

Metode *Fuzzy Logic* Dalam Visualisasi Sterilisasi Buah Kelapa Sawit Menggunakan *Ladder Diagram*

Ananda Hadi Elyas

Program Studi Sistem Informasi Universitas Dharmawangsa Sumatera Utara Medan Indonesia
nanda@dharmawangsa.ac.id

Abstract

The process of sterilizing palm fruit with a capacity of thousands of kilograms is carried out using saturated steam with a temperature of $\pm 132^{\circ}$ C which is a process that greatly affects the quality of the palm oil produced. The amount of fruit and the amount of pressure are the parameters that affect the duration of the boiling process, thus, the exact calculation of boiling time is needed so that the quality produced will be optimal. The Fuzzy Logic method which has been widely developed in the field of control systems can be used as an alternative in designing a control system capable of carrying out the sterilization process by considering the amount of fruit and the amount of pressure used in the boiling process so that it can predict the length of the boiling process that will run based on the rules that have been implanted. Fuzzy logic method in the control system can be simulated using ladder diagrams and tested before the system designed is implanted with the control system device used, which is Programmable Logic Control (PLC). Applying the Fuzzy logic method that is embedded in the PLC, the boiling process can be run more optimally by providing parameters of the number of pieces and the amount of pressure as input, then the control system can predict the length of time the boiling process will be run.

Keywords: *Fuzzy Logic, Ladder Diagram, PLC, Sterilization*

1. PENDAHULUAN

Industri yang baik dan berkembang, tidak hanya meningkatkan kuantitas, namun juga harus meningkatkan kualitas. Oleh karena itu, proses pengolahan buah kelapa sawit juga sangat perlu diperhatikan. Pengolahan Tandan Buah Segar (TBS) bermula dari proses perebusan atau yang sering disebut dengan proses sterilisasi. Proses sterilisasi merupakan salah satu hal yang sangat mempengaruhi kualitas akhir dari pengolahan TBS. Dengan demikian, proses sterilisasi menjadi perhatian pada setiap proses pengolahan TBS di industri kelapa sawit. Sterilisasi merupakan proses yang sangat penting dari semua tahapan pengolahan TBS. Proses sterilisasi membutuhkan pengawasan yang cukup berat mengingat besarnya bejana bertekanan (sterilizer) yang digunakan untuk merebus TBS dengan kapasitas ribuan kilogram dan proses perebusan yang menggunakan uap air jenuh (*saturated steam*) dengan suhu $\pm 132^{\circ}$ C. Selain suhu uap air jenuh yang tinggi, proses sterilisasi TBS juga dilakukan dengan bejana tekan yang nantinya beroperasi dengan tekanan rata-rata uap air jenuh $\pm [3 \text{ kg/cm}]^2$. Selain itu keamanan dan keselamatan kerja juga harus diutamakan mengingat suhu uap yang digunakan tergolong tinggi serta proses perebusan yang bertekanan. Menurut Hadi, et al. (2014) sterilisasi adalah salah satu proses penting dalam setiap pabrik kelapa sawit. Tandan buah segar (TBS) yang dimasak menggunakan steam sebagai media pemanas. Menurut Fauzi & Sarmidi (2011), sterilisasi adalah salah satu operasi dasar untuk mendapatkan minyak sawit selain melonggarkan buah, mencerna buah, ekstraksi minyak dan klarifikasi minyak. Sterilisasi adalah operasi render panas meliputi penguapan dari buah-buahan dan dilaporkan sebagai proses penting karena menentukan efisiensi dan efektivitas hilir dan proses penyulingan dalam memproduksi minyak sawit kelas tinggi. Menurut Vijayaraghavan & Jayalakshmi (2012), sistem logika *Fuzzy* umumnya digunakan dalam studi kontrol. Sejak *Fuzzy Logic Control* (FLC) tidak memerlukan model dan kontrol didasarkan pada penalaran keahlian manusia, *Fuzzy Logic Control* telah diterapkan di banyak skema kontrol. Juga, *Fuzzy Logic Control* digunakan secara luas dalam pemodelan. Menurut Dorjee (2014), *Fuzzy logic* juga telah diterapkan pada sistem sehingga dapat dilatih untuk memprediksi output yang wajar untuk bahkan mereka masukan yang tidak diramalkan oleh jaringan, sehingga membuat sistem yang fleksibel dan mudah untuk memprediksi hasil untuk berbagai kondisi operasi.

Menurut Rana (2015), pada saat ini, di banyak industri jenis kontroler (PD, PID, PLC, FLC, dan lain-lain) telah digunakan. Salah satunya adalah *Fuzzy Logic Controller*.

Selain membahas tentang pentingnya proses sterilisasi TBS, kutipan di atas juga membahas tentang pemanfaatan metode *Fuzzy logic* dalam berbagai sistem kontrol yang telah berkembang saat ini. *Fuzzy logic* telah banyak digunakan diberbagai bidang industri, karena metode *Fuzzy logic* dinilai sangat relevan untuk diterapkan pada sistem kontrol, maka peneliti mencoba melakukan penelitian yang dapat menghasilkan sebuah sistem kendali yang dapat menganalisis kebutuhan waktu yang efisien dan efektif dalam proses sterilisasi dalam bentuk visualisasi menggunakan *ladder diagram* PLC dan menggunakan metode *Fuzzy Logic* berdasarkan aturan-aturan yang telah ditanamkan ke dalam sistem kendali tersebut.

2. METODE PENELITIAN

Menurut Desima (2015), metode Mamdani sering dikenal sebagai Metode Max–Min. Metode ini diperkenalkan oleh Ebrahim Mamdani pada tahun 1975. Untuk mendapatkan output, diperlukan 4 tahap:

1. Pembentukan himpunan *Fuzzy*

Pada metode Mamdani, baik variabel input maupun variabel output dibagi menjadi satu atau lebih himpunan *Fuzzy*.

2. Aplikasi fungsi implikasi

Pada metode Mamdani, fungsi implikasi yang digunakan adalah Min

3. Komposisi Aturan

Tidak seperti penalaran monoton, apabila sistem terdiri dari beberapa aturan, maka inferasi diperoleh dari kumpulan dan korelasi antar aturan. Ada 3 metode yang digunakan dalam melakukan inferensi sistem *Fuzzy*, yaitu : Max, additive dan probabilistik OR (PROBOR).

a) Metode Max (*Maximum*); b) Metode Additive (Sum); c) Metode Probabilitas OR (PROBOR)

4. Penegasan

Proses defuzzifikasi dengan metode Mamdani dapat menggunakan beberapa metode defuzzifikasi, pada penelitian ini, metode defuzzifikasi yang digunakan adalah metode *Mean Of Maximum*.

