

Implementasi Sistem Kontrol Aliran dan Tekanan Ozon Menggunakan Logika Fuzzy pada Box Sterilisator

Anita Aprillia, Dwiky Fajri Syahbana, Imam Arifin, dan Ahmad Hafizh
Departemen Teknik Elektro Otomasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: dwiky.syahbana@gmail.com

Abstrak—Saat ini Infeksi Coronavirus disease (COVID-19) terus bertambah maka 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 ozon sehingga menyebabkan produksi ozon tidak terkendali dikarenakan aliran dan tekanan ozon yang 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 ozon menggunakan metode logika fuzzy. Target yang ingin dicapai dari pengerjaan proyek akhir ini adalah sistem sterilisasi yang otomatis dan dapat diatur laju aliran, tekanan, dan kadar ppm yang dihasilkan sesuai standar sistem sterilisasi peralatan kesehatan. Aktuator yang digunakan berupa motor servo dikopel dengan valve untuk mengatur jumlah aliran ozon, tekanan ozon dan kadar ozon yang masuk dalam box sterilisator dengan metode fuzzy sebagai pengendalinya. Sistem sterilisasi menggunakan logika fuzzy membuat respon sistem sesuai dengan standar yang ditentukan dan mendekati set point yang diberikan dengan nilai kadar ozon 3 ppm, laju aliran 5 Lpm dan tekanan 120 kPa dengan rata-rata eror laju aliran ozon sebesar 8 % dan tekanan ozon sebesar 2%.

Kata Kunci—Generator Ozon, Logika Fuzzy, Kontrol Aliran, Sterilisasi, Tekanan.

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 dirancah dan dikembangkan peralatan yang dapat mencegah penularan (COVID-19). Alat sterilisasi peralatan kesehatan saat ini menjadi kebutuhan yang penting sehingga bisa diterapkan diberbagai Rumah sakit, sehingga bakteri dan virus yang adapada peralatan dapat disterilkan dan dapat mencegah penyebaran virus COVID-19 jika peralatan dapat disterilisasi dengan baik. Sterilisasi menggunakan ozon dinilai aman daripada menggunakan cairan disinfektan. Ozon dapat ditimbulkan oleh fenomena petir di alam dan dapat dihasilkan dari lucutan korona dari medan listrik yang kuat atau dapat diperoleh dari radiasi UV. Namun ozon yang diperoleh dari radiasi UV jumlahnya sedikit dan tidak efektif dilakukan. Ozon merupakan oksidator yang kuat yang dapat berfungsi sebagai alat sterilisasi dan merupakan alat yang ramah lingkungan. Ozon telah terbukti membunuh virus dalam konsentrasi tertentu sehingga pemanfaatan teknologi ozon pada berbagai sektor telah menunjukkan

kegunaan dan keunggulan dari pemanfaatan ozon. Plasma *Dielectric Barrier Discharge* (DBD) sebagai gas yang terionisasi dalam lucutan listrik, jadi plasma dapat juga didefinisikan sebagai campuran kuasi-netral dari elektron, radikal, ion positif dan negatif. Percampuran 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 [1].

Generator ozon yang dibuat saat ini masih menggunakan pengoperasian manual sehingga kurang efektif, dan dibutuhkan kendali otomatis dalam pengaplikasiannya. Saat ini terdapat banyak kontrol otomatisasi dengan Mikrokontroler. Kontrol aliran dan tekanan pada ozon dapat dilakukan untuk membuat keluaran ozon lebih efisien dan nilai kadar ppm ozon yang sesuai dengan standar sebesar 3 ppm. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian mengenai kontrol aliran dan tekanan pada ozon menggunakan mikrokontroler.

Pada penelitian ini dilakukan penerapan metode kontrol aliran dan tekanan ozon pada box sterilisator menggunakan logika fuzzy. Kontroler yang secara luas digunakan di industri proses adalah kontroler fuzzy yang memiliki struktur sederhana, mudah diaplikasikan, dan mudah digunakan.

