



Implementation of Fuzzy Logic Tsukamoto to Optimize the Quantity of Packaged Ice Cube Production

Implementasi Logika Fuzzy Tsukamoto untuk Optimasi Jumlah Produksi Es Batu Kemasan

Yurjaa Ghoniyyan Purba^{1*}, Donny Avianto²

^{1,2}Program Studi Informatika, Fakultas Sains dan Teknologi,
Universitas Teknologi Yogyakarta, Indonesia

E-Mail: ¹yurjaa.5210411235@student.uty.ac.id, ²donny@uty.ac.id

Received Sep 26th 2024; Revised Nov 15th 2024; Accepted Nov 20th 2024; Available Online Dec 5th 2024
Corresponding Author: Yurjaa Ghoniyyan Purba
Copyright © 2025 by Authors, Published by Institut Riset dan Publikasi Indonesia (IRPI)

Abstract

Determining accurate production quantities is important in production planning, especially when facing fluctuating demand which is often a major challenge. This uncertainty in demand requires optimization so that the amount of production produced can meet consumer needs without causing excess stock accumulation. One approach that can be used to determine the amount of production is the Fuzzy Logic method, specifically the Tsukamoto method, which considers demand and inventory variables. This research aims to apply the Tsukamoto method in determining the amount of production of packaged ice cubes. Research data was obtained through interviews with business owners and included historical data on production, demand, and inventory of packaged ice cubes. The results showed that the developed system produced a Mean Absolute Percentage Error (MAPE) of 1.86% and a prediction accuracy of 98.14%. The MAPE value which is below 10% indicates that this system is able to provide an optimal and effective prediction of the amount of production.

Keyword: Fuzzy Logic, MAPE, Optimization, Production, Tsukamoto Method

Abstrak

Menentukan jumlah produksi yang akurat merupakan hal penting dalam perencanaan produksi, terutama ketika menghadapi fluktuasi permintaan yang seringkali menjadi tantangan utama. Ketidakpastian dalam permintaan ini memerlukan optimasi agar jumlah produksi yang dihasilkan dapat memenuhi kebutuhan konsumen tanpa menyebabkan penumpukan stok berlebih. Salah satu pendekatan yang dapat digunakan untuk menentukan jumlah produksi adalah metode Logika Fuzzy, khususnya metode Tsukamoto, yang mempertimbangkan variabel permintaan dan persediaan. Penelitian ini bertujuan untuk menerapkan metode Tsukamoto dalam menentukan jumlah produksi es batu kemasan. Data penelitian diperoleh melalui wawancara dengan pemilik usaha dan mencakup data historis produksi, permintaan, serta persediaan es batu kemasan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan menghasilkan Mean Absolute Percentage Error (MAPE) sebesar 1,86% dan akurasi prediksi sebesar 98,14%. Nilai MAPE yang berada di bawah 10% mengindikasikan bahwa sistem ini mampu memberikan prediksi jumlah produksi yang optimal dan efektif.

Kata Kunci: Logika Fuzzy, MAPE, Metode Tsukamoto, Optimasi, Produksi

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan akan es batu kemasan saat ini semakin meningkat, di mana banyak pelaku usaha yang menggunakan es batu untuk pelengkap hidangan dan menjaga kesegaran bahan makanan. Banyak dari mereka memilih untuk membeli es batu kemasan dari pemasok eksternal karena biaya yang lebih rendah dan efisiensi waktu. Tingginya permintaan terhadap es batu kemasan membuka peluang besar bagi bisnis pembuatan es batu. Dalam konteks ini, keberhasilan usaha tidak hanya bergantung pada volume produksi yang dapat dipenuhi, tetapi juga pada ketersediaan persediaan es batu kemasan yang sering kali tidak mencukupi. Manajemen persediaan yang efektif merupakan kunci untuk memenuhi permintaan pasar yang fluktuatif [1]. Banyak perusahaan dihadapkan pada tantangan dalam merencanakan jumlah produksi secara akurat. Sistem

produksi saat ini sering mengandalkan perkiraan manual dan data historis terbatas, sehingga berisiko menyebabkan kelebihan atau kekurangan stok. Untuk mengatasi hal ini, diperlukan perencanaan produksi yang lebih akurat dengan mempertimbangkan jumlah permintaan dan tingkat persediaan guna mencegah terjadinya masalah operasional.

Persediaan adalah aset yang dimiliki perusahaan, meliputi barang yang siap dijual serta bahan baku untuk produksi. Tanpa adanya persediaan, perusahaan tidak akan mampu memenuhi permintaan dari pelanggan [2]. Peningkatan permintaan biasanya diikuti dengan peningkatan produksi, yang secara langsung berdampak pada tingkat persediaan. Menjaga keseimbangan antara permintaan dan persediaan menjadi hal yang krusial untuk memastikan efisiensi dalam proses produksi dan memenuhi kebutuhan pasar dengan tepat. Salah satu pendekatan yang bisa diterapkan adalah dengan menggunakan logika fuzzy sebagai alat bantu dalam menentukan jumlah produksi yang optimal.

Logika fuzzy adalah suatu teknik yang menggabungkan aturan logika dengan konsep matematika untuk mengubah nilai numerik menjadi nilai linguistik yang dapat dimengerti oleh manusia [3]. Berbagai teknik matematika yang diterapkan dalam logika fuzzy meliputi: fungsi keanggotaan, himpunan fuzzy, operasi fuzzy, aturan fuzzy, dan inferensi fuzzy. Pengaplikasian logika fuzzy menghasilkan metode pengambilan keputusan yang lebih adaptif dan kompleks dibandingkan sistem konvensional lainnya [4]. Metode Tsukamoto adalah salah satu pendekatan dalam logika fuzzy, yang berfungsi untuk mengatasi situasi pengambilan keputusan yang kompleks.

