

**RANCANGAN SISTEM: ANALISIS DAN PENGEMBANGAN SOLUSI  
UNTUK KONTROL SUHU PRODUK MAKANAN DALAM MESIN  
STERILISASI DENGAN PEMANFAATAN FUZZY LOGIC BERBASIS  
INTERNET OF THINGS GUNA PEMANTAUAN YANG EFISIEN**

**Oleh:**

**Zefania Sasongko Putri**



**PROGRAM STUDI MATEMATIKA  
FAKULTAS SAINS DAN MATEMATIKA  
UNIVERSITAS KRISTEN SATYA WACANA  
SALATIGA  
2024**

## 1. PENDAHULUAN

Kemajuan teknologi dan informasi telah mendorong perkembangan manusia dalam berbagai aktivitasnya. Salah satu manfaat utama dari perkembangan teknologi ini adalah kemudahan dalam mendapatkan informasi yang cepat dan akurat. Teknologi komputer menjadi alat bantu yang sangat relevan dalam hal ini, dapat digunakan oleh berbagai kalangan dan di berbagai bidang. Karena perkembangan teknologi yang pesat, instansi baik pemerintah maupun swasta dituntut untuk terus meningkatkan kemampuan mereka dalam mengelola data dan informasi, agar lebih akurat dan efisien sesuai dengan tuntutan zaman.

Industri merupakan salah satu sektor yang sangat membutuhkan penerapan teknologi *Internet of Things* (IoT). Di ranah industri, terdapat beberapa perusahaan yang bergerak di sektor makanan, elektronik, otomotif, dan *garment*. Dalam konteks industri makanan, manajemen menghadapi tantangan yang cukup kompleks karena produk makanan cenderung mudah rusak. Oleh karena itu, dibutuhkan sistem kontrol tingkat lanjut yang mampu menangani situasi ini dengan baik. Salah satu solusi yang menjanjikan adalah penerapan virtualisasi, seperti komunikasi nirkabel, yang memungkinkan simulasi dan optimalisasi proses makanan melalui perangkat lunak, mengurangi ketergantungan pada percobaan fisik.

Dengan adanya teknologi virtualisasi, pengelolaan operasional dalam industri makanan dapat dilakukan secara dinamis dan efisien. Proses pengelolaan makanan dapat dipantau, dikendalikan, direncanakan, dan dioptimalkan secara *real-time* melalui internet, memberikan fleksibilitas dan kecepatan dalam respons terhadap perubahan kondisi produksi. Di antara proses-proses yang kritis dalam industri makanan, proses sterilisasi menjadi salah satu yang sangat penting untuk terus dimonitor. Proses ini menggunakan panas secara komersial untuk menginaktivasi mikroba patogen dan mengurangi jumlah mikroorganisme pembusuk, sehingga risiko kontaminasi dan kebusukan pada produk makanan dapat diminimalkan.

Saat ini, proses sterilisasi di perusahaan masih bergantung pada pengambilan data suhu secara manual oleh operator mesin. Data *real-time* yang dicatat oleh operator mesin menjadi dasar perhitungan untuk mendapatkan hasil proses sterilisasi. Oleh karena itu, penerapan teknologi Internet of Things (IoT) menjadi sangat penting dalam meningkatkan efisiensi dan keandalan proses sterilisasi. Dengan adanya teknologi IoT, *record* data suhu dapat terus tersimpan dalam database secara otomatis dan dapat dimonitor secara *real-time* dan *online* oleh operator mesin, manajemen perusahaan, dan bahkan pelanggan. Tanpa campur tangan manusia dalam pencatatan data, keakuratan dan keandalan data suhu dapat terjamin. Dengan demikian, penggunaan teknologi IoT dalam proses sterilisasi akan membawa dampak signifikan, termasuk peningkatan efisiensi operasional, pemantauan yang lebih akurat, dan kemudahan akses informasi bagi semua pihak yang terlibat dalam proses produksi dan distribusi. Ini merupakan langkah penting dalam menghadirkan inovasi dan meningkatkan kualitas dalam industri makanan.

