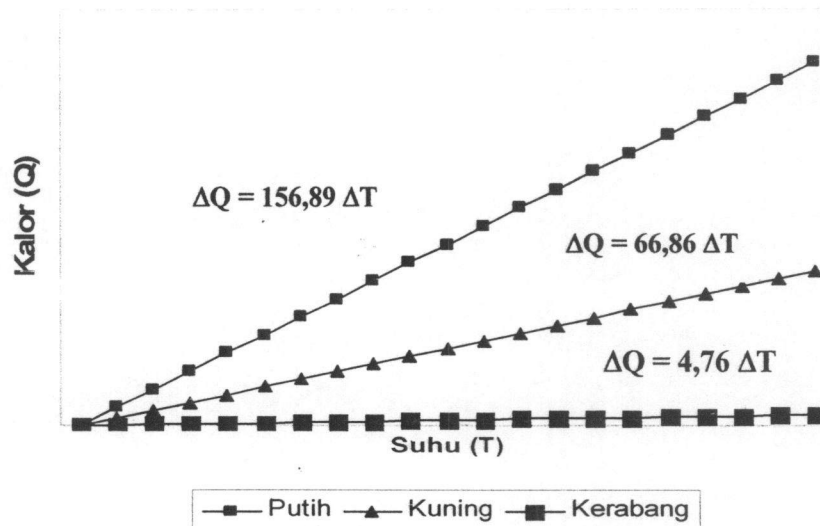
Kapasitas kalor suatu bahan pangan terutama ditentukan oleh jumlah mole (mol) bahan pangan tersebut (Sears dan Zemansky., 1962). Dengan asumsi bahwa komponen makromolekul (protein, air, lemak, karbohidrat, dan mineral)

yang digunakan sebagai pendekatan dalam pendugaan sifat termal ini sama jenisnya di setiap bagian tersebut, yang membedakan adalah jumlahnya (massanya). Massa memiliki hubungan lurus dengan mole suatu molekul, sehingga makin besar massa suatu bahan makin besar pula jumlah mole nya. Kalor yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu suatu bahan dalam mole yang besar tentu jauh lebih banyak dibutuhkan dari pada pada suatu bahan dengan mole yang lebih sedikit. Oleh karena itu, bagian telur yang memiliki massa lebih rendah (kerabang), kapasitas kalornya lebih rendah pula.

Pendugaan Daya Hantar Panas

Perubahan kalor (ΔQ) persatuan suhu (ΔT) merupakan pendekatan yang cukup akurat untuk menduga kecepatan alir panas dalam suatu bahan pangan, meskipun secara kualitatif saja. Pendekatan Fourir yang umum digunakan menduga aliran konduksi panas secara kuantitatif tidak digunakan sebagai pendekatan dalam bahan pangan karena bentuk telur dan pola sebaran panasnya tidak memenuhi asumsi pendekatan tersebut. Pendugaan daya hantar panas dilakukan secara kualitatif dengan menggunakan fungsi ΔQ terhadap ΔT (Persamaan 4). Fungsi perubahan kalor terhadap temperatur setiap bagian telur disajikan dalam Gambar 2.

Gambar 2 menunjukkan bahwa putih telur memiliki fungsi dengan gradien yang lebih tinggi ($\Delta Q = 156,89 \Delta T$). Fungsi makin melandai dari kuning telur ($\Delta Q = 66,86 \Delta T$) hingga kerabang telur ($\Delta Q = 4,76 \Delta T$). Hal ini berarti pada putih telur panas lebih cepat menyebar dibandingkan pada kedua bagian yang lainnya.