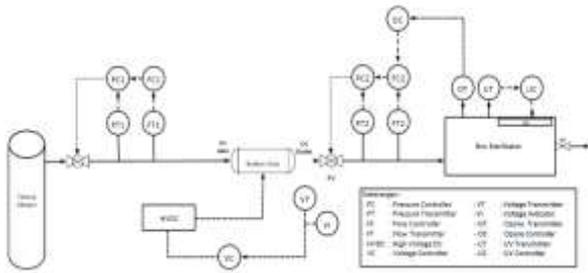
II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Generator Ozon

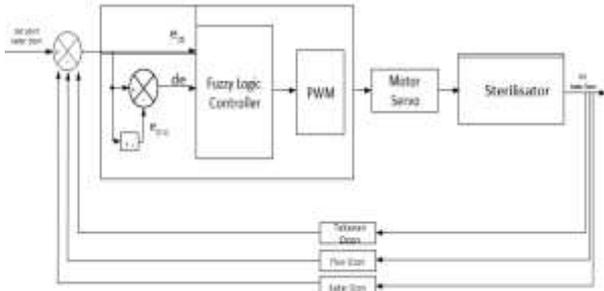
Generator ozon adalah alat pembangkit plasma dan penghasil ozon. Seiring dengan perkembangan teknologi berbasis tegangan tinggi (high voltage), ozon dapat diproduksi pada tekanan udara atmosfer melalui proses lucutan elektron (electron discharge) menggunakan instrumentasi generator ozon. Ozon dengan 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 [2].

B. Kontroler Logika Fuzzy

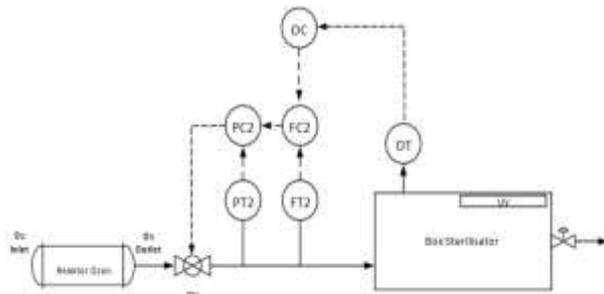
Kata Fuzzy secara leksikal mengandung arti tidak jelas, samar atau kabur. Konsep himpunan fuzzy sebenarnya dilatarbelakangi oleh cara berpikir manusia dalam menganalisa fenomena-fenomena di alam nyata yang serba tidak tepat (samar). Logika manusia memandang suatu fenomena tidak hanya terdiri dari dua nilai, satu atau nol, maupun benar atau salah, tetapi merupakan suatu logika multi nilai yang berangsur-angsur dari nol hingga satu (gradual).



Gambar 1. Gambar P&ID keseluruhan sistem sterilisator.

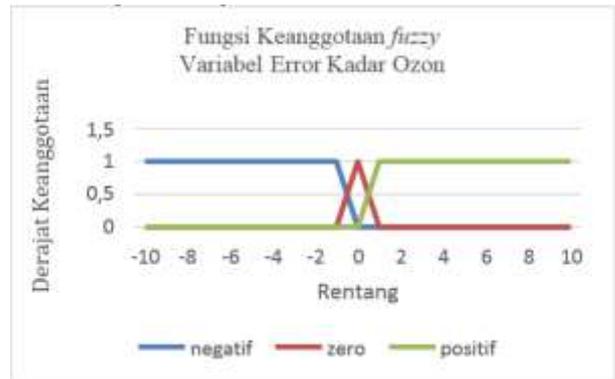


Gambar 2. Diagram blok sistem kontrol aliran dan tekanan ozon.

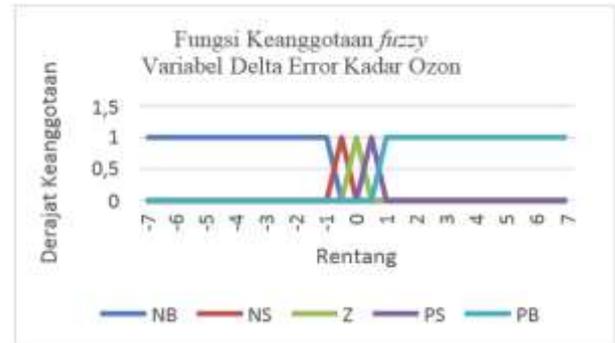


Gambar 3. P&ID subsistem kontrol aliran dan tekanan ozon.

