

OPTIMIZATION OF THE BOILING AND SOAKING TIMES OF TEMPEH WITH THE USE OF FUZZY LOGIC METHOD

Arief Wijaya¹⁾, Atris Suyantohadi²⁾,

ABSTRACT

*Boiling and soaking times of tempeh production processes are two factors influencing the quality of soybean fermentation of tempeh fungi (*Rhizopus oligosporus* sp.). An optimal production processes period would help reducing production costs and improve the quality of tempeh fungi. This study aimed at designing and applying fuzzy logic technique in optimizing boiling and soaking times to produce the top amount of tempeh product. Combination of boiling and soaking times of tempeh were used for composing fuzzy inference and fuzzy rule-based system. Soaking times were measured within interval 10 hours up to 40 hours. Boiling times were measured within interval 10 minutes to 60 minutes. The latter stage was used to compose fuzzy inference system. Using 24 fuzzy rules implemented in the system, the result was used to find the optimum boiling and soaking process time during tempeh production. Comparison with actual data was made by means of quadratic regression analysis ($SEE=14$) and found that fuzzy logic ($SEE=2$) was more accurate resulting in a lower error prediction value in finding the most optimum solution of the processes time.*

Keywords: Optimization, boiling time, soaking time, tempeh fungi, fuzzy logic, fuzzy inference

PENDAHULUAN

Tempe merupakan makanan yang kaya akan sumber protein. Hal ini disebabkan karena kedelai sebagai bahan baku tempe memiliki kandungan protein yang lebih tinggi dibandingkan dengan jenis kacang-kacangan yang lain seperti kacang tanah, kacang hijau, dan sebagainya (Sutrisno, 1994). Proses produksi tempe secara umum terdiri dari proses perendaman bahan baku kedelai, proses perebusan untuk memudahkan pengulitan, pendidihan bahan, dan inokulasi serta fermentasi oleh jamur tempe.

Pengembangan industri tempe, umumnya dilakukan dengan cara tradisional dan masih dapat disederhanakan guna meningkatkan efisiensi proses produksi. Waktu perendaman dan perebusan yang optimal dalam proses produksi tempe dapat memperkecil biaya produksi (dikarenakan waktu proses menjadi lebih terkendali) juga berpengaruh pada tingkat kualitas produk tempe yang dihasilkan. Hesseltine (1963) menjelaskan bahwa dalam kedelai terdapat bahan anti jamur larut dalam air. Hal ini dapat menyebabkan tidak tumbuhnya jamur tempe pada kedelai yang hanya mendapatkan perlakuan perebusan saja. Untuk menghilangkan bahan tersebut harus dilakukan perendaman dalam waktu yang cukup lama. Sementara proses perebusan

tempe umumnya dilakukan pada suhu tinggi ($> 100^{\circ}\text{C}$). Hal ini biasa dilakukan oleh industri besar, didukung oleh fasilitas peralatan yang memadai guna memperpendek waktu pengolahan, mengurangi pelarutan bahan padat ke dalam limbah, mengurangi dampak negatif pada lingkungan serta memperbaiki sterilisasi produk.

Penelitian ini mengaplikasikan teknologi fuzzy logic dalam menentukan waktu proses perendaman dan perebusan yang optimal sehingga akan diperoleh cara pengolahan yang lebih baik, perbaikan nutrisi, dan pengurangan kehilangan bahan terlarut yang berdampak pada pencemaran lingkungan guna menekan biaya produksi, serta mendapatkan mutu produk yang lebih baik.

Metode fuzzy logic telah diaplikasikan pada berbagai bidang seperti pengendalian otomatis, klasifikasi data, analisis keputusan, sistem pakar dan visi komputer (Altroc, 1995). Teknologi fuzzy logic didasarkan pada kaidah cara untuk memetakan suatu ruang input ke ruang output. Sistem inferensi dalam teknologi fuzzy logic dilakukan melalui beberapa tahapan: 1) tahap membentuk himpunan-himpunan fuzzy pada setiap variabel, dimana himpunan fuzzy merupakan suatu himpunan yang setiap anggotanya memiliki derajat keanggotaan yang bernilai kontinyu antara 0 sampai 1; 2) tahap membentuk aturan yang mengikuti kaidah *IF anteseden* dan *THEN konsekuensi*; 3) tahap aplikasi fungsi implikasi dan komposisi antar aturan Dengan melakukan penegasan yang bertujuan mencari nilai tegas pada daerah fuzzy hasil dari komposisi antar aturan; 4) tahap pengujian dan evaluasi akurasi hasil yang diperoleh.

