

## SIMULASI PROSES STERILISASI PADA GUDEG KALENG DENGAN MENGUNAKAN *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC* (CFD)

### *STERILIZATION PROCESS SIMULATION ON GUDEG CANNED USING COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC (CFD)*

Asep Nurhikmat<sup>1)</sup>, Bandul Suratmo<sup>2)</sup>, Nursigit Bintoro<sup>3)</sup> dan Suharwadji<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Kandidat doktor pada Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada

<sup>2)</sup> Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada, Jl. Flora, Bulaksumur, Yogyakarta

<sup>3)</sup> Pusat Penelitian Fisika, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Jl. Cisitua Sangkuriang, Bandung 40153  
E-mail: asepnurhikmat@yahoo.com

Diterima : 10 Juni 2014, Revisi : 20 Juni 2014, Disetujui : 27 Juni 2014

#### ABSTRAK

Telah dilakukan studi penggunaan *computational fluid dynamic* (CFD) pada proses sterilisasi gudeg kalengan. Penelitian bertujuan untuk mengetahui fenomena pindah panas konduksi gudeg kalengan selama proses sterilisasi. Bahan gudeg kalengan terdiri dari beberapa komponen penyusun diantaranya gudeg nangka, telur, daging ayam, kacang dan krecek kulit. Setelah ditutup gudeg kaleng disterilkan dengan beberapa variasi suhu (111; 121 dan 131°C) dan beberapa waktu setrilisasi (10; 20 dan 30 menit). Riwayat suhu selama sterilisasi direkam dengan data logger. Simulasi menggunakan program COMSOL versi 4.1. Hasil simulasi didapatkan terjadi sedikit perubahan titik dingin (*cold spot*) gudeg kalengan karena komposisi gudeg kalengan terdiri dari beberapa macam komponen penyusun dengan sifat fisik bahan yang berbeda-beda. Difusivitas masing-masing penyusun adalah gudeg  $1,73E-04$  m<sup>2</sup>/s; daging ayam  $9,219E-05$  m<sup>2</sup>/s; kacang tolo  $1,98E-04$  m<sup>2</sup>/s; putih telur  $2,34E-04$  m<sup>2</sup>/s; dan kuning telur  $1,86E-04$  m<sup>2</sup>/s. Perbandingan data observasi dengan data prediksi cukup baik dengan nilai koefisien regresi antara 0,964 sampai 0,998.

**Kata kunci :** *Computational fluid dynamic*, CFD, Sterilisasi, Pengalengan, Gudeg kaleng.

#### ABSTRACT

*Studies on computational fluid dynamic (CFD) in the sterilization process of gudeg canned. The study aims to determine the conduction heat transfer phenomena gudeg canned during the sterilization process. The study used some materials namely young jackfruit, eggs, chicken, tolo beans and krecek cowhide. After closed, gudeg canned sterilized under variation in temperature (111; 121 and 131°C) and some time sterilization (10; 20 and 30 minutes). History temperature during sterilization was recorded with the data logger. Simulation studies used COMSOL program version 4.1. The simulation results obtained there was little change*

*point cold spots from gudeg canned caused composition of gudeg canned have different physical properties. Diffusivity of each constituent is gudeg  $1,73 E - 04$  m<sup>2</sup>/s; chicken  $9.219E - 05$  m<sup>2</sup>/s; tolo beans  $1.98 E - 04$  m<sup>2</sup>/s; egg whites  $2,34 E - 04$  m<sup>2</sup>/s; and egg yolks  $1.86 E - 04$  m<sup>2</sup>/s. Comparison of predictions data with observed data quite well with the regression coefficient 0,964 to 0,998.*

**Keywords :** *Computational fluid dynamics, CFD, sterilization, canning, canned gudeg*

#### PENDAHULUAN

Indonesia merupakan sebuah negeri yang cukup luas dan penduduknya memiliki cara pandang yang berbeda, beragam dan khas terhadap makanan tradisional masing-masing daerahnya. Makanan tradisional merupakan produk kebudayaan yang pemakaian resep atau proses pembuatannya selalu berkembang. Makanan tradisional tersebut merupakan warisan budaya masa lampau yang dapat kita rasakan masa sekarang. Proses pengolahan tertentu dan penggunaan rempah-rempah asli menghasilkan makanan tradisional dengan cita rasa yang khas dan berbeda antara satu daerah dengan daerah lainnya. Kenikmatannya telah teruji dari generasi ke generasi oleh setiap suku bangsa di Indonesia<sup>(1,2)</sup>.