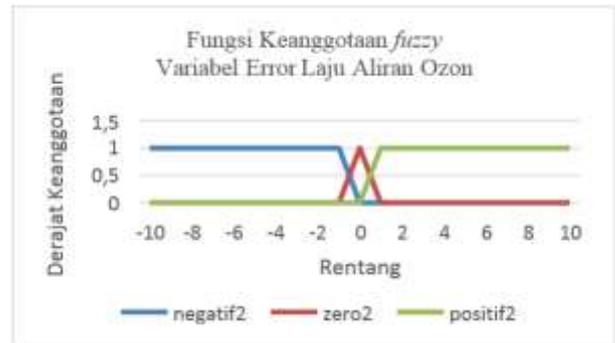
Kata fuzzy dalam teori system pengaturan selalu dihubungkan dengan kata logika, sehingga diperoleh kata logika fuzzy yang berarti suatu logika yang samar. Dengan kata lain, dalam menentukan fenomena-fenomena di alam yang mengandung sifat tidak tepat atau samar kita tentukan aturan yang samar juga. Konsep 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 [3]. 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. 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 (fuzziness). Harga kebenaran dan derajat kekaburan pada terminologi linguistik dapat dinyatakan dengan tolok ukur, misalnya agak, cukup, sangat dan sebagainya [4].



Gambar 4. Fungsi keanggotaan error kadar ozon.



Gambar 5. Fungsi keanggotaan delta error kadar ozon.

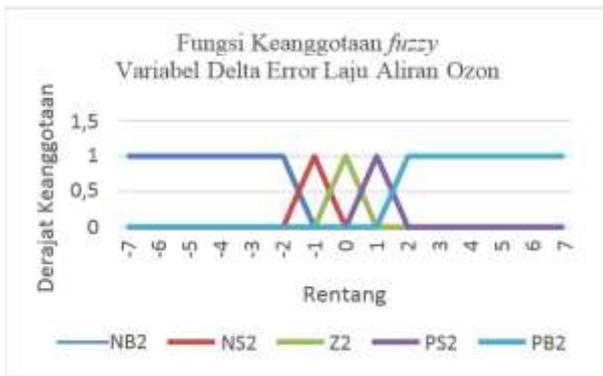


Gambar 6. Fungsi keanggotaan error laju aliran ozon.

