

## KARAKTERISTIK TERMAL PRODUK KEJU MOZARELLA (KAJIAN KONSENTRASI ASAM SITRAT)

### *Thermal Characteristics of Mozzarella Cheese Product (Study on Citric Acid Concentration)*

Nur Komar, La Choviya Hawa, Rika Prastiwi

Jurusan Teknik Pertanian-Fakultas Teknologi Pertanian-Universitas Brawijaya  
Jl. Veteran - Malang

#### **ABSTRACT**

*Mozzarella cheese is soft cheese that is not fully ripened, or usually called fresh cheese. The making of Mozzarella cheese needs long time. The making of cheese can be performed by direct acidification, therefore this step does not have to wait culture work of bacterial starter to produce lactic acid. The method used in this research is direct acidification using citric acid as the acidifier. This research was objected to know the effect of citric acid concentration on chemical and physical characteristics, and to determine thermal conductivity of mozzarella cheese.*

*This research used deterministic method that assisted by empirical data to express the physical, chemical, and thermal properties. Experimental method was used with 3 level of citric acid concentration i.e. 0.12, 0.16 and 0.20% based on 25 liter of fresh cow milk. Each variation was assessed once for chemical parameters including moisture content, yield, and thermal conductivity (k). Thermal conductivity was analyzed using heat transfer theory that solved by numeric method implicitly. The steps of the research included functional tool designing, mozzarella cheese making, and determination of thermal conductivity.*

*The result showed that the highest yield of mozzarella cheese was 7.789% at 0.16% of citric acid. The highest density was 1194.631 kg/m<sup>3</sup> at 0.20% of citric acid. The highest protein content was 29.299% at 0.12% of citric acid, and the highest fat content was 13.121% at 0.16% of citric acid. The highest water content was 45.204% at 0.16% of citric acid. The highest heat value was 2721.400 J/kg°C at citric acid concentration of 0.16%. The highest thermal diffusivity value is 3.730 x10<sup>-7</sup> m<sup>2</sup>/s at 0.12% of citric acid. The average of thermal conductivity value at 0.12% of citric acid concentration was 1.165 W/m°C, at 0.16% was 0.539 W/m°C, and at 0.20% was 0.634 W/m°C. The equations of thermal conductivity were  $k = 34.944 - 0.493 X_1 - 0.0102 X_2$  and  $\alpha = 19.566 \times 10^{-6} - 0,0025 X_1 - 0,4304 X_2$ .*

*Keywords: mozzarella cheese, citric acid, thermal conductivity*

#### **PENDAHULUAN**

Keju mozzarella adalah keju lunak yang proses pembuatannya tidak dimatangkan atau disebut dengan keju segar (*fresh cheese*). Willman dan Willman (1993) menyatakan bahwa keju Mozzarella merupakan keju khas Italia,

yang biasa digunakan dalam pizza. Keju Mozzarella termasuk kelompok keju "*pasca filata*", yaitu keju yang dipanaskan dan dilelehkan yang dilakukan pada suhu 70-85<sup>0</sup>C. Ciri-ciri keju Mozzarella adalah elastis, berserabut, dan lunak. Hal ini disebabkan adanya proses pembersihan di

dalam bak air panas dan adanya penekanan hingga lunak.

Pembuatan keju mozzarella selama ini dilakukan dengan menggunakan kultur starter untuk mengasamkan susu disertai penambahan renet untuk membentuk *curd*. Tapi hal ini akan membutuhkan waktu yang lama. Oleh karena itu, Kalab (2004) dan Everett (2003), menyatakan bahwa dalam pembuatan keju dapat dilakukan dengan pengasaman langsung sehingga tidak perlu menunggu kerja kultur starter bakteri untuk memproduksi asam laktat. Jenis-jenis asam yang bisa digunakan untuk membuat keju dengan cara pengasaman langsung, antara lain asam sitrat, asam cuka, dan asam askorbat. Untuk itu metode yang akan diterapkan dalam penelitian ini adalah pengasaman langsung dengan menggunakan asam sitrat sebagai pengganti starter.