Saat ini telah dikembangkan model-model *soft computing* untuk mendapatkan solusi yang mendekati (*approximate solution*) atas permasalahan yang diformulasikan dengan teliti (Suyantohadi, 2001). Penelitian ini bertujuan untuk mendesain sistem fuzzy logic atas variabel input waktu proses perendaman dan perebusan dan menyusun aturan dan inferensi sehingga dapat menghasilkan luaran produk tempe dengan berat yang maksimal. Disamping desain sistem fuzzy logic, penelitian ini juga bertujuan untuk mengaplikasikan teknik fuzzy logic untuk penentuan optimasi waktu perendaman dan perebusan dalam proses produksi tempe dan melakukan pengujian terhadap akurasi hasil dari pendekatan sistem fuzzy logic dengan metoda pendugaan regresi kuadratik terhadap hasil aktual.

^{1), 2)} Staf Pengajar Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada

METODE PENELITIAN

1. Bahan Penelitian

Penelitian ini dilakukan di industri kecil pengolahan tempe di daerah Bantul, Yogyakarta dimana dilakukan pengamatan dan pengukuran terhadap waktu proses perendaman dan perebusan selama proses pengolahan tempe berlangsung. Waktu pengukuran pada proses perendaman diukur dalam interval 10 jam hingga 40 jam. Sementara waktu perebusan diukur 10 menit hingga 60 menit. Bahan baku yang dipergunakan adalah bahan kedelai seberat 250 gram pada masing-masing pengukuran dan pada umumnya akan menghasilkan tempe jadi dengan berat antara 350 hingga 400 gram.

2. Metode Penelitian

- Melakukan pengukuran atas variabel input waktu proses perendaman dan perebusan dalam berbagai interval waktu serta hasil produk tempe yang dihasilkan.
- Membentuk himpunan fuzzy dari variabel input sesuai dengan kombinasi variabel yang dihasilkan dari pengamatan di laboratorium.
- Membentuk inferensi dan aturan sistem fuzzy yang sesuai dengan kaidah perlakuan waktu proses perendaman dan perebusan dan pengaruhnya terhadap jumlah produk tempe yang dihasilkan.
- Mengaplikasikan metoda fuzzy menggunakan perangkat lunak computer guna menentukan waktu proses perendaman dan perebusan yang optimal dalam proses pengolahan tempe.
- Menguji akurasi waktu proses produksi optimal dengan membandingkan nilai prediksi kesalahan data hasil perhitungan metode fuzzy dan regresi kuadratik dengan data aktualnya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Waktu proses perendaman dan perebusan sangat menentukan keberhasilan dalam proses fermentasi tempe dan jumlah produk tempe yang dihasilkan. Kombinasi perlakuan waktu perendaman dan waktu perebusan yang sesuai akan memberikan hasil maksimal terhadap jumlah tempe jadi yang dihasilkan.

Pengamatan waktu proses perendaman terhadap berat produk tempe yang dihasilkan disusun atas pengukuran waktu perendaman sangat pendek (*very short*) = 10 jam, pendek (*short*) = 20 jam, panjang (*long*) = 30 jam dan sangat panjang (*very long*) = 40 jam. Sedangkan waktu proses perebusan terhadap berat produk tempe yang dihasilkan disusun atas pengukuran waktu sangat pendek (*very short*) = 10 menit, pendek (*short*) = 20 menit, agak pendek (*less short*) = 30 menit, agak lama (*less long*) = 40 menit, lama (*long*) = 50 menit dan sangat lama (*very long*) = 60 menit. Referensi hasil dari perlakuan waktu perendaman dan perebusan ditunjukkan pada Gambar 1 dan Gambar 2.