Saat ini, dalam mengevaluasi tingkat sterilisasi, tim *Quality Control* (QC) masih menghadapi ketidakjelasan atau ambiguitas dalam penentuan hasilnya. Oleh karena itu, diperlukan penggunaan metode logika *fuzzy* untuk menghindari ambigu dalam hasil proses sterilisasi. Logika *fuzzy* merupakan suatu pendekatan dalam pengambilan keputusan yang didasarkan pada aturan, yang bertujuan untuk menyelesaikan masalah-masalah yang sulit dimodelkan atau memiliki tingkat ambiguitas dan ketidakjelasan yang tinggi.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

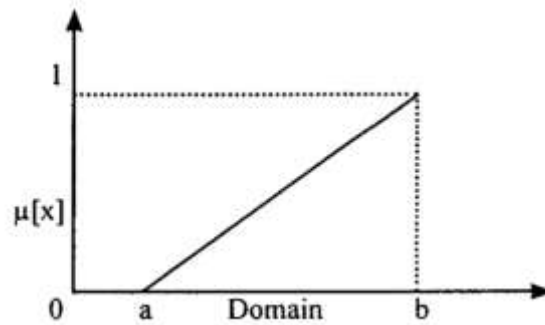
### 2.1 Analisa Logika *Fuzzy*

Dalam penelitian ini, metode analisis yang diterapkan adalah metode logika *fuzzy*. Logika *fuzzy* digunakan sebagai metode yang tepat untuk memetakan ruang *input* ke dalam ruang *output*. Metode ini menetapkan suatu daerah khusus di antara *input* dan *output* yang berfungsi untuk mengaitkan input dengan *output*. Setiap nilai variabel *fuzzy* memiliki nilai keanggotaan yang berkisar antara 0 hingga 1, menunjukkan sejauh mana suatu nilai termasuk dalam himpunan *fuzzy* yang didefinisikan. Dalam proses pemetaan, nilai masukan diberi bobot untuk memetakan titik masukan ke dalam nilai keanggotaan yang sesuai. Dengan demikian, logika *fuzzy* memberikan kerangka kerja yang fleksibel dan adaptif untuk menganalisis data yang kompleks dan tidak pasti, yang sering kali sulit dimodelkan secara matematis dengan cara konvensional. Ada beberapa hal yang perlu diketahui dalam memahami system *fuzzy* yaitu:

- a) Variabel *Fuzzy* merupakan variabel yang hendak dibahas dalam suatu sistem *fuzzy* contoh: Umur, temeperatur, permintaan dan sebagainya.
- b) Himpunan *fuzzy* merupakan suatu grup yang mewakili suatu kondisi atau keadaan tertentu dalam suatu variabel *fuzzy*.

Representasi linear adalah pemetaan input ke drajat keanggotaan digambarkan sebagai suatu garis lurus. Himpunan *fuzzy* linear memiliki 3 keadaan yaitu:

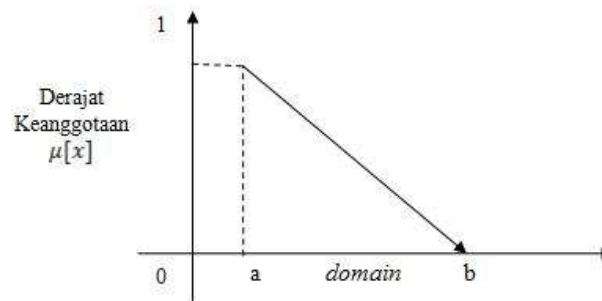
1. Peningkatan himpunan dimulai dari nilai awal domain yang memiliki tingkat keanggotaan 0, dan kemudian bergerak ke arah kanan menuju nilai domain yang memiliki tingkat keanggotaan yang lebih tinggi. Proses ini disebut sebagai representasi linear naik.