Fox *et al* (2000) menyatakan bahwa keju Mozzarella dapat dibuat tanpa menggunakan kultur starter, tetapi dibuat dengan menggunakan pengasaman langsung pada susu. Pengasaman langsung dengan asam yang memenuhi syarat penambahan zat aditif yang aman (biasanya asam laktat, asam asetat atau asam sitrat) atau zat pengasam sering digunakan sebagai alternatif pengganti pengasaman secara biologis. Pengasaman langsung ini lebih terkontrol daripada pengasaman secara biologi. Oleh sebab itu, pengasaman secara kimia ini sering digunakan untuk jenis-jenis keju yang mementingkan tekstur daripada flavor

Penggunaan asam dapat mempercepat proses pembuatan keju karena dengan penambahan asam, pH susu langsung turun dari 6,7 menjadi 5,4 tanpa harus menunggu pertumbuhan bakteri starter untuk membentuk asam (Everett, 2003).

Penelitian pembandingan yang digunakan untuk membandingkan hasil pada penelitian ini adalah dengan penelitian Rahmawati (2006) telah melakukan penelitian mengenai "pembuatan keju segar (kajian pengaruh konsentrasi renet dan lama koagulasi terhadap sifat fisik, kimia dan organoleptik)".

Adnan (1984), menyatakan bahwa molekul lemak dalam keju dilapisi oleh molekul protein yang mempunyai gugus dan bersifat hidrofilik dan lipofilik, sehingga keberadaan lemak sangat bergantung pada proteinnya. Lama koagulasi berpengaruh pada rendemen yang dihasilkan karena jika waktu terlalu pendek tidak memberikan cukup waktu bagi padatan dan protein pada susu untuk terkoagulasi secara sempurna.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh konsentrasi asam sitrat terhadap nilai gizi, sifat fisik, kimia, serta untuk menentukan konduktivitas termal produk keju Mozzarella.

## METODE PENELITIAN

### Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Rekayasa dan Pengolahan Hasil Ternak Fakultas Peternakan, Laboratorium Teknologi Hasil Pertanian Jurusan THP, Laboratorium Teknik Processing Hasil Pertanian dan Laboratorium Daya dan Mesin Pertanian Jurusan TEP, Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Brawijaya mulai bulan Agustus sampai November 2008.

### Peralatan

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini antara lain kompor gas, panci, termometer, buret, gelas ukur, pengaduk, oven, pipet, pisau, timbangan, seperangkat alat ukur konduktivitas thermal, seperangkat alat ukur kadar lemak, protein, karbohidrat, dan abu.

## Bahan

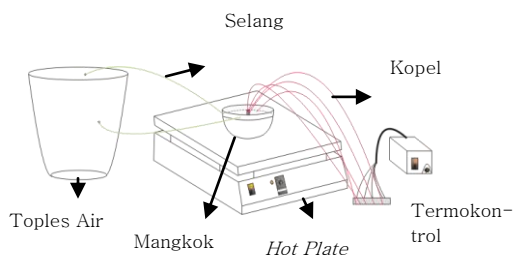
Bahan yang digunakan antara lain susu sapi segar, asam sitrat, renet (*Marzyme Supreme*), garam, dan air.

## Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan yakni metode deterministik dengan bantuan data empirik untuk mengekspresikan nilai-nilai sifat fisik, kimia, dan termal. Metode ekperimental penelitian ini meliputi 3 variasi konsentrasi asam sitrat yang berbeda. Variasi asam sitrat tersebut adalah 0,12, 0,16 dan 0,20% dari 25 liter susu sapi segar. Setiap variasi dilakukan satu kali pengujian sifat kimia produk, pengujian kadar air (%), rendemen (%), dan konduktivitas termal (k) untuk setiap variasi. Konduktivitas termal (k) dalam penelitian ini dianalisis menggunakan teori pindah panas yang dipecahkan dengan metode numerik teknik secara implisit. Adapun tahapan penelitian terdiri dari (1) rancangan fungsional alat, (2) pembuatan keju mozzarella, dan (3) penentuan konduktivitas thermal bahan.