2.1 Pembentukan Himpunan *Fuzzy*

Pembentukan himpunan *fuzzy* akan dilakukan terhadap 2 variabel *input* dan 1 variabel *output* sebagai berikut :

1. Input Jumlah Buah :

Tabel 1. Nilai Linguistik Buah

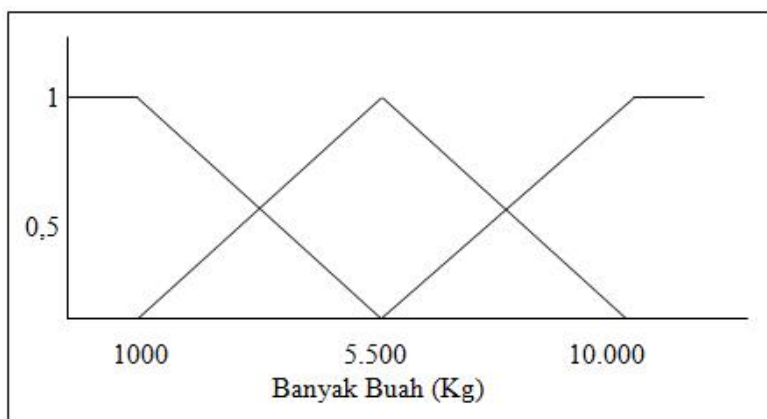
Nilai Linguistik	Interval
Sedikit	1.000 – 5.500 Kg
Sedang	1.000 Kg – 10.000 Kg
Banyak	> 5.500 Kg

$$\mu_{[Buah]Sedikit} = \begin{cases} 1 & ; x < 1.000 \\ \frac{5.500 - x}{5.500 - 1.000} & ; 1.000 \leq x \leq 5.500 \\ 0 & ; x > 5.500 \end{cases}$$

$$\mu_{[Buah]Sedang} = \begin{cases} 0 & ; x < 1.000 \text{ atau } x > 10.000 \\ \frac{x - 1.000}{5.500 - 1.000} & ; 1.000 \leq x \leq 5.500 \\ \frac{10.000 - x}{10.000 - 5.500} & ; 5.500 < x < 10.000 \end{cases}$$

$$\mu_{[Buah]Banyak} = \begin{cases} 0 & ; x < 5.500 \\ \frac{x - 5.500}{10.000 - 5.500} & ; 5.500 \leq x \leq 10.000 \\ 1 & ; > 10.000 \end{cases}$$

Representasi grafik dari data fuzzifikasi terhadap buah dapat dilihat pada Gambar 1 berikut ini.



Gambar 1. Fuzzifikasi buah

2. Input Besar Tekanan

Tabel 2. Nilai Linguistik Tekanan

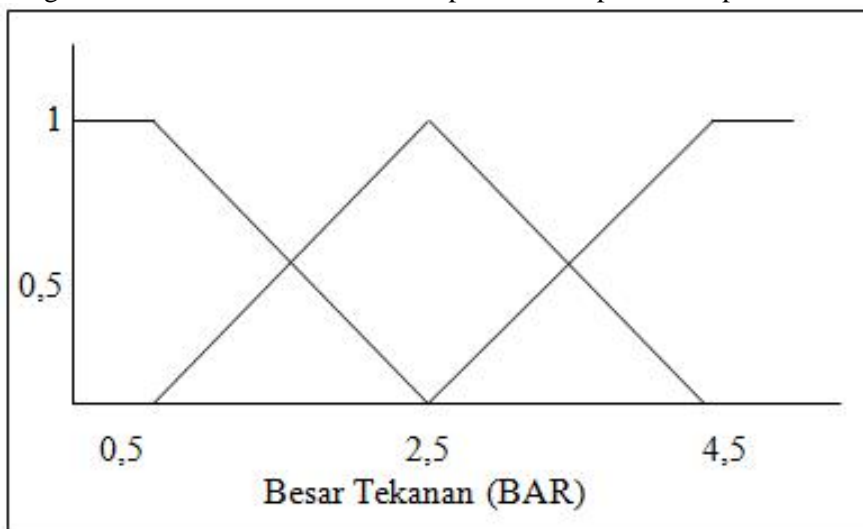
Nilai Linguistik	Interval
Kecil	0,5 BAR – 2,5 BAR
Standart	0,5 BAR – 4,5 BAR
Besar	> 2,5 BAR

$$\mu_{[Tekanan]Kecil} = \begin{cases} 1 & ; \quad x < 0,5 \\ \frac{2,5 - x}{2,5 - 0,5} & ; \quad 0,5 \leq x \leq 2,5 \\ 0 & ; \quad x > 2,5 \end{cases}$$

$$\mu_{[Tekanan]Standart} = \begin{cases} 0 & ; \quad x < 0,5 \text{ atau } x > 4,5 \\ \frac{x - 0,5}{2,5 - 0,5} & ; \quad 0,5 \leq x \leq 2,5 \\ \frac{4,5 - x}{4,5 - 2,5} & ; \quad 2,5 < x < 4,5 \end{cases}$$

$$\mu_{[Tekanan]Besar} = \begin{cases} 0 & ; \quad x < 2,5 \\ \frac{x - 2,5}{4,5 - 2,5} & ; \quad 2,5 \leq x \leq 4,5 \\ 1 & ; \quad > 4,5 \end{cases}$$

Representasi grafik dari data fuzzifikasi terhadap tekanan dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Fuzzifikasi tekanan

3. Output Waktu

Tabel 3. Nilai Linguistik Waktu

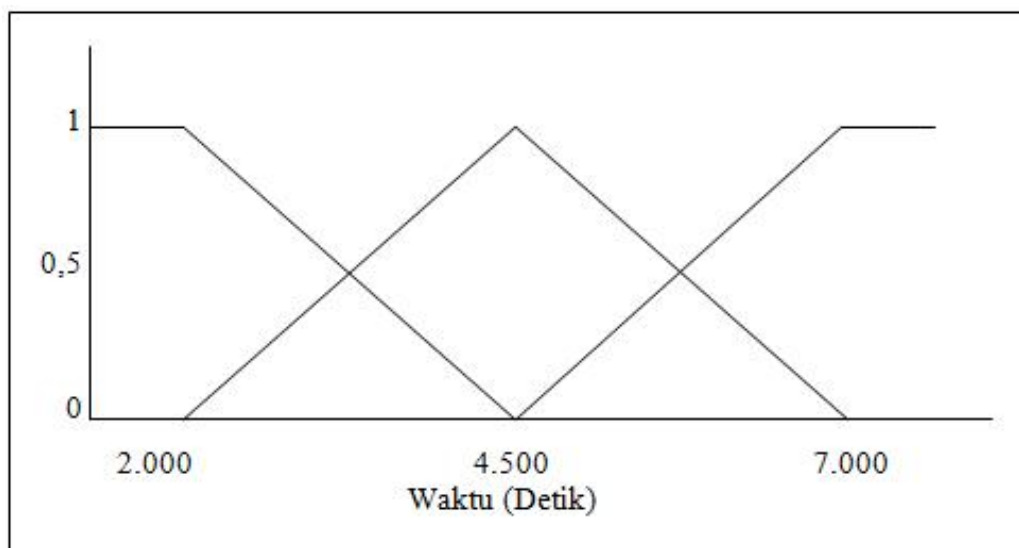
Nilai Linguistik	Interval
Cepat	2.000 Detik – 4.500 Detik
Sedang	2.000 Detik – 7.000 Detik
Lama	4.500 Detik – 7.000 Detik

$$\mu_{[Waktu]Cepat} = \begin{cases} 1 & ; \quad x < 2.000 \\ \frac{4.500 - x}{4.500 - 2.000} & ; \quad 2.000 \leq x \leq 4.500 \\ 0 & ; \quad x > 4.500 \end{cases}$$

$$\mu_{[Waktu]Sedang} = \begin{cases} 0 & ; \quad x < 2.000 \text{ atau } x > 7.000 \\ \frac{x - 2.000}{7.000 - 2.000} & ; \quad 2.000 \leq x \leq 7.000 \\ \frac{7.000 - x}{7.000 - 2.000} & ; \quad 2.000 > x > 7.000 \end{cases}$$

$$\mu_{[Lama]Lama} = \begin{cases} 0 & ; \quad x < 4.500 \\ \frac{x - 4.500}{7.000 - 4.500} & ; \quad 4.500 \leq x \leq 7.000 \\ 1 & ; \quad > 7.000 \end{cases}$$

Representasi grafik dari data fuzzifikasi terhadap waktu dapat dilihat pada Gambar 3 berikut ini.