Gambar 1. Representasi Linear Naik Fungsi Keanggotaan

$$\mu[x] \begin{cases} 0; & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}; & a \leq x \leq b \\ 1; & x \geq b \end{cases}$$

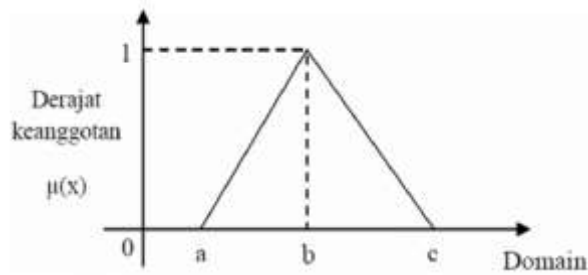
2. Garis lurus dimulai dari nilai domain dengan tingkat keanggotaan tertinggi di sisi kiri, lalu menurun ke nilai domain dengan tingkat keanggotaan linear yang lebih rendah. Ini disebut sebagai representasi linear turun.



Gambar 2. Representasi Linear Turun Fungsi Keanggotaan.

$$\mu[x] \begin{cases} \frac{b-x}{b-a}; & a \leq x \leq b \\ 0; & x \geq b \end{cases}$$

3. Representasi segitiga adalah kombinasi garis (linear) yang membentuk bentuk segitiga, di mana titik dengan nilai keanggotaan 1 menjadi titik penghubung antara dua garis.



Gambar 3. Representasi Linear Segitiga Fungsi Keanggotaan

$$\mu[x] \begin{cases} 0; & x < a \\ \frac{x-a}{b-a}; & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}; & b < x \leq c \\ 1; & x > c \end{cases}$$

## 2. 2 Analisa Termal

Proses termal dalam pengolahan pangan didesain untuk menginaktivasi / membunuh bakteri termasuk sporanya, baik yang bersifat patogen maupun yang bersifat membusukkan yang ada pada makanan kemudian dapat mengancam kesehatan manusia dan mengurangi jumlah mikroorganisme pembusuk ke tingkat yang rendah sehingga peluang terjadinya kebusukan sangat rendah. Keefektifan proses termal dalam membunuh mikroba target hingga pada tingkat yang diinginkan dinyatakan dengan nilai  $F_0$ .

Secara umum nilai  $F_0$  didefinisikan sebagai waktu (biasanya dalam menit) yang dibutuhkan untuk membunuh mikroba target hingga mencapai level tertentu pada suhu tertentu. Apabila prosesnya adalah sterilisasi, maka nilai  $F_0$  diartikan sebagai nilai sterilitas, sedangkan apabila prosesnya adalah pasteurisasi, maka nilai  $F_0$  diartikan sebagai nilai pasteurisasi. Nilai  $F_0$  biasanya menyatakan waktu proses pada suhu standar. Misalnya, suhu standar dalam proses sterilisasi adalah  $121,1^\circ\text{C}$  ( $250^\circ\text{F}$ ), sehingga nilai  $F_0$  sterilisasi menunjukkan waktu sterilisasi pada suhu standar  $121,1^\circ\text{C}$ .

Secara matematis, nilai  $F_0$  merupakan hasil perkalian antara nilai  $D_0$  pada suhu standar dengan jumlah siklus logaritmik (S) yang diinginkan dalam proses. Nilai  $D_0$  harus dinyatakan juga pada suhu standar yang sama.

$$F_0 = S \cdot D_0$$

Nilai F pada suhu lain (misalnya pada suhu proses yang digunakan) dinyatakan dengan nilai  $F_T$ . Secara matematis, nilai  $F_T$  dinyatakan dengan persamaan di bawah ini, dimana nilai  $D_T$  adalah pada suhu T yang sama.

