

Implementasi Sistem Kontrol Aliran dan Tekanan Oksigen Menggunakan Logika Fuzzy pada Reaktor Ozon

Siti Athiul Millah, Dwiky Fajri Syahbana, Fauzi Imaduddin Adhim, dan Ahmad Hafizh
Departemen Teknik Elektro Otomasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: dwiky.syahbana@gmail.com

Abstrak—Kondisi pandemi Coronavirus disease (COVID-19) terus meningkat oleh sebab itu dibutuhkan perancangan peralatan yang dapat mencegah COVID-19 tersebut yaitu alat sterilisasi peralatan kesehatan. Sistem sterilisator yang ada di pasaran saat ini belum memiliki kontrol aliran dan tekanan oksigen sehingga produksi ozon tidak terkendali dikarenakan aliran dan tekanan oksigen yang akan masuk pada reaktor ozon tidak terkontrol yang menyebabkan ozon akan masuk berlebih dan tidak sesuai dengan standarisasi kadar ozon pada peralatan kesehatan. Untuk memenuhi kebutuhan alat sterilisasi tersebut PT. Parametrik Solusi Integrasi membuat alat sterilisasi peralatan kesehatan menggunakan gas ozon (O₃) dengan metode pembangkit Dielectric Barrier Discharge (DBD) dengan penambahan kontrol aliran dan tekanan oksigen menggunakan metode logika fuzzy. Kontrol aliran dan tekanan yang dilakukan pada sterilisator ini ditujukan agar aliran dan tekanan yang dihasilkan akan lebih terkontrol. Penggunaan fuzzy sebagai metode yang digunakan bertujuan untuk mendapatkan nilai laju aliran dan tekanan yang sesuai dengan set point. Sistem sterilisasi menggunakan logika fuzzy membuat respon sesuai dengan standar yang ditentukan dan mendekati set point yang diberikan dengan nilai laju aliran 5 Lpm dan tekanan 120 kPa dengan rata-rata eror aliran oksigen sebesar 4,3% dan rata-rata eror tekanan oksigen 3,9%.

Kata Kunci—*Dielectric Barrier Discharge, Generator Ozon, Kontroler Logika Fuzzy, Laju Aliran Oksigen, Tekanan Oksigen.*

I. PENDAHULUAN

KASUS infeksi Coronavirus disease (COVID-19) di Indonesia terus bertambah dan belum menunjukkan tanda-tanda akan melambat dalam waktu dekat. Berdasarkan fakta tersebut, perlu adanya perancangan dan pengembangan sebuah alat untuk mencegah terjadinya penyebaran COVID-19. Kebutuhan alat sterilisasi yang semakin meningkat inilah sehingga PT. Parametrik Solusi Integrasi membuat sterilisasi peralatan kesehatan. Alat sterilisasi peralatan medis merupakan salah satu kebutuhan yang paling penting, karena alat ini bisa diterapkan di berbagai rumah sakit sehingga para petugas medis merasa aman karena peralatan medis yang digunakan sudah tersterilisasi.

Sterilisasi merupakan sebuah upaya untuk membunuh mikroorganisme termasuk dalam bentuk spora. Desinfeksi merupakan proses untuk merusak organisme yang bersifat patogen, namun tidak dapat mengeliminasi dalam bentuk spora (Tille, 2017). Metode sterilisasi dan desinfeksi yang dipilih untuk melakukan sterilisasi yaitu menggunakan Ozon (O₃) dan sinar Ultraviolet (UV). Ozon (O₃) merupakan gas tidak stabil yang terdiri dari tiga atom oksigen. Dikatakan tidak stabil karena ozon akan mudah terdegradasi kembali ke keadaan stabilnya hal ini menjadikannya sebagai disinfektan

dan pengoksidasi yang aman dan ramah lingkungan serta sangat kuat untuk sterilisasi, karena atom atau radikal oksigen bebas sangat reaktif dan akan mengoksidasi hampir semua hal (termasuk virus, bakteri, senyawa organik dan anorganik). Sedangkan sterilisasi sinar Ultraviolet (UV) untuk menghancurkan dan mengubah DNA (asam deoksiribonukleat) yang merupakan struktur mikroorganisme dengan iradiasi sinar ultraviolet, sehingga bakteri dapat langsung dibunuh dan dicegah perkembangbiakannya.

Dielectric Barrier Discharge (DBD) merupakan salah satu teknologi yang efektif untuk menghasilkan ozon. Plasma sebagai gas yang terionisasi dalam lucutan listrik, jadi plasma dapat juga didefinisikan sebagai campuran kuasi-netral dari elektron, radikal, ion positif dan negatif. Campuran antara ion-ion yang bermuatan positif dengan elektron-elektron yang bermuatan negatif memiliki sifat-sifat yang sangat berbeda dengan gas pada umumnya dan materi pada fase ini disebut fase plasma.

Generator ozone yang dibuat saat ini masih menggunakan pengoperasian manual sehingga kurang efektif, dan dibutuhkan kendali otomatis dalam pengaplikasiannya. Saat ini terdapat banyak kontrol otomatisasi yaitu dengan Mikrokontroler. Kontrol aliran dan tekanan pada oksigen dapat dilakukan untuk membuat keluaran ozon lebih efisien. Perlu dilakukan penelitian mengenai otomatisasi generator ozon menggunakan mikrokontroler Robotdyn Mega 2560.