## Rancangan fungsional alat pengukur konduktivitas

Rancangan fungsional alat pengukur konduktivitas termal adalah sebagai berikut: mangkok *double plat* berbentuk setengah bola, *hot plate*, toples plastik, selang, termokontrol, dan *stopwatch* seperti dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Rangkaian alat pengujian konduktivitas termal

## Proses pembuatan keju mozzarella

Susu sapi segar sebanyak 25 liter dipasteurisasi pada suhu  $65^{\circ}\text{C}$  selama 30 menit. Kemudian asam sitrat ditambahkan konsentrasi 0,12% (33 gram), 0,16% (44 gram), dan 0,20% (55 gram) yang dilarutkan pada 100 ml air, pada masing-masing 25 liter susu. Pemberian asam ini dilakukan sedikit demi sedikit sambil dilakukan pengadukan pelan-pelan. Penambahan renet sebanyak 0,025% (6,25 ml) dari volume susu (25 liter) yang dilarutkan pada 100 ml air. Hal ini berfungsi untuk mengumpalkan susu membentuk padatan yang mengendap yang disebut *curd*. *Curd* yang terbentuk kemudian dipotong-potong dengan ukuran 1 cm x 1 cm dan dibiarkan 15 menit untuk mengeluarkan whey (cairan). Whey yang keluar disaring kemudian ditimbang dan dibuang, kegiatan ini dilakukan terus-menerus sampai whey benar-benar tidak keluar lagi dari *curd*. Kemudian dilakukan proses *working* pada suhu  $45^{\circ}\text{C}$  dengan penekanan pada seluruh bagian. Setelah itu dilakukan penarikan dan pelepasan sampai tekstur menjadi kalis (ditandai dengan permukaan yang licin dan homogen) lalu dibentuk. Proses ini disebut *stretching*. Kemudian dilakukan proses perendaman dalam es dan yang terakhir adalah proses penggaraman selama 1 jam.

## Penentuan konduktivitas termal bahan

Keju diparut sebanyak 650 g dan dimasukkan kedalam wadah berbentuk setengah bola. Termokopel dipasang mulai dari dasar mangkok, ke atas mengikuti arah radial mangkok. Jarak pemasangan antar kopel yaitu 1,5 cm. Badan mangkok yang telah diberi selang kemudian dihubungkan dengan toples yang telah diisi air. Mangkok diletakkan diatas *hot plate* untuk memanaskan air yang ada didalam mangkok setengah bola. Sebelum *hot plate* dinyalakan, dilakukan pembacaan suhu pada masing-masing termokopel yang sudah terpasang sebagai ( $T_0$ ). *Hot plate* dinyalakan dan

diatur suhunya sampai air dalam mangkok mendidih. Diamati suhu pada tiap-tiap jarak pengamatan tiap 5 menit selama 60 menit. Pengukuran ini dilakukan tiga kali pengulangan untuk setiap perlakuan.

Pada penelitian ini analisis yang dilakukan terhadap bahan pada keadaan awal hingga akhir proses adalah densitas, rendemen, kesetimbangan massa, panas spesifik, difusivitas termal, konduktivitas termal, kadar air (%), kadar protein (%), kadar abu (%), kadar lemak (%), dan kadar karbohidrat (%)

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Komposisi Susu Segar

Hasil analisis komposisi susu segar dan perbandingan dengan literatur ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Analisis komposisi susu segar

Komponen	Bahan Baku	a	b
Protein (%)	2,83	3,4	3,3
Lemak (%)	4,46	3,9	4,0
Karbohidrat (%)	4,92	4,8	4,5
Air (%)	86,96	87,10	87,5
Abu (%)	0,83	0,72	0,7
BJ (kg/m <sup>3</sup> )	1,022	1,032	1,000

Sumber : <sup>a</sup> Buckle *et al.* (1987)

<sup>b</sup> Susilorini (2007)

Dari Tabel 1 tampak bahwa hasil analisis susu sapi segar berada pada kisaran nilai yang sesuai dengan literatur (Buckle *et al.*, 1987 dan Susilorini, 2007). Jenis ternak, waktu pemerahan dan makanan ternak yang berbeda mempunyai banyak pengaruh pada komposisi susu sapi yang dihasilkan (Buckle *et al.*, 1987).

Daulay (1991) menyatakan bahwa keragaman komposisi susu dari suatu spesies hewan dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain makanan (kuantitas dan kualitas makanan yang diberikan pada hewan), kesehatan dari hewan, manajemen dari pemeliharaan hewan,

interval waktu pemerahan, iklim, dan musim.