$$F_T = S \cdot D_T$$

dengan

$$\log \frac{D_0}{D_T} = -\frac{T - T_{ref}}{Z} \text{ atau } D_T = D_0 10^{\frac{T_{ref}-T}{Z}}$$

Nilai F akan berubah secara logaritmik dengan berubahnya suhu pemanasan. Untuk menghitung nilai F pada suhu lain, maka digunakan persamaan berikut:

$$F_T = S D_0 10^{\frac{T_{ref}-T}{Z}} \text{ atau } F_T = F_0 10^{\frac{T_{ref}-T}{Z}}$$

Dengan menggunakan persamaan-persamaan di atas, maka dapat ditentukan beberapa waktu yang diperlukan untuk memusnahkan bakteri atau spora target pada suhu pemanasan yang berbeda

### 3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem pelaporan yang efektif dan efisien dalam memonitor dan mengevaluasi proses sterilisasi produk. Metode pengumpulan data dibuat oleh penulis sendiri yang akan digunakan untuk melacak dan mengevaluasi sistem serta proses operasional sterilisasi. Langkah awal melibatkan pembuatan dataset yang mencakup informasi terkait suhu, waktu, dan parameter sterilisasi lainnya yang relevan. Data yang disiapkan oleh penulis ini akan digunakan sebagai dasar untuk menghitung status sterilisasi pada produk yang telah melewati proses sterilisasi. Penggunaan rumus yang telah ditetapkan akan memungkinkan penentuan apakah produk telah mencapai tingkat sterilisasi yang diinginkan. Pentingnya validitas dan reliabilitas data yang disiapkan oleh penulis ditekankan, dengan perhatian khusus terhadap konsistensi dan akurasi informasi yang disertakan dalam dataset. Selain itu, aspek etika penelitian seperti keamanan data dan kebijakan privasi juga diperhatikan dalam penggunaan data buatan penulis. Dengan memanfaatkan langkah-langkah ini, diharapkan metode penelitian ini dapat memberikan pemahaman yang mendalam tentang efektivitas proses sterilisasi dan membantu meningkatkan kualitas serta keamanan produk yang telah disterilisasi.

Tabel 1. Proses Perhitungan  $F_0$ .

Waktu (WIB)	T1 (°C)	Nilai LR	Nilai $F_0$
10:23	119,0	0,616595	-
10:24	119,8	0,741310	0,678953
10:25	120,9	0,954993	0,848151
10:26	121,1	1,000000	0,977496
10:27	121,1	1,000000	1,000000
Nilai $F_0$			3,504600



Tabel 2. Proses Sterilisasi yang Sedang Berjalan

Menentukan nilai LR (Lethal Rate)	Menentukan Nilai L (Letalisasi)
$LR = 10^{\frac{119,1-121,1}{10}} = 0,616595$	$L = \left( \frac{0,616595 + 0,741310}{2} \right) 1$ $= 0,678953$
$LR = 10^{\frac{119,8-121,1}{10}} = 0,741310$	$L = \left( \frac{0,741310 + 0,954993}{2} \right) 1$ $= 0,848151$
$LR = 10^{\frac{120,9-121,1}{10}} = 0,954993$	$L = \left( \frac{0,954993 + 1,000000}{2} \right) 1$ $= 0,977496$
$LR = 10^{\frac{121,1-121,1}{10}} = 1,000000$	$L = \left( \frac{1,000000 + 1,000000}{2} \right) 1$ $= 1,000000$
$LR = 10^{\frac{121,1-121,1}{10}} = 1,000000$	$L = \left( \frac{0,616595 + 0,741310}{2} \right) 1$ $= 0,678953$
Total Nilai $F_0 = 0,678953 + 0,848151 + 0,977496 + 1,000000 + 0,678953 = 3,504600$	

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pemecahan Masalah

Setelah mengevaluasi permasalahan yang terjadi dan mengacu pada hasil observasi yang telah dikumpulkan, solusi yang diajukan adalah untuk menganalisis variabel suhu dalam konteks algoritma logika *fuzzy* dan mengembangkan alat pengukur suhu yang dapat menyimpan data secara langsung ke dalam database. Berikut adalah rincian dari upaya penyelesaian untuk mengatasi masalah yang dihadapi.