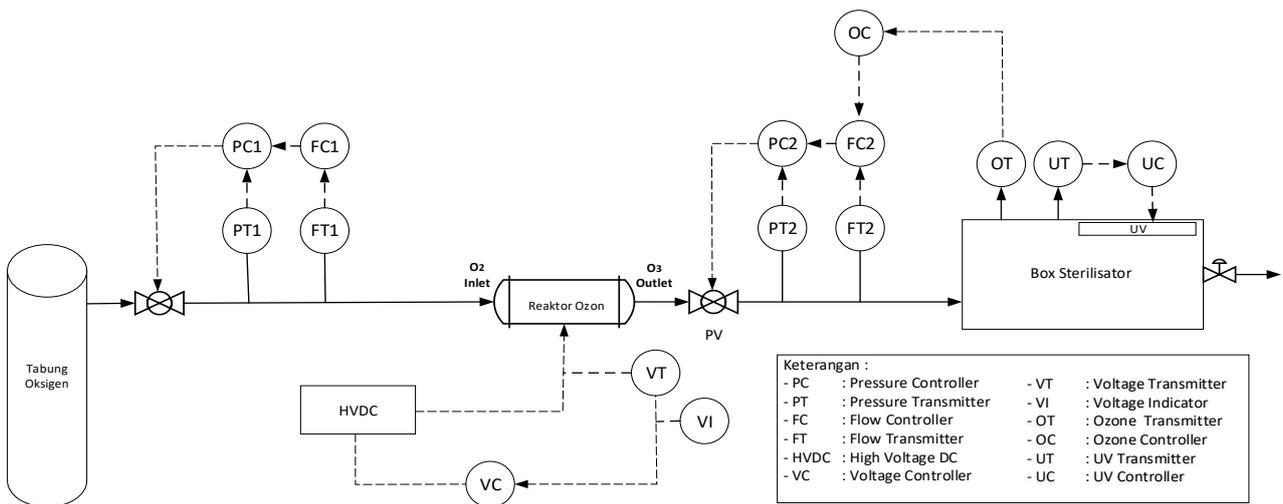
Berangkat dari latar belakang maka penulis menyajikan sebuah sistem untuk proyek akhir yang berjudul "Implementasi Sistem Kontrol Aliran dan Tekanan Oksigen Menggunakan Logika Fuzzy pada Reaktor Ozon". Pada penelitian ini dilakukan penerapan metode kontrol aliran dan tekanan oksigen pada reaktor ozon menggunakan logika fuzzy. Kontroler fuzzy ini yang secara luas digunakan di industri proses dikarenakan memiliki struktur sederhana, mudah diaplikasikan, dan mudah digunakan.

Dengan mempertimbangkan hal tersebut maka alat sterilisasi ini mampu memudahkan dunia kesehatan dan menjadi faktor penting dalam penanganan serta penurunan resiko angka penyebaran COVID-19. Metode penyemprotan dengan ozon yang dihasilkan oleh generator merupakan salah satu cara untuk melakukan sterilisasi terhadap peralatan medis.

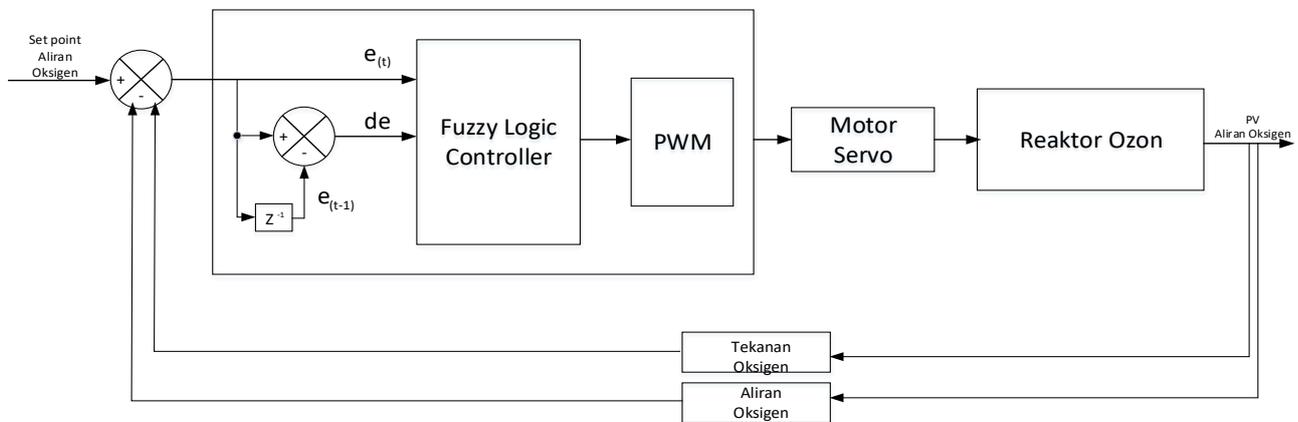
II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Generator Ozon

Generator ozon adalah alat pembangkit plasma dan penghasil ozon. Seiring dengan perkembangan teknologi berbasis tegangan tinggi (high voltage), ozon dapat



Gambar 1. Gambar P&ID keseluruhan sistem sterilisator.