### Komposisi Keju Mozzarella

Hasil analisis komposisi keju yang diproses secara pengasaman langsung dan menggunakan starter ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan komposisi keju mozzarella dengan pengasaman langsung dan menggunakan starter

Asam sitrat	Komposisi Kimia Keju (%)			
	Protein	Lemak	Air	pH
0,12%	29,299	5,267	44,635	5,83
0,16%	25,811	13,121	45,204	5,89
0,20%	27,287	10,013	44,953	5,78
Starter*	17,653	19,403	64,826	4,27

Sumber: \*Rahmawati (2006)

Komposisi keju dibandingkan dengan keju segar yang dibuat dengan menggunakan starter (*Lactococcus lactis*) oleh Rahmawati (2006) menunjukkan perbedaan. Hal ini disebabkan, pH yang lebih tinggi pada mozzarella dengan pengasaman langsung, membantu kasein untuk menggumpal dan sebaliknya mengurangi kalsium yang larut. Implikasi dari ini adalah peningkatan kemampuan matrik protein dalam menahan air dan mencegah sineresis.

### Kadar Protein

Nilai protein keju mozzarella terbesar pada penambahan asam sitrat 0,12% yaitu sebesar 29,299% dan yang terkecil pada penambahan asam sitrat 0,16% sebesar 25,811%. Berdasarkan literatur dari Fox *et al.*, (2000). Hal ini mungkin dipengaruhi oleh panas saat proses *working* atau pemuluran yang merusak protein dalam keju. Asam sitrat memiliki tingkat keasaman yang tinggi. Tingkat keasaman yang tinggi ini menyebabkan asam sitrat lebih banyak mendenaturasi protein susu. Protein mudah mengalami kerusakan oleh

pengaruh panas, goncangan, reaksi dengan asam atau basa kuat, yang dikenal dengan denaturasi (Susanto dan Saneto, 1994). Menurut penelitian Rahmawati (2006), kadar protein keju segar menggunakan starter dengan perbandingan lama koagulasi, menunjukkan bahwa dengan rentang waktu koagulasi yang lebih lama (24 jam) nilai yang diperoleh lebih besar dibandingkan perlakuan sebelumnya. Hal ini dikarenakan waktu yang pendek tidak memberikan cukup waktu bagi protein pada susu untuk terkoagulasi secara sempurna oleh renet

#### **Kadar Lemak**

Kadar lemak terbesar pada konsentrasi asam sitrat 0,16% yaitu sebesar 13,121%, sedangkan yang paling kecil pada konsentrasi asam sitrat 0,12% sebesar 5,267%. Menurut Fox *et al.*, (2000) kadar lemak keju mozzarella 21%. Hal ini bertentangan dengan pernyataan Daulay (1991), bahwa protein berada pada lapisan luar membran globula lemak. Makin tinggi kandungan protein dalam keju, maka makin banyak jumlah lemak yang dapat diikat dan dipertahankan dalam keju, sehingga semakin tinggi kadar lemak yang dihasilkan.

Kadar lemak keju mozzarella jika dibandingkan berdasarkan SNI (BSN, 1992), berada di bawah nilai yang tertera yaitu minimal 25,0%. Kadar lemak keju olahan tergantung dari kadar lemak keju alami yang digunakan, namun dalam proses pembuatan keju olahan terdapat kemungkinan lemak keluar dari keju olahan selama proses pemanasan apabila temperatur lebih dari 80°C, jadi semakin tinggi temperatur pemanasan maka semakin banyak lemak yang keluar (Fox *et al.*, 2000). Standar dari BSN hanya dapat digunakan sebagai pembanding, tapi tidak dapat menjadi acuan. Hal ini

disebabkan jenis dan metode pembuatan keju yang berbeda.

#### **Kadar Air**

Kadar air keju Mozzarella dengan penambahan asam sitrat 0,12, 0,16, 0,20 % masing-masing sebesar 44,635, 45,204, dan 44,953%. Menurut Campbell dan Platt (1987), kadar air keju Mozzarella berkisar antara 46-56% dan 54,1% menurut Hui (1991). Kadar air merupakan faktor yang sangat penting untuk menentukan tekstur keju, yaitu kadar air yang semakin meningkat akan menyebabkan tekstur semakin lunak (Buckle *et al.*, 1992). Kadar air keju mozzarella jika dibandingkan dengan SNI keju olahan (Anonim, 1992) berada pada kisarannya yaitu maksimum 45%.