#### 1. Pengolahan data proses sterilisasi

Variabel ini terkait dengan perhitungan nilai  $F_0$  yang dihasilkan dari proses sterilisasi yang dihitung oleh tim *quality control*. Rentang nilai variabel berkisar antara 1 hingga 3, dengan penjelasan sebagai berikut:

- a) Steril: nilai  $F_0$  2,5 – 4
- b) Cukup Steril: nilai  $F_0$  1,5 – 3,5
- c) Tidak Steril: nilai  $F_0$  0 – 2,5

#### 2. Pengolahan isi produk di dalam mesin

Variabel ini terdapat pada perhitungan dengan kapasitas mesin seterilisasi berkapasitas 200kg dan terdapat 8 rak untuk menampung *pouch* produk makanan di dalam mesin sterilisasi dimana satu rak berkapasitas 20kg, maka dengan *range* nilai variable jumlah 1 rak sampai 8 rak adalah sebagai berikut:

- a) Sedikit: memiliki nilai 1-4
- b) Sedang: memiliki nilai 2-6
- c) Banyak: memiliki nilai 4-8

#### 3. Alat Pengolahan Data Suhu

Pengolahan data suhu proses sterilisasi, dimana alat tersebut harus memiliki kemampuan untuk mengukur suhu dengan sensor suhu yang tersedia dan dapat menyimpan data suhu ke dalam *database* dan terkoneksi dengan internet agar memudahkan untuk memonitoring dan merekam ke dalam sebuah system yang akan dibangun.

## Analisa Algoritma Logika Fuzzy

### 1. Tahap Fuzzyfikasi

Pada tahap ini variable-variabel tadi akan diolah menggunakan rumus sehingga menjadi himpunan *fuzzy*.

#### a) Variabel pengolahan proses sterilisasi

Misal pengolahan proses sterilisasi pada produk makanan yang diproses pada mesin sterilisasi dan hasil proses sterilisasinya adalah nilai  $F_0 = 3$  maka nilai  $F_0 = 3$  akan dikonversi ke dalam nilai *fuzzy*, dimana nilai  $F_0 = 3$  berada dalam linguistik steril dan cukup steril, sehingga dihitung menggunakan fungsi segitiga.

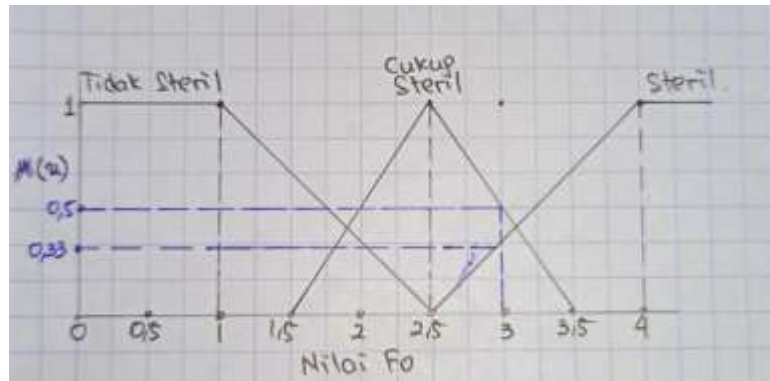
Fungsi keanggotaan:

$$\mu_{steril}[x] = \begin{cases} 0; & x \leq 2,5 \\ \frac{x - 2,5}{4 - 2,5}; & 2,5 < x \leq 4 \\ 1; & x \geq 4 \end{cases}$$
$$\mu_{cukup\ steril}[x] = \begin{cases} 0; & x \leq 1,5 \text{ atau } x \geq 3,5 \\ \frac{x - 1,5}{2,5 - 1,5}; & 1,5 < x < 2,5 \\ \frac{3,5 - x}{3,5 - 2,5}; & 2,5 \leq x \leq 3,5 \end{cases}$$
$$\mu_{tidak\ steril}[x] = \begin{cases} 1; & x \leq 1 \\ \frac{2,5 - x}{2,5 - 1}; & 1 < x \leq 2,5 \\ 0; & x \geq 2,5 \end{cases}$$