Gambar 3. Fuzzifikasi Waktu

Hasil dari proses fuzzifikasi dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Nilai Linguistik Input dan Output

Fungsi	Nama Variabel	Himpunan Fuzzy	Nilai Variabel	Satuan	Nilai Domain
Input	Buah	Sedikit	1.000 – 10.000	Kg	[1.000 – 5.500]
		Sedang			[1.000 – 10.000]
		Banyak			[5.500 - 10.000]
	Tekanan	Kecil	0.8 – 4	BAR	[0,5 – 2,5]
		Standart			[0,5 – 4,5]
		Besar			[2,5 – 4,5]
Output	Waktu	Cepat	2.000 – 7.000	Detik	[2.000 - 4.500]
		Sedang			[2.000 - 7.000]
		Lama			[4.500 - 7.000]

2.2 Komposisi Aturan

Aplikasi fungsi implikasi menggunakan *rules* sebagai berikut :

- Jika Buah = Sedikit dan Tekanan = Kecil, Maka Waktu = Sedang
- Jika Buah = Sedikit dan Tekanan = Standart, Maka Waktu = Sedang
- Jika Buah = Sedikit dan Tekanan = Besar, Maka Waktu = Cepat
- Jika Buah = Sedang dan Tekanan = Kecil, Maka Waktu = Lama
- Jika Buah = Sedang dan Tekanan = Standart, Maka Waktu = Sedang
- Jika Buah = Sedang dan Tekanan = Besar, Maka Waktu = Cepat
- Jika Buah = Banyak dan Tekanan = Kecil, Maka Waktu = Lama
- Jika Buah = Banyak dan Tekanan = Standart, Maka Waktu = Lama
- Jika Buah = Banyak dan Tekanan = Besar, Maka Waktu = Sedang

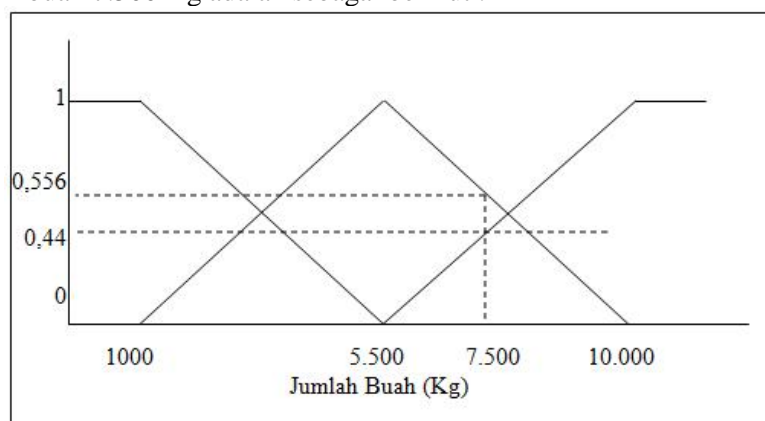
Misalkan akan dilakukan proses sterilisasi TBS sebanyak = 7.500 Kg dengan Tekanan = 2.8 BAR, maka akan dilakukan perhitungan waktu sterilisasi dengan menggunakan metode Mamdani sebagai berikut :

Banyak buah tergolong pada tingkat sedang dan banyak, maka dihitung dengan :

$$\mu_{[Buah]Sedang [7.500]} = \frac{10.000 - 7.500}{10.000 - 5.500} = 0,556$$

$$\mu_{[Buah]Banyak [7.500]} = \frac{7.500 - 5.500}{10.000 - 5.500} = 0,444$$

Representasi grafik buah 7.500 Kg adalah sebagai berikut :



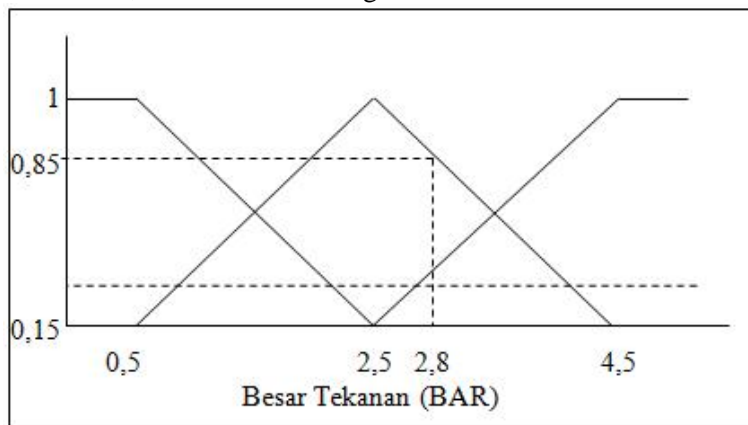
Gambar 4. Fuzzifikasi buah 7.500 Kg

Besar tekanan tergolong pada tingkat standart dan besar, maka dihitung dengan :

$$\mu_{[Tekanan]Standart [2,8]} = \frac{4,5 - 2,8}{4,5 - 2,5} = 0,85$$

$$\mu_{[Tekanan]Besar [2,8]} = \frac{2,8 - 2,5}{4,5 - 2,5} = 0,15$$

Representasi grafik tekanan 2,8 BAR adalah sebagai berikut :



Gambar 5. Fuzzifikasi tekanan 2,8 BAR

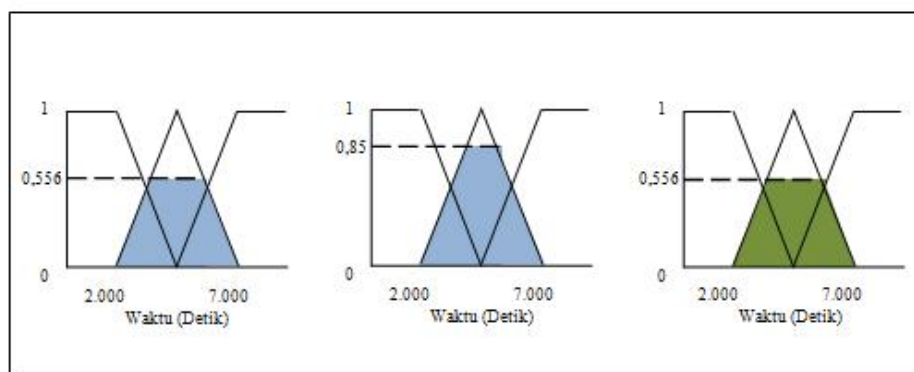
Dari kedua nilai variabel maka aturan-aturan yang terlibat adalah sebagai berikut :