Dalam logika fuzzy, salah satu teknik yang digunakan adalah metode Tsukamoto, yang berfungsi untuk menghitung setiap *output* dari aturan *if-then* dengan menyajikan himpunan fuzzy yang memiliki sifat monoton [5]. Metode ini menghasilkan *output* yang tegas, memudahkan identifikasi hubungan antara *input* dan *output*. Dalam metode Tsukamoto, setiap konsekuensi dari aturan *if-then* diwakili oleh satu atau lebih himpunan fuzzy, sehingga *output* akhir dari inferensi setiap aturan memiliki bentuk yang jelas. Akhirnya, metode rata-rata berbobot diterapkan untuk menentukan hasilnya. Metode Tsukamoto dipilih untuk menetapkan jumlah produksi suatu barang karena mampu mengolah data dinamis, seperti permintaan dan persediaan yang sifatnya fleksibel.

Penelitian sebelumnya telah menggunakan pendekatan serupa dengan metode yang diterapkan dalam penelitian ini. Penelitian yang dilakukan oleh [4] menentukan jumlah produksi balok es menerapkan metode fuzzy Tsukamoto yang menggunakan data persediaan dan permintaan, diperoleh tingkat kesalahan MAPE sebesar 0,016% dan tingkat keakuratan sistem sebesar 99,84%. Penelitian berikutnya [6] juga menjelaskan bahwa penerapan fuzzy mampu melakukan prediksi produksi roti dengan tingkat selisih kesalahan 10,62% dan tingkat ketepatan hasil prediksi berdasarkan nilai akurasi sebesar 89,38%. Penelitian lainnya [7] melakukan penelitian menggunakan metode fuzzy Tsukamoto untuk penerapan produksi makanan khas. Peneliti menggunakan variabel *input*, yaitu: permintaan dan pengembalian, dengan perolehan nilai selisih kesalahan sebesar 6,09% dan nilai keakuratan sistem sebesar 93,91%. Penelitian berikutnya [8] menentukan produksi kopi, teknik fuzzy Tsukamoto menghasilkan akurasi sebesar 88,1%, sedangkan metode fuzzy Mamdani menghasilkan nilai akurasi sebesar 42,79%, ditentukan dengan membandingkan aplikasi kedua metode tersebut. Penelitian selanjutnya [9] membandingkan metode Tsukamoto dengan metode Sugeno dalam peramalan produksi batik hasil uji keakuratan menggunakan metode Mean Absolute Deviation menunjukkan bahwa metode Tsukamoto menghasilkan nilai 17,93, metode Sugeno menghasilkan nilai 210,73, dari hasil ini, menunjukkan metode Tsukamoto lebih akurat dalam meramalkan produksi dibandingkan metode Sugeno.

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwasanya metode fuzzy Tsukamoto dapat diterapkan sebagai pendekatan dalam merancang sistem pengambilan keputusan terkait jumlah produksi. Data permintaan dan persediaan digunakan sebagai *input*, dan logika fuzzy akan membentuk aturan-aturan yang menggambarkan hubungan antara kedua faktor tersebut. Aturan-aturan ini diidentifikasi dan dihitung dengan tepat untuk memprediksi jumlah produksi. Proses inferensi logika fuzzy menghasilkan estimasi produksi yang diharapkan dapat membantu menyesuaikan perhitungan yang akurat dan selaras dengan permintaan. Diharapkan hasil penelitian ini dapat mendukung perusahaan dalam meningkatkan efisiensi produksi es batu kemasan mereka.

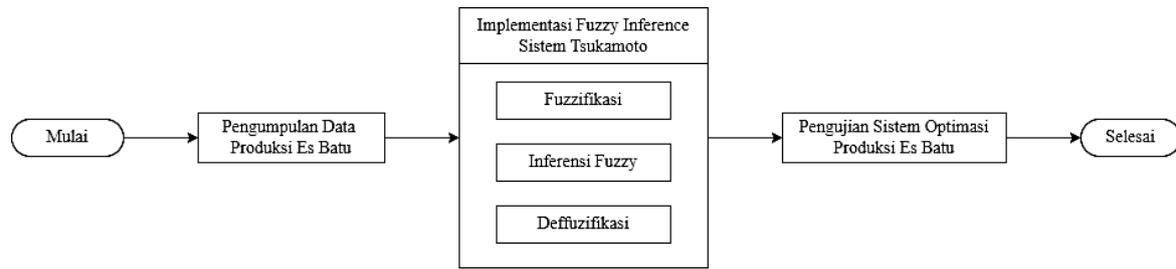
2. BAHAN DAN METODE

Penelitian ini mengimplementasikan metode fuzzy Tsukamoto untuk optimasi produksi es batu kemasan menggunakan data persediaan dan permintaan. Proses dan tahapan penelitian yang diperlukan untuk mencapai sasaran tersebut ditampilkan pada Gambar 1.

2.1 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan melalui eksplorasi yang mencakup serangkaian wawancara dengan pemilik usaha. Metode ini merupakan pendekatan umum untuk mengumpulkan data yang tidak hanya mencakup informasi historis, tetapi juga relevan untuk memprediksi jumlah produksi es batu setiap hari. Wawancara dilakukan secara langsung dengan pemilik usaha es batu kemasan yang berlokasi di Jl. Mangga No. 2 RT 05/09, Tirtomoyo, Kecamatan Tirtomoyo, Kabupaten Wonogiri, Provinsi Jawa Tengah. Proses pengumpulan data berlangsung selama 14 hari, mulai dari 4 April 2024 hingga 17 April 2024. Data yang

digunakan adalah data numerik, yang meliputi data historis produksi perusahaan, seperti jumlah permintaan es batu kemasan, jumlah persediaan es batu, dan jumlah produksi es batu harian. Semua data ini berbentuk kuantitatif dan digunakan untuk analisis serta prediksi produksi es batu.



Gambar 1. Tahapan Penelitian

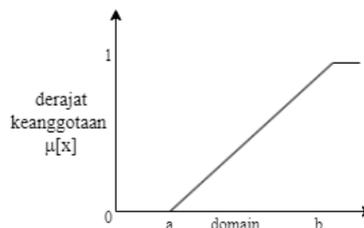
2.2 Implementasi Fuzzy Tsukamoto

Metode fuzzy Tsukamoto merupakan penerapan dari seluruh aturan yang berbentuk *if-then*, yang dimanfaatkan untuk menentukan *output* yang jelas. Dalam metode ini, setiap akibat dari aturan harus direpresentasikan oleh satu atau lebih himpunan fuzzy. Oleh karena itu, *output* akhir dari penalaran setiap aturan akan memiliki bentuk yang spesifik berdasarkan alpha predikat [10]. Hasil akhir dicapai dengan menggunakan rata-rata terbobot [11]. Keunggulan metode Tsukamoto terletak pada sifatnya yang mudah dipahami serta kemampuannya untuk menangani informasi yang sifatnya kualitatif, tidak tepat, dan tidak jelas [12].

