

# OPTIMASI DENGAN ALGORITMA RSM-CCD PADA EVAPORATOR VAKUM WATERJET DENGAN PENGENDALI SUHU *FUZZY* PADA PEMBUATAN PERMEN SUSU

RSM-CCD Algorithm for Optimizing Waterjet Vacuum Evaporator Using *Fuzzy* Temperature Control in The Milk Candy Production

Yusuf Hendrawan, Bambang Susilo, Angky Wahyu Putranto, Dimas Firmanda Al Riza,  
Dewi Maya Maharani, Mutiara Nisa' Amri

Jurusan Keteknikan Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya, Jl. Veteran, Malang 65145  
Email: yusufhendrawan@gmail.com

## ABSTRAK

Permen susu merupakan salah satu produk yang diolah dengan suhu tinggi untuk mencapai proses karamelisasi. Pengolahan pangan dengan sistem vakum merupakan salah satu alternatif untuk merekayasa nilai titik didih suatu bahan. Sistem pengendalian suhu serta kecepatan pengadukan pada mesin produksi permen susu diharapkan dapat mencegah terbentuknya partikel hitam (*off-flavour*) pada produk akhir. Sistem kontrol cerdas logika fuzzy diaplikasikan dalam pengendalian suhu pada mesin evaporator vakum *double jacket* yang membutuhkan tingkat stabilitas suhu pemasakan permen susu. Tujuan dari penelitian ini adalah membuat rancang bangun evaporator vakum pada pembuatan permen susu dengan menggunakan pengendali suhu *fuzzy*. Hasil perancangan mesin dan sistem menunjukkan bahwa proses produksi permen susu dapat berlangsung dengan baik. Optimasi parameter kadar air dan kadar abu dilakukan untuk mendapatkan titik parameter suhu dan kecepatan pengadukan produksi permen susu yang optimum. Metode optimasi menggunakan *response surface methodology* (RSM) model *central composite design* (CCD). Hasil optimasi didapatkan parameter suhu 90,18°C dan kecepatan pengadukan 512 RPM, dengan prediksi produk permen susu memiliki nilai kadar air 4,69% dan kadar abu 1,57%.

**Kata kunci:** Optimasi, evaporator vakum, *fuzzy*, permen susu, *response surface methodology*

## ABSTRACT

Milk candy is a product which has to be produced under a high temperature to achieve the caramelization process. The use of vacuum system during a food processing is one of the alternatives to engineer the value of a material's boiling point. The temperature control system and the mixing speed in machine that produce the milk candy were expected to be able to prevent the formation of off-flavour in the final product. A smart control system based on fuzzy logic was applied in the temperature control within the double jacket vacuum evaporator machine that needs stable temperature in the cooking process. The objective of this research is developing vacuum evaporator for milk candy production using fuzzy temperature control. The result in machine and system planning showed that the process of milk candy production was going on well. The parameter optimization of water content and ash content purposed to acquire the temperature point parameter and mixing speed in milk candy production. The optimization method was response surface methodology (RSM), by using the model of central composite design (CCD). The optimization resulted 90.18°C for the temperature parameter and 512 RPM for the mixing speed, with the prediction about 4.69% of water content and 1.57% of ash content.

**Key words:** Optimization, vacuum evaporator, *fuzzy*, milk candy, response surface methodology

## PENDAHULUAN

Permen susu merupakan salah satu produk olahan yang dibuat dengan menggunakan bahan dasar susu dan gula dengan sistem karamelisasi untuk perubahan bentuk menjadi *amorf*.

Pada prinsipnya pembuatan permen susu adalah gula dan susu dipanaskan sampai seluruh air menguap sehingga semua cairan akhirnya adalah cairan gula yang lebur. Apabila proses pemanasan bahan terus dilakukan maka suhu pemasakan dapat

melampaui titik leburnya. Pemanasan dengan suhu tinggi akan berpengaruh pada kualitas hasil akhir produk.

Salah satu rekayasa teknologi adalah dengan membuat mesin produksi permen susu dengan inovasi tekanan pada *chamber* menjadi vakum, sehingga proses pembuatan permen susu dapat berjalan pada suhu yang lebih rendah dan terkontrol. Dengan demikian, kandungan gizi permen susu sebagai salah satu alternatif pengolahan akan semakin baik. Teknik ini menurunkan tekanan udara lebih rendah dari 1 atm serta memiliki keuntungan untuk mencegah kerusakan nutrisi pada susu dan penghematan energi dengan memanfaatkan uap yang terbentuk sebagai pemanas (Foust, 1980).