[R5] Jika Buah = Sedang dan Tekanan = Standart, Maka Waktu = Standart

$$\alpha_{Rule5} = \text{Min} (\mu_{[Buah]Sedang [7.500]} \cap \mu_{[Tekanan]Standart [2,8]})$$

$$\alpha_{Rule5} = \text{Min} (0,556 ; 0,85)$$

$$\alpha_{Rule5} = 0,556$$



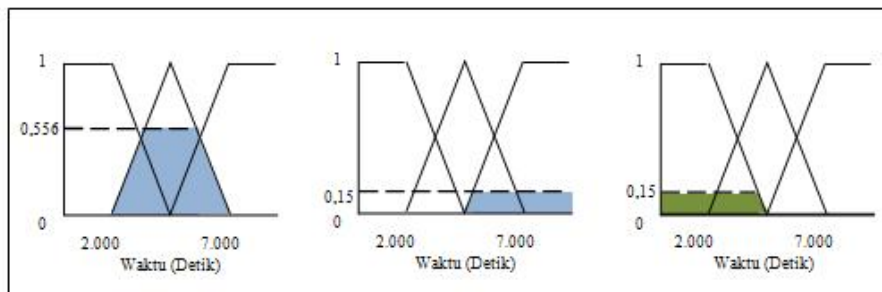
Gambar 6. Implikasi Rule5

[R6] Jika Buah = Sedang dan Tekanan = Besar, Maka Waktu = Cepat

$$\alpha_{Rule6} = \text{Min} (\mu_{[Buah]Sedang}[7.500] \cap \mu_{[Tekanan]Besar} [2,8])$$

$$\alpha_{Rule6} = \text{Min} (0,56 ; 0,15)$$

$$\alpha_{Rule6} = 0,15$$



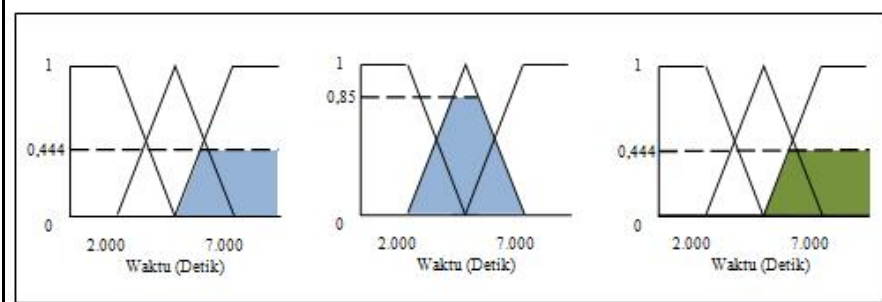
Gambar 7. Implikasi rule6

[R8] Jika Buah = Banyak dan Tekanan = Standart, Maka Waktu = Lama

$$\alpha_{Rule8} = \text{Min} (\mu_{[Buah]Banyak}[7.500] \cap \mu_{[Tekanan]Standart} [2,8])$$

$$\alpha_{Rule8} = \text{Min} (0,444 ; 0,85)$$

$$\alpha_{Rule8} = 0,444$$



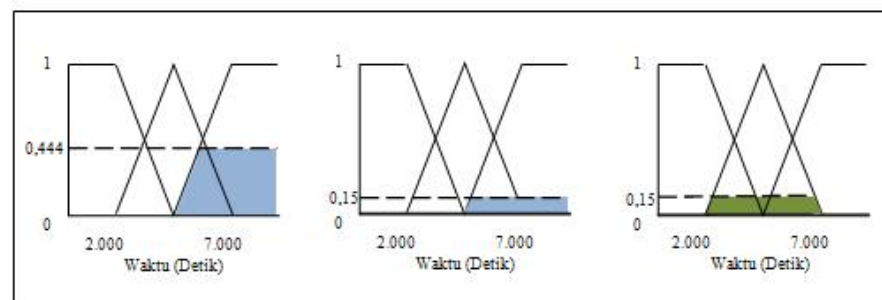
Gambar 8. Implikasi rule8

[R9] Jika Buah = Banyak dan Tekanan = Besar, Maka Waktu = Standart

$$\alpha_{Rule9} = \text{Min} (\mu_{[Buah]Banyak}[7.500] \cap \mu_{[Tekanan]Besar} [2,8])$$

$$\alpha_{Rule9} = \text{Min} (0,444 ; 0,15)$$

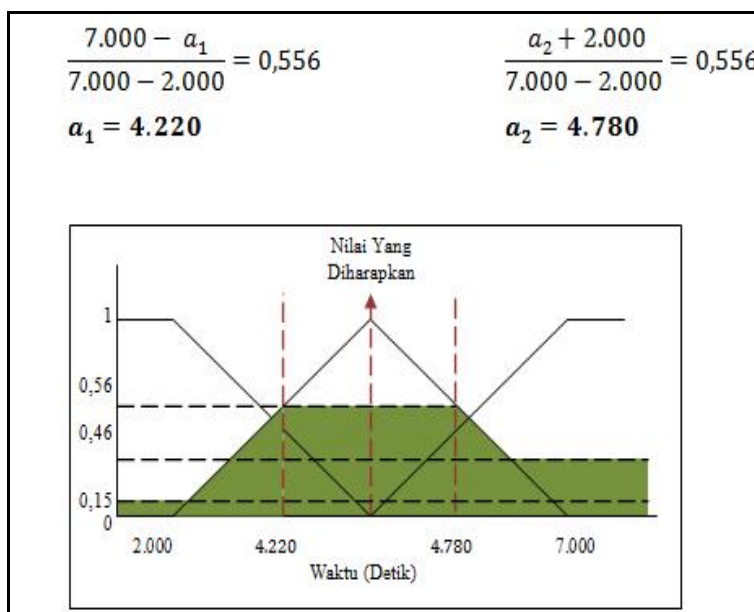
$$\alpha_{Rule9} = 0,15$$



Gambar 9. Implikasi rule9

Setelah mendapatkan hasil implikasi, dimana area maksimal yang didapatkan adalah pada bagian waktu sedang. Metode defuzzifikasi yang digunakan adalah Mean of Maximum (MOM),

sebelum melakukan perhitungan menggunakan metode MOM, dibutuhkan nilai batasan area yang akan dicari dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :



Gambar 10. Titik potong area MAX

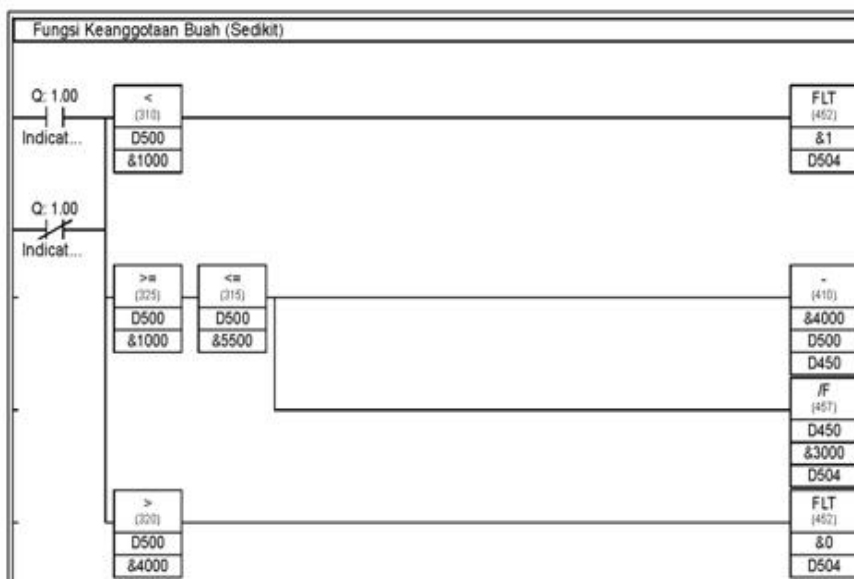
Maka nilai yang diharapkan adalah :