2.2.1 Tahap Fuzzyfikasi

Tahap fuzzyfikasi merupakan proses mengonversi data input menjadi variabel linguistik [13]. Dalam tahap ini, ditetapkan variabel fuzzy, semesta pembicaraan, himpunan fuzzy, serta domain untuk setiap himpunan [14]. Selama tahap fuzzyfikasi, fungsi-fungsi yang ditampilkan sebagai kurva digunakan untuk memperoleh nilai fungsi keanggotaan. Fungsi-fungsi ini adalah sebagai berikut:

1. Kurva linear naik adalah kurva yang menggambarkan peningkatan dari nilai derajat keanggotaan terendah 0, hingga mencapai nilai derajat keanggotaan maksimum 1 [15]. Gambar 2 menunjukkan kurva linear naik.

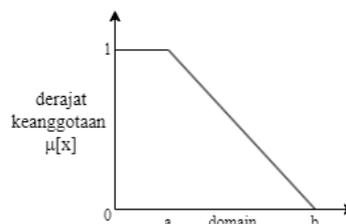


Gambar 2. Kurva Linear Naik

Persamaan fungsi keanggotaan:

$$\mu|x| = \begin{cases} 1; & x \geq b \\ \frac{x-a}{b-a}; & a \leq x \leq b \\ 0; & x \leq a \end{cases} \quad (1)$$

2. Kurva linear turun adalah kurva linear yang menurun dari nilai derajat keanggotaan maksimum 1, hingga mencapai derajat keanggotaan minimum 0 [15]. Gambar 3 menunjukkan kurva linear turun.



Gambar 3. Kurva Linear Turun

Persamaan fungsi keanggotaan:

$$\mu|x| = \begin{cases} 1; & x \geq b \\ \frac{x-a}{b-a}; & a \leq x \leq b \\ 0; & x \leq a \end{cases} \quad (2)$$

2.2.2 Tahap Inferensi Fuzzy

Tahap inferensi fuzzy adalah proses penentuan keputusan yang diambil dari serangkaian aturan fuzzy, berdasarkan informasi yang disediakan oleh variabel input [16]. Pada metode Tsukamoto, aturan-aturan fuzzy berbentuk *if-then* akan digunakan untuk menentukan nilai output [17]. Pada tahapan inferensi fuzzy, α -predikat dihasilkan dari nilai minimum derajat keanggotaan pada bagian *if* dari aturan fuzzy, dan nilai Z merupakan output yang tegas dihitung berdasarkan α -predikat tersebut, dengan persamaan 3.

$$\alpha - \text{predikat}_i = \mu A(x) \cap \mu B(y) = \text{minimum} (\mu A(x); \mu B(y)) \quad (3)$$

2.2.3 Tahap Defuzzyfikasi

Tahap defuzzyfikasi merupakan proses untuk mengubah variabel fuzzy yang dihasilkan oleh mesin inferensi menjadi nilai numerik [18]. Metode centroid adalah salah satu pendekatan defuzzyfikasi yang dapat diterapkan [19]. Metode centroid mengambil titik pusat (z^*) dari himpunan fuzzy dengan menghitung rata-rata, dengan persamaan 4.

$$Z^* = \frac{\sum_i^n \alpha \text{predikat}_i \times Z_i}{\sum_i^n \alpha \text{predikat}_i} \quad (4)$$

2.3 Pengujian Sistem

Untuk mengevaluasi keakuratan peramalan, digunakan MAPE dengan menghitung rata-rata persentase kesalahan dari seluruh data uji. Mean Absolute Percentage Error (MAPE) adalah metode yang digunakan untuk memperoleh tingkat kesalahan prediksi dengan cara mengambil nilai persentase Absolute Percentage Error (APE), kemudian mengambil nilai rata-rata dari persentase tersebut [19]. Dihitung dengan fungsi rata-rata seperti pada persamaan 5.

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^n |p_i - \hat{p}_i|}{n} \cdot 100\% \quad (5)$$

Dengan tingkat keakuratannya = 100% – MAPE. Nilai MAPE dapat dikategorikan menjadi 4 kategori [20], dengan penjelasan mengenai masing-masing kategori terdapat dalam Tabel 1.

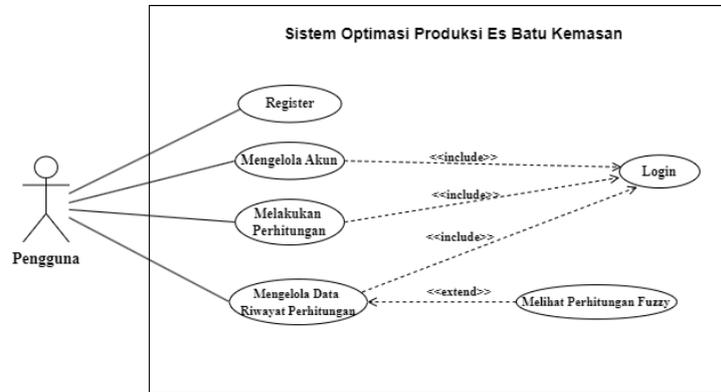
Tabel 1. Rentang Nilai MAPE

Rentang MAPE	Arti Nilai
< 10%	Model peramalan menunjukkan performa yang sangat baik.
10 – 20%	Model peramalan memiliki performa yang baik.
20 – 50%	Model peramalan dianggap memadai.
> 50%	Model peramalan dinilai kurang baik.