Gambar 2. Diagram blok sistem kontrol aliran dan tekanan oksigen.

diproduksi pada tekanan udara atmosfer melalui proses lucutan elektron (electron discharge) menggunakan instrumentasi generator ozon. Ozon dengan gas masukan yang berasal dari udara atau oksigen dapat dihasilkan oleh voltage electrical discharge dengan frekuensi arus bolak-balik yang rendah atau tinggi serta dengan energi radiasi yang tinggi [1].

B. Kontroler Logika Fuzzy

Kata Fuzzy secara leksikal mengandung arti tidak jelas, samar atau kabur. Konsep himpunan fuzzy sebenarnya dilatarbelakangi oleh cara berpikir manusia dalam mempresentasikan dan menganalisa fenomena-fenomena di alam nyata yang serba tidak tepat (samar). Logika manusia memandang suatu fenomena tidak hanya terdiri dari dua nilai, satu atau nol, maupun benar atau salah, tetapi merupakan suatu logika multi nilai yang berangsur-angsur dari nol hingga satu (gradual). Kata fuzzy dalam teori sistem pengaturan selalu dihubungkan dengan kata logika, sehingga diperoleh kata logika fuzzy yang berarti suatu logika yang samar. Dengan kata lain, dalam menentukan fenomena-fenomena di alam yang mengandung sifat tidak tepat atau samar kita tentukan aturan yang samar juga. Konsep teori himpunan fuzzy didasarkan pada pengelompokan elemen-elemen ke dalam kelas-kelas yang mempunyai atas yang tidak jelas. Kelompok-kelompok itulah yang disebut himpunan fuzzy [2].

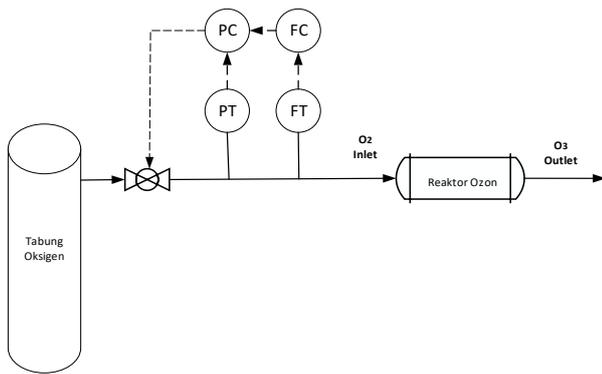
Logika Fuzzy merupakan hasil pengembangan dari logika Boolean, dimana pada logika Boolean ini hanya terdapat dua nilai logika yaitu benar atau salah (0 dan 1). Dua nilai logika ini sebenarnya sudah sangat efektif untuk mengatasi permasalahan yang karakteristiknya memiliki gambaran yang jelas dan dapat direpresentasikan dalam bentuk kuantitatif. Namun, tidak semua permasalahan bersifat demikian, ada juga permasalahan yang jenisnya lebih kompleks dan kebanyakan ditangani oleh manusia daripada mesin otomatis. Konsep logika benar dan salah belum cukup untuk menangani permasalahan ini, sehingga diperlukan perluasan seperti hampir benar atau sedikit benar [3].

Perbedaan mendasar antara logika fuzzy dengan logika boolean terletak pada harga kebenaran. Pada logika fuzzy harga kebenaran diberikan dalam terminologi linguistik dengan menyertakan predikat kekaburan (fuzzyness). Harga kebenaran dan derajat kekaburan pada terminologi linguistik dapat dinyatakan dengan tolok ukur, misalnya agak, cukup, sangat dan sebagainya [4].

III. PERANCANGAN SISTEM

A. Perancangan Keseluruhan Sistem Sterilisasi

Pada proses perancangan dan pembuatan keseluruhan sistem sterilisator akan dijelaskan mengenai cara kerja dari



Gambar 3. P&ID sistem kontrol aliran dan tekanan pada oksigen.

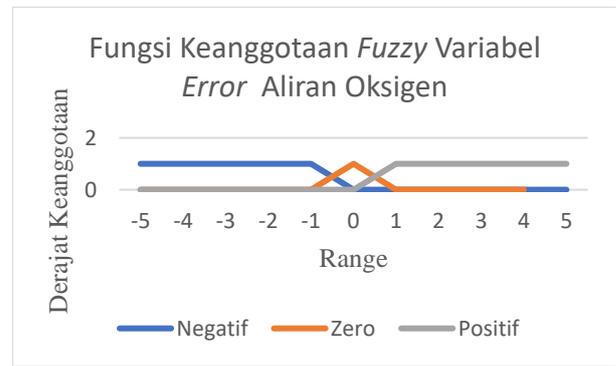
keseluruhan sistem sterilisator yang akan dibuat dapat dilihat pada Gambar 1.