$$Z^* = \frac{4.220 + 4780}{2}$$

$$Z^* = 4.500$$

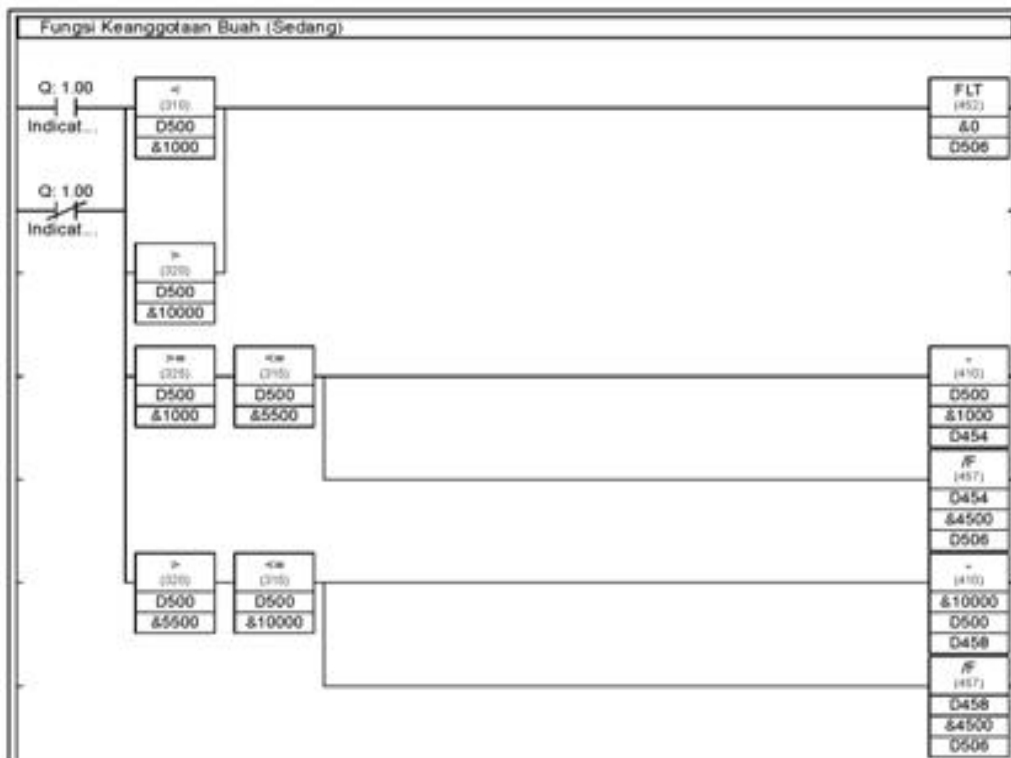
Perancangan *Ladder Diagram* :