Setelah menghitung tingkat akurasi, langkah selanjutnya adalah melakukan analisis dan perancangan sistem. Kebutuhan sistem dianalisis menggunakan pendekatan berbasis objek, dengan memanfaatkan Unified Modeling Language (UML) sebagai alat bantu. Tabel 2 menyajikan kebutuhan dari sistem yang akan dirancang. UML adalah sebuah metode visual yang berperan sebagai media untuk mendesain sistem berbasis objek [21]. Diagram use case merupakan diagram yang menggambarkan aktivitas atau interaksi antara pengguna dengan sistem [22]. Gambar tersebut menampilkan use case diagram sistem yang dirancang berdasarkan Tabel 2. Gambar 4 menggambarkan sistem yang akan dikembangkan dan digunakan oleh pengguna untuk menghitung prediksi jumlah produksi es batu kemasan. Pengguna diwajibkan untuk login sebelum mengakses sistem, atau membuat akun jika belum memilikinya. Setelah login, pengguna dapat memasukkan data untuk menghitung prediksi jumlah produksi, dan hasil perhitungan akan disimpan dalam sistem. Black box testing digunakan sebagai metode untuk melakukan tahapan pengujian. Pengujian black box merupakan metode pengujian perangkat lunak yang menekankan pada pengujian fungsi sistem tanpa mempertimbangkan struktur internalnya [23]. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan seluruh fungsi sistem dapat berjalan sesuai dengan spesifikasi yang telah ditetapkan, dan sistem dapat menangani berbagai skenario input. Pada pengujian black box, sistem diuji dengan cara memasukkan *input* dan mengevaluasi *output* yang dihasilkan [24].

Tabel 2. Kebutuhan Fungsional Sistem

Fungsional	Keterangan
Register	Fungsi yang digunakan untuk mendaftarkan pengguna baru ke dalam sistem
Login	Fungsi yang berguna untuk pengguna memasuki sistem
Kalkulasi	Fungsi yang berguna untuk menghitung produksi es batu kemasan
Riwayat	Fungsi yang digunakan untuk melihat hasil perhitungan produksi pada periode sebelumnya



Gambar 4. Use Case Diagram

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Implementasi Data

Penelitian ini menggunakan data produksi perusahaan es batu kemasan. Data tersebut digunakan sebagai acuan pembuatan aturan fuzzy, himpunan fuzzy, dan domain fuzzy. Tabel 3 menunjukkan data produksi perusahaan.

Tabel 3. Data Produksi

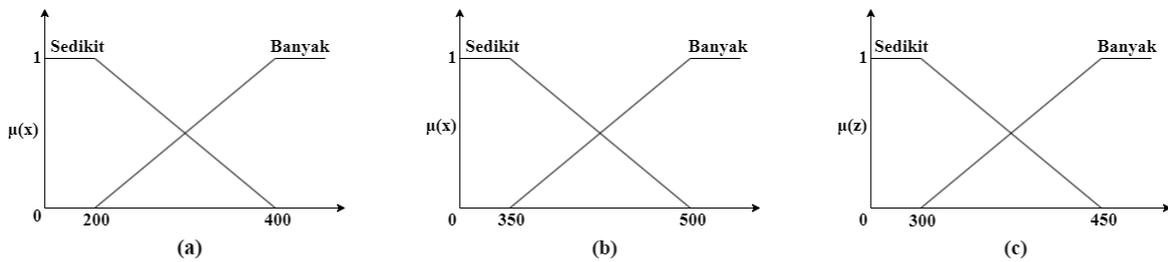
Tanggal	Jumlah Persediaan	Jumlah Permintaan	Jumlah Produksi
04/04/2024	254	450	400
05/04/2024	210	450	390
06/04/2024	200	480	430
07/04/2024	220	460	400
08/04/2024	215	460	400
09/04/2024	220	480	420
10/04/2024	210	480	420
11/04/2024	200	480	430
12/04/2024	250	490	420
13/04/2024	225	490	410
14/04/2024	200	500	465
15/04/2024	220	480	430
16/04/2024	235	450	400
17/04/2024	200	480	400
Jumlah Minimum	200	350	300
Jumlah Maksimum	400	500	450

Setelah mendapatkan nilai, akan dibentuk tabel nilai himpunan fuzzy yang berisi fungsi *input-output*, nama variabel, himpunan fuzzy dan semesta pembicara. Semesta pembicara adalah rentang nilai yang akan dipakai untuk proses perhitungan. Tabel 4 menunjukkan himpunan fuzzy dan semesta pembicara untuk setiap variabel.

Tabel 4. Nilai Himpunan Fuzzy

Jenis Variabel	Nama Variabel	Himpunan Fuzzy	Semesta Pembicara
Input	Persediaan	Sedikit Banyak	[200 - 400]
	Permintaan	Sedikit Banyak	[350 - 500]
Output	Produksi	Sedikit Banyak	[300 - 450]

Pada Tabel 4 menunjukkan bahwa setiap nilai dalam variabel yang akan dibahas. Seperti contoh berikut dapat dilihat bahwa variabel persediaan memiliki nilai semesta pembicaraan dari [200 – 400], begitu pula seterusnya untuk semua nilai pada tabel. Berikut representasi dari nilai-nilai tersebut yang ditampilkan dalam Gambar 5.



Gambar 5. (a) Himpunan Fuzzy Persediaan (b) Himpunan Fuzzy Permintaan (c) Himpunan Fuzzy Produksi

Pada Gambar 5, terlihat bahwa setiap variabel fuzzy menggunakan fungsi keanggotaan dengan bentuk linear naik dan linear turun. Fungsi linear naik menggambarkan kondisi di mana nilai variabel linguistik semakin besar (banyak), sedangkan fungsi linear turun menunjukkan kondisi di mana nilai variabel linguistik semakin kecil (sedikit). Persamaan 6-11 adalah persamaan yang digunakan untuk fungsi keanggotaan tersebut.