Idris dan Thohari (1992) menyatakan bahwa kandungan air yang lebih tinggi pada keju lunak dikarenakan mengandung whey yang lebih banyak. Menurut Rahmawati (2006), penurunan kadar air dikarenakan kemampuan mengikat air pada keju segar berkurang dengan semakin tingginya konsentrasi renet dan semakin lamanya koagulasi. Joshi (2004), menyatakan bahwa pada koagulasi dengan asam, semakin rendah pH penggumpalan sampai pH 5,4 maka kemampuan *curd* menahan air semakin besar.

Beberapa metode melibatkan suatu proses penyesuaian kadar air. Hal ini sangat bermanfaat sebab kadar air dalam keju adalah faktor penting dalam stabilitas, daya simpan, irisan, dan produk akhir keju yang lebih baik (Willman, 1993).

#### **Kesetimbangan Massa**

Proses penambahan asam sitrat 0,12% dan enzim renet, massa susu menjadi 27777,2 g. Pada proses penyaringan, *whey* yang terbuang sebesar 23880 g sehingga menghasilkan *curd* sebesar 3897,2 g dan dari proses ini terjadi kehilangan sebesar 85,960%. Hal ini terjadi karena proses

koagulasi dari asam sitrat dan renet yang menyebabkan banyak protein yang larut bersama whey, sehingga curd yang dihasilkan sedikit. Idris dan Thohari (1992) menyatakan bahwa *curd* yang dihasilkan dengan pengasaman langsung mudah pecah dan harus ditangani dengan hati-hati untuk menghindari terdispersinya menjadi partikel-partikel kecil yang larut dalam *whey*.

Pada proses *working* terjadi kehilangan 21,190% yaitu sebesar 850 g. Hal ini terjadi karena ada sebagian *curd* yang tertinggal di wadah setelah proses berlangsung, ada yang menjadi *whey* karena proses penekanan dan sebagian menguap. Proses ini menghasilkan *curd* sebanyak 3047,2 g.

Proses *stretching* pada pembuatan keju mozzarella ini menghasilkan keju sebanyak 1567,2 g. Pada proses ini terjadi kehilangan massa sebanyak 1480 g atau 48,569%. Massa yang hilang pada proses ini lebih besar dibandingkan pada proses *working*. Hal ini terjadi karena adanya pemanasan terus-menerus yang menyebabkan *curd* menguap dan larut di dalam air panas. Pada proses penggaraman, terjadi penambahan massa sebesar 382,9 g setelah diketahui massa akhir keju mozzarella sebesar 1950,1 g.

### Rendemen

Jumlah rendemen keju mozarella ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai rendemen keju mozzarella

Perlakuan	Rendemen (%)
Asam Sitrat 0,12%	7,091
Asam Sitrat 0,16%	7,789
Asam Sitrat 0,20%	6,473
Starter*	17,560

Sumber: \*Rahmawati (2006)

Gaman dan Sherington (1994), menyatakan bahwa nilai rendemen keju mozzarella yang dihasilkan kira-kira 10%.

Nilai rendemen pada penelitian ini lebih rendah dari literatur, hal ini disebabkan oleh beberapa hal diantaranya kadar lemak keju dan metode pembuatan. Pada penelitian ini, tidak ada proses homogenisasi susu sehingga kadar lemak keju lebih rendah. Idris dan Thohari (1992) menyatakan bahwa keuntungan dari homogenisasi susu adalah rendemen keju yang dihasilkan lebih tinggi akibat dari lemak yang terbuang dalam *whey* sedikit.

Daulay (1991) menyatakan bahwa rendemen keju dipengaruhi oleh komposisi *curd* yaitu persentase lemak, bahan kering tanpa lemak, garam dan air. Susanto dan Saneto (1994) menyatakan bahwa asam sitrat memiliki tingkat keasaman yang tinggi. Tingkat keasaman yang tinggi ini menyebabkan asam sitrat lebih banyak mendenaturasi protein susu. Protein mudah mengalami kerusakan oleh pengaruh panas, guncangan, reaksi dengan asam atau basa kuat, yang dikenal dengan denaturasi. Namun rendemen keju mozzarella pada penelitian ini lebih banyak dipengaruhi oleh kadar protein keju dengan persentase 27,287% sampai 29,299%. Kandungan protein keju memegang peranan penting dalam mempertahankan emulsi antara lemak cair. Peran protein tersebut dipengaruhi oleh kelarutannya. Protein yang mempunyai kelarutan tinggi (terlarut secara sempurna) dapat mengikat lemak dengan baik, sehingga lemak dan air dapat teremulsi serta terdispersi secara merata (Mangino, 1994).