1 LD Keanggotaan Buah Sedikit :



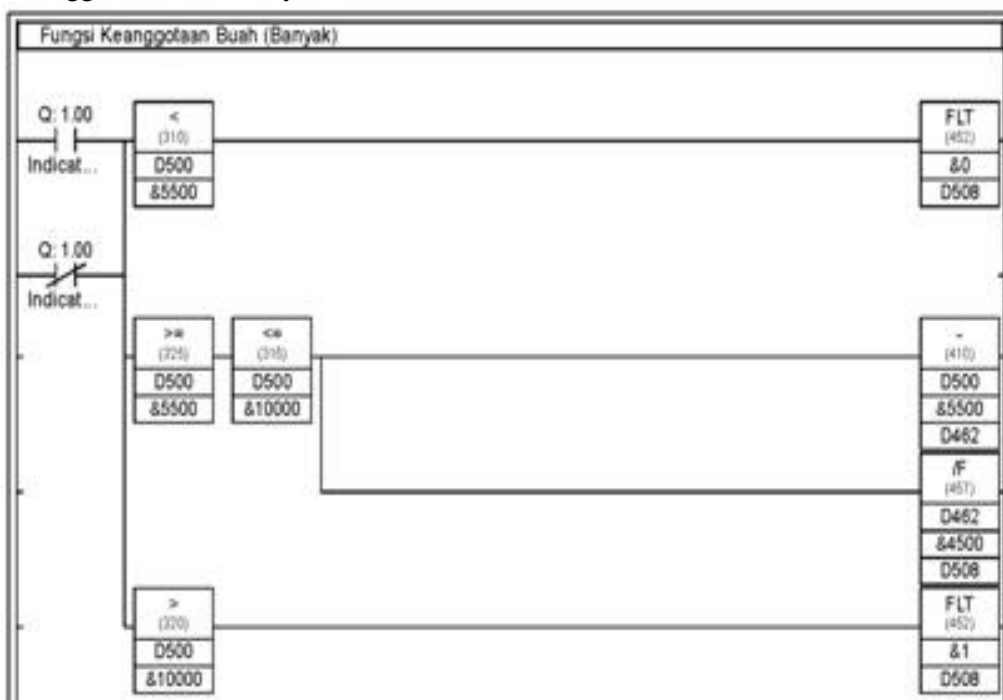
Gambar 11. LD keanggotaan buah sedikit

2 LD Keanggotaan Buah Sedang :



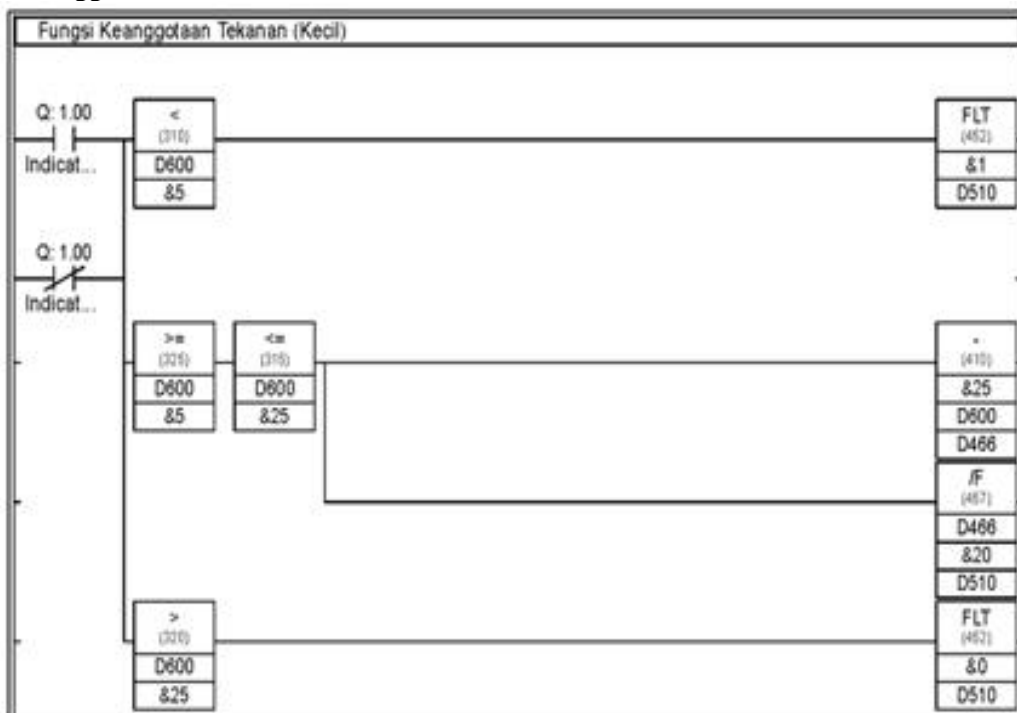
Gambar 12. LD keanggotaan buah sedang

3 LD Keanggotaan Buah Banyak :



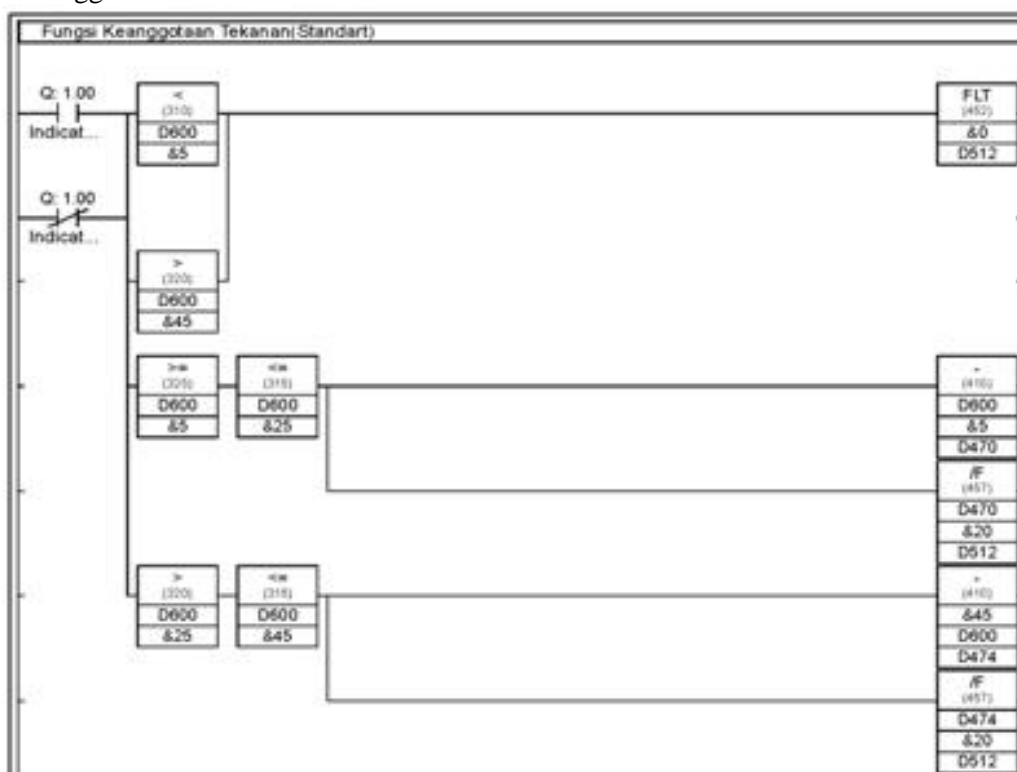
Gambar 13. LD keanggotaan buah banyak

4 LD Keanggotaan Tekanan Kecil:



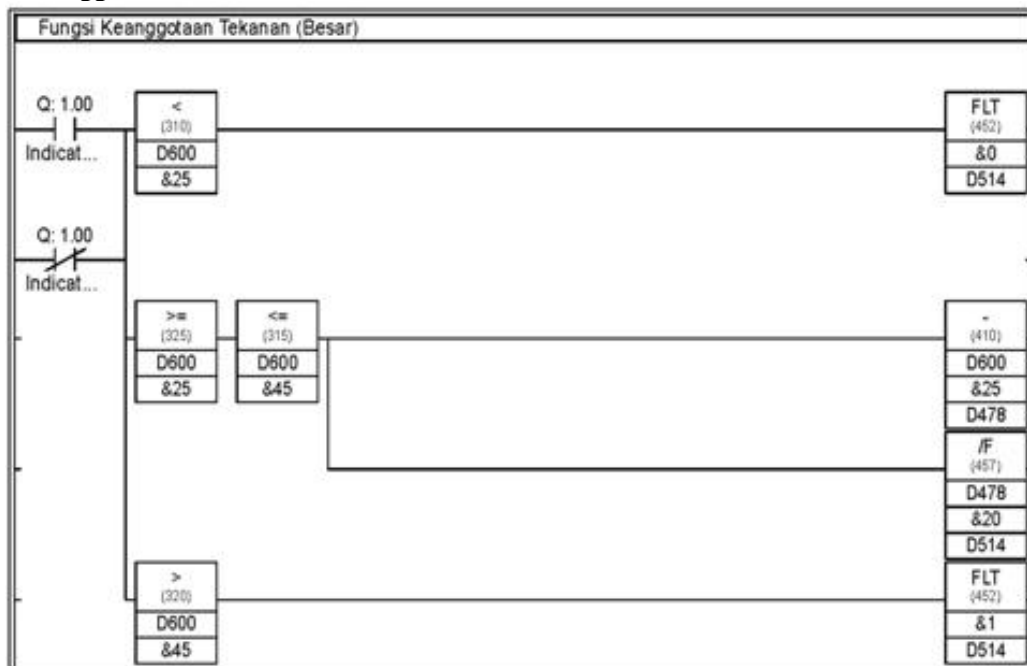
Gambar 14. LD keanggotaan tekanan kecil

5 LD Keanggotaan Tekanan Standart:



Gambar 15. LD keanggotaan tekanan standar

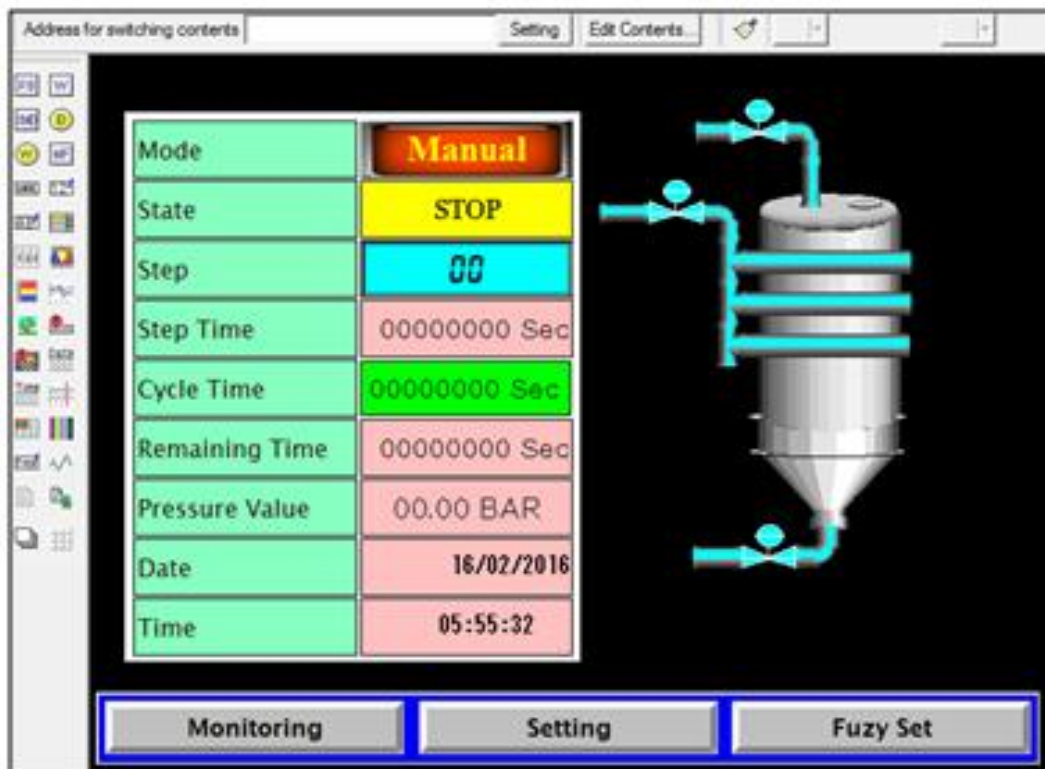
6 LD Keanggotaan Tekanan Besar:



Gambar 16. LD keanggotaan tekanan besar

Perancangan Human Machine Interface (HMI) :