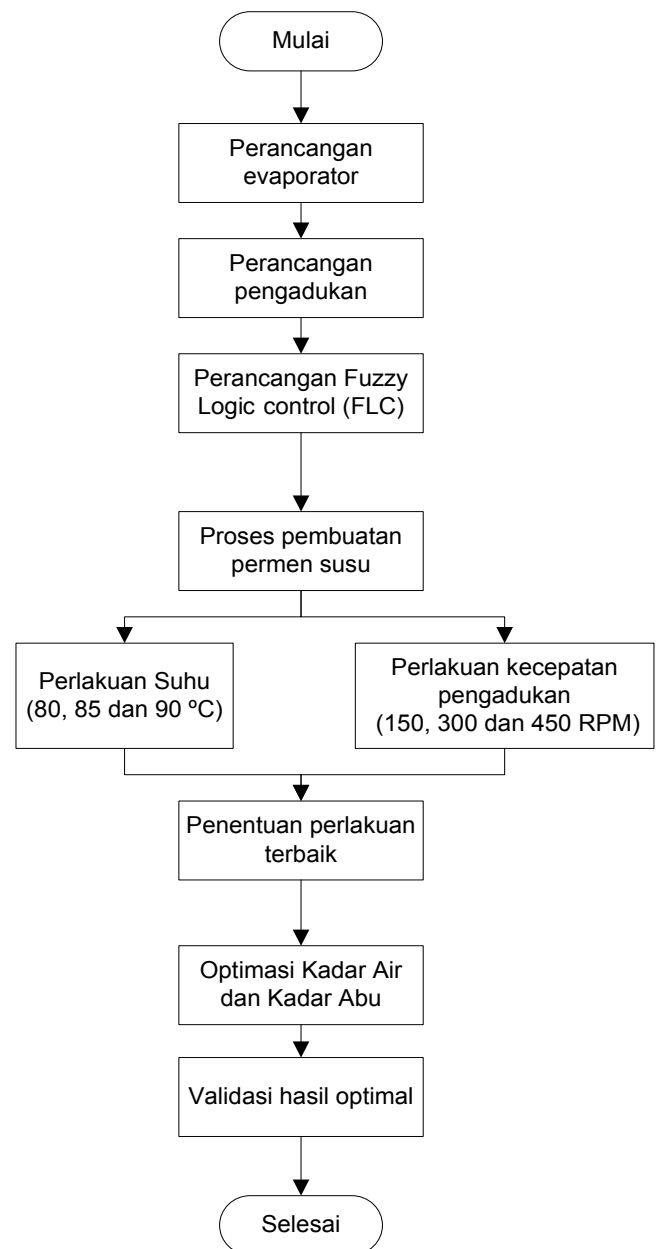
Pembuatan permen susu secara konvensional tidak ada faktor pengendalian suhu. Hal ini menyebabkan suhu dapat mencapai 140°C (Titik Lebur Sukrosa). Pengaplikasian kontrol suhu pada proses pembuatan permen susu diharapkan mampu menghindarkan produk dari *off-flavour* atau kegosongan. Sistem kontrol cerdas menurut Hendrawan dan Murase (2011a) dan Hendrawan dan Murase (2011b) berpotensi untuk memperbaiki kinerja dan optimasi suatu sistem, dalam hal ini untuk pengendalian suhu. Diantara sistem kontrol cerdas yang dapat digunakan adalah sistem kontrol berbasis logika fuzzy yang diklaim memiliki beberapa kelebihan dibandingkan sistem kontrol konvensional. Sistem kontrol berbasis fuzzy telah banyak dikembangkan untuk pengendalian suhu dengan menggunakan berbagai jenis piranti sistem kontrol (Kavitha dkk., 2012). Oleh karena potensi perbaikan kinerja tersebut, dalam penelitian ini pengendali suhu yang digunakan adalah pengendali fuzzy. Sistem kontrol dengan logika fuzzy juga dapat diintegrasikan pada mikrokontroler (Moorthy dkk., 2006) sehingga bisa menjadi sebuah sistem yang didedikasikan untuk tujuan tertentu (Nhivekar dkk., 2011). Penelitian Al Riza dkk. (2014) tentang rancang bangun fermentor yogurt dengan sistem kontrol logika fuzzy menyatakan bahwa hasil pengukuran proses fermentasi dengan menggunakan mode kontrol ON-OFF menunjukkan profil suhu dan error yang dinamis, sedangkan metode kontrol fuzzy memberikan profil suhu yang lebih stabil dan *error* yang lebih rendah.

Tujuan dari penelitian ini adalah membuat rancang bangun mesin evaporator vakum dalam produksi permen susu dengan pengendali suhu fuzzy yang diintegrasikan pada mikrokontroler. Tujuan yang lebih spesifik dari penelitian ini adalah mencari titik optimum suhu dan kecepatan pengadukan untuk mendapatkan produk permen susu dengan kualitas yang terbaik.

## METODE PENELITIAN

Secara umum penelitian ini dibagi menjadi tiga tahap. Tahap pertama adalah tahap perancangan mesin evaporator vakum dengan pengendali suhu *fuzzy* dan kontrol pengadukan.