Sehingga diperoleh derajat keanggotaan yang bernilai  $F_0 = 3$  adalah

$$\mu_{steril}[3] = \frac{x - 2,5}{4 - 2,5} = \frac{3 - 2,5}{4 - 2,5} = 0,33; \quad 2,5 < 3 \leq 4$$

$$\mu_{cukup\ steril}[x] = \frac{3,5 - x}{3,5 - 2,5} = \frac{3,5 - 3}{3,5 - 2,5} = 0,5; \quad 2,5 \leq 3 \leq 3,5$$



Gambar 4. Grafik Variabel Pengolahan Proses Sterilisasi

b) Variabel pengolahan isi produk di dalam mesin

Misal pengolahan isi produk di dalam mesin sterilisasi terdapat 5 rak, maka nilai 5 akan dikonveksi ke dalam nilai *fuzzy*, dimana nilai 5 berada dalam linguistik sedikit, sedang dan banyak kemudian dihitung dengan menggunakan fungsi segitiga.

Fungsi keanggotaan:

$$\mu_{sedikit}[x] = \begin{cases} 1; & x \leq 1 \\ \frac{4-x}{4-1}; & 1 < x \leq 4 \\ 0; & x \geq 4 \end{cases}$$

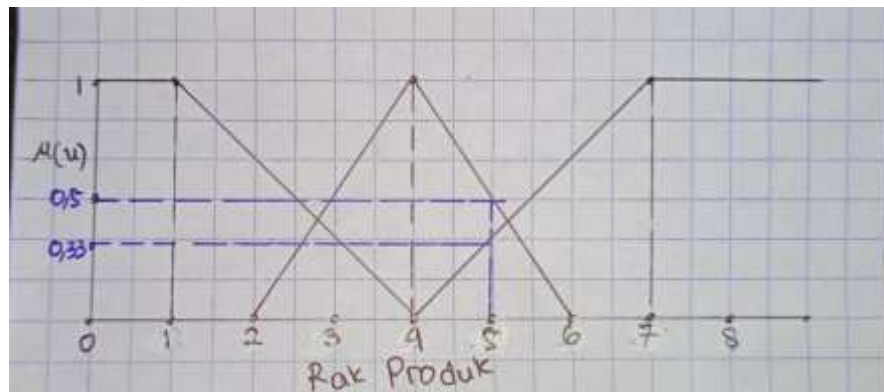
$$\mu_{sedang}[x] = \begin{cases} 0; & x \leq 2 \text{ atau } x \geq 6 \\ \frac{x-2}{4-2}; & 2 < x < 4 \\ \frac{6-x}{6-4}; & 4 \leq x \leq 6 \end{cases}$$

$$\mu_{banyak}[x] = \begin{cases} 0; & x \leq 4 \\ \frac{x-4}{7-4}; & 4 < x \leq 7 \\ 1; & x \geq 7 \end{cases}$$

Sehingga diperoleh derajat keanggotaan yang bernilai 5 adalah

$$\mu_{sedang}[5] = \frac{6-x}{6-4} = \frac{6-5}{6-4} = 0,5; \quad 4 \leq 5 \leq 6$$

$$\mu_{banyak}[5] = \frac{x-4}{7-4} = \frac{5-4}{7-4} = 0,33; \quad 4 < 5 \leq 7$$



Gambar 5. Grafik Variabel Pengolahan Isi Produk di Dalam Mesin

Diperoleh beberapa aturan sebagai berikut:

- 1) Jika STERIL dan BANYAK maka BAIK
- 2) Jika CUKUP STERIL dan SEDANG maka CUKUP
- 3) Jika TIDAK STERIL dan KECIL maka BURUK
- 4) Jika STERIL dan SEDANG maka BAIK

## 2. Tahap Inferensi

[R1] Jika pengolahan proses sterilisasi steril dan isi dalam mesin banyak maka baik

$$\begin{aligned}
 \alpha \text{ predikat}_1 &= \mu_{\text{steril}} \cap \mu_{\text{banyak}} \\
 &= \min(\mu_{\text{steril}}[3]; \mu_{\text{banyak}}[5]) \\
 &= \min(0,33; 0,33) \\
 &= 0,33
 \end{aligned}$$

[R2] Jika pengolahan proses sterilisasi cukup steril dan isi dalam mesin sedang maka cukup

$$\begin{aligned}
 \alpha \text{ predikat}_2 &= \mu_{\text{cukup steril}} \cap \mu_{\text{sedang}} \\
 &= \min(\mu_{\text{cukup steril}}[3]; \mu_{\text{sedang}}[5]) \\
 &= \min(0,5; 0,5) \\
 &= 0,5
 \end{aligned}$$

[R3] Jika pengolahan proses sterilisasi tidak steril dan isi dalam mesin kecil maka buruk

$$\begin{aligned}\alpha \text{ predikat}_3 &= \mu_{\text{tidak steril}} \cap \mu_{\text{kecil}} \\ &= \min(\mu_{\text{tidak steril}}[3]; \mu_{\text{kecil}}[5]) \\ &= \min(0; 0) \\ &= 0\end{aligned}$$

[R4] Jika pengolahan proses sterilisasi steril dan isi dalam mesin sedang maka baik

$$\begin{aligned}\alpha \text{ predikat}_2 &= \mu_{\text{steril}} \cap \mu_{\text{sedang}} \\ &= \min(\mu_{\text{steril}}[3]; \mu_{\text{sedang}}[5]) \\ &= \min(0,33; 0,5) \\ &= 0,33\end{aligned}$$

### 3. Tahap Defuzzyfikasi

Untuk tahap ini kita menggunakan metode average

$$Z = \frac{\sum a_{izi}}{ai}$$

Dimana  $Z$  = nilai defuzzyfikasi;

$ai$  = nilai minimal derajat keanggotaan;

$Z_i$  = nilai domain dari variabel linguistik

Sehingga

$$\begin{aligned}Z &= \frac{0,33 * 3 + 0,5 * 5}{0,33 + 0,33} \\ &= \frac{3,49}{0,66} \\ &= 5,2\end{aligned}$$