1 HMI Form Monitoring :



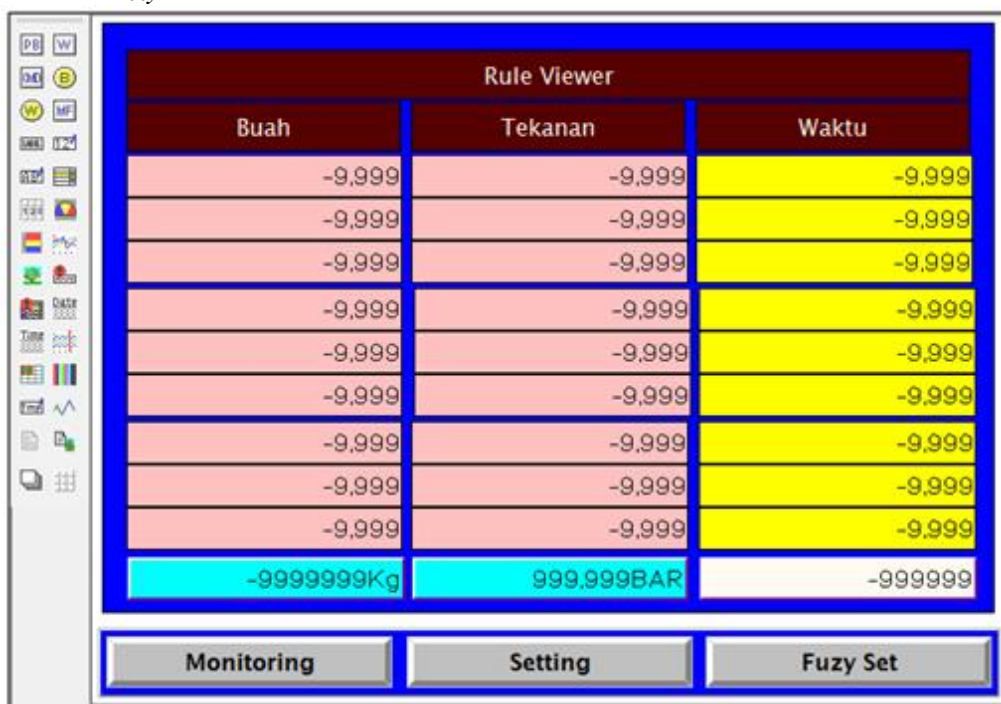
Gambar 17. HMI form monitoring

2 HMI Form Setting :



Gambar 18. HMI Form Setting

3 HMI Form Fuzzy Set :



Gambar 19. HMI Form Fuzzy Set

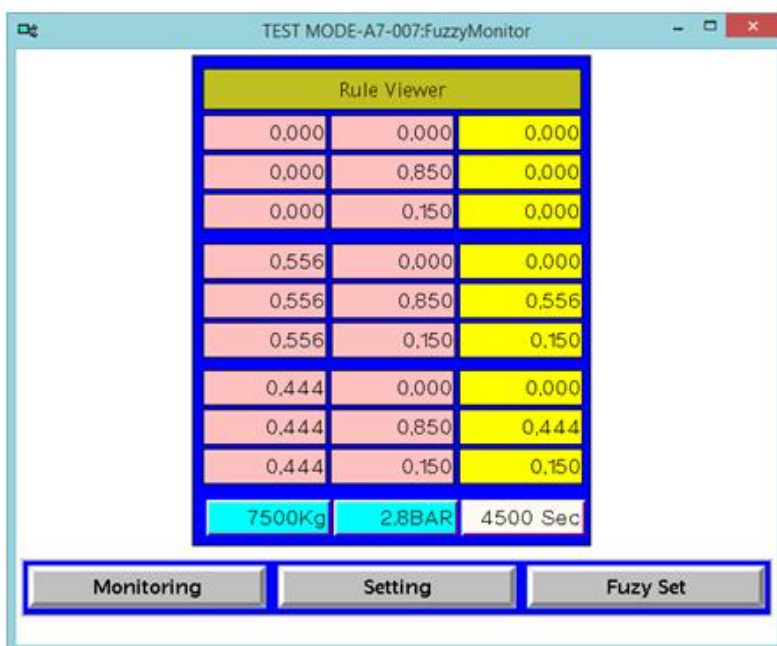
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses pengujian sistem yang dirancang akan dilakukan dengan percobaan menggunakan dua nilai input (Jumlah Buah dan Besar Tekanan), proses pengujian dilakukan dengan menggunakan ladder diagram yang telah dirancang, dan dibandingkan kembali dengan aplikasi Matlab untuk mengukur tingkat akurasi, dengan tabel nilai input sebagai berikut :

Tabel 5. Data Input Percobaan

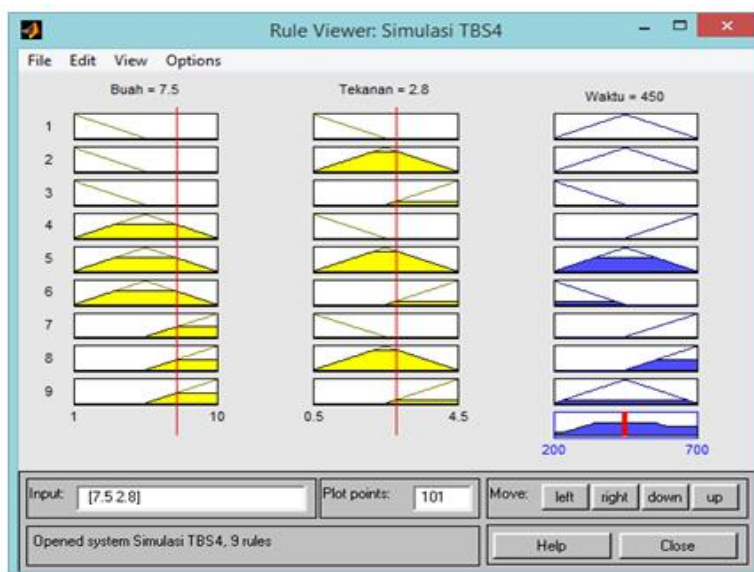
No	Jumlah Buah (Kg)	Besar Tekanan (BAR)
1	7.500	2,8
2	9.500	2,5
3	6.500	3,8
4	5.500	4,5
5	9.850	2,1
6	5.950	3,6
7	3.300	3,6

Hasil pengujian pertama dengan *ladder diagram* yang ditampilkan dengan visualisasi HMI dapat dilihat sebagai berikut:



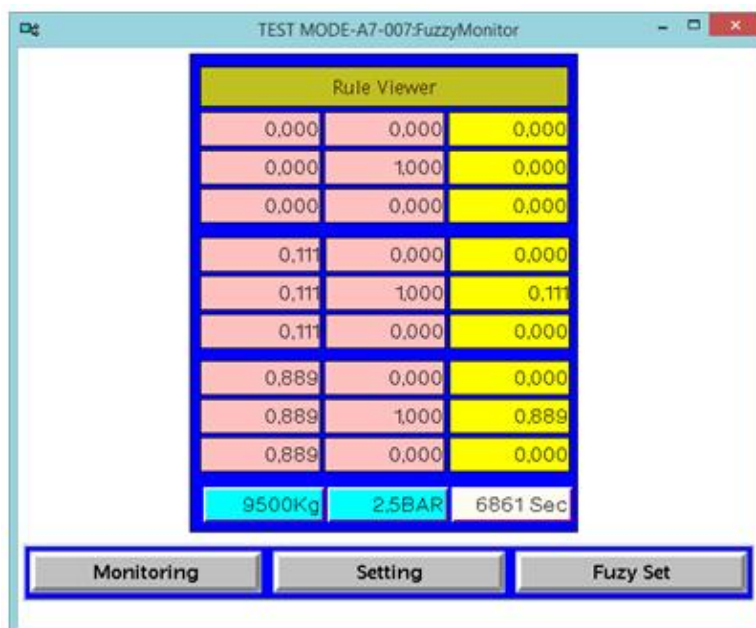
Gambar 20. HMI pengujian pertama

Hasil pengujian pertama dengan Matlab yang ditampilkan dengan *output* grafik dapat dilihat sebagai berikut:

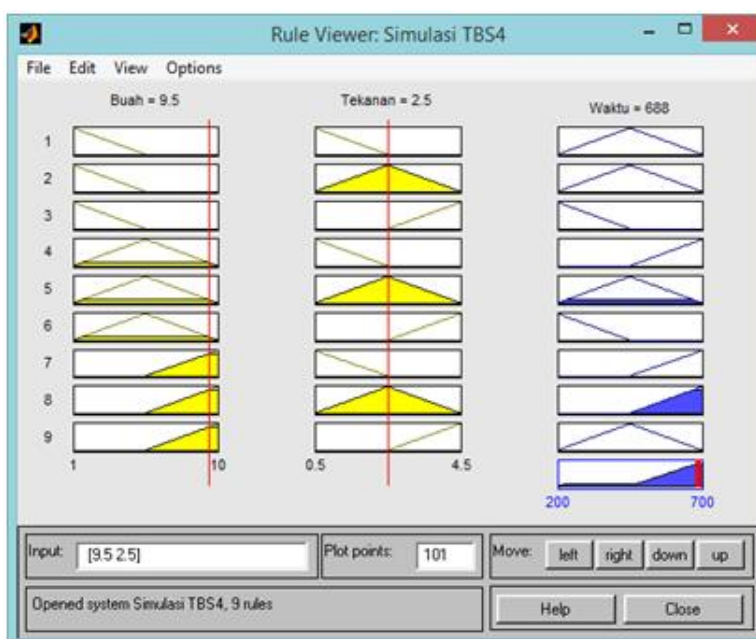


Gambar 21. Matlab pengujian pertama

Dari hasil pengujian pertama dapat dilihat bahwa proses perhitungan waktu sterilisasi menggunakan logika *fuzzy* Mamdani dengan *input* buah = 7.500 Kg dan *input* tekanan =2,8 BAR memiliki *output* waktu = 4.500 detik, demikian juga proses perhitungan menggunakan *Matlab* dengan *input* yang sama memiliki *output* waktu = 450 detik dengan skala 1:10 = 4.500 detik



Gambar 22. HMI pengujian kedua



Gambar 23. Matlab pengujian kedua

Dari hasil pengujian kedua dapat dilihat bahwa proses perhitungan waktu sterilisasi menggunakan logika *fuzzy* Mamdani dengan *input* buah = 9.500 Kg dan *input* tekanan =2,5 BAR memiliki *output* waktu = 6.861 detik, demikian juga proses perhitungan menggunakan *Matlab* dengan *input* yang sama memiliki *output* waktu = 6.88 detik dengan skala 1:10 = 6.880 detik.

Setelah melakukan pengujian sebanyak 7 kali percobaan, maka didapatkan hasil perbandingan nilai output sebagai berikut:

Tabel 6. Data Hasil Pengujian

No	Jumlah Buah (Kg)	Besar Tekanan (BAR)	Output HMI (Detik)	Output Matlab (Detik)
1	7.500	2,8	4.500	4.500
2	9.500	2,5	6.861	6.880
3	6.500	3,8	2.438	2.430
4	5.500	4,5	2.000	2.000
5	9.850	2,1	6.750	6.750
6	5.950	3,6	2.563	2.550
7	3.300	3,6	2.611	2.600

4. KESIMPULAN

Setelah melakukan penelitian terhadap penerapan metode *fuzzy logic* dalam visualisasi perebusan buah kelapa sawit menggunakan *ladder diagram*, dapat diambil beberapa kesimpulan berikut:

1. Metode *fuzzy logic* Mamdani dengan mengadopsi pengetahuan dapat membangun sistem yang mampu memprediksi waktu perebusan yang optimal berdasarkan jumlah buah dan besar tekanan yang digunakan.
2. Pola logika manusia dapat digunakan sebagai basis pengetahuan yang dapat ditanamkan sebagai *rules* ke dalam perangkat sistem kendali, sehingga menghasilkan sistem yang cerdas dan dapat untuk diterapkan guna meringankan berbagai rutinitas manusia terutama dibidang produksi.
3. Dengan menggunakan paket *software CX-One* dapat dilakukan proses simulasi menggunakan *ladder diagram* dan visualisasi proses perebusan buah kelapa sawit dengan memberikan gambaran sistem kendali *steam* pada *sterilizer* untuk dilakukan berbagai percobaan hingga dapat dipastikan bahwa sistem tersebut telah layak untuk digunakan.
4. Pada proses pengujian, dilakukan perbandingan antara sistem yang dirancang dengan *software Matlab*, terdapat terjadi perbedaan *output* pada beberapa percobaan. Hal ini dikarenakan proses perhitungan pada *software Matlab* menggunakan skala perbandingan nilai pada variabel *input* jumlah buah dan variabel *output* waktu. Selain penggunaan skala, proses perhitungan yang berjalan pada *software Matlab* terjadi pembulatan bilangan desimal yang mengambil dua angka di belakang koma, sedangkan proses perhitungan pada *ladder diagram* menggunakan tipe data *Floating Point* dengan panjang 4 bytes.

BAHAN REFERENSI

- [1] Nurcahyo GW, 2003, Modified Sweep Algorithm With Fuzzy-Based Parameters For Public Bus Route Selection, *Tesis*, Faculty Of Computer Science And Information System, Universiti Teknologi, Malaysia
- [2] Kusumadewi Sri, Purnomo Hadi, 2004, *Aplikasi Logika Fuzzy untuk Pendukung Keputusan*, Graha Ilmu, Yogyakarta
- [3] Hadi HM, Tamrin SBM, Karupiah K. 2014. Hazard and Risk Analysis of Different Sterilizer Technology in Palm Oil Mills. *Advances in Environmental Biology*, 8(15):85-90
- [4] Dorjee RG, 2014. PLC and Fuzzy Logic Control Of Variable Frequency Drive. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 16:186-190
- [5] Vijayaraghavan G, Jayalakshmi M, 2012. Emerging Applications Of Fuzzy Logic In Chemical Process System. *International Journal of Advanced Engineering Technology*, E-ISSN 0976-3945
- [6] Dinesh SR, 2012. FLC and PLC based Process Optimization and Control of Batch Digester in Pulp and Paper Mill. *Research Journal of Engineering Science*, 1(2):51-62
- [7] Rana SS, 2015. Development of PID Like FLC Algorithm for Industrial Applications. *International Journal of Engineering Technologies and Management Research*, Vol. 2(1): 12-22.
- [8] Suprpto BY, Wahab W, Salam A, 2013. Pengaruh Perubahan Set Point pada Pengendali Fuzzy Logic untuk Pengendali Suhu Mini Boiler. *Jurnal Rekayasa Elektrika*, Vol 10: 172-179
- [9] Nasution, Muhammad Irwan Padli, 2014, Keunggulan Kompetitif dengan Teknologi Informasi. *Jurnal Elektronik*