Penelitian tahap dua adalah pembuatan permen susu dengan dua faktor perlakuan yaitu variasi suhu dengan nilai 80, 85 dan 90°C dan variasi kecepatan pengadukan dengan nilai 150, 300 dan 450 RPM. Kemudian dari penelitian tahap dua dilakukan pengujian nilai kadar air dan nilai kadar abu, sehingga diperoleh nilai perlakuan terbaik yang akan digunakan sebagai nilai tengah (0,0) untuk optimasi. Penelitian tahap tiga merupakan tahap optimasi dengan menggunakan metode *response surface methodology* (RSM) menggunakan model *central composite design* (CCD). Metode penelitian secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir metode penelitian

**Penelitian Tahap I : Perancangan Mesin Evaporator Vakum**

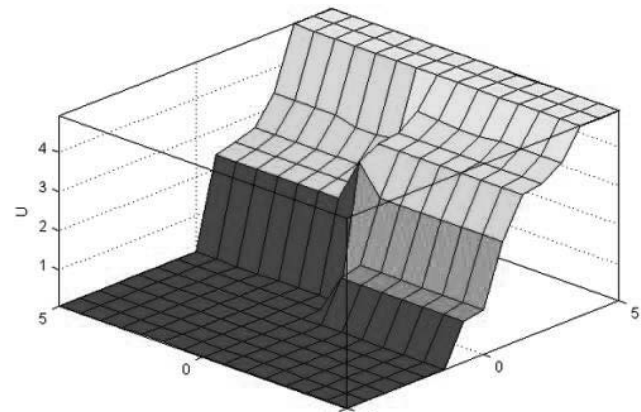
Mesin evaporator vakum dibuat dengan bahan *stainless steel* dengan kapasitas tabung sebesar 10 L susu. Sensor suhu yang digunakan adalah LM35 *waterproof*. Pengkodisian vakum pada *chamber* pemrosesan menggunakan *waterjet* yang terhubung dengan pompa. Proses pemasakan dilakukan dengan menggunakan *heater* listrik dengan daya sebesar 900 watt. Penelitian ini menggunakan jenis pengaduk dengan tipe dayung atau *paddle*. Desain pengaduk yang terdapat pada evaporator vakum dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Desain pengaduk tipe dayung yang digunakan pada evaporator vakum (A) dan pengaduk dalam *chamber* evaporator tampak dari atas (B)

Perancangan *Fuzzy Logic Controller* (FLC) yang digunakan dalam penelitian ini dimulai dengan menentukan struktur sistem pengendalian. Struktur sistem pengendalian yang dipilih dalam penelitian ini adalah sistem FLC dengan penggunaan langsung (*direct*), dimana untuk proses perancangan *hardware* sistem instrumentasi dan kontrol mengacu pada FLC penelitian Al Riza dkk. (2014). Secara umum struktur sistem FLC yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 3.

Sistem kontrol FLC dibuat dengan himpunan *fuzzy* (*fuzzyfikasi*) penskalaan 6 untuk sinyal E dan DE dan nilai U dengan penskalaan 1 (Al Riza dkk., 2014). Dua variabel input yang diberikan (D dan DE) dengan 5 *membership* (NB, NS, AZ, PS, PB) akan didapatkan 25 aturan *fuzzy* (*fuzzy rule base*) seperti yang terdapat pada Gambar 4.



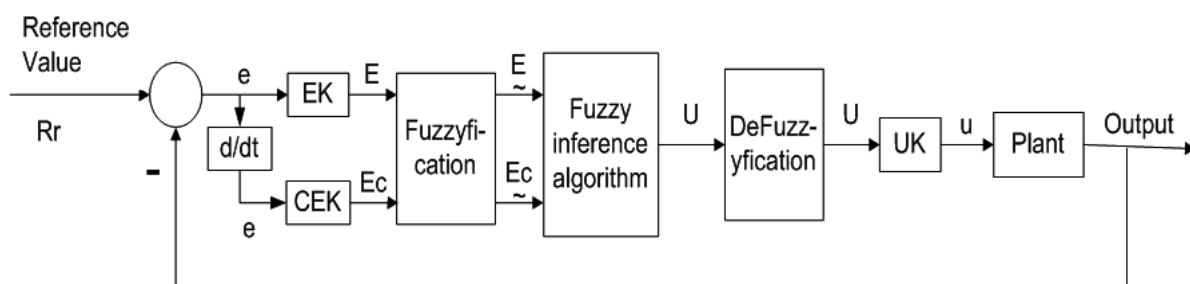
Gambar 4. *Surface plot* untuk *fuzzy rule base*

**Penelitian Tahap II : Proses Pembuatan Permen Susu**

Proses pembuatan permen susu ini menggunakan bahan baku susu sapi murni yang didapatkan dari Koperasi Unit Susu Dau Malang Jawa Timur, gula merk Gulaku, mentega merk *Blue Band*, dan cuka makanan. Alat yang digunakan pada penelitian meliputi evaporator vakum *waterjet* dengan tipe *double jacket*, rangkaian mikrokontroler Atmega 32, sensor LM35, tachometer, loyang, pisau, dan aluminium foil.