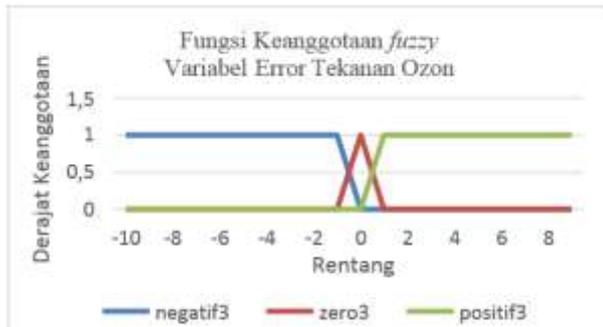
III. PERANCANGAN SISTEM

A. Perancangan Sistem Keseluruhan Sterilisasi

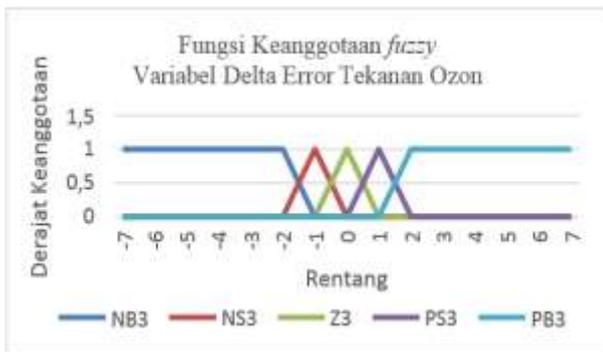
Diagram alir pada gambar 1 menjelaskan *Piping and Instrumentation Diagram* (P&ID) sistem sterilisa tor secara keseluruhan yaitu dengan menggunakan generator Ozon dan sinar Ultraviolet (UV). Gas ozon merupakan gas dengan oksidasi yang sangat kuat untuk proses membunuh bakteri dalam sterilisasi karena 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 reactor. Selanjutnya keluaran dari ozon yang sudah mencapai 3 ppm akan diatur aliran dan tekanannya untuk masuk ke dalam box sterilisasi sesuai



Gambar 7. Fungsi keanggotaan *delta error* laju aliran ozon.



Gambar 8. Fungsi keanggotaan *error* tekanan ozon.

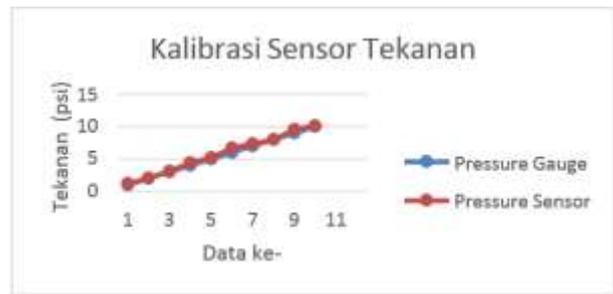


Gambar 9. Fungsi keanggotaan *delta error* tekanan ozon.

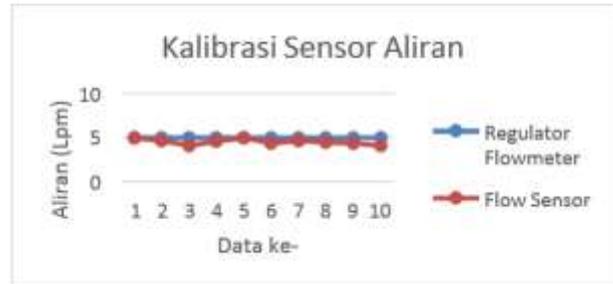
dengan set point yang diinginkan. Selanjutnya dapat mensterilkan beberapa macam alat kesehatan maupun yang lainnya. Kemudian setelah proses sterilisasi selesai maka akan mengaktifkan ultraviolet (UV) supaya Ozon dapat terdegradasi sehingga mencapai kadar ppm yang aman bagi manusia yaitu 0.01 PPM [5].

B. Perancangan Subsystem Kontrol Aliran dan Tekanan Ozon

Diagram Blok subsystem kontrol aliran dan tekanan ozon menggunakan konfigurasi cascade pada Gambar 2. Sistem kontrol memiliki tiga loop yang berkesinambungan yaitu terdapat dua inner loop dan satu outer loop. Terdapat kontroler primer, sekunder, dan tersier dimana 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 dari kadar ozon, aliran, dan tekanan serta turunan dari eror atau delta eror kadar ozon, aliran, tekanan. Aktuator berupa motor servo dengan plant berupa box sterilisator, dan Measurement system yang digunakan berupa sensor ozon, aliran, dan tekanan.



Gambar 10. Grafik kalibrasi sensor tekanan MPX 5700 DP.



Gambar 11. Grafik kalibrasi sensor aliran.



Gambar 12. Grafik pengujian open loop kadar ozon.

Piping dan 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 terhubung dan untuk jalur pipa di simbolkan dengan sebuah garis, seperti pada Gambar 3. Re aktor 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 *ball valve*.

Sensor ozon ZE27-O3 berfungsi mengukur kadar ppm dari ozon yang dihasilkan pada box sterilisator yang mengirimkan data ke kontroler primer OC. Keluaran dari OC menjadi set point dari kontroler FC. Perbedaan sensor MPX 5700 DP berfungsi mengukur aliran gas ozon yang mengirimkan data ke kontroler sekunder FC. Keluaran FC menjadi setpoint dari kontroler tersier PC. PC juga menerima masukan dari tekanan yang dikirim oleh sensor tekanan MPX5700 PT. Manipulated value dari PC digunakan untuk mengatur PWM pada motor servo yang sudah dikopel dengan *ball valve*.