Gudeg adalah makanan tradisional khas Yogyakarta berbahan baku nangka muda yang disajikan bersama-sama dengan daging ayam, telur, krecek kulit dan areh. Kemasan gudeg biasanya menggunakan *beseq bambu* atau kendil tanah liat sehingga masa simpannya singkat (1 sampai 2 hari) sehingga pemasarannya terbatas. Supaya masa simpan menjadi lama perlu dilakukan pengembangan produk dengan menggunakan teknologi yang lebih modern<sup>(1)</sup>. Salah

satunya adalah teknologi pengalengan yang pada tahapan prosesnya menggunakan panas untuk sterilisasi.

Kemajuan terbaru pada produksi pangan adalah penggunaan *Computational Fluid Dynamics* (CFD). CFD untuk dinamika fluida sudah mulai tahun 1960-an sejak adanya perangkat computer<sup>(3)</sup>. Pendekatan dengan menggunakan CFD pada industri makanan memberikan wawasan baru dan pemahaman tentang disain peralatan untuk menunjang kualitas dan keamanan produk makanan<sup>(4)</sup>. Hal ini akan mengurangi jumlah percobaan dan perhitungan terkait dengan disain proses<sup>(5)</sup>.

Aplikasi CFD dalam industri makanan membantu pemahaman yang lebih baik dari mekanisme perpindahan panas, sifat fisik dan reologi bahan pangan. CFD digunakan sebagai alat bantu untuk meningkatkan disain proses dan pemahaman sifat fisik bahan pangan. CFD juga memberikan manfaat pada proses pengolahan makanan misalnya pengeringan, sterilisasi, pencampuran, pendinginan dan lainnya<sup>(6,7)</sup>. CFD yang digunakan pada proses sterilisasi bertujuan agar pemanasan dapat berjalan dengan cepat dan seragam sehingga tingkat sterilitas tercapai dengan kerusakan warna, tekstur dan nutrisi produk yang minimum<sup>(8)</sup>. Dua teknik yang digunakan pada studi numerik untuk menilai kualitas dan sterilitas makanan kaleng dengan menggunakan CFD adalah perhitungan tingkat kelangsungan hidup spora dan suhu di zona pemanasan paling lambat (*cold spot*)<sup>(9)</sup>.

Beberapa penelitian terkait CFD antara lain penggunaan CFD untuk simulasi degradasi sukrosa pada makanan cair<sup>(9)</sup>, studi CFD cairan pada kemasan conical dan silinder<sup>(10)</sup>, simulasi pemanasan konveksi alami pada pemanasan makanan kaleng makanan berbentuk cair dengan CFD<sup>(11)</sup>, simulasi numerik perubahan suhu dan kecepatan selama sterilisasi kaleng secara horisontal dengan menggunakan CFD<sup>(12)</sup>.

Secara keseluruhan penelitian tersebut hanya berkisar pada penggunaan CFD pada sterilisasi panas makanan berbentuk cair, sehingga masih banyak tantangan dan masalah penggunaan CFD di bidang sterilisasi makanan kaleng<sup>(6)</sup>. Untuk penyederhaan model CFD perlu diasumsikan bahwa panas jenis, konduktivitas dan densitas bahan dianggap tetap, padahal semua parameter tergantung pada perubahan suhu<sup>(11)</sup>. Efektivitas dan kepraktisan CFD dalam industri pangan tergantung pada beberapa faktor diantaranya spesifikasi bahan makanan dan proses pengolahan, akurasi algoritma untuk persamaan gerak, penggunaan jenis program CFD yang cocok dan ketersediaan spesifikasi komputer yang cukup besar<sup>(13)</sup>. Beberapa masalah yang menghambat penggunaan CFD dalam industri makanan, yaitu: 1) perbedaan sifat bahan makanan yang spesifik (reologi, termodinamika dan

fisik) dari bahan lainnya (air dan udara), 2) keterbatasan kemampuan program CFD untuk simulasi yang tepat dengan hasil yang baik<sup>(14)</sup>.