Proses pembuatan permen susu dilakukan dengan memasukkan susu 1 L, gula 200 g, margarin 2 g dan cuka makanan 1 mL ke dalam *chamber* evaporator. Waktu pemasakan adalah 140 menit dengan tekanan -69cmHg. Hasil permen susu selanjutnya dicetak dengan ukuran 3 x 3 cm dan ketebalan 0,7 cm. Selanjutnya dilakukan analisis kadar air dengan metode oven dan kadar abu dengan menggunakan *Furnace* menurut Apriyantono dkk. (1989).

Pada penelitian tahap kedua ini menggunakan metode penelitian rancangan faktorial yang terdiri dari 2 faktor masing-masing 3 level yaitu suhu (S1=80°C, S2=85°C, dan S3=90°C) dan kecepatan pengadukan (P1=150 RPM, P2=300 RPM, dan P3=450 RPM) dengan dua kali pengulangan. Tujuan dari penelitian tahap satu adalah untuk mendapatkan perlakuan terbaik dengan metode De Garmo dkk. (1984)



Gambar 3. Struktur sistem FLC yang digunakan

yang akan digunakan sebagai nilai tengah pada penelitian tahap selanjutnya (proses optimasi).

**Penelitian Tahap III : Optimasi Proses Menggunakan RSM**

Pada tahap ini metode optimasi menggunakan *response surface methodology* (RSM) dengan menggunakan dua faktor perlakuan yaitu suhu ( $X_1$ ) dan kecepatan pengadukan ( $X_2$ ). Sedangkan respon yang diuji adalah kadar air ( $Y_1$ ) dan kadar abu ( $Y_2$ ). Kedua parameter analisis yaitu kadar air dan kadar abu permen susu tertinggi yang didapatkan pada tahap sebelumnya akan dimasukkan ke dalam *software Design Expert 7.1.6* dan didapatkan rancangan kombinasi perlakuan *central composite design* (CCD) dengan dua respon. Hasil pengujian kadar air dan kadar abu dimasukkan ke tabel respon. Software akan menganalisis model yang paling sesuai dengan kondisi respon sehingga akan memunculkan titik optimal dari respon yang diberikan. Setelah mendapatkan hasil optimasi, selanjutnya dilakukan validasi untuk mengetahui tingkat akurasi model hasil optimasi. Validasi dilakukan dengan membandingkan hasil optimal prediksi dengan aktual. Hasil perbandingan diolah dengan menggunakan grafik regresi linier.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Hasil Perancangan Mesin dan Sistem Kontrol**

Hasil perancangan didapatkan serangkaian alat evaporator dengan daya heater sebesar 900W dengan kapasitas 10 L susu. Mikrokontroler ATMega32 melakukan proses pengendalian dengan menggunakan *input* berupa sinyal dari sensor LM35 dan sensor pH digunakan untuk memonitoring derajat keasaman pada susu selama proses karamelisasi

dilakukan. *Output* pengendalian dihubungkan dengan rangkaian *driver* dan *solid-state relay* untuk mengendalikan actuator (*heater*). Proses homegenisasi bahan yang diproses menggunakan agitator. Putaran agitator dapat dikontrol dengan menggunakan rangkaian pengontrol agitator yang telah dirangkai pada mesin. Hasil perancangan mesin dan system kontrol yang diterapkan dapat dilihat pada Gambar 5.

Pengontrolan kecepatan pengadukan menggunakan inverter yang terdapat pada rangkaian evaporator vakum. Nilai dari kecepatan pengadukan yang tertera di *display* adalah satuan *pulse width modulation* (PWM), sehingga untuk mengetahui berapa besar RPM yang diberikan agar dapat dilihat pada *display*, maka digunakan konversi dari RPM ke PWM. dengan menggunakan Tachometer.

**Hasil Perlakuan Terbaik Pembuatan Permen Susu**

Pada penelitian tahap ini telah didapatkan permen susu dengan kenampakan yang cukup baik berdimensi 3 x 3 cm yang selanjutnya dilakukan pengujian sampel dengan parameter uji kadar air dan kadar abu. Penentuan perlakuan terbaik dengan metode pembobotan (De Garmo dkk., 1984), menggunakan bantuan 20 panelis untuk menentukan tingkat bobot parameter pengujian yang dilakukan. Selanjutnya menentukan nilai efektivitas (NE) dengan rumus:

$$NE = \frac{\text{Nilai Perlakuan} - \text{Nilai Terburuk}}{\text{Selisih}} \tag{1}$$