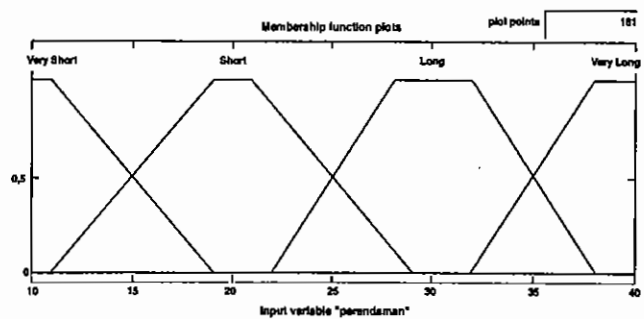


Figure 1. Fuzzy Membership Function Reference of the Soaking Time

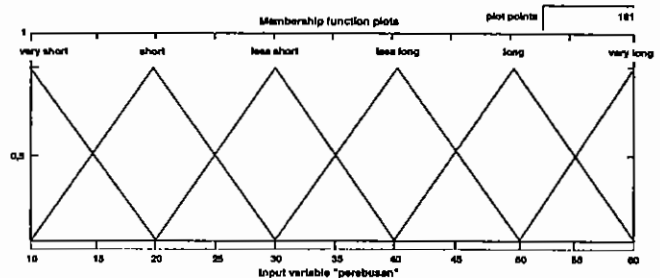


Figure 2. Fuzzy Membership Function Reference of the Boiling Times

Representasi kombinasi perlakuan waktu perendaman dan perebusan menghasilkan berbagai kombinasi yang dinyatakan dalam aturan fuzzy dan menggambarkan relasi input kombinasi waktu perendaman dan perebusan dengan berat tempe jadi yang dihasilkan. Aturan Fuzzy yang menggambarkan kombinasi perlakuan waktu perendaman dan perebusan ditunjukkan dalam Tabel 1.

Table 1. Fuzzy Rules Set for the Soaking and Boiling Times of Tempeh

IF Soaking Times	THEN Boiling Times	Weight (gram) ^{a)}
Very Short	Very Short	0
Very Short	Short	0
Very Short	Less Short	0
Very Short	Less Long	0
Very Short	Long	0
Very Short	Very Long	0
Short	Very Short	397.24
Short	Short	401.99
Short	Less Short	365.99
Short	Less Long	373.79
Short	Long	366.14
Short	Very Long	375.74
Long	Very Short	359.04
Long	Short	364.54
Long	Less Short	365.55
Long	Less Long	377.60
Long	Long	402.33
Long	Very Long	402.39
Very Long	Very Short	375.74
Very Long	Short	386.26
Very Long	Less Short	361.14
Very Long	Less Long	385.11
Very Long	Long	371.72
Very Long	Very Long	408.97

*) Based on mean values from three times measurement
 Proses inferensi sistem fuzzy dilakukan menggunakan perangkat lunak Fuzzy System dari Toolbox Matlab berdasarkan aturan fuzzy yang telah disusun, sehingga diperoleh proses inferensi yang menggambarkan kombinasi waktu proses perendaman dan proses perebusan yang optimal. Proses ini dapat dilakukan dengan prosedur simulasi berbagai perlakuan waktu perendaman dan perebusan. Hasil pengolahan inferensi fuzzy untuk berbagai kombinasi perlakuan waktu perendaman dan perebusan ditunjukkan pada Gambar 3.