Visualisasi yang dihasilkan sangat penting untuk mewakili solusi lapangan. Kontur, vektor dan garis plot dapat meningkatkan interpretasi atau pembacaan yang akurat dari hasil visualisasi dan hal ini telah berhasil digunakan dalam banyak studi untuk membantu disain sistem<sup>(15)</sup>. Selain itu data lapangan dapat dengan mudah diekspor ke program pemodelan lainnya sehingga dapat diproses lebih lanjut. Teknik visualisasi dapat memberikan informasi yang cukup dalam pergerakan suatu disain proses, informasi terakhir visualisasi aliran secara animasi telah populer dan banyak ditinjau di jurnal-jurnal<sup>(16)</sup>. Simulasi penting dilakukan agar fenomena pindah panas semakin di mengerti caranya dengan menggabungkan proses sterilisasi panas dari sudut pandang disain dengan operasi yang dilakukan. Definisi dan estimasi langsung koefisien pindah panas selama proses sterilisasi didapatkan dari simulasi CFD<sup>(17)</sup>.

Tujuan penelitian adalah adalah: 1) Optimasi perpindahan panas dari sistem proses makanan untuk efisiensi energi, disain peralatan, keamanan produk dan perubahan kualitas, 2) kontrol langsung proses perpindahan panas untuk menangani perubahan (deviasi) proses, memperkecil biaya dan memperbaiki kualitas dan keamanan produk.

## BAHAN DAN METODA

### Bahan

Bahan yang dipakai dalam penelitian adalah gudeg Bu Tjitro 1925 dengan komposisi 55,606% angka muda; 21,543% telur bebek; kacang tolo 8.060% dan 7,791% daging ayam.

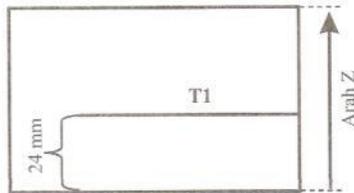
### Peralatan

Peralataan yang digunakan dalam penelitian antara lain: Kaleng jenis *two pieces can* ukuran Ø 300 X 205 (72.63 x 53.04 mm atau 0.07263 x 0.05304 m (diameter x tinggi), serta tutup jenis *pull up* dengan spesifikasi badan bagian luar *clear lacquer* dan bagian dalam *aluminize lacquer*; tutup jenis E.O.E bagian luar *gold lacquer* dan bagian dalam *aluminize lacquer*. Autoclave Merk TOMMY SS-325 dengan spesifikasi 1 phase, voltage 220 V 50/60 Hz, arus 10 A, tekanan maksimal 2,3 kgf/cm<sup>2</sup>, kapasitas 0,053 m<sup>3</sup>. Data logger merk ELLAB CTF9004 dengan spesifikasi 100.0 sampai + 350.0°C atau -148,0 to + 662,0°F akurasi 0,1 °C / 0,1°F, dan T=121,1°C, D=10,0°C. Alat pengolah data dengan spesifikasi AMD Athlon™ II X2 260 prosesor 3.20 GHz, RAM 2 GB (1.75 GB Useable), tipe system 32-bit Operating system. Program terinstall

Window 7 Ultimate Copyright © 2009 Microsoft Corporation. Software yang digunakan untuk melakukan simulasi adalah *Comsol Multiphysic* versi 4.1.

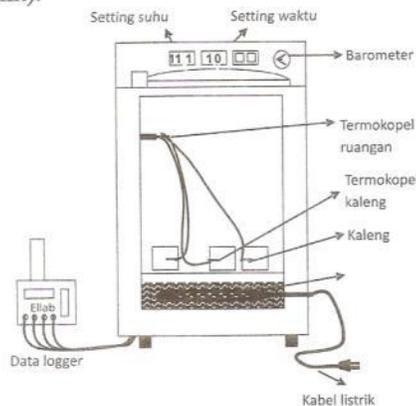
**Metoda Penelitian.**

1. Menyiapkan 12 buah sampel gudang kaleng diberi kode A, salah satu sampel dimasukkan ke dalam kaleng yang telah terpasang 3 buah termokopel (Gambar 1) dengan urutan telur ayam, daging ayam, kacang tolo dan gudang nangka, kemudian diexhausting dan di tutup,