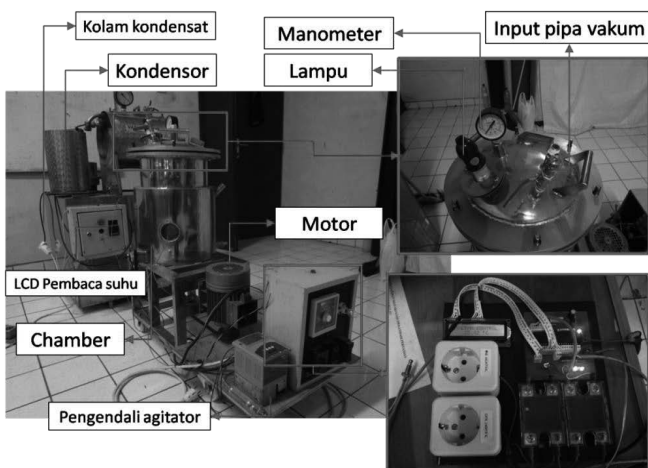
Kemudian dilakukan perhitungan nilai produk (NP) dengan rumus:

$$NP = NE \times \text{bobot} \tag{2}$$

Nilai akhir bobot tertinggi yaitu sebagai perlakuan terbaik didapatkan pada perlakuan suhu 85°C dan kecepatan pengadukan sebesar 300 RPM dimana pada perlakuan tersebut nilai parameter terbaik untuk kadar air sebesar 6,61 ± 1,26 % dan kadar abu sebesar 1,87 ± 0,05 %. Sehingga nilai suhu 85°C dan kecepatan pengadukan sebesar 300 RPM akan menjadi nilai tengah (titik nol) pada tahap optimasi.

**Analisis Permukaan Respon**

Kombinasi rancangan percobaan yang diperoleh dari CCD kemudian dilakukan penelitian sebanyak 13 sampel. Selanjutnya diuji kembali meliputi kadar air dan kadar abu yang nanti masuk ke dalam tabel respon kadar air ( $Y_1$ ) dan respon kadar abu ( $Y_2$ ). Berdasarkan penelitian yang mengacu pada tabel rancangan CCD maka didapatkan kombinasi perlakuan optimasi beserta data respon yang dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 5. Evaporator vakum *waterjet* permen susu dengan sistem pengontrol suhu berbasis *fuzzy*

Tabel 1. Data respon kadar air dan kadar abu dari rancangan CCD

Run	Suhu (Coded)	Kecepatan (Coded)	Suhu (Actual)	Kecepatan (Actual)	Kadar Air (%)	Kadar Abu (%)
1	-1	-1	80	150	5,04	1,84
2	1	-1	90	150	5,42	2,18
3	-1	1	80	450	5,83	1,82
4	1	1	90	450	4,98	1,82
5	-1,4142	0	77,93	300	6,41	1,71
6	1,4142	0	92,07	300	5,47	1,55
7	0	-1,4142	85	88	5,16	2,24
8	0	1,4142	85	512	4,34	1,66
9	0	0	85	300	4,24	1,96
10	0	0	85	300	4,39	1,96
11	0	0	85	300	4,05	2,03
12	0	0	85	300	5,01	1,81
13	0	0	85	300	4,62	1,80

Hasil uji statistik menggunakan DX 7.1.6, analisis ragam digunakan untuk mengetahui efek dari variabel terhadap respon Y. Berdasarkan hasil Anova untuk respon kadar air ( $Y_1$ ) bahwa model berpengaruh nyata atau signifikan terhadap respon dimana nilai P adalah 0,01. Menurut Ernes dkk. (2014) respon berpengaruh nyata jika memiliki nilai P kurang dari 5%. Untuk ketidaktepatan pengujian atau nilai *lack of fit* adalah 0,51 tidak signifikan menunjukkan model sudah sesuai. Nilai  $R^2$  adalah sebesar 0,83% yang menunjukkan bahwa variabel suhu dan kecepatan pengadukan memberikan pengaruh sebesar 83,23% pada nilai respon kadar air, sedangkan 16,77% dipengaruhi faktor lain yang tidak dimasukkan dalam model. Nilai *Adjusted R<sup>2</sup>* sebesar 0,71, menunjukkan keceratan hubungan antara suhu dan kecepatan pengadukan terhadap respon. Adapun untuk respon kadar abu ( $Y_2$ ) nilai P model sebesar 0,08 (> 5%) dimana variabel tidak berpengaruh nyata terhadap respon kadar abu. Nilai *lack of fit* sebesar 0,15 (> 10%), tidak signifikan terhadap ketidaktepatan, sehingga model dinyatakan sesuai. Nilai  $R^2$  sebesar 0,70 dan nilai *Adjusted R<sup>2</sup>* sebesar 0,49. Penurunan nilai *Adjusted R<sup>2</sup>* akan terjadi jika variabel yang ditambahkan pada pemodelan tidak memberikan pengaruh (Montgomery, 2001). Selanjutnya didapatkan persamaan kanonikal yang diperoleh setelah analisis model dan ragam:

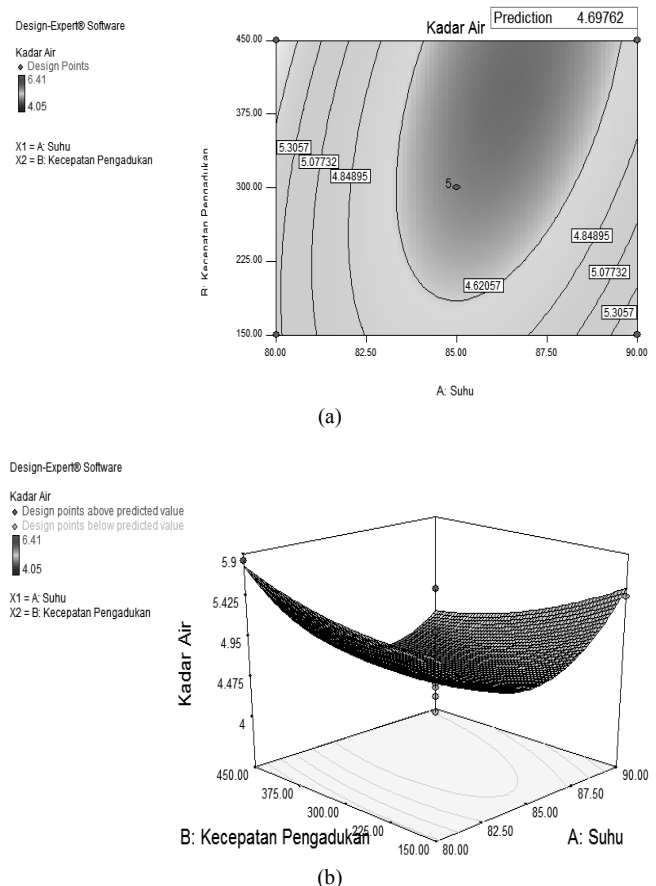
$$Y_1 = +210,16568 - 4,90043 X_1 + 0,030519 X_2 - 4,1 \times 10^{-4} X_1 X_2 + 0,029285 X_1^2 + 6,0944 \times 10^{-6} X_2^2 \quad (3)$$

$$Y_2 = -32,43636 + 0,78314 X_1 + 7,29313 \times 10^{-3} X_2 - 1,13333 \times 10^{-4} X_1 X_2 - 4,39 \times 10^{-3} X_1^2 + 2,23333 \times 10^{-6} X_2^2 \quad (4)$$

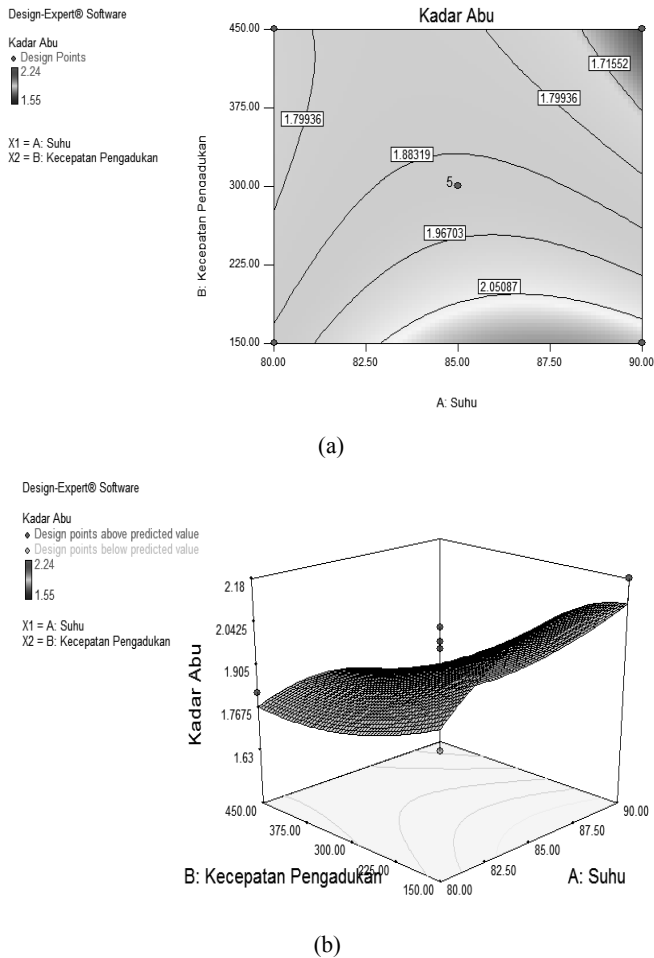
Keterangan:  $Y_1$  adalah kadar air,  $Y_2$  adalah kadar abu,  $X_1$  adalah suhu dan  $X_2$  adalah kecepatan pengadukan.

### Optimasi Respon Kadar Air dan Kadar Abu

Suhu dan kecepatan pengadukan dalam pembuatan permen susu merupakan variabel yang berpengaruh terhadap presentase kadar air dan kadar abu. Berdasarkan analisis grafik pada Gambar 6 terjadi penurunan respon kadar air seiring dengan meningkatnya variabel suhu dan kecepatan pengadukan, namun apabila variabel tersebut ditingkatkan lebih jauh lagi maka respon kadar air akan meningkat. Hasil respon terbaik didapatkan pada suhu 85°C dan kecepatan pengadukan 300 RPM dengan nilai respon 4,24, setelah melewati titik ini nilai respon mengalami peningkatan menjadi 4,62. Meningkatnya kadar air saat suhu dan kecepatan pengadukan ditingkatkan dipengaruhi oleh terjadinya reaksi karamelisasi. Reaksi ini terjadi pada saat pemanasan gula melampaui titik lebur, titik lebur normal adalah 170°C namun saat kondisi vakum titik leburnya akan turun, hal ini memungkinkan pada suhu ditingkatkan terjadi reaksi karamelisasi dimana setiap molekul sukrosa dipecah menjadi sebuah molekul glukosa dan fruktosa (fruktosa yang kekurangan satu molekul air). Suhu yang tinggi mampu mengeluarkan molekul air dari setiap molekul gula sehingga