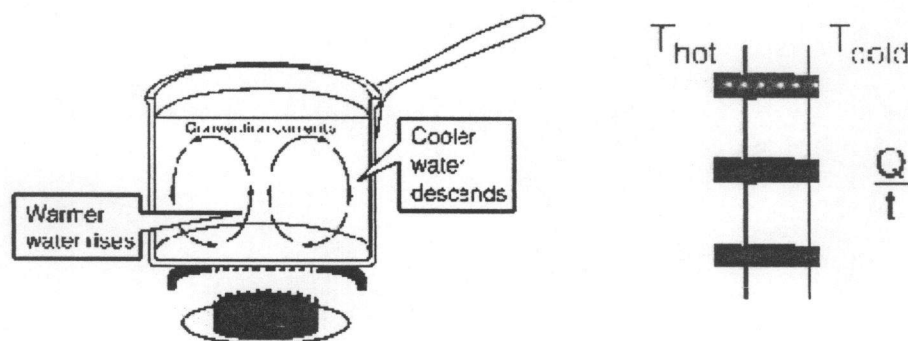
Gambar 2. Perubahan Kalor terhadap Perubahan Suhu pada Setiap Bagian Telur

Makin solid suatu bahan akan semakin sulit juga penyebaran panas dalam bahan tersebut (Sears, 1950). Kerabang memiliki kerapatan tinggi dibandingkan dengan dua bagian telur lainnya. Kerapatan yang tinggi tersebut menyebabkan jarak antara partikel kerabang lebih berdekatan dibandingkan dengan yang

lainnya. Jarak yang berdekatan ini menyebabkan partikel akan memiliki energi kinetik yang lebih rendah (hanya bergetar saja) dibandingkan dengan bagian telur lain dengan kerapatan yang lebih rendah. Partikel pada bahan dengan kerapatan lebih rendah akan lebih tinggi energi kinetiknya (lebih mudah bergerak) sehingga penyebaran panas pada bahan yang kepadatannya makin rendah akan semakin cepat. Selain itu, putih telur mengandung partikel yang lebih banyak dibandingkan dengan bagian telur lain sehingga daya hantarnya lebih cepat. Hal ini sesuai dengan pendapat Peleg *et al.* (1983) yang menyatakan bahwa transfer panas sebuah benda sebanding dengan kecepatan rata-rata dari setiap molekulnya, jumlah partikel per unit volume, kapasitas kalor, dan derajat bebas pergerakan molekulnya.

Proses Pemanasan Telur

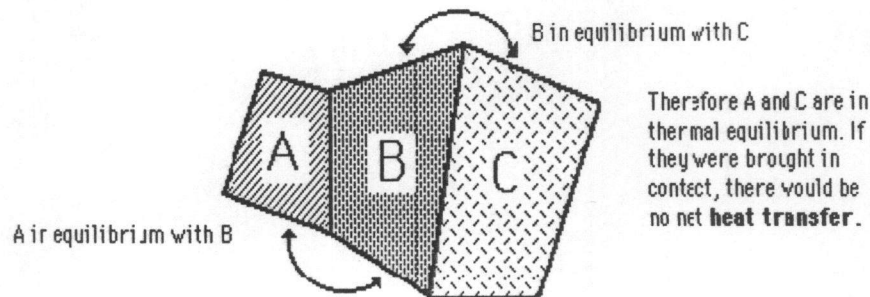
Pada saat telur dipanaskan dalam air mendidih dengan suhu tertentu, maka terjadi hantaran panas dari medium pemanas melalui setiap bagian-bagian telur. Ada dua proses pindah panas yang terjadi selama pemanasan telur, yaitu proses konveksi panas yang terjadi pada medium pemanas (air panas), kemudian panas tersebut ditransfer secara konduksi melalui kerabang keseluruhan bagian telur (Gambar 3).



Gambar 3. Pola Hantaran Panas pada Saat Perebusan Telur, Konveksi (Gambar Kiri) dan Konduksi melalui Kerabang (Gambar Kanan) (Sumber: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/thermo/heatra.html#c2>)

Panas melalui kerabang dengan waktu yang relatif lebih lama dibandingkan dengan saat transfer panas ke bagian-bagian lainnya. Pada saat transfer panas akan terjadi mekanisme keseimbangan termal (thermal equilibrium). Bagian dengan temperatur melepaskan kalor kebagian yang lebih rendah sehingga temperaturnya akan seimbang (Halliday dan Resnick, 1985). Air yang suhunya lebih tinggi akan melepaskan panas ke kerabang telur sehingga keduanya akan mencapai keseimbangan suhu. Proses ini kemudian diteruskan oleh kerabang ke bagian putih telur kemudian kuning telur melalui proses lepas-serap kalor yang serupa. Proses keseimbangan termal antara setiap bagian telur

(kerabang, putih, dan kuning telur) mengikuti Hukum Termodinamika Zeroth (Zeroth Law of Thermodynamics).