C. Perancangan Kontrol Aliran dan Tekanan Ozon Menggunakan Logika Fuzzy

1) Perancangan Fungsi Keanggotaan

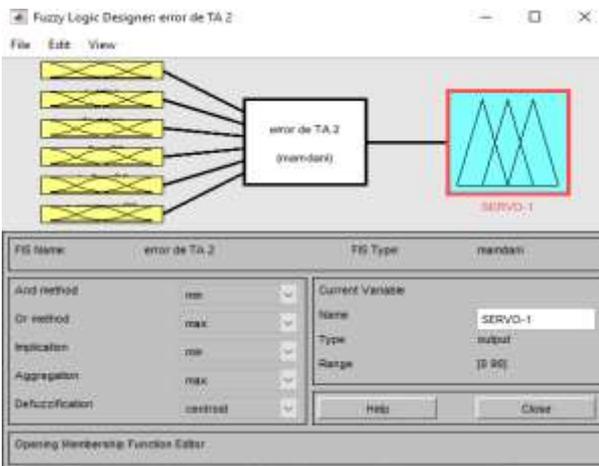
Pada kontroler ini, digunakan tiga buah fungsi keanggotaan yang digunakan untuk mendefinisikan setiap



Gambar 13. Grafik pengujian open loop aliran ozon.



Gambar 14. Grafik pengujian open lopp tekanan ozon.



Gambar 15. Fuzzy logic designer matlab.

masukannya. Jenis fungsi keanggotaan yang 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 variabel error ozon ini dapat dilihat pada Gambar 4. Untuk fungsi keanggotaan yang digunakan pada variabel delta error ozon dapat dilihat pada Gambar 5. Kemudian untuk fungsi keanggotaan variabel error laju aliran ozon terdapat pada Gambar 6, sedangkan fungsi keanggotaan fuzzy variabel delta error laju aliran ozon dapat dilihat pada Gambar 7. Untuk fungsi keanggotaan fuzzy variabel error tekanan ozon terdapat pada Gambar 8, sedangkan fungsi keanggotaan fuzzy variabel delta error tekanan ozon terlihat pada Gambar 9.

Setelah pembentukan fungsi keanggotaan pada masing – masing variabel, input yang berupa nilai *crisp* akan diubah ke



Gambar 16. Grafik pengujian kadar ozon menggunakan kontroler fuzzy.



Gambar 17. Grafik pengujian aliran ozon menggunakan kontroler fuzzy.



Gambar 18. Grafik pengujian tekanan ozon menggunakan kontroler fuzzy.

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 diatas, maka dirancang sebuah basis kaidah *fuzzy* (*Rule Evaluation Fuzzy*). Bentuk dari *rule* yang akan dirancang adalah *IF* (*anteseden*) *AND* (*anteseden2*) *AND* (*anteseden3*) *AND* (*anteseden4*) *AND* (*anteseden5*) *AND* (*anteseden6*) *THEN* (*konsekuen*).

Sehingga dari *rule* tersebut dapat dibuat aturan *fuzzy* yang nanti akan digunakan dalam proses inferensi sebagai berikut:

1. Aturan 1: *If* (*e-ozon is negatif*) *and* (*e-aliran is Negatif2*) *and* (*e-tekanan is Negatif3*) *then* (*SERVO is Tutup*)
2. Aturan 2: *If* (*e-ozon is negatif*) *and* (*e-aliran is Negatif2*) *and* (*e-tekanan is Zero3*) *then* (*SERVO isTutup*)
3. Aturan 3: *If* (*e-ozon is negatif*) *and* (*e-aliran is Negatif2*) *and* (*e-tekanan is Positif3*) *then* (*SERVO is Tutup*)
4. Aturan 4: *If* (*e-ozon is negatif*) *and* (*e-aliran is Zero2*) *and* (*e-tekanan is Negatif3*) *then* (*SERVO is Tutup*)