Gambar 6. Grafik pengaruh suhu dan kecepatan pengadukan terhadap respon kadar air *Contour Plot* (a) dan grafik 3D (b)



Gambar 7. Grafik pengaruh suhu dan kecepatan pengadukan terhadap respon kadar abu *Contour Plot* (a) dan grafik 3D (b)

terjadilah glukosan, molekul yang analog dengan fruktosan (Winarno, 1994).

Adapun analisis grafik pada Gambar 7 menunjukkan bahwa nilai persentase kadar abu optimum (1,55%) berada pada suhu 92,07°C dan kecepatan pengadukan 300 RPM. Pengadukan bertujuan untuk memperbanyak kontak antar bahan sehingga menjadi homogen. Kadar abu menggambarkan kandungan mineral suatu bahan. Kadar abu lebih dipengaruhi oleh bahan baku suatu produk. Berdasarkan SNI permen karamel No. 3547.2 tahun 2008, kadar air maksimal adalah 7,5% dan kadar abu maksimal untuk permen susu adalah 2%. Pada penelitian ini keseluruhan hasil nilai respon telah sesuai dengan nilai SNI.

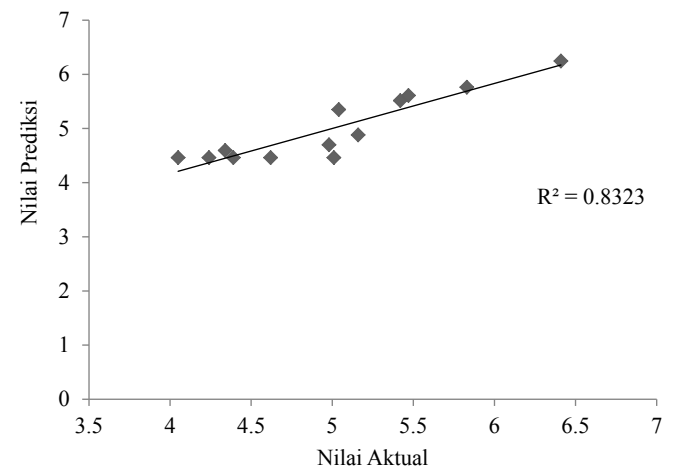
### Penentuan Kondisi Optimum Respon Kadar Air dan Kadar Abu

Optimasi produksi permen susu berdasarkan respon kadar air dan kadar abu menggunakan *software design expert* 7.1.6 digunakan untuk mengidentifikasi kombinasi terbaik dari variabel suhu dan kecepatan pengadukan. Solusi

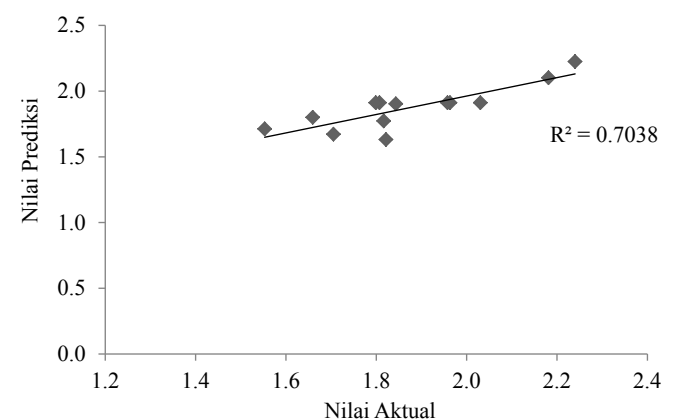
optimum yang ditawarkan oleh model RSM adalah pada suhu 90,18°C dan kecepatan pengadukan 512 RPM. Hasil solusi tersebut akan menghasilkan nilai kadar air sebesar 4,69% dan kadar abu sebesar 1,57%. Hasil *desirability* atau ketepatan hasil solusi optimal menunjukkan nilai 0,84. Nilai *desirability* 1 mengindikasikan respon *the perfect case*, tetapi nilai *desirability* 0 mengindikasikan respon harus dibuang (Laluce dkk., 2009).

### Validasi Hasil Prediksi Model

Validasi diperlukan untuk menguji keakuratan model dalam menggambarkan kondisi empiris. Pada penelitian ini validasi dilakukan dengan memasukkan nilai prediksi yang diberikan oleh *software* dengan hasil aktual. Grafik perbandingan nilai prediksi dan aktual untuk respon kadar air dan kadar abu dapat dilihat pada Gambar 8 dan Gambar 9.