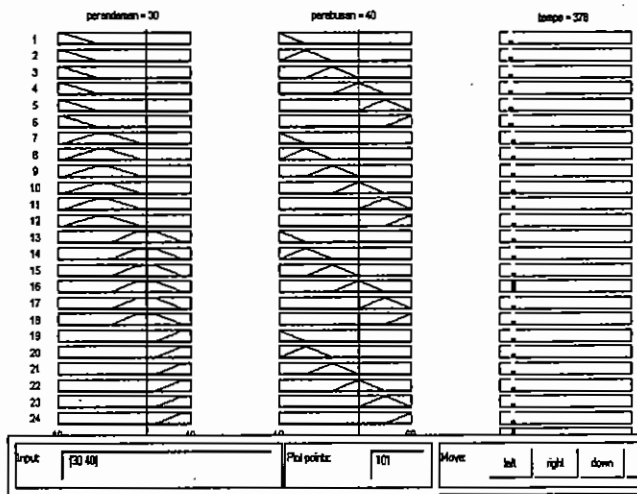
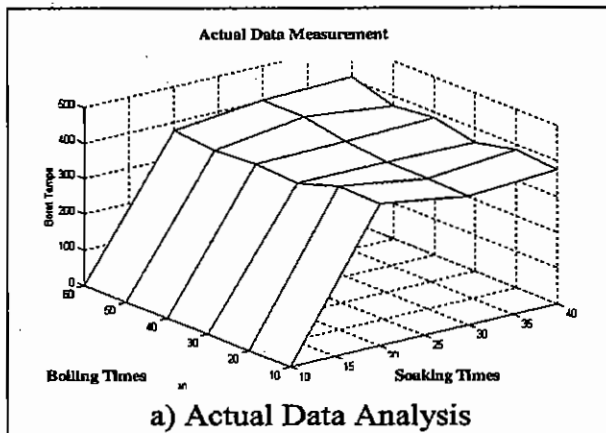
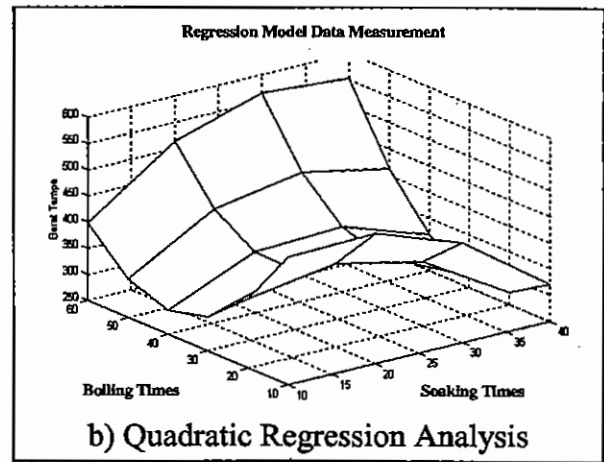


Figure 3. Fuzzy Inference System of Soaking and Boiling Times

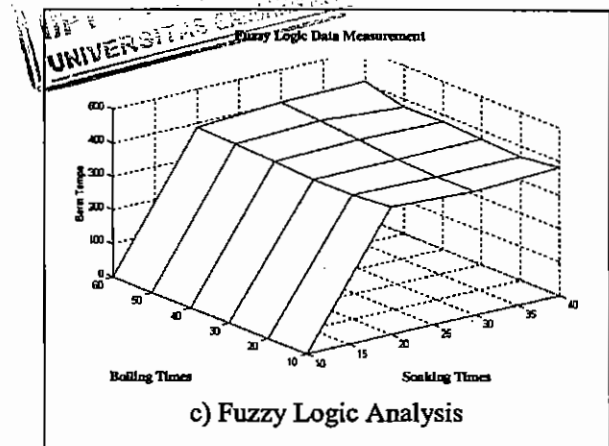
Dari perbandingan hasil perlakuan berbagai kombinasi waktu perendaman dan perebusan ternyata tingkat kesalahan metoda fuzzy logic ($SEE=2$) jauh lebih kecil dibanding dengan tingkat kesalahan jika menggunakan analisa regresi kuadratik ($SEE=14$). Perbandingan hasil perhitungan dengan kedua metoda dalam berbagai kombinasi waktu perendaman dan perebusan ditunjukkan pada Gambar 4. Dari berbagai kombinasi waktu perendaman dan perebusan terhadap produk tempe yang dihasilkan terlihat plot data dengan metoda fuzzy logic mendekati kondisi yang sama dibanding dengan pendekatan matematik menggunakan analisa regresi kuadratik.



a) Actual Data Analysis



b) Quadratic Regression Analysis



c) Fuzzy Logic Analysis

Figure 4 Comparison of Actual Data, Quadratic Regression and Fuzzy Logic Analysis Prediction Results

Optimasi Waktu Proses Perendaman dan Perebusan

Berdasarkan hasil inferensi sistem fuzzy dari berbagai perlakuan waktu perendaman dan perebusan, kemudian dilakukan optimasi hasil dengan mengamati berbagai kombinasi waktu proses tersebut dibandingkan dengan jumlah produk tempe yang dihasilkan. Tabel 2 menunjukkan kombinasi perlakuan waktu perendaman dan perebusan yang optimal serta jumlah produk tempe yang dihasilkan.