5. Aturan 5: *If (e-ozon is negatif) and (e-aliran is Zero2) and (e-tekanan is Zero3) then (SERVO is Tutup)*
6. Aturan 6: *If (e-ozon is negatif) and (e-aliran is Zero2) and (e-tekanan is Positif3) then (SERVO is Tutup)*
7. Aturan 7: *If (e-ozon is negatif) and (e-aliran is Positif2) and (e-tekanan is Negatif3) then (SERVO is Tutup)*
8. Aturan 8: *If (e-ozon is negatif) and (e-aliran is Positif2) and (e-tekanan is Zero3) then (SERVO is Tutup)*
9. Aturan 9: *If (e-ozon is negatif) and (e-aliran is Positif2) and (e-tekanan is Positif3) then (SERVO is Tutup)*
10. Aturan 10: *If (e-ozon is Zero) and (e-aliran is Negatif2) and (e-tekanan is Negatif3) then (SERVO is Tutup)*
11. Aturan 11: *If (e-ozon is Zero) and (e-aliran is Negatif2) and (e-tekanan is Zero3) then (SERVO is Tutup)*
12. Aturan 12: *If (e-ozon is Zero) and (e-aliran is Negatif2) and (e-tekanan is Positif3) then (SERVO is Tutup)*
13. Aturan 13: *If (e-ozon is Zero) and (e-aliran is Zero2) and (e-tekanan is Negatif3) then (SERVO is Tutup)*
14. Aturan 14: *If (e-ozon is Zero) and (e-aliran is Zero2) and (e-tekanan is Zero3) then (SERVO is Tutup)*
15. Aturan 15: *If (e-ozon is Zero) and (e-aliran is Zero2) and (e-tekanan is Positif3) then (SERVO is Tutup)*
16. Aturan 16: *If (e-ozon is Zero) and (e-aliran is Negatif2) and (e-tekanan is Negatif3) then (SERVO is Tutup)*
17. Aturan 17: *If (e-ozon is Zero) and (e-aliran is Negatif2) and (e-tekanan is Zero3) then (SERVO is Tutup)*
18. Aturan 18: *If (e-ozon is Zero) and (e-aliran is Negatif2) and (e-tekanan is Positif3) then (SERVO is Tutup)*
19. Aturan 19: *If (e-ozon is Positif) and (e-aliran is Negatif2) and (e-tekanan is Negatif3) then (SERVO is Kecil)*
20. Aturan 20: *If (e-ozon is Positif) and (e-aliran is Negatif2) and (e-tekanan is Zero3) then (SERVO is Kecil)*
21. Aturan 21: *If (e-ozon is Positif) and (e-aliran is Negatif2) and (e-tekanan is Positif3) then (SERVO is Kecil)*
22. Aturan 22: *If (e-ozon is Positif) and (e-aliran is Zero2) and (e-tekanan is Negatif3) then (SERVO is Kecil)*
23. Aturan 23: *If (e-ozon is Positif) and (e-aliran is Zero2) and (e-tekanan is Zero3) then (SERVO is Kecil)*
24. Aturan 24: *If (e-ozon is Positif) and (e-aliran is Zero2) and (e-tekanan is Positif3) then (SERVO is Kecil)*
25. Aturan 25: *If (e-ozon is Positif) and (e-aliran is Positif2) and (e-tekanan is Negatif3) then (SERVO is Kecil)*
26. Aturan 26: *If (e-ozon is Positif) and (e-aliran is Positif2) and (e-tekanan is Zero3) then (SERVO is Kecil)*
27. Aturan 27: *If (e-ozon is Positif) and (e-aliran is Positif2) and (e-tekanan is Positif3) then (SERVO is Kecil)*
28. Aturan 28: *If (e-Ozon Negatif) and (de-Ozon NB) and (e-Aliran Negatif) and (de- Aliran NB) and (e-Tekanan Negatif) and (de- Tekanan NB) Then (Servo Tutup).*
29. Aturan 29: *If (e-Ozon Zero) and (de- Ozon Z) and (error Aliran Zero) and (delta error Aliran Z) and (error Tekanan Zero) and (delta error Tekanan Z) then (Servo Tutup).*
30. Aturan 30: *If (e-Ozon Positif) and (de- Ozon PB) and (e-Aliran Positif) and (de- Aliran PB) and (e-Tekanan Positif) and (de- Tekanan PB) THEN (Servo Buka).*