Diagram alir pada gambar 1 menjelaskan Piping and Instrumentation Diagram (P&ID) sistem sterilisator secara keseluruhan yaitu dengan menggunakan generator Ozon dan sinar Ultraviolet (UV). Gas ozon merupakan gas dengan oksidasi yang sangat kuat untuk proses membunuh bakteri dalam sterilisasi karena atom atau radikal oksigen bebas sangat reaktif dan akan mengoksidasi hampir semua hal (termasuk virus, bakteri, senyawa organik dan anorganik). Sedangkan sterilisasi Ultraviolet (UV) dapat menghancurkan dan mengubah DNA (asam deoksiribonukleat) yang merupakan struktur mikroorganisme dengan iradiasi sinar ultraviolet, sehingga bakteri dapat langsung dibunuh dan dicegah perkembangbiakannya. Pembangkitan Ozon pada proyek akhir ini yaitu menggunakan listrik tegangan tinggi atau High Voltage DC dengan metode Dielectric Barrier Discharge (DBD) yang bertujuan untuk mengubah Oksigen menjadi Ozon didalam reaktor [5]. Selanjutnya keluaran dari ozon yang sudah mencapai 3 ppm akan diatur tekanannya untuk masuk ke dalam box sterilisasi yang akan mensterilkan beberapa macam alat kesehatan maupun yang lainnya [6]. Kemudian setelah proses sterilisasi selesai maka akan mengaktifkan ultraviolet (UV) supaya Ozon dapat terdegradasi sehingga mencapai kadar ppm yang aman bagi manusia yaitu 0.01 PPM [7].

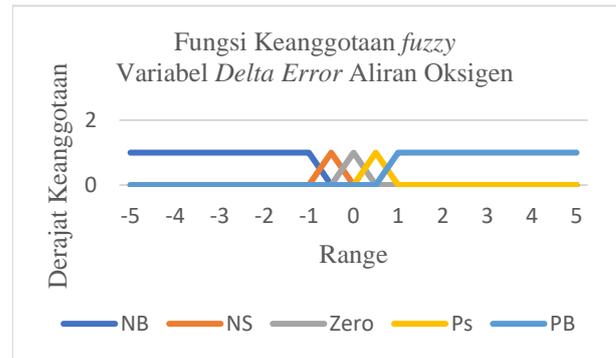
B. Perancangan SubSistem Kontrol Aliran dan Tekanan Oksigen

Diagram blok pada Gambar 2 menjelaskan bahwa sistem kontrol aliran dan tekanan oksigen menggunakan konfigurasi cascade yang memiliki dua loop pengaturan yang saling berkesinambungan. Terdiri atas inner loop dan outer loop yang masing-masing memiliki kontroler, yaitu kontroler primer dan sekunder. Sinyal kontrol yang dihasilkan oleh kontroler primer pada outer loop menjadi set point untuk inner loop yaitu aliran dan tekanan. Pada sistem ini ditambahkan kontroler yang dirancang dengan metode fuzzy dengan input yang diberikan berupa eror aliran, dan tekanan serta turunan dari eror atau delta eror aliran dan tekanan. Pada sistem ini aktuator yang digunakan berupa motor servo dengan plant berupa reaktor ozon, dan Measurement system yang digunakan berupa sensor aliran dan tekanan.

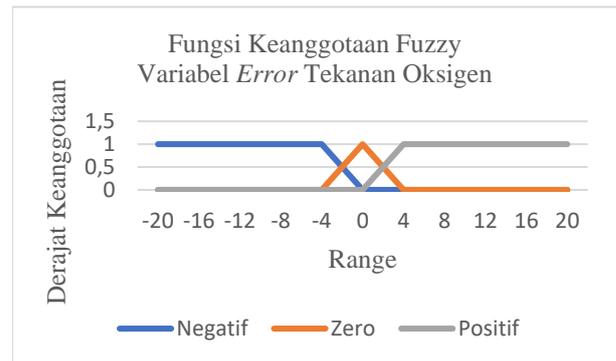
Piping and Instrumentation Diagram (P&ID) merupakan skema dari jalur pipa, instrumentasi dan sistem kontrol dari suatu proses. Diagram P&ID dapat digunakan untuk memahami suatu proses dan bagaimana instrument saling



Gambar 4. Fungsi keanggotaan dari variabel error kadar aliran oksigen.



Gambar 5. Fungsi keanggotaan dari variabel delta error aliran oksigen.



Gambar 6. Fungsi keanggotaan dari variabel error tekanan oksigen.

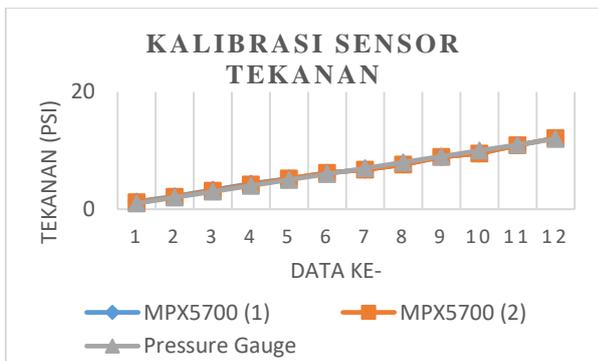
terhubung dan untuk jalur pipa di simbolkan dengan sebuah garis, seperti pada Gambar 3. Reaktor merupakan komponen utama yang digunakan sebagai sumber utama penghasil gas ozon. Masukan dari reaktor berupa gas oksigen yang kemudian terjadi pelucutan tegangan tinggi sehingga menghasilkan gas ozon. Setelah itu ozon yang keluar dari reaktor dialirkan ke box sterilisator. Jumlah gas ozon yang keluar diatur oleh control valve.