Gambar 1. Arsitektur termokopel pada kaleng

2. Memasukkan semua sampel ke dalam autoclave dan menyambungkan termokopel yang telah terpasang pada autoclave pada cover termokopel diletakkan pada bagian tengah autoclave, menutup dan men-setting autoclave pada suhu 111°C dan waktu 10 menit (Gambar 2).
3. Autoclave dinyalakan bersamaan dengan menyalakan data logger, secara otomatis data logger akan mencetak kenaikan suhu bahan dengan interval 1 menit; Tunggu sampai proses sterilisasi selesai (tekanan barometer retort menunjukkan angka 0), buka tutup autoclave lalu keluarkan sample dan masukkan ke dalam ember berisi air, data logger dimatikan setelah suhu bahan mencapai 60°C,
4. Prosedur nomor 1 sampai nomor 4 diulangi untuk semua variasi perlakuan suhu sterilisasi (111; 121 dan 131°C) dan lama sterilisasi (10; 20 dan 30 menit).

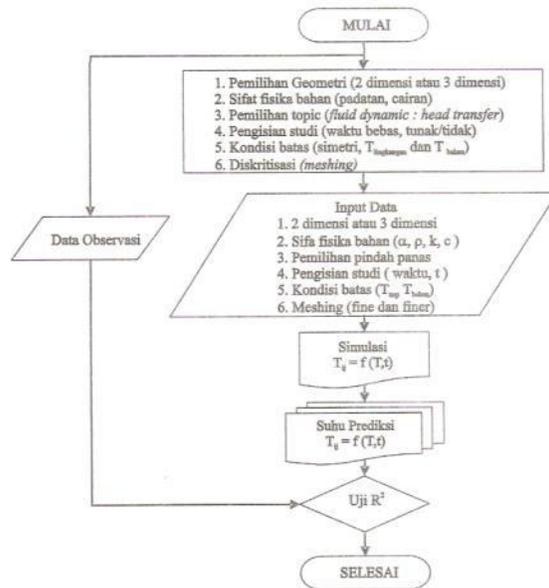


Gambar 1. Skema Retort dan data logger.

**Simulasi model.**

Asumsi dapat dipakai untuk simulasi antara lain untuk mereduksi simulasi dari 3 dimensi ke 2 dimensi pada kaleng vertikal dilakukan analisis axi-simetris, nilai termo-physical properties bahan didapatkan dari hasil pendahuluan, dan suhu awal berdasarkan hasil penelitian pendahuluan<sup>(18)</sup>. Asumsi lainnya adalah dalam situasi kaleng silinder, suhu di luar dinding kaleng adalah tetap<sup>(17)</sup>, reaksi panas diabaikan<sup>(9)</sup>, untuk kapasitas panas antara suhu lingkungan dengan dinding kaleng diabaikan sehingga  $T_{dinding} = T_{lingkungan}$ <sup>(19)</sup>.

Dalam memecahkan sebuah masalah dengan menggunakan CFD harus memasukkan persamaan matematik, penyesuaian struktur dan penentuan kondisi batas yang spesifik<sup>(5)</sup>. Diagram alir dengan menggunakan Comsol dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 1. Diagram alir simulasi CFD