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:

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

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:

$$\mu sF(z) = \mu kF1(z) \cup \mu kF2(z) \cup \mu kF3(z) \dots \mu kF16(z) \quad (2)$$

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 ozon adalah dengan metode *centroid*. Berikut adalah rumus perhitungan defuzzyfikasi dengan meode *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 Differential Pressure

Pada pengujian sensor ini bertujuan untuk mengetahui seberapa akurat nilai dari pembacaan tekanan dari sensor MPX 5700 Differential Pressure. Pengujiannya dilakukan dengan cara membandingkan nilai pembacaan dari sensor MPX 5700 Differential Pressure dengan alat ukur tekanan yaitu pressure gauge. Dari pengujian tersebut akan terlihat seberapa akurat pembacaan tekanan dari sensor MPX 5700 Differential Pressure dengan cara melihat seberapa besar persentase errornya. Hasil data pengujian sensor tekanan dalam bentuk grafik terdapat pada gambar 10.

Dari hasil pengujian diperoleh nilai pembacaan sensor tekanan MPX 5700 *Differential Pressure* yang mendekati nilai hasil pembacaan *pressure gauge* tetapi masih terdapat sedikit eror. Eror yang dihasilkan pada kalibrasi sensor MPX 5700 *Differential Pressure* memiliki rata-rata 7% yang menandakan bahwa nilai pembacaan sensor MPX 5700 *Differential Pressure* kurang tepat.

B. Pengujian Rangkaian Sensor MPX 5700 Differential 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 sensor MPX 5700 *Differential Pressure*. Pengujiannya dilakukan dengan cara membandingkan nilai pembacaan dari sensor MPX 5700

Differential Pressure dengan alat ukur aliran yaitu *regulator flowmeter*. Dari pengujian tersebut akan terlihat seberapa akurat pembacaan tekanan dari sensor MPX 5700 *Differential Pressure* dengan cara melihat seberapa besar persentase errornya. Hasil data pengujian aliran dengan memberikan set point tetap berupa aliran 5 Lpm terdapat pada gambar 11.

C. Pengujian Open Loop Sistem Sterilisator

Pada pengujian ini bertujuan untuk mengetahui nilai pembacaan sensor dan waktu yang paling optimal bagi reaktor ozon untuk menghasilkan kadar ozon sebesar 3 ppm untuk mengetahui seberapa stabil kinerja reaktor ozon dalam menghasilkan kadar ozon sebesar 3 ppm pada pengujian open loop. Pengujian dilakukan dengan memberikan masukan berupa laju aliran oksigen sebesar 5 lpm.

Pada Gambar 12 merupakan grafik respon transient ketika diberikan nilai *set point* kadar ozon sebesar 3 ppm. Respon kadar ozon keluaran yang dihasilkan oleh sterilisator dengan pengujian open loop memiliki delay waktu sebentar yaitu pada 10,45 detik sudah mencapai kadar ozon 3 ppm.

Pada Gambar 13 merupakan grafik respon transient pengujian *open loop* ketika diberikan nilai *set point* aliran ozon sebesar 5 Lpm. Dari hasil pengujian didapatkan respon sistem yang kurang stabil dan terdapat undershoot yang signifikan yaitu pada nilai aliran 1,07 Lpm. Perancangan sistem konfigurasi *open loop* dilakukan untuk mengetahui *response time* dari nilai aliran ozon dan mengetahui rata-rata eror aliran yang dihasilkan yaitu 12%.

Pada Gambar 14 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 eror tekanan yang dihasilkan yaitu 3%.