Sensor MPX5700 berfungsi mengukur aliran Oksigen yang mengirimkan ke kontroler primer FC dengan pembacaan beda tekanan. Keluaran FC menjadi setpoint dari kontroler sekunder PC. PC juga menerima masukan dari aliran yang dikirim oleh sensor tekanan MPX700 PT. Manipulated value dari PC digunakan untuk mengatur PWM pada motor servo yang sudah dikopel dengan ball valve.

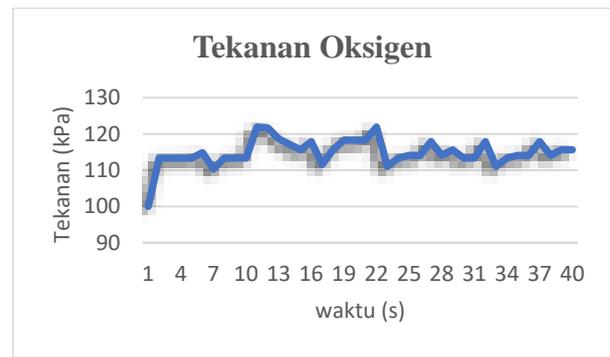
C. Perancangan Kontrol Aliran dan Tekanan Oksigen Menggunakan Logika Fuzzy

1) Perancangan Fungsi Keanggotaan

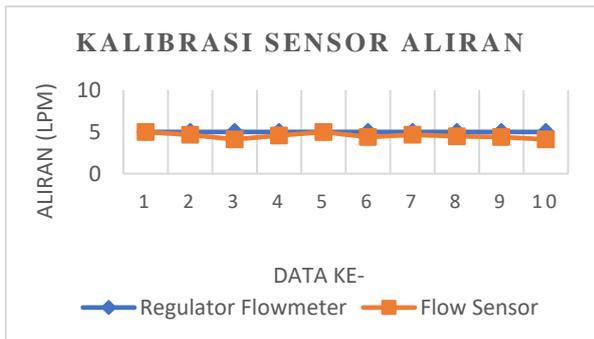
Pada kontroler ini, digunakan tiga buah fungsi keanggotaan yang digunakan untuk mendefinisikan setiap masukan dan keluarannya. Jenis fungsi keanggotaan yang



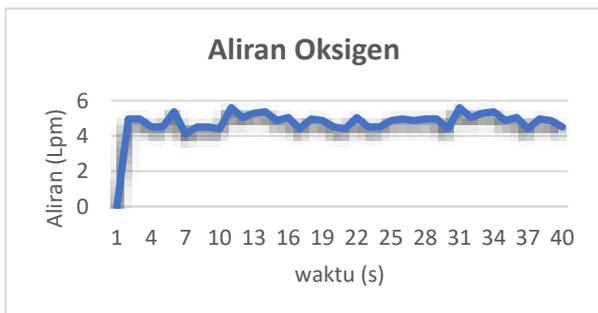
Gambar 7. Grafik kalibrasi dua sensor tekanan MPX5700 absolute pressure.



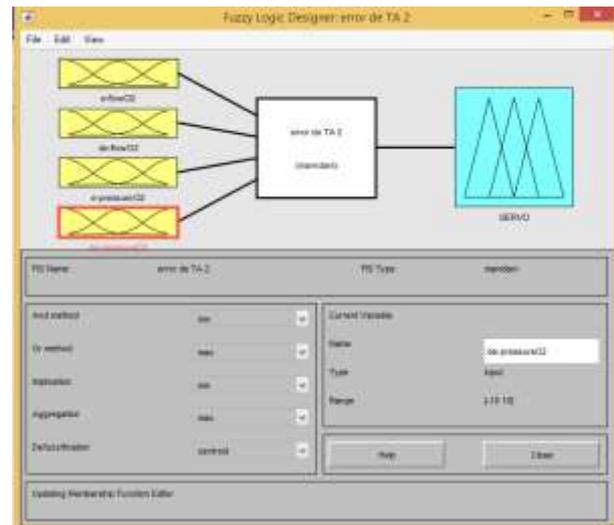
Gambar 10. Grafik pengujian open loop pada tekanan oksigen.



Gambar 8. Grafik kalibrasi sensor aliran.



Gambar 9. Grafik pengujian open loop pada aliran oksigen.