1. Fungsi Keanggotaan Persediaan

$$\mu_{sedikit}|x| = \begin{cases} 1; & x \leq 200 \\ \frac{400-x}{200}; & 200 \leq x \leq 400 \\ 0; & x \geq 400 \end{cases} \quad (6)$$

$$\mu_{banyak}|x| = \begin{cases} 1; & x \geq 400 \\ \frac{x-200}{200}; & 200 \leq x \leq 400 \\ 0; & x \leq 200 \end{cases} \quad (7)$$

2. Fungsi Keanggotaan Permintaan

$$\mu_{sedikit}|x| = \begin{cases} 1; & x \leq 350 \\ \frac{500-x}{150}; & 350 \leq x \leq 500 \\ 0; & x \geq 500 \end{cases} \quad (8)$$

$$\mu_{banyak}|x| = \begin{cases} 1; & x \geq 500 \\ \frac{x-350}{150}; & 350 \leq x \leq 500 \\ 0; & x \leq 350 \end{cases} \quad (9)$$

3. Fungsi Keanggotaan Produksi

$$\mu_{sedikit}|z| = \begin{cases} 1; & z \leq 300 \\ \frac{450-z}{150}; & 300 \leq z \leq 450 \\ 0; & z \geq 450 \end{cases} \quad (10)$$

$$\mu_{banyak}|z| = \begin{cases} 1; & z \geq 450 \\ \frac{z-300}{150}; & 300 \leq z \leq 450 \\ 0; & z \leq 300 \end{cases} \quad (11)$$

Selanjutnya, pembuatan aturan fuzzy didasarkan pada jumlah variabel yang ada. Persediaan dan permintaan bertindak sebagai variabel input, sementara produksi berfungsi sebagai variabel output. Ada dua himpunan fuzzy untuk setiap variabel: sedikit dan banyak. Aturan fuzzy disusun dengan mengombinasikan semua kemungkinan nilai dari variabel input. Karena setiap variabel input memiliki dua himpunan fuzzy, maka terdapat 4 kemungkinan kombinasi aturan. Tabel 5 menampilkan aturan fuzzy yang dihasilkan dari kombinasi variabel input dan output.

Tabel 5. Aturan Fuzzy

Aturan	Kondisi	Persediaan	Operasi	Permintaan	Akibat	Produksi
R1	Jika	Sedikit	Dan	Sedikit	Maka	Sedikit
R2	Jika	Sedikit	Dan	Banyak	Maka	Banyak
R3	Jika	Banyak	Dan	Sedikit	Maka	Sedikit
R4	Jika	Banyak	Dan	Banyak	Maka	Banyak

3.1.1 Fuzzyfikasi

Pada subbagian ini, dilakukan proses fuzzyfikasi terhadap variabel input, yaitu persediaan dan permintaan. Tujuan dari proses fuzzyfikasi ini adalah untuk menghasilkan derajat keanggotaan bagi masing-masing variabel berdasarkan nilai yang diberikan. Sebagai contoh, jika persediaan es batu sebanyak 300 dan permintaan es batu sebanyak 450, perhitungannya adalah sebagai berikut.

Derajat keanggotaan persediaan dihitung dengan persamaan (6) dan persamaan (7).

$$\mu_{sedikit}(300) = \frac{400 - 300}{200} = \frac{100}{200} = 0,5$$

$$\mu_{banyak}(300) = \frac{300 - 200}{200} = \frac{100}{200} = 0,5$$

Derajat keanggotaan permintaan dihitung dengan persamaan (8) dan persamaan (9).

$$sedikit(450) = \frac{500 - 450}{150} = \frac{50}{150} = 0,33$$

$$\mu_{banyak}(450) = \frac{450 - 350}{150} = \frac{100}{150} = 0,67$$

3.1.2 Inferensi Fuzzy

Pada subbab ini dilakukan inferensi menggunakan metode Tsukamoto dengan hasil berupa konstanta dengan nilai nol sampai satu. Berikut adalah proses inferensi metode Tsukamoto, α predikat dihitung dengan persamaan (3), dan nilai z dihitung dengan persamaan (10) dan persamaan (11) yang digunakan untuk menentukan output fuzzy. Berikut adalah perhitungan untuk masing-masing aturan.

[R1] Jika persediaan sedikit dan permintaan sedikit, maka produksi sedikit.

$$\begin{aligned} \alpha_{predikat_1} &= \mu_{sedikit}(x) \cap \mu_{sedikit}(x) \\ &= \text{minimum}(\mu_{sedikit}(300); \mu_{sedikit}(450)) \\ &= \text{minimum}(0,5; 0,33) = 0,33 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu(z) &= \frac{450 - z_1}{150} \\ 0,33 &= \frac{450 - z_1}{150} \\ z_1 &= 450 - (150 \times 0,33) = 400,5 \end{aligned}$$

[R2] Jika persediaan sedikit dan permintaan banyak, maka produksi banyak.

$$\begin{aligned} \alpha_{predikat_2} &= \mu_{sedikit}(x) \cap \mu_{banyak}(x) \\ &= \text{minimum}(\mu_{sedikit}(300); \mu_{banyak}(450)) \\ &= \text{minimum}(0,5; 0,67) = 0,5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu(z) &= \frac{z_2 - 300}{150} \\ 0,5 &= \frac{z_2 - 300}{150} \\ z_2 &= 300 + (150 \times 0,5) = 375 \end{aligned}$$

[R3] Jika persediaan banyak dan permintaan sedikit, maka produksi sedikit.

$$\begin{aligned} \alpha_{predikat_3} &= \mu_{banyak}(x) \cap \mu_{sedikit}(x) \\ &= \text{minimum}(\mu_{banyak}(300); \mu_{sedikit}(450)) \\ &= \text{minimum}(0,5; 0,33) = 0,33 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\mu(z) &= \frac{450 - z_3}{150} \\ 0,33 &= \frac{450 - z_3}{150} \\ z_3 &= 450 - (150 \times 0,33) = 400,5\end{aligned}$$

[R4] Jika persediaan banyak dan permintaan banyak, maka produksi banyak.

$$\begin{aligned}apredikat_4 &= \mu_{banyak}(x) \cap \mu_{banyak}(x) \\ &= \text{minimum}(\mu_{banyak}(300); \mu_{banyak}(450)) \\ &= \text{minimum}(0,5; 0,67) = 0,5\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\mu(z) &= \frac{z_4 - 300}{150} \\ 0,5 &= \frac{z_4 - 300}{150} \\ z_4 &= 300 + (150 \times 0,5) = 375\end{aligned}$$