Gambar 4. Hukum Termodinamika Zeroth pada Keseimbangan Termal antara Bagian Telur: Kerabang (A), Putih Telur (B), dan Kuning Telur (C)

(Sumber: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/thermo/heatra.html#c2>)

Proses matangnya telur menurut Williams (2000) ditandai dengan terjadinya koagulasi pada bagian putih dan kuning telur. Bagian putih telur terjadi pada rentang suhu 62 - 65°C, sementara kuning telur pada 65 - 70 °C. Secara matematis, hal tersebut menunjukkan bahwa pada suhu 65 °C sebutir telur sudah tergolong masak karena baik pada putih telur maupun kuning sudah mengalami koagulasi. Hanya saja penelitian ini belum sampai pada tahap kalkulasi lama waktu perebusan telur hingga tercapai keseimbangan termal pada suhu tersebut.

KESIMPULAN

Kerabang telur membutuhkan kalor lebih sedikit untuk menaikkan suhunya setiap 1°C. Nilai kalor jenis dan kapasitas kalor kerabang telur masing-masing adalah 0,84 kal/g°C dan 4,76 kal/°C. Kebutuhan kalor makin meningkat pada kuning telur ($C_p = 3,58$ kal/g °C dan $C = 66,88$ kal/°C). Kebutuhan kalor terbesar pada putih telur, yaitu 156,89 kal/g °C dan 4,77 kal/°C. Pola ini berbeda dengan sifat penghantaran panas setiap bagian telur. Putih telur menghantarkan panas lebih cepat dibandingkan bagian lainnya, sedangkan kerabang memiliki daya hantar paling rendah diantara ketiga bagian telur lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Hallyday, D. Dan R. Resnick. 1985. Fisika. Diterjemahkan : Pantur Silaban dan Erwin Sucipta. PT Gramedia, Jakarta.
- Heldman, D.R. dan R.P. Singh. 1981. Food Process Engineering. 2nd Ed. AVI Publishing Company, Inc., Connecticut.
- Mohsein, N.N. 1980. Thermal Properties of Food and Agricultural Material. Gordon and Breach Sciences, Pub., New York.
- Peleg, Micha, dan Bagles. 1983. Physics Properties of Foods. AVI Publishing Company, Inc., Connecticut.
- Romanoff , A.L. dan A. Romanoff. 1963. The Avian Egg. John Willey and Sons, New York.
- Sears, F.W. 1950. Mechanics, Heat, and Sound. Addison Wisley Publishing Company, Massachusetts.
- Sears, F.W. dan M.W. Zemansky. 1962. Fisika untuk Universitas : Mekanika Panas dan Bunyi. Diterjemahkan Oleh: Soedarjana dan Amir Achmad. Penebit Binacipta Bandung.
- Stadelman W.J. dan O.J. Cotterill. 1995. Egg Sciences and Technology. 4th Ed. Food Products Press. An Imprint of The Haworth Press, Inc., New York.
- Williams, C.D.H. 2000. The Sciences of Boiling an Egg. [http : // newton.ex.ac.uk teaching/ CDHW/ egg/](http://newton.ex.ac.uk/teaching/CDHW/egg/) [8 Oktober 2005]
- Winarno, F.G. 1997. Kimia Pangan. PT Gramedia, Jakarta.
- Zemansky, M.W..dan R.H. Dittman. 1986. Kalor dan Termodinamika. Diterjemahkan oleh : The Houw Liong. Penerbit ITB Bandung.