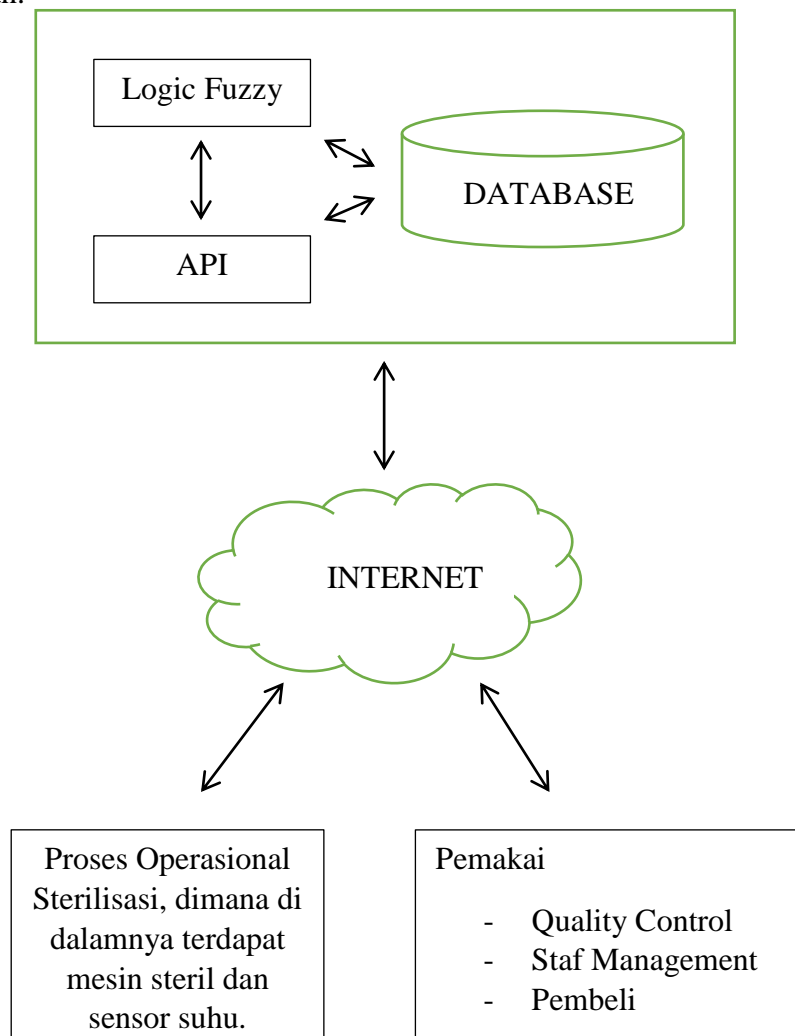
Oleh karena itu, maka nilai dari hasil 5,2 adalah baik. Nilai yang didapat dari proses defuzzyfikasi tersebut selanjutnya digunakan untuk penentuan keputusan dengan peraturan sebagai berikut:

Tabel 3. Aturan Nilai Keputusan

Hasil	Nilai
Baik	$4 - \infty$
Sedang	$2 - 4$
buruk	$0 - 2$

### Usulan Pengembangan Sistem yang Dapat diberikan

Diperlukan pembaruan menuju sistem yang lebih terkomputerisasi, yang menggunakan teknologi *Internet of Things* sebagai basisnya. Sebagai bagian dari pengembangan ini, terdapat gambaran arsitektur/alur sistem yang akan diusulkan.



## 5. KESIMPULAN

Meskipun hasil analisis menunjukkan kemajuan yang baik dalam pengembangan sistem kontrol suhu produk makanan dalam mesin sterilisasi dengan memanfaatkan *Fuzzy Logic* berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk pemantauan yang efisien, terdapat beberapa kekurangan yang perlu diperhatikan dalam pengembangan system yang diajukan yaitu:

1. Sulit dalam melakukan perhitungan karena data masih dicatat secara manual. Masalah ini dapat menghambat efisiensi dan akurasi dalam menghitung dan menganalisis data suhu, sehingga menyulitkan proses pengambilan keputusan yang cepat dan tepat.
2. Masih adanya ketidakjelasan terkait status proses sterilisasi. Ketidakjelasan ini dapat menimbulkan risiko keselamatan pangan dan kualitas produk yang tidak terjamin sepenuhnya, serta mengurangi kepercayaan konsumen terhadap produk yang dihasilkan.

## 6. REFERENSI

- <https://tekpan.unimus.ac.id/wp-content/uploads/2013/11/Kuliah-3-kecukupan-panas-pasteurisasi-dan-sterilisasi.pdf>
- <https://sostech.greenvest.co.id/index.php/sostech/article/view/198>
- <https://openlibrarypublications.telkomuniversity.ac.id/index.php/engineering/article/view/8671>
- <https://ejournal.almaata.ac.id/index.php/IJUBI/article/view/1504>
- <http://journal.widyatama.ac.id/index.php/jitter/article/view/66>
- <https://eprints.utdi.ac.id/8655/>
- <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8074640/>