3.1.3 Defuzzyfikasi

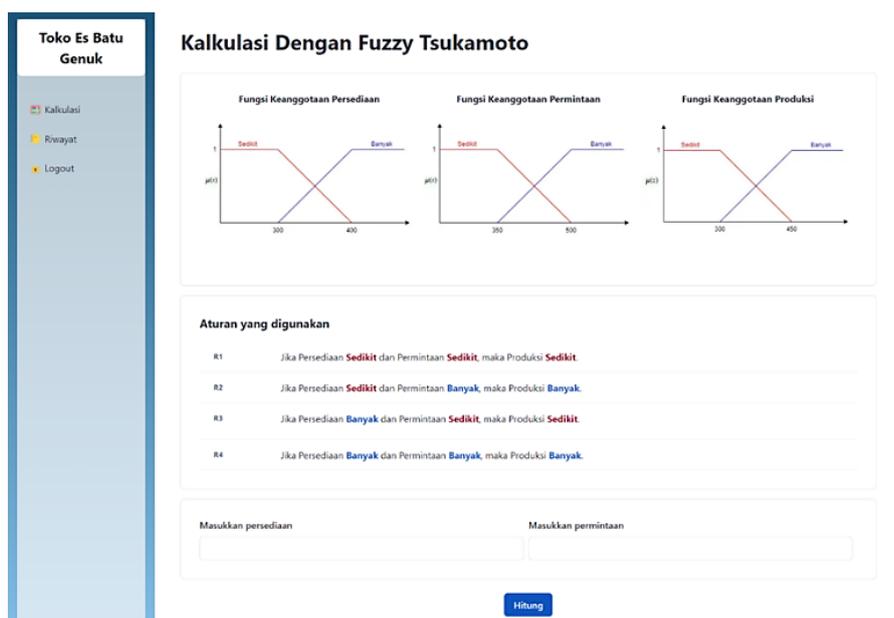
Pada subbagian ini, proses defuzzyfikasi dilakukan menggunakan metode centroid. Metode ini berfungsi untuk mengubah nilai fuzzy yang dihasilkan dari tahap inferensi menjadi nilai crisp (tegas). Hasil akhir dari proses defuzzyfikasi berupa nilai produksi es batu kemasan yang optimal, sesuai dengan aturan fuzzy yang telah diterapkan. Proses ini dilakukan menggunakan persamaan (4), dengan perhitungan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}Z^* &= \frac{(apredikat_1 \times z_1) + (apredikat_2 \times z_2) + (apredikat_3 \times z_3) + (apredikat_4 \times z_4)}{z_1 + z_2 + z_3 + z_4} \\ Z^* &= \frac{(0,33 \times 400,5) + (0,5 \times 375) + (0,33 \times 400,5) + (0,5 \times 375)}{0,33 + 0,5 + 0,33 + 0,5} = \frac{641,66}{1,66} = 385\end{aligned}$$

Diperoleh hasil defuzzyfikasi jumlah produksi sebanyak 385 untuk persediaan 200 dan permintaan 450.

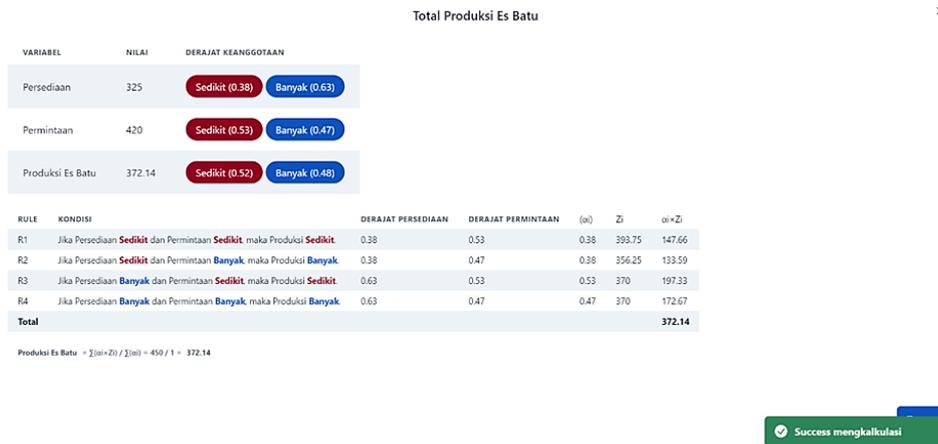
3.2 Tampilan Antarmuka

Dashboard adalah tampilan yang muncul pertama kali setelah pengguna berhasil masuk. Halaman dashboard menampilkan field untuk pengguna memasukkan nilai persediaan dan permintaan, menampilkan aturan fuzzy yang digunakan, menampilkan grafik fuzzy yang memuat informasi mengenai jumlah minimum dan maksimum setiap variabel, dan menampilkan persamaan grafik linear naik dan linear turun untuk setiap variabel. Gambar 6 memperlihatkan antarmuka tampilan dashboard.



Gambar 6. Tampilan Halaman Dashboard

Halaman kalkulasi akan muncul setelah pengguna mengklik tombol "hitung" pada halaman login, dan tombol "detail" pada halaman riwayat juga dapat digunakan untuk melihat hasil kalkulasi. Halaman kalkulasi menampilkan hasil dari setiap tahapan perhitungan fuzzy. Dimulai dengan proses fuzzyfikasi yang menunjukkan nilai derajat keanggotaan untuk setiap variabel, dilanjutkan dengan proses inferensi fuzzy yang menampilkan nilai alpha predikat dan nilai konklusi fuzzy(z). Tahapan terakhir, yaitu defuzzyfikasi, menghasilkan jumlah produksi es batu kemasan. Gambar 7 memperlihatkan antarmuka tampilan kalkulasi.



Gambar 7. Tampilan Halaman Kalkulasi

3.3 Pengujian Sistem

MAPE digunakan sebagai indikator utama untuk mengevaluasi seberapa akurat prediksi yang di dihasilkan oleh model logika fuzzy dalam memprediksi jumlah produksi es. Berikut adalah perhitungan APE yang ditunjukkan pada Tabel 6 berdasarkan data produksi sebenarnya dan prediksi, dilanjutkan menghitung nilai MAPE menggunakan persamaan 5.