Table 2. Optimization of Soaking and Boiling Times of Tempeh Production Process

Soaking Times (hours)	Boiling Times (minutes)	Weight (gram)
20	10	394
21	10	397
22	10	397
23	10	390
24	10	384
25	10	378

Dari berbagai kombinasi waktu perendaman antara 20 hingga 25 jam, berat tempe yang dihasilkan berkisar antara 378 gram hingga 397 gram. Waktu perendaman yang

menghasilkan jumlah produk tempe maksimal adalah pada saat waktu perendaman berlangsung antara 21 hingga 22 jam dengan asumsi waktu perebusan selama 10 menit.

KESIMPULAN

Solusi atas aplikasi sistem fuzzy logic sesuai dengan fungsinya guna menentukan optimasi waktu proses perendaman dan perebusan pembuatan tempe dapat diterapkan dengan menentukan kombinasi waktu perendaman dan perebusan yang optimal. Dari sisi akurasi hasil, metode fuzzy logic memiliki nilai kesalahan prediksi lebih kecil ($SEE=2$) dibandingkan nilai kesalahan prediksi menggunakan metoda regresi kuadratik ($SEE=14$).

Metode fuzzy logic dalam penelitian ini diaplikasikan untuk menentukan optimasi proses atas variabel yang berpengaruh (waktu proses perendaman dan perebusan) selama proses produksi tempe guna menghasilkan jumlah tempe yang maksimal. Dengan bantuan perangkat lunak komputer, simulasi data menggunakan metoda fuzzy dalam menentukan waktu proses yang optimal dapat dilakukan dengan mudah dan diperoleh hasil waktu proses yang optimal adalah pada saat waktu perendaman berlangsung antara 21-22 jam dengan waktu perebusan selama 10 menit, dan menghasilkan produk tempe sejumlah 397 gram.

DAFTAR PUSTAKA

- Altrock, 1995, *Fuzzy Logic & Neuro Fuzzy Applications Explained*, Prentice hall, USA
- Atris Suyantohadi, 2001, *Identifikasi Tingkat Ketuaan dan Kualitas Mangga Menggunakan Neural Network*, Thesis S-2 Fakultas Pasca Sarjana, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta
- Bambang, R, (2001), *Application of Fuzzy Logic Control to Tea Rolling Process*, IFAC-CIGR Workshop on Intelligent Control for Agricultural Application
- Gulley, Ned, dan J.S. Rpper Jang, 1999, *Fuzzy logic ToolBox*, The Mathworks Inc, USA
- Hessiltine, C.W., Camargo, R., dan Rackis, J.J., 1963, *A mould Inhibior in Soybeans*, Nature. USA
- Kasmidjo, R.B. 1994, *Teknologi Pembuatan Tempe sebagai Dasar Pengembangan Industri Tempe Modern*, Bahan Simposium Nasional Tempe, Yogyakarta
- Kasmidjo, R.B., 1990, *Tempe, Mikrobiologi dan Biokimia Pengolahan Serta Pemanfaatannya*, Pusat Antar Universitas Pangan dan Gizi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta
- Koswara, K, 1992, *Teknologi Pengolahan Kedelai, Menjadikan Makanan bermutu*, Pustaka Sinar Harapan, Jakarta
- Mulyowidarso, R.K. 1989, *The Microbial ecology of soybean soaking for tempe production*, International Journal of Food Microbiology
- Purnomo, H., 2000, *Aplikasi Sistem Fuzzy untuk Optimasi Variabel Lingkungan Kerja*, Proseding Seminar Nasional Aplikasi Sistem Cerdas dalam Rekayasa dan Bisnis, Universitas Gadjah Mada Press, Yogyakarta
- Seminar, K, Suhardiyanto, H., dan Chadirim Y., 2001, *Development of a pH Control System and Flow Hydroponic Culture based on Fuzzy Logic*, IFAC-

CIGR Workshop on Intelligent Control for Agricultural Application

Sutrisno, N., 1994, *Tinjauan Ekonomi Tempe Indonesia*, bahan untuk Simposium Nasional Tempe, Yogyakarta

Wang, L, 1997, *A Course In Fuzzy Systems and Control*, International Edition Prentice hall Inc, USA