Rahmawati (2006) menyatakan bahwa rendemen keju segar dengan menggunakan starter dengan lama koagulasi 24 jam lebih tinggi dibandingkan dengan lama koagulasi 21 dan 18 jam. Lama koagulasi berpengaruh pada rendemen yang dihasilkan karena jika waktu terlalu pendek tidak memberikan cukup waktu bagi padatan

dan protein pada susu untuk terkoagulasi secara sempurna.

### Densitas ( $\rho$ )

Nilai densitas keju *mozzarella* ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Nilai densitas ( $\text{kg/m}^3$ ) keju *mozzarella* pada berbagai konsentrasi asam sitrat

Perlakuan	Densitas ( $\text{kg/m}^3$ )
Asam Sitrat 0,12%	1160,654
Asam Sitrat 0,16%	1183,536
Asam Sitrat 0,20%	1194,631

Semakin besar konsentrasi asam sitrat yang ditambahkan maka densitas juga semakin besar. Hal tersebut disebabkan karena semakin banyak asam sitrat maka proses penggumpalan terjadi lebih cepat, tapi volume yang dihasilkan lebih kecil.

### Panas Jenis ( $C_p$ )

Nilai panas jenis ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Nilai panas jenis keju *mozzarella* hasil penelitian

Perlakuan	Nilai $C_p$ ( $\text{J/kg}^{\circ}\text{C}$ )
Asam sitrat 0,12%	2690,115
Asam sitrat 0,16%	2721,400
Asam sitrat 0,20%	2708,500

Panas jenis bahan dipengaruhi oleh komposisi dari bahan yaitu kadar protein, lemak, karbohidrat, abu, dan kadar air. Panas jenis akan meningkat jika kadar air bahan meningkat pula, begitu juga sebaliknya. Nilai panas jenis berbanding lurus dengan nilai konduktivitas termal bahan.

### Diffusivitas Termal

Difusivitas termal merupakan laju perambatan panas dari bahan

Nilai difusivitas termal dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Nilai diffusivitas termal keju *mozzarella*

Perlakuan	Diffusivitas Termal ( $10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ )
Asam sitrat 0,12%	3,730
Asam sitrat 0,16%	1,670
Asam sitrat 0,20%	1,960

Nilai diffusivitas thermal ( $\alpha$ ) bergantung pada data suhu yang diperoleh. Bila suhu yang diperoleh berfluktuasi dari suhu yang sebenarnya, maka nilai difusivitasnya juga mengalami hal yang sama. Nilai  $\alpha$  yang minus (-) menunjukkan arah pindah panas yang berlawanan dengan arah yang sebenarnya. Hal ini dapat disebabkan adanya rongga pada padatan keju sehingga pindah panas yang terjadi disertai dengan mengalirnya massa. Akibat dari semua itu, suhu yang dihasilkan juga sedikit menyimpang. Semakin besar nilai difusivitas thermal, maka semakin cepat energi panas yang didifusikan ke dalam bahan.

### Konduktivitas Thermal

Nilai rata-rata konduktivitas thermal ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Nilai konduktivitas termal keju *mozzarella*

Perlakuan	Konduktivitas termal ( $\text{W/m}^{\circ}\text{C}$ )
Asam sitrat 0,12%	1,165
Asam sitrat 0,16%	0,539
Asam sitrat 0,20%	0,634

Perbedaan nilai konduktivitas termal keju disebabkan adanya perbedaan suhu, bahan uji yang digunakan dan metode yang digunakan dalam penentuan nilai konduktivitas termal. Bahan uji yang digunakan juga akan berpengaruh terhadap nilai konduktivitas termal, karena konduktivitas termal bergantung pada struktur, bentuk, porositas, serta homogenitas. Metode yang digunakan berpengaruh terhadap nilai konduktivitas termal karena adanya perbedaan arah hantaran panas pada bahan sehingga hasilnya berbeda dengan hasil penelitian.