Tabel 6. Perhitungan APE

No	Aktual (p_i)	Forecast (\hat{p}_i)	Absolute error $\left(\frac{ p_i - \hat{p}_i }{p_i}\right)$
1	400	391	0,022500000
2	390	398	0,020512821
3	425	430	0,011764706
4	400	404	0,010000000
5	400	405	0,012500000
6	420	421	0,002380952
7	420	425	0,011904762
8	425	430	0,011764706
9	420	399	0,050000000
10	410	420	0,024390244
11	465	450	0,032258065
12	425	430	0,011764706
13	400	394	0,015000000
14	420	430	0,023809524
		Total	0,260550485

$$MAPE = \frac{0,260550485}{14} \times 100\% = 1,861\%$$

$$Akurasi = 100\% - 1,861075\% = 98,139\%$$

Hasil pengujian terhadap 14 data produksi es batu memperoleh error nilainya 1,861% dengan nilai akurasi 98,139%. Hasil MAPE di bawah 10% dapat dikatakan sistem dapat melakukan optimasi dengan sangat baik. Langkah selanjutnya adalah melakukan pengujian terhadap fungsionalitas sistem yang dikembangkan dengan menggunakan metode uji black box. Tabel 7 menampilkan hasil uji sistem. Berdasarkan hasil uji pada Tabel 7, setiap fungsi sistem telah diuji dan ditemukan 100% sukses.

Tabel 7. Pengujian Black Box Testing

Butir Uji	Detail Pengujian	Keterangan
Registrasi	Membuat akun baru	Sukses
Login	Verifikasi	Sukses
Perhitungan	Fuzzyfikasi	Sukses
	Inferensi	Sukses
Fuzzy	Defuzzyfikasi	Sukses
Riwayat	Melihat detail perhitungan	Sukses
	Menghapus data perhitungan	Sukses

4. KESIMPULAN

Dari 14 data produksi es batu menggunakan sistem optimasi, diperoleh nilai MAPE sebesar 1,861% dengan tingkat keakuratan 98,139%, menunjukkan bahwa sistem mampu memprediksi produksi es batu dengan sangat baik, karena nilai MAPE yang rendah, yaitu di bawah 10%. Fuzzy Tsukamoto terbukti sangat efektif dalam membantu perusahaan menentukan produksi barang, memungkinkan perhitungan produksi minimum dan maksimum berdasarkan angka pasti yang digunakan sebagai variabel linguistik. Proses prediksi melibatkan tiga tahap utama: fuzzyfikasi untuk menghitung derajat keanggotaan input, inferensi yang didasarkan pada aturan untuk menentukan output fuzzy, dan defuzzyfikasi menggunakan metode centroid, mengonversi hasil inferensi (nilai fuzzy) menjadi nilai tegas berupa angka produksi es batu yang optimal. Dengan pendekatan ini, metode Fuzzy Tsukamoto secara keseluruhan dapat memprediksi produksi es batu kemasan secara optimal dan akurat, memastikan perhitungan sesuai dengan kebutuhan operasional perusahaan. Keterbatasan penelitian ini terletak pada penggunaan data historis perusahaan selama periode dua minggu produksi, yang mungkin tidak sepenuhnya mencerminkan fluktuasi permintaan dalam jangka waktu yang lebih panjang. Oleh karena itu, untuk penelitian berikutnya, disarankan untuk menggunakan data yang lebih banyak dan beragam agar dapat menghasilkan prediksi yang lebih akurat dan lebih representatif.

REFERENSI

- [1] Yenny Maya Dora and Nugraha Saefudin, "Pengaruh Rantai Pasok dan Manajemen Persediaan Terhadap Pengembangan Produk," *Al-Kharaj: Jurnal Ekonomi, Keuangan & Bisnis Syariah*, vol. 6, no. 5, pp. 4669-4683, Apr. 2024, doi: 10.47467/alkharaj.v6i5.2110.
- [2] D. Melina and D. Diana, "Penerapan Metode Fuzzy Tsukamoto Dalam Memprediksi Permintaan Barang," *Journal of Computer System and Informatics (JoSYC)*, vol. 4, no. 3, pp. 511-521, May 2023, doi: <https://doi.org/10.47065/josyc.v4i3.3194>.
- [3] N. Haidar Hari and I. Darmawan, "Sistem Pengontrol Suhu Pada Kandang Brooding Dengan Logika Fuzzy Menggunakan Arduino Uno Berbasis Mobile," *JURNAL RESPONSIF*, vol. 5, no. 1, pp. 43-51, Feb. 2023, doi: <https://doi.org/10.51977/jti.v5i1.1049>.
- [4] A. W. Gafar and E. Herlinawati, "Aplikasi Logika Fuzzy Dalam Menentukan Jumlah Produksi Es Batu Balok Berdasarkan Data Permintaan dan Data Persediaan," *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi "SainTek"*, vol. 1, no. 1, pp. 48-57, Feb. 2024.
- [5] D. Mufti Anindya and D. Laily Fithri, "Sistem Penentuan Jumlah Produksi Sirup Parijoto Menggunakan Metode Fuzzy Tsukamoto," *Journal of Software Engineering Ampera*, vol. 4, no. 2, pp. 106-118, Jun. 2023. doi: 10.51519/journalsea.v4i2.501.
- [6] S. Nurhayati, H. Irmayanti, and Y. R. Wijaya, "Penerapan Fuzzy Tsukamoto Untuk Sistem Prediksi Jumlah Produksi Roti Berbasis Web," *KOMPUTA : Jurnal Ilmiah Komputer dan Informatika*, vol. 13, no. 1, pp. 64-73, Apr. 2024, doi: 10.34010/komputa.v13i1.12056.
- [7] A. A. Irawan, T. Hastono, and F. A. Astrian, "Moto Belong Losjoyo Production Quantity Prediction System Using the Web Based Fuzzy Tsukamoyo Method," *JTH: Journal of Technology and Health*, vol. 2, no. 1, pp. 11-22, Feb. 2024, doi: <https://doi.org/10.61677/jth.v2i1.125>.
- [8] Y. Wibowo and R. M. Mukammila, "Perencanaan Produksi Kopi Robusta (*Coffea canephora*) Menggunakan Metode Logika Fuzzy (Studi Kasus di PT. Perkebunan Nusantara XII Kebun Silosanen) Robusta Coffee (*Coffea canephora*) Production Planning Using Fuzzy Logic Methods (Case Study At PT. Perkebunan Nusantara XII Kebun Silosanen)," *JOFE : Journal of Food Engineering*, vol. 1, no. 4, pp. 191-205, Oct. 2022, doi: 10.25047/jofe.v1i4.3370.
- [9] R. Kusumastuti, "Analisis perbandingan algoritma fuzzy Tsukamoto dan Sugeno untuk menentukan jumlah produksi batik berdasarkan data persediaan dan jumlah permintaan," *JNANALOKA*, vol. 3, no. 1, pp. 11-16, Oct. 2022, doi: <https://doi.org/10.36802/jnanaloka.2022.v3-no1-11-16>.
- [10] F. Daivan, D. Saripurna, and Mhd. Z. Siambaton, "E-Diagnosis Gangguan Kecemasan Menyeluruh Menggunakan Fuzzy Inference System (FIS) Tsukamoto," *Hello World Jurnal Ilmu Komputer*, vol. 3, no. 1, pp. 9-27, Jun. 2024, doi: 10.56211/helloworld.v3i1.513.