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

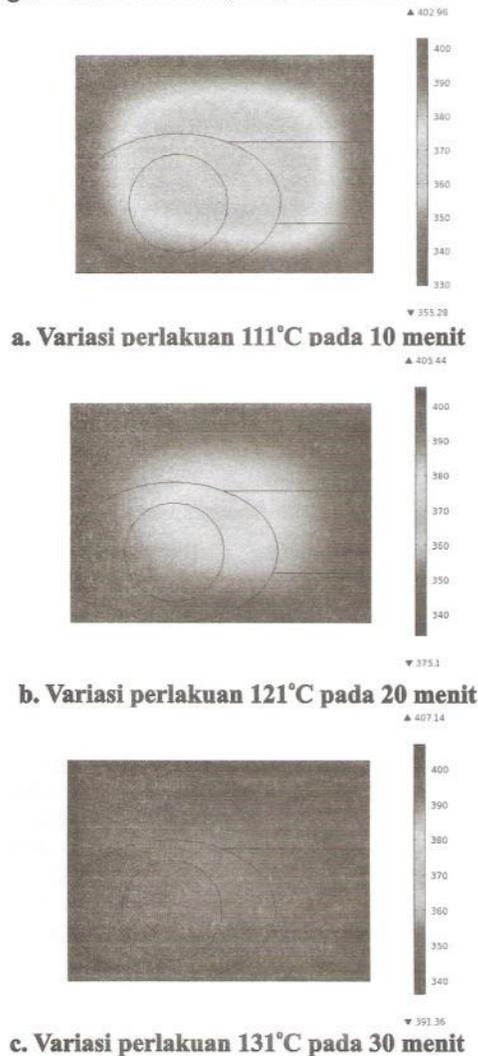
Sebelum simulasi dengan menggunakan Comsol multiphysic dilakukan beberapa hal yang perlu dilakukan adalah merinci dahulu karakteristik tahapan penggunaan Comsol. Tahapan tersebut adalah 1) pemilihan geometri (2 dimensi atau 3 dimensi); 2) sifat fisika bahan (padatan, cairan); 3) pemilihan topic (*fluid dynamics: heat transfer*); 4) pengisian studi (waktu bebas, tunak/tidak); 5) kondisi batas (suhu lingkungan dan suhu bahan); 6) diskritisasi (*meshing*) dan 7) percobaan simulasi. Comsol sebagai software simulasi keteknikkan memiliki beberapa kelebihan diantaranya yaitu semua modeling telah disediakan program dan penampilan visual memiliki resolusi yang cukup tinggi. Selain itu input sifat fisika bahan pada pemilihan

material dapat disesuaikan dengan bahan penelitian sehingga pendekatan simulasinya dapat dilakukan secara heterogen. Sifat fisika bahan disajikan pada Tabel 1.

**Tabel 2.** Sifat fisik bahan penyusun gudeg kalengan.

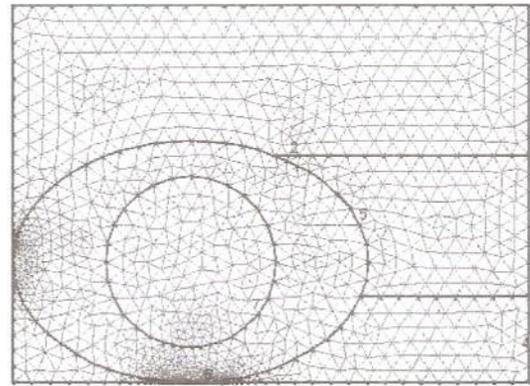
Parameter	Satuan	Gudeg angka	Daging ayam	Kacang tolo	Kuning telur	Putih telur
Densitas	kg/m <sup>3</sup>	1148,83	1258,94	1093,01	1253,23	1386,12
Panas jenis	J/kg K	3910,64	7735,23	3595,84	3051,23	3825,86
Konduktifitas	J/s K	0,67647	0,71311	0,71327	0,71679	0,71183
Difusivitas	m <sup>2</sup> /s	1,73E-04	9,219E-05	1,98E-04	1,86E-04	2,34E-04

Hasil simulasi 2 dimensi dengan menggunakan program Comsol 4.1 disajikan pada Gambar 4.



**Gambar 4.** Visualisasi hasil simulasi COMSOL suhu gudeg pada perlakuan yang berbeda.

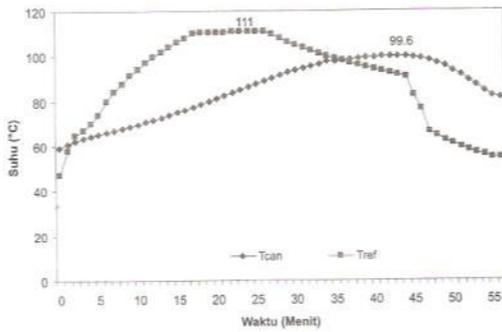
Pada Gambar 4 terlihat semakin tinggi suhu dan lama waktu sterilisasi terlihat warna bahan dalam kaleng semakin gelap. Semua titik di dalam suatu kemasan yang dipanaskan tidak berada pada titik yang sama. Daerah pemanasan terdingin disebut titik dingin atau *cold spot* suatu kemasan. Titik dingin merupakan daerah yang sangat sukar untuk disterilkan. Pada pindah panas secara konduksi titik terdingin berada pada titik tengah geometri kaleng sumbu vertikal<sup>(18)</sup>. Gambar 4a memperlihatkan bahwa perpindahan panas menuju titik dingin berubah kearah telur bagian putihnya. Hal ini dikarenakan densitas dan panas jenis telur lebih besar dibandingkan dengan bahan lainnya. Terlihat dari hasil meshing program comsol seperti disajikan pada Gambar 5.