Gambar 8. Perbandingan nilai prediksi dan aktual untuk respon kadar air (%)



Gambar 9. Perbandingan nilai prediksi dan aktual untuk respon kadar abu (%)

Berdasarkan perbandingan antara nilai prediksi dan nilai aktual penelitian didapatkan nilai  $R^2$  untuk  $Y_1$  sebesar 0,83 (83,23%) dan  $Y_2$  sebesar 0,70 (70,38%). Nilai akurasi

untuk respon  $Y_1$  maupun  $Y_2$  baik, karena memiliki *probability of acceptance* ( $P_a$ ) lebih dari 59%. Hal ini sesuai dengan pendapat Haury (2008), bahwa validasi dirancang untuk mengetahui model yang akan diimplementasikan pada produksi di masa depan. Berdasarkan probabilitas penerimaan ( $P_a$ ), nilai  $P_a$  100% memiliki *lot quality in percent defective* 0% (*Perfect lot*). Sedangkan untuk  $P_a$  59% memiliki *lot quality in percent defective* 10% (*1 defective in 10 items*). Sehingga pada hasil validasi ( $Y_1 = 83,23\%$  dan  $Y_2 = 70,38\%$ ) ini menunjukkan bahwa model yang didapatkan sudah dapat diterima dan dapat memberikan nilai optimal pada respon yang diinginkan.

## KESIMPULAN

Perancangan mesin evaporator vakum *waterjet* tipe *double jacket* dengan pengendalian suhu berbasis logika *fuzzy* dan pengendalian kecepatan pengadukan dapat menghasilkan produk permen susu yang baik. Kondisi optimum permen susu berdasarkan respon kadar air dan kadar abu diperoleh pada suhu 90,18 °C dan kecepatan pengadukan 512 RPM, dengan prediksi produk permen susu memiliki nilai kadar air 4,69% dan kadar abu 1,57%. Tingkat akurasi prediksi dan hasil validasi dengan persamaan adalah 83,23% untuk respon kadar air dan 70,38% untuk respon kadar abu.

## DAFTAR PUSTAKA

- Al Riza, D.F., Damayanti, R., Hendrawan, Y. (2014). Rancang bangun fermentor yogurt dengan sistem kontrol logika *fuzzy* menggunakan mikrokontroler Atmega32. *Agritech* **34**(4): 456-462.
- Apriyantono, A., Fardiaz, D., Puspita S.N.L., Sedarwati, dan Budiyo, S. (1989). Analisis Pangan. Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi Pusat Antar Universitas Pangan dan Gizi. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Badan Standar Nasional (2008). SNI No. 3547.2 Permen Karamel.
- Ernes, A., Lia R., Agustin K.W. dan Joni K. (2014). Optimasi bagas tebu oleh *Zymomonas mobilis* CP4 (NRRL B-14023) untuk produksi bioetanol. *Agritech* **34**(3): 247-256.
- Foust, A.S. (1980). *Principles of Unit Operations*. John Wiley and Sons, Inc. London.
- De Garmo, E.P., Sullivan, W.G. dan Canada, J.R. (1984). *Engineering Economy Seventh Edition*. Macmillan publishing Company. New York.
- Haury, J. (2008). Improving validation through the use of confidence statements based on attributes acceptance sampling. *The Journal of Validation Technology* **58**:84-90.
- Hendrawan, Y. dan Murase, H. (2011a). Neural intelligent water drops algorithm to select relevant textural features for developing precision irrigation system using machine vision. *Computers and Electronics in Agriculture* **77**(2): 214-228.
- Hendrawan, Y. dan Murase, H. (2011b). Bio-inspired feature selection to select informative image features for determining water content of cultured Sunagoke moss. *Expert Systems with Applications* **38**(11): 14321-14335.
- Kavitha, S., Chinthamani, B. dan Ponmalar, S.J. (2012). Fuzzy based control using lab view for temperature process. *International Journal of Advanced Computer Research* **2**: 8-13.
- Laluce, C., Tognolli, J.O., Oliveira, K.F.D., Souza, C.S. dan Morais, M.R. (2009). Optimization of temperature, sugar concentration and inoculum size to maximize ethanol production without significant decrease in yeast cell viability. *Applied Microbiology and Biotechnology* **83**: 627-637.
- Montgomery, D.C. (2001). *Design and Analysis of Experiments*. John Wiley and Sons, New York.
- Moorthy, M.R., Simon, J.S. dan Thirumurugan, K. (2006). *Fuzzy Based Temperature Control Using Microcontroller*. Anna University, Kattankulathur.
- Nhivekar, G.S., Nirmale, S.S. dan Mudholker, R.R. (2011). Implementation of fuzzy logic control algorithm in embedded microcomputers for dedicated application. *International Journal of Engineering, Science and Technology* **3**: 276-283.
- Winarno, F.G. (1994). *Bahan Tambahan Makanan*. Gramedia. Jakarta.