- [11] R. Rusito and Didik Eko Prasetyo, "Sistem Pendukung Keputusan Untuk Pengendalian Bad Stock (BS) Menggunakan Fuzzy Tsukamoto," *Jurnal Manajemen Informatika & Teknologi*, vol. 3, no. 1, pp. 1–15, May 2023, doi: 10.51903/mifortekh.v3i1.306.
- [12] P. Widiyantoro, R. D. Febriyanti, and C. G. Muhamad, "Penerapan Metode Fuzzy Tsukamoto Untuk Penentuan Harga Rumah di Kota Bandung," *Jurnal Ilmiah Informatika Komputer*, vol. 29, no. 1, pp. 60–72, Apr. 2024, doi: 10.35760/ik.2024.v29i1.10598.
- [13] A. Suherman and D. Widyaningrum, "Implementasi Fuzzy Tsukamoto pada Sistem Internet of Things Budidaya Tanaman Bayam," *SMATIKA JURNAL*, vol. 14, no. 1, pp. 195–204, Jul. 2024, doi: 10.32664/smatika.v14i01.1332.
- [14] D. Setiawan, A. Arbansyah, and A. J. Latipah, "Fuzzy Inferencce System Metode Tsukamoyo Untuk Penentuan Program Studi Fakultas Sains dan Teknologi di universitas Muhammadiyah Kalimantan Timur," *JIKO (Jurnal Informatika dan Komputer)*, vol. 7, no. 1, p. 23, Feb. 2023, doi: 10.26798/jiko.v7i1.657.
- [15] T. S. Ina, F. Hariadi, and R. M. I. Malo, "Sistem Pendukung Keputusan Berbasis Web Logika Fuzzy Metode Tsukamoto Dalam Penentuan Pilihan Kejuruan SMK Negeri 1 Waingapu," *Jurnal Minfo Polgan*, vol. 12, no. 1, pp. 1450–1463, Jul. 2023, doi: 10.33395/jmp.v12i1.12808.
- [16] M. Anisa Tanjung, A. Salsabila, R. Amelia, and A. Puspita Sari, "Sistem Prediksi Pemutusan Kontrak Kerja oleh Karyawan Menggunakan Metode Fuzzy Mamdani," *Prosiding Seminar Nasional Informatika Bela Negara*, vol. 3, pp. 122–128, Nov. 2023, [Online]. Available: <https://santika.upnjatim.ac.id/submissions/index.php/santika/article/view/212>
- [17] A. Letsoin and A. S. Purnomo, "Pengembangan Sistem Penunjang Keputusan Harga Motor Bekas Menggunakan Metode Fuzzy Tsukamoto Berbasis Web," *IJIS Indonesian Journal on Information System*, vol. 9, no. 1, pp. 60–72, Apr. 2024, doi: 10.36549/ijis.v9i1.311.
- [18] I. Dwi Antoni and Y. Findawati, "Implementasi Logika Fuzzy Untuk Menentukan Jumlah Produksi Roti Menggunakan Metode Tsukamoto," *SMATIKA JURNAL*, vol. 14, no. 01, pp. 61–70, Jun. 2024, doi: 10.32664/smatika.v14i01.1168.
- [19] J. Ryan and H. Wijaya, "Implementasi Data Mining untuk Sales Forecasting Berbasis Website dengan Metode ARIMA," *bit-Tech*, vol. 7, no. 1, pp. 19–27, Aug. 2024, doi: 10.32877/bt.v7i1.1332.
- [20] Ilham Almansyah, Jamaludin Indra, Euis Nurlaelasari, and Ayu Ratna Juwita, "Prediksi Penjualan Kendaraan Menggunakan Regresi Linear: Studi Kasus pada Industri Otomotif di Indonesia," *INNOVATIVE: Journal Of Social Science Research*, vol. 4, no. 4, pp. 1199–1206, Oct. 2024, doi: <https://doi.org/10.31004/innovative.v4i4.12735>.
- [21] N. Afifah and A. Saifudin, "Implementasi Algoritma Fuzzy Logic Dengan Model Tsukamoto Untuk Menentukan Jurusan Pada SMA PGRI 56 Ciputat," *TEKNOBIS : Jurnal Teknologi, Bisnis Dan Pendidikan*, vol. 1, no. 03, pp. 406–412, Feb. 2024,
- [22] B. Yudha, "Pengukuran Rate Kualitas Villa-Vila Daerah Puncak Bogor dengan Logika Fuzzy Metode Tsukamoto," *Jurnal Informatika Universitas Pamulang*, vol. 6, no. 4, pp. 688–696, Dec. 2021, doi: 10.32493/informatika.v6i4.12726.
- [23] E. Herdit Juningsih and F. Aziz, "Rancang Bangun Sistem Penunjang Beasiswa Menggunakan Metode Fuzzy Tsukamoto Dengan Optimasi Genetic Algorithm," *Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika*, vol. 8, no. 1, pp. 709–725, Feb. 2024, doi: /10.36040/jati.v8i1.9338.
- [24] A. T. Widiyatmoko, A. Nugroho, and I. Y. Pasa, "Pengembangan Aplikasi Pemetaan Desa Rawan Sanitasi Berbasis Web Menggunakan Open StreetMap," *MALCOM: Indonesian Journal of Machine Learning and Computer Science*, vol. 3, no. 2, pp. 92–98, Aug. 2023, doi: 10.57152/malcom.v3i2.877.