

# Implementasi Sistem Kontrol Kadar Ozon Menggunakan Logika *Fuzzy* dan *Monitoring* Performa pada *Strelisator*

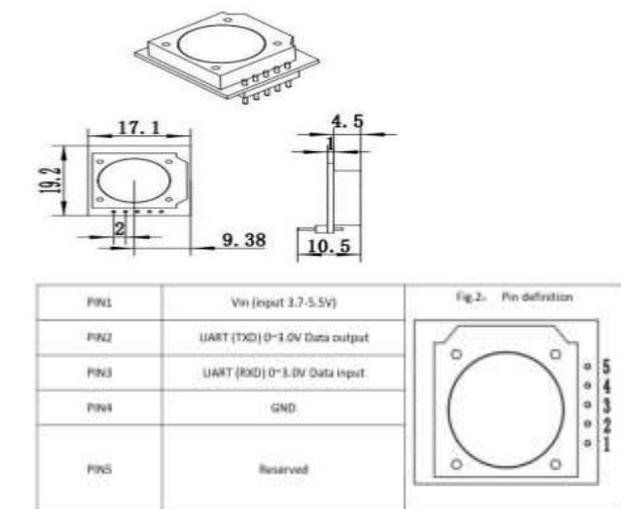
Boerhanudin Mohammad, Lucky Putri Rahayu, dan Dwiky Fajri Syahbana  
Departemen Teknik Elektro Otomasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)  
*e-mail*: lucky@eea.its.ac.id

**Abstrak**—Subsistem kadar ozon pada alat sterilisator belum memiliki fitur untuk kontrol kadar ozon. Karena ozon dengan konsentrasi lebih dari 1 ppm memiliki efek buruk pada kesehatan, oleh karena itu perlu dikendalikan kadar ppmnya agar tidak menimbulkan efek buruk pada kesehatan. Serta belum ada fitur monitoring performa pada sterilisator untuk memantau kinerja alat selama proses sterilisasi berlangsung. Pada subsistem kontrol kadar ozon menggunakan metode *fuzzy* untuk mengendalikan kadar ozon yang akan masuk ke *box* sterilisator dengan input *error* dan *delta error* kadar ozon serta *aktuator* berupa motor servo yang dikople dengan *valve* untuk mengatur derajat buka tutup *valve* agar dapat mengendalikan jumlah ozon yang akan masuk ke dalam *box* sterilisator. Hasil penelitian yang telah dilakukan adalah respon peralihan sistem pada konfigurasi *close loop* dengan FLC jauh lebih lambat dibandingkan dengan *open loop*. Yang mana pada pengujian *open loop* untuk mencapai kadar ozon sebesar 3 ppm dibutuhkan *delay time* ( $T_d$ ) sebesar 6,5 detik, *rise time* ( $T_r$ ) sebesar 6,34 detik, *peak time* ( $T_p$ ) sebesar 20 detik dan *settling time* ( $T_s$ ) sebesar 10,45 detik sedangkan pada pengujian *close loop* membutuhkan *delay time* ( $T_d$ ) sebesar 8,05 detik, *rise time* ( $T_r$ ) sebesar 10,1 detik, *peak time* ( $T_p$ ) sebesar 40,21 detik dan *settling time* ( $T_s$ ) sebesar 15,15 detik. Serta fitur *monitoring* pada sterilisator dapat digunakan untuk memantau kinerja alat, yang mana data ditampilkan berupa nilai angka dan *grafik* secara *realtime* dengan *delay* sekurang-kurangnya membutuhkan waktu 4,35 detik.

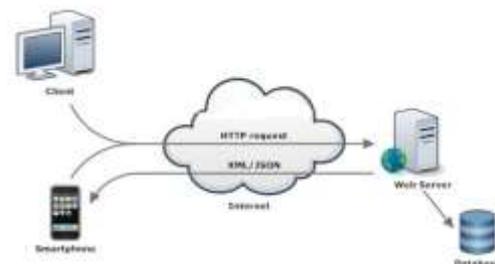
**Kata Kunci**—Kontrol Ozon, Logika *Fuzzy*, *Realtime Monitoring*, Sterilisator.

## I. PENDAHULUAN

**P**ENYEBARAN *Coronavirus Disease* (COVID-19) di Indonesia terus meningkat dan belum menunjukkan tanda-tanda penurunan. Berdasarkan fakta tersebut, perlu dirancang dan dikembangkan peralatan yang dapat mencegah dan memutus penularan COVID-19. Alat sterilisasi menggunakan ozon merupakan peralatan kesehatan yang sangat dibutuhkan dan penting sehingga bisa diterapkan di berbagai rumah sakit, sehingga bakteri dan virus yang ada pada peralatan dapat disterilkan dan dapat mencegah penyebaran virus COVID-19 serta untuk menghindari kemungkinan penyebaran penyakit dari 1 pasien ke pasien lainnya. Dipilihnya ozon pada sterilisator karena ozon merupakan oksidator yang kuat dan dapat membunuh mikroorganisme secara efektif. Hasil lain menunjukkan bahwa ozon juga bisa menjadi desinfektan udara yang efektif seperti pada air. Selain kekuatan pengoksidasi ozon yang kuat, ozon juga bisa menjadi desinfektan udara yang ideal. Ozon adalah gas yang dapat menyebar ke setiap sudut ruangan serta dapat mendesinfeksi seluruh permukaan alat kesehatan yang berada pada sterilisator secara efektif. Disisi lain desinfeksi ozon tidak menghasilkan residu berbahaya



Gambar 1. Struktur ZE27-O3.