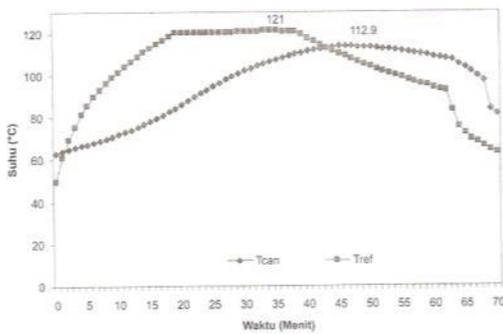
**Gambar 4.** Hasil meshing gudeg dengan komponen penyusun berbeda.

Terlihat pada Gambar 5 bahwa pada komponen putih telur terjadi meshing yang cukup kecil. Hal ini disebabkan karena telur memiliki bentuk oval dengan densitas yang cukup tinggi dengan komposisi pada bahan cukup tinggi yaitu 20% atau hampir ¼ dari komposisi keseluruhan.

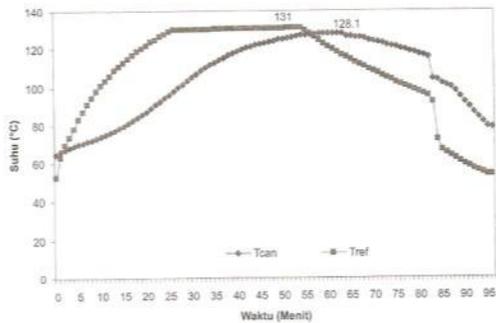
Bila suatu makanan yang dikemas dalam kaleng diletakkan dalam *retort*, suhu produk tidak akan segera mencapai suhu proses sesuai dengan suhu *retort* yang dikehendaki, tetapi akan panas akan merambat ke dalam kaleng secara perlahan-lahan. Kecepatan penetrasi panas dari *retort* ke dalam makanan dapat diketahui dengan *heat penetration test*. Pengamatan terhadap suhu produk selama proses sterilisasi perlu dilakukan. Karena bahan penyusun gudeg berupa bahan padat, maka perpindahan panas terjadi secara konduksi, sehingga penempatan termokopel diletakkan pada bagian tengah kaleng. Riwayat suhu selama proses sterilisasi pada berbagai perlakuan disajikan pada Gambar 6.



a. Riwayat suhu sampel pada 111°C selama 10 menit.



b. Riwayat suhu sampel pada 121°C selama 20 menit.

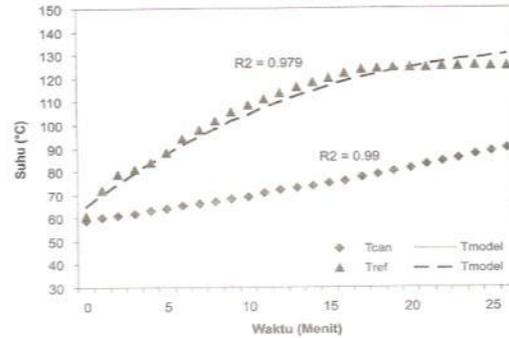


c. Riwayat suhu sampel pada 131°C selama 30 menit.