Gambar 11. Kontroler logika fuzzy pada matlab.

digunakan ada dua macam yaitu jenis segitiga dan jenis trapesium. Dalam satu variabel, terdapat dua buah fungsi keanggotaan jenis trapesium dan tiga buah jenis segitiga dalam satu variabel. Fungsi trapesium dipilih untuk mendefinisikan derajat keanggotaan sama dengan satu pada banyak nilai variabelnya, sedangkan fungsi segitiga dipilih karena memiliki nilai yang terbatas dan derajat keanggotaannya bernilai satu pada satu titik tertentu. Ilustrasi dari fungsi keanggotaan yang digunakan pada kontroler ini dapat dilihat pada Gambar 4, Gambar 5, Gambar 6.

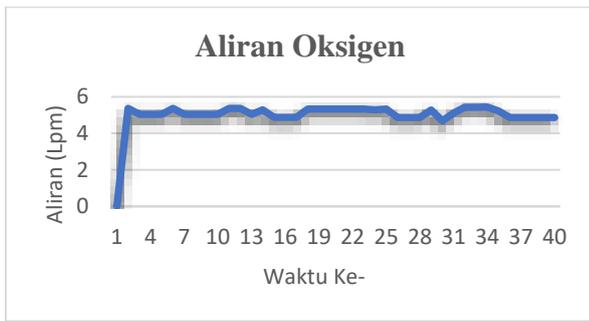
Setelah pembentukan fungsi keanggotaan pada masing – masing variabel, input yang berupa nilai crisp akan diubah ke dalam fuzzy input yaitu menentukan derajat keanggotaan nilai input pada sebuah himpunan fuzzy, proses ini disebut fuzzifikasi.

2) Perancangan Fungsi Implikasi

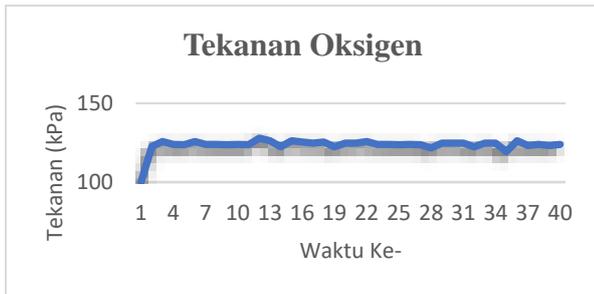
. Setelah pembentukan himpunan fuzzy, maka dilakukan pembentukan aturan fuzzy (rule set). Aturan – aturan dibentuk untuk menyatakan relasi antara input dan output. Tiap aturan merupakan suatu implikasi. Operator yang digunakan untuk menghubungkan antara dua input adalah operator AND, dan yang memetakan antara input–output adalah IF–THEN.

Berdasarkan hasil dari fungsi keanggotaan, maka dirancang sebuah basis kaidah fuzzy (Rule Evaluation Fuzzy). Bentuk dari rule yang akan dirancang adalah IF (anteseden1) AND (anteseden2) THEN (konsekuen). Sehingga dapat dibuat enam belas rule atau aturan fuzzy yang nanti akan digunakan dalam proses inferensi sebagai berikut:

1. Aturan 1: IF error Aliran Negatif AND error Tekanan Negatif THEN Servo Kecil
2. Aturan 2: IF error Aliran Negatif AND error Tekanan Zero THEN Servo Kecil
3. Aturan 3: IF error Aliran Negatif AND error Tekanan Positif THEN Servo Kecil.
4. Aturan 4: IF error Aliran Zero AND error Tekanan Negatif THEN Servo Besar.
5. Aturan 5: IF error Aliran Zero AND error Tekanan Zero THEN Servo Besar.
6. Aturan 6: IF error Aliran Zero AND error Tekanan Positif THEN Servo Besar.
7. Aturan 7: IF error Aliran Positif AND error Tekanan Negatif THEN Servo Terbuka.
8. Aturan 8: IF error Aliran Positif AND error Tekanan Zero THEN Servo Terbuka.
9. Aturan 9: IF error Aliran Positif AND error Tekanan Positif THEN Servo Terbuka.
10. Aturan 10: IF error Aliran Negatif delta error Aliran NB AND error Tekanan Negatif delta error Tekanan NB THEN Servo Kecil.
11. Aturan 11: IF error Aliran Zero delta error Aliran Z AND error Tekanan Zero delta error Tekanan Z THEN Servo Besar.



Gambar 12. Grafik pengujian aliran oksigen menggunakan kontroler fuzzy.



Gambar 13. Grafik pengujian tekanan oksigen menggunakan kontroler fuzzy.

12. Aturan 12: IF error Aliran Positif delta error Aliran PB AND error Tekanan Positif delta error Tekanan PB THEN Servo Terbuka.