**Nilai k dan  $\alpha$  dari Keju Mozzarella secara Empiris**

Keju mozzarella dalam bentuk parut merupakan sistem heterogen, yang terdiri dari padatan, udara dan air, oleh karena itu sifat-sifat panasnya sangat tergantung pada heterogenitasnya. Hasil analisis terhadap nilai k dan  $\alpha$  pada keju Mozzarella dengan menggunakan metode kuadrat terkecil regresi linier berganda adalah sebagai berikut:

$$k = 34,944 - 0,493 X_1 - 0,0102 X_2 \dots\dots\dots(1)$$

$$\alpha = 19,566 \times 10^{-6} - 0,0025 X_1 - 0,4304 X_2(2)$$

persamaan regresi tersebut mempunyai koefisien korelasi (r) sebesar 0,999 untuk k dan r sebesar 1 untuk  $\alpha$ . Kadar air (KA) dalam satuan % basis basah dan densitas ( $\rho$ ) dalam satuan  $kg/m^3$ .

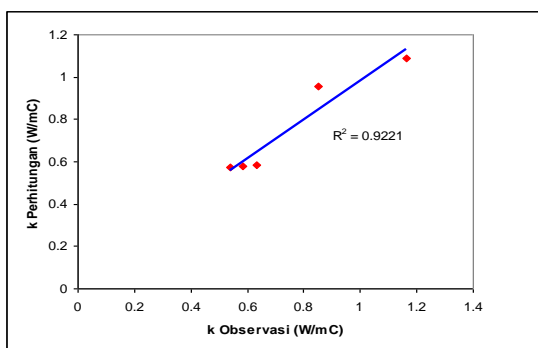
Persamaan 1 dan 2 merupakan persamaan empiris nilai k dan  $\alpha$  sebagai fungsi kadar air dan densitas yang diperoleh dari data nilai k hasil percobaan pada berbagai variasi. Fungsi konsentrasi asam sitrat dan kadar air yang diperoleh dari data  $\alpha$  hasil percobaan. Penggunaan regresi linier berganda dimaksudkan agar mengetahui pengaruh dua peubah penting terhadap perubahan nilai k dan  $\alpha$  pada keju mozzarella. Penyelesaian persamaan 1 dan 2 menggunakan metode chamer. Persamaan 1 dan 2 merupakan persamaan empiris yang dapat digunakan untuk menentukan nilai k dan  $\alpha$  keju mozzarella pada tingkat kadar air dan densitas tertentu serta pada konsentrasi asam sitrat tertentu. Dari persamaan terlihat bahwa nilai k berbanding lurus terhadap perubahan nilai kadar air dan densitas keju mozzarella. Dengan memasukkan nilai kadar air dan densitas untuk k, konsentrasi asam sitrat dan kadar air untuk  $\alpha$  pada keju mozzarella sesuai dengan data penelitian pada persamaan empiris. Nilai k pengamatan dapat dibandingkan dengan nilai k perhitungan serta nilai  $\alpha$  pengamatan dengan nilai  $\alpha$  perhitungan seperti yang ditunjukkan pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil pengamatan dan perhitungan nilai k dan  $\alpha$

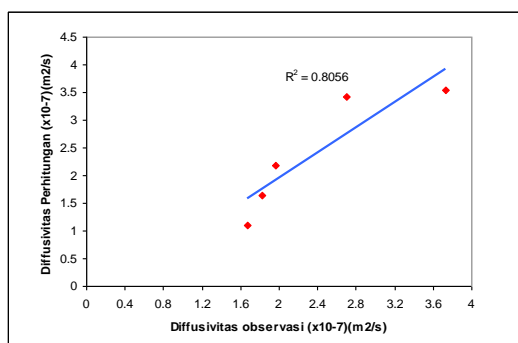
Asam Sitrat (%)	Nilai k (W/m°C)		Nilai $\alpha$ (m <sup>2</sup> /s)	
	Obser-vasi	Perhi-tungan	Obser-vasi	Perhi-tungan
0,12	1,165	1,087	3,73 x 10 <sup>-7</sup>	3,547 x 10 <sup>-7</sup>
0,14	0,852	0,957	2,70 x 10 <sup>-7</sup>	3,426 x 10 <sup>-7</sup>
0,16	0,539	0,573	1,67 x 10 <sup>-7</sup>	1,096 x 10 <sup>-7</sup>
0,18	0,586	0,578	1,82 x 10 <sup>-7</sup>	1,636 x 10 <sup>-7</sup>
0,20	0,634	0,584	1,96 x 10 <sup>-7</sup>	2,175 x 10 <sup>-7</sup>



Nilai konduktivitas termal dan difusivitas termal keju mozzarella hasil observasi dan perhitungan ditunjukkan pada Gambar 2 dan 3.



Gambar 2. Nilai konduktivitas termal keju mozzarella hasil pengamatan dan perhitungan



Gambar 3. Nilai difusivitas termal keju mozzarella hasil pengamatan dan perhitungan

Gambar 2 menunjukkan *ploting* nilai  $k$  observasi dan nilai  $k$  hasil perhitungan menggunakan persamaan empiris dengan koefisien determinasi sebesar 0,9221 atau koefisien korelasi sebesar 0,9602. Menurut Triatmojo (1996), interpretasi nilai  $R$  pada rentang 0,81 dan 0,99 adalah tinggi. Hal ini menyatakan bahwa data-data yang diplotkan saling berkorelasi dan interpretasi nilai  $R$  pada rentang nilai 0,94 dan 0,96 menyatakan bahwa data-data yang diplotkan memiliki korelasi yang tinggi.

## KESIMPULAN

Dari keseluruhan penilaian sifat fisik, kimia, dan termal, penambahan asam sitrat 0,16% merupakan konsentrasi yang paling baik dengan rendemen 7,789%, kadar lemak 13,121%, kadar air 45,204%, nilai panas jenis 2721,400 J/kg<sup>0</sup>C. Densitas terbesar pada penambahan asam sitrat 0,20% sebesar 1194,631 kg/m<sup>3</sup>. Kandungan protein paling besar pada penambahan asam sitrat 0,12% sebesar 29,299%. Rata-rata nilai konduktivitas termal keju mozzarella pada konsentrasi asam sitrat 0,12, 0,16, dan 0,20% masing-masing sebesar 1,165 W/m<sup>0</sup>C, 0,539 W/m<sup>0</sup>C, dan 0,634 W/m<sup>0</sup>C.

Persamaan nilai konduktivitas termal ( $k$ ) dan difusivitas termal ( $\alpha$ ) adalah sebagai berikut:

$$k = 34,944 - 0,493 X_1 - 0,0102 X_2$$

$$\alpha = 19,566 \times 10^{-6} - 0,0025 X_1 - 0,4304 X_2$$

## DAFTAR PUSTAKA

- Adnan, M. 1984. Kimia dan Teknologi Pengolahan Susu. Fakultas Pertanian, UGM, Yogyakarta
- Buckle, K.A., R.A., Edwards, G.H. Fleet, M. Wootton. 1987. Ilmu Pangan. Universitas Indonesia Press, Jakarta
- Campbell and Platt. 1987. Fermented Foods of The World Great Britain at the University, Cambridge
- Daulay, D. 1991. Buku/Monograf Fermentasi Keju. PAU Pangan dan Gizi IPB, Bogor
- Fox, D. F., T. P. Guinee, T. M. Logan, and P. L. H McSweeny. 2000. Fundamentals of Cheese Science. Aspen Publisher, Inc., Maryland
- Hui, Y. H. 1991. Dictionary of Food Science and Technology. Willey, Inter Science Publication, New York
- Idris, S dan Thohari. 1992. Pengantar Teknologi Pengolahan Susu. LUW-Unibraw, Malang
- Rahmawati, E. 2006. Pembuatan Keju Segar (Kajian Pengaruh Konsentrasi Renet dan Lama Koagulasi terhadap Sifat Fisik, Kimia dan Organoleptik).

- Skripsi. Teknologi Hasil Pertanian,  
Universitas Brawijaya, Malang
- Susanto, T. dan B. Saneto. 1994.  
Teknologi Pengolahan Hasil  
Pertanian. PT. Bina Ilmu, Surabaya
- Susilorini, E. T dan M. E. Sawitri. 2007.  
Produk Olahan Susu. Cetakan  
kedua. Penebar Swadaya, Jakarta
- Triatmodjo, B. 1996. Metode Numerik.  
Beta Offset, Yogyakarta
- Willman, C. and N. Willman. 1993. Home  
Cheese Making. The Australian  
Dairy Corporation, Melbourne