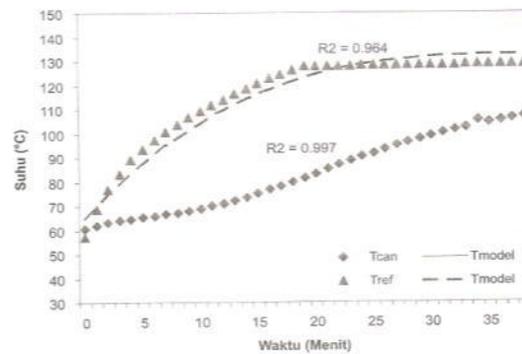
Gambar 6. Kenaikan suhu gudeg pada beberapa variasi perlakuan

Gambar 6a memperlihatkan pada perlakuan 111°C pada 10 menit suhu yang dapat di capai oleh bahan adalah 99,6°C begitu juga untuk waktu sterilisasi 20 dan 30 menit; pada perlakuan 121°C pada 20 suhu yang dapat dicapai oleh bahan adalah 112,9°C (Gambar 6b) dan pada perlakuan 131°C pada 30 menit suhu yang dapat dicapai oleh bahan adalah 128,1°C (Gambar 6c) suhu yang dicapai bahan pada perlakuan ini terlalu tinggi sehingga bahan banyak menerima panas, hal ini mengakibatkan bahan akan terlalu matang atau *over cooking*. Pada perlakuan 111°C dengan waktu sterilisasi

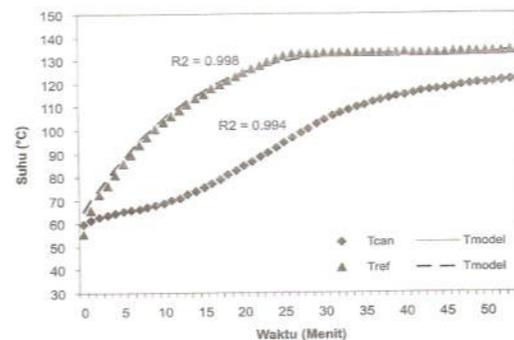
10, 20 dan 30 menit belum cukup untuk mensterilkan makanan, begitu juga perlakuan 121°C selama 10 menit. Hasil simulasi yang merupakan data prediksi dibandingkan dengan data observasi, hasilnya disajikan pada Gambar 7.



a. Fitting data prediksi dan observasi pada 111°C selama 10 menit.



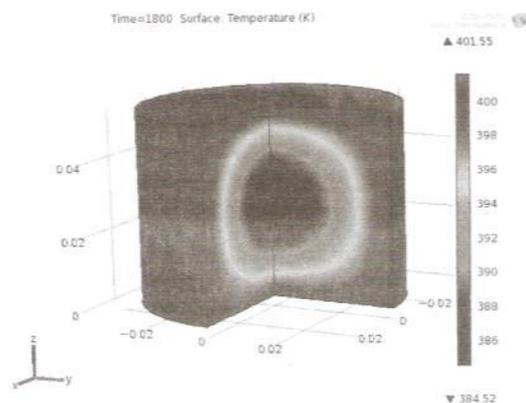
b. Fitting data prediksi dan observasi pada 121°C selama 20 menit.



c. Fitting data prediksi dan observasi pada 131°C selama 30 menit.

Gambar 7. Grafik perbandingan data observasi dengan data prediksi (model)

Gambar 7 memperlihatkan fitting data prediksi hasil simulasi dengan data observasi. Fiting menghasilkan nilai koefisien regresi antara 0,964 sampai 0,998. Hasil simulasi untuk 3 dimensi disajikan pada Gambar 8.



Gambar 8. Simulasi pindah panas 3 dimensi pada gudeg kalengan

### KESIMPULAN

Penggunaan Comsol Multiphysics sangat cocok untuk melakukan simulasi karena beberapa kelebihan diantaranya model sudah tersedia dalam program dan asumsi lebih mendekati kenyataan sebenarnya sehingga simulasi dapat didekati secara heterogen.

Terjadi perubahan karakterisasi perpindahan panas antara simulasi dengan asumsi homogen dan heterogen. Karena gudeg terdiri dari beberapa macam komponen penyusun yang mempunyai nilai konduktivitas berbeda.

Perbandingan data observasi dengan data prediksi cukup baik dengan nilai koefisien regresi antara 0,964 sampai 0,998.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih diucapkan kepada Beasiswa Menristek atas sponsorship terhadap penulis untuk melanjutkan studinya, Tim Asisten Laboratorium Komputer, Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik UGM, Gudeg Bu Tjitro 1925 dan Tim Pengalengan UPT BPPTK LIPI.