Dari aturan yang telah didapatkan, maka selanjutnya menentukan predikat masing-masing aturan dengan menggunakan metode Implikasi, yaitu pengambilan keputusan atau konsekuen berdasarkan nilai minimum (MIN) antara proposisi anteseden dengan menggunakan rumus berikut:

$$\begin{aligned} \text{Predikat} &= \mu_{\text{Anteseden}x} \wedge \mu_{\text{Anteseden}y} \\ &= \min(\mu_{\text{Anteseden}x}, \mu_{\text{Anteseden}y}) \end{aligned} \quad (1)$$

3) Komposisi Aturan

Komposisi aturan menggunakan fungsi MAX. Komposisi aturan merupakan kesimpulan secara keseluruhan dengan mengambil tingkat keanggotaan maksimum dari tiap konsekuen aplikasi fungsi implikasi dan menggabungkan dari semua kesimpulan masing – masing aturan. Sehingga didapat daerah solusi fuzzy menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\mu_S(z) = \mu_{kF1}(z) \cup \mu_{kF2}(z) \cup \mu_{kF3}(z) \dots \mu_{kF16}(z) \quad (2)$$

4) Penegasan

Langkah terakhir dalam proses ini adalah defuzzyfikasi atau disebut juga tahap penegasan, yaitu untuk mengubah himpunan fuzzy menjadi bilangan real. Input dari proses penegasan ini adalah suatu himpunan fuzzy yang diperoleh dari komposisi aturan – aturan fuzzy, sedangkan output yang dihasilkan merupakan suatu bilangan pada domain himpunan fuzzy tersebut. Defuzzyfikasi yang digunakan dalam menentukan nilai kadar ppm, aliran dan tekanan pada oksigen adalah dengan metode centroid. Berikut adalah rumus perhitungan defuzzyfikasi dengan metode centroid:

$$Z = \frac{\int_a^b \mu_x(z)z \, dz}{\int_a^b \mu_x(z) \, dz} \quad (3)$$

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Rangkaian Sensor MPX 5700 Absolute Pressure

Pada pengujian sensor ini bertujuan untuk mengetahui seberapa akurat nilai dari pembacaan tekanan dari sensor MPX 5700 Absolute Pressure. Pengujiannya dilakukan dengan cara membandingkan nilai pembacaan dari dua sensor MPX 5700 Absolute Pressure dengan alat ukur tekanan yaitu pressure gauge. Dari pengujian tersebut akan terlihat seberapa akurat pembacaan tekanan dari sensor MPX 5700 Absolute Pressure dengan cara melihat seberapa besar persentase errornya. Hasil data pengujian sensor tekanan terdapat dalam bentuk grafik pada Gambar 7.

Dari hasil pengujian diperoleh nilai pembacaan dua sensor tekanan MPX 5700 Absolute Pressure yang mendekati nilai hasil pembacaan pressure gauge tetapi masih terdapat sedikit error. Error yang dihasilkan pada kalibrasi dua sensor MPX 700 Absolute Pressure memiliki rata-rata 5-7% yang menandakan bahwa nilai pembacaan sensor MPX 5700 Absolute Pressure kurang tepat.

B. Pengujian Rangkaian Sensor MPX 5700 Absolute Pressure untuk Mencari Nilai Aliran

Pada pengujian sensor ini bertujuan untuk mengetahui seberapa akurat nilai dari pembacaan aliran dari perbedaan nilai tekanan yang dibaca oleh dua sensor MPX 5700 Absolute Pressure. Pengujiannya dilakukan dengan cara membandingkan nilai pembacaan dari dua sensor MPX 5700 Absolute Pressure dengan alat ukur aliran yaitu regulator flowmeter. Dari pengujian tersebut akan terlihat seberapa akurat pembacaan tekanan dari dua sensor MPX 5700 Absolute Pressure dengan cara melihat seberapa besar persentase errornya. Hasil data pengujian aliran dengan memberikan set point tetap berupa aliran 5 Lpm terdapat pada Gambar 8.

C. Pengujian Open Loop Sistem Sterilisator

Pengujian secara open loop bertujuan untuk mengetahui nilai pembacaan sensor dan waktu yang paling optimal dan seberapa stabil kinerja reaktor ozon dalam menghasilkan kadar ozon serta untuk mengetahui seberapa pengaruh laju aliran dan tekanan dalam menghasilkan ozon pada reaktor ozon. Pengujian dilakukan dengan memberikan masukan berupa laju aliran yang konstan sebesar 5 Lpm. Adapun hasil dari pengujian terdapat pada Gambar 9 dan Gambar 10.

Pada Gambar 9 merupakan grafik respon transient pengujian open loop ketika diberikan nilai set point aliran oksigen sebesar 5 Lpm. Dari hasil pengujian didapatkan respon sistem yang kurang stabil dan terdapat undershoot yang signifikan yaitu pada nilai aliran 4,11 Lpm. Perancangan sistem konfigurasi open loop dilakukan untuk mengetahui response time dari nilai aliran ozon dan mengetahui rata-rata error aliran yang dihasilkan yaitu 6,1%

Pada Gambar 10 merupakan grafik respon transient pengujian open loop ketika diberikan nilai set point tekanan ozon sebesar 120 kPa. Dari hasil pengujian didapatkan respon sistem yang kurang stabil dengan nilai yang dihasilkan lumayan jauh dari set point yang diberikan. Perancangan sistem konfigurasi open loop dilakukan untuk mengetahui response time dari nilai tekanan ozon dan mengetahui rata-rata error tekanan yang dihasilkan yaitu 4,8%.