D. Pengujian Performa Logika Fuzzy

Sistem kontrol aliran dan tekanan ozon pada box sterilisator harus sesuai dengan kondisi yang telah ditetapkan melalui metode logika fuzzy. Metode logika fuzzy yang berdasarkan nilai input dari kadar ozon, aliran ozon, dan tekanan ozon untuk menghasilkan output berupa derajat bukaan servo. Hasil tersebut sesuai dengan aturan fuzzy yang telah dibuat.

Pada Gambar 15 merupakan tampilan utama logika fuzzy pada Matlab. Tampilan utama fuzzy pada matlab ini diatur sebagaimana mestinya. Dengan 6 input yaitu *error* kadar ozon, *delta error* kadar ozon, *error* aliran, *delta error* aliran, *error* tekanan, *delta error* tekanan dan 1 output berupa servo. Logika fuzzy pada matlab ini sudah diatur dengan tipe metodemamdani.

Pengujian pada sistem sterilisator dilakukan selama beberapa kali dengan membuat set point pada ozon berbeda untuk mengetahui optimasi dari nilai kadar ozon untuk mencapai kadar 3 ppm. Pada percobaan yang dibahas digunakan set point kadar ozon berupa 1 ppm dikarenakan sifat ozon yang mudah teroksidasi seperti pada gambar 16. Nilai dari tekanan dan aliran yang dihasilkan dalam pengujian sudah cukup stabil. Grafik Pengujian sistem sterilisator untuk

aliran dan tekanan ozon dapat dilihat pada gambar 17 dan gambar 18.

Pada Gambar 16 merupakan grafik respon transient ketika diberikan nilai setpoint kadar ozon sebesar 3 ppm. Respon kadar ozon keluaran yang dihasilkan oleh sterilisator dengan kontroler logika fuzzy ini cenderung mengalami *delay* waktu jika dibandingkan dengan pengujian *open loop* untuk mencapai kadar ozon sebesar 3 ppm dari kondisi awal sampai akhir (*steady state*).

Pada Gambar 17 merupakan grafik respon transient ketika diberikan nilai *set point* aliran ozon sebesar 5 Lpm. Respon aliran ozon 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 pada nilai 4 Lpm. Perancangan sistem konfigurasi *Close loop* dilakukan untuk mengetahui *response time* dari nilai aliran ozon dan mengetahui rata-rata eror aliran yang dihasilkan yaitu 8 %.

Pada Gambar 18 merupakan grafik respon transient ketika diberikan nilai set point aliran ozon sebesar 120 kPa. Respon tekanan ozon 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 ozon dan mengetahui rata-rata eror tekanan yang dihasilkan yaitu 2%.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis data, maka dapat ditarik kesimpulan: (1) Hasil data dari pengujian laju aliran dan tekanan pada ozon berbanding lurus. Dengan nilai laju aliran sebesar 5 Lpm dan tekanan sebesar 120 kPa untuk menghasilkan kadar ozon yang dibutuhkan senilai 3 ppm. (2) Nilai dari aliran ozon diambil dari perbedaan nilai tekanan menggunakan *orifice plate*. Pada proses kalibrasi sensor MPX 5700 *Differential Pressure* eror yang dihasilkan memiliki rata-rata 7 % yang menunjukkan bahwa pembacaan sensor kurang tepat. (3) Implementasi sistem menggunakan logika fuzzy dapat membuat respon kadar ozon, aliran ozon, dan tekanan ozon yang dihasilkan dengan rata-rata eror aliran 8% dan eror tekanan 2% dibandingkan respon sistem saat tidak menggunakan logika fuzzy memiliki rata-rata eror aliran 12% dan tekanan 3% 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 aktuator berupa *servo valve* untuk mengatur derajat bukaan katup agar sesuai dengan *set point* yang diberikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] G. J. Pietsch and V. I. Gibalov, "Dielectric barrier discharges and ozone synthesis," *Pure Appl. Chem.*, vol. 70, no. 6, pp. 1169–1174, 1998, doi: 10.1351/pac199870061169.
- [2] 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.
- [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] 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.