### DAFTAR PUSTAKA

1. A. Nurhikmat, B. Suratmo, N. Bintoro, Suharwadji, *Pengalengan Makanan Tradisional: Kajian Pengalengan Gudeg Wijilan Jogjakarta, Prosiding Seminar Nasional Perteta*, Fakultas

Teknologi Industri Pertanian, Universitas Padjajaran, Bandung, 2011.

2. Anonim, *Jejak Kuliner Indonesia*, Edisi Pertama, PT. TIKI Jalur Nugraha Ekakurir (JNE), Jakarta, 2010.
3. M. Parviz, K. John, *Tackling Turbulence with Supercomputers*, *Scientific America*: 1, 1997, p. 276.
4. FRPERC, *CFD in Food Industry, Food Refrigeration and Process Engineering*, Research Association. Leather Head, UK, 1995.
5. T. Norton, D-W. Sun, *Computational Fluid Dynamics (CFD) – an Effective and Afficiant Design and Analysis Tool for the Food Industry: a Riview*, *Trends in Food Science and Technology*: 17, 2006, pp. 600-620.
6. B. Xia, D-W. Sun, *Applications of Computational Fluid Dynamics (CFD) in the Food Industry: a Riview*, *Computer and Electronics in Agriculture*: 34, 2002, pp. 5-24.
7. L. Wang, D-W Sun, *Recent Developments in Numerical Modelling of Heating and Cooling Processes in the Food Industry – a Riview*, *Trends in Food Science and Technology*: 14, 2003, pp. 408-423.
8. J. Tattiyakul, M.A. Rao, A.K. Datta, *Simulation of Heat Transfer to a Canned Corn Starch Dispersion subjected to Axial Rotation*, *Chemical Engineering and processing*: 40, 2001, pp. 391-399.
9. S. Siriwattayotin, T. Yoovidha., T. Meepadung, W. Ruenglerpanyakul, *Simulation of Sterilization of Canned Liquid Food using Sucrose degradation as an indicator*, *Journal of Food Engineering*: 73, 2006, pp. 307-312.
10. M.N. Varma, Kannan, *Encahnce Food Strelization Through Inclination Of The Container Walls And Geometry Modifications*, *International Journal of Heat and Mass Transfer*: 48 (18), 2005, pp. 3753-3762.
11. A.G.A. Ghani, M.M Farid, X.D. Chen, P. Richards, *Numerical Simulation of Natural Convective Heating of Canned Food by Computational Fluid Dynamics*, *Journal of Food Engineering*: 41 (1), 1999, pp. 55-64.
12. A.G.A. Ghani, M.M. Farid, S.J. Zarrouk, *The Effect of Can Rotation on Sterilization of Liquid Food using Computational Fluid Dynamics*, *Journal of Food Engineering*: 57, 2003, pp. 9-16.
13. B. Spalding, *Food Processing and the New CFD. Paper Presented of Food Processing and Control*

- Panel Meeting*, Leatherhead Food Research Association, Leatherhead, Surrey, UK, 1999.
14. A.H.M. Eisenga, *CFD Prepared for the Process Industry*, *NPT Procestechnology*: 5, 1998, pp. 35-37.
  15. A.M. Foster, M. Madge, J.A. Evan, *The Use of CFD to Improve the Performance of a Chilled Multi-deck Retail Display Cabinet*, *International Journal Refrigeration*: 28, 2005, pp. 698-705.
  16. P. D'Agaro, G. Cortella, G. Croce, *Two and Three Diemnsional CFD applied to Vertical Display Cabinets Simulation*, *International Journal of Refrigeration*: 29, 2006, pp.178-190.
  17. A. Kannan, P.Ch. G. Sandaka, *Heat Transfer Analisis of Canned Food Sterilization in Still Retort*, *Journal of Food Engineering*: 88, 2008, pp.213-228.
  18. S. Kiziltas, F. Erdogdu, T.K. Palazoglu, *Simulation of Heat Transfer for Solid-liquid Food Mixture in Cans and Model Validation under Pasteurization Conditions*, *Journal Food Engineering*: 97, 2010, pp. 449-456.
  19. A. Dimou, S. Yanniotis, *3D Numerical Simulation of Asparagus Sterilization in a Still Can using Computational Fluid Dynamics*, *Journal of Food Engineering*: 104, 2011, pp.394-403.