D. Pengujian Performa Logika Fuzzy

Sistem kontrol aliran dan tekanan oksigen pada reaktor ozon harus sesuai dengan kondisi yang telah ditetapkan melalui metode logika fuzzy. Metode logika fuzzy yang berdasarkan nilai input dari ozon untuk menghasilkan output. Hasil tersebut sesuai dengan aturan fuzzy yang telah dibuat.

Pada Gambar 11 merupakan tampilan utama logika fuzzy pada Matlab. Tampilan utama fuzzy pada matlab ini diatur sebagaimana mestinya. Dengan 4 input yaitu error aliran, delta error aliran, error tekanan, delta error tekanan dan 1 output berupa servo. Logika fuzzy pada matlab ini sudah diatur dengan tipe metode mamdani.

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui nilai pembacaan sensor dan waktu yang paling optimal dan seberapa stabil kinerja reaktor ozon dalam menghasilkan kadar ozon serta untuk mengetahui seberapa pengaruh laju aliran dan tekanan dalam menghasilkan ozon pada reaktor ozon. Pengujian dilakukan dengan memberikan masukan berupa laju aliran yang konstan sebesar 5 Lpm.

Pada Gambar 12 merupakan grafik respon transient ketika diberikan nilai *set point* aliran oksigen dari *Regulator Flowmeter* pada tabung oksigen sebesar 5 Lpm. Respon aliran oksigen keluaran yang dihasilkan oleh sterilisator dengan kontroler logika fuzzy ini lebih stabil untuk mempertahankan nilainya sebesar 5 Lpm dari awal sampai akhir (*steady state*). Hasil pengujian tidak mengalami undershoot yang signifikan yaitu hanya pada nilai 4,68 Lpm. Perancangan sistem konfigurasi *Close loop* dilakukan untuk mengetahui *response time* dari nilai aliran oksigen dan mengetahui rata-rata eror aliran yang dihasilkan yaitu 4,3 %

Pada Gambar 13 merupakan grafik respon transient ketika diberikan nilai *set point* tekanan oksigen sebesar 120 kPa. Respon tekanan oksigen keluaran yang dihasilkan oleh sterilisator dengan kontroler logika fuzzy ini lebih stabil untuk mempertahankan nilainya sebesar 120 kPa dari awal sampai akhir (*steady state*). Perancangan sistem konfigurasi *Close loop* dilakukan untuk mengetahui *response time* dari nilai tekanan oksigen dan mengetahui rata-rata eror tekanan yang dihasilkan yaitu 3,9%.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisa data, maka dapat ditarik kesimpulan: (1) Hasil data dari pengujian laju aliran dan tekanan pada oksigen berbanding lurus dengan laju aliran sebesar 5 Lpm dan tekanan 120 kPa untuk menghasilkan kada ppm ozon yang dibutuhkan 3 ppm. (2) Nilai dari aliran oksigen yang diambil dari perbedaan nilai tekanan menggunakan *orifice plate*. Pada proses kalibrasi kedua sensor MPX 5700 *Absolute Pressure error* yang dihasilkan memiliki rata-rata 5-7% yang menunjukkan bahwa nilai pembacaan sensor kurang tepat. (3) Implementasi sistem menggunakan logika *fuzzy* dapat membuat respon aliran dan tekanan oksigen yang dihasilkan dengan rata-rata eror aliran 4,3% dan eror tekanan 3,9% dibandingkan respon sistem saat tidak menggunakan logika fuzzy memiliki rata-rata eror aliran 6,1% dan tekanan 4,8% yang menunjukkan bahwa eror saat pengujian open loop lebih besar dari pengujian close loop dengan menggunakan logika *fuzzy* dikarenakan terdapat pengaturan aliran dan tekanan menggunakan aktuatur berupa servo valve untuk mengatur derajat bukaan katup agar sesuai dengan *set point* yang diberikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Suksri, K. Karnchanalekha, K. Tonmitra, and P. Apiratikul, "A Comparative Study on Suitable High Voltage Sources for Ozone Generation," *2009 6th Int. Conf. Electr. Eng. Comput. Telecommun. Inf. Technol. ECTI-CON 2009*, vol. 1, pp. 296–299, 2009, doi: 10.1109/ECTICON.2009.5137012.
- [2] K. M. Passino And S. Yurkovich, *Fuzzy Control*. California: Addison Wesley Longman Inc, 1998.
- [3] M. A. Hady, "Desain dan Implementasi Sistem Pengaturan Fuzzy Untuk Waktu Pengapian pada Mesin Pengapian Busi," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2011.
- [4] V. Kaminskas, "Adaptive fuzzy control of pressure and level," *Information Technology and Control*, vol. 38, no. 3, pp. 232–236, 2009.
- [5] Y. Triawanto, "Influence Of Variations Of Electrode And Dielectric Towards Ozone Production And Its Application For," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2016.
- [6] K. K. K Lam and M. Phil, "Ozone Disinfection of SARS-Contaminated Areas," Hongkong: Enviro Labs Ltd., 2005.
- [7] M. E. Dubuis *et al.*, "Ozone efficacy for the control of airborne viruses: Bacteriophage and norovirus models," *PLoS One*, vol. 15, no. 4, pp. 1–19, 2020, doi: 10.1371/journal.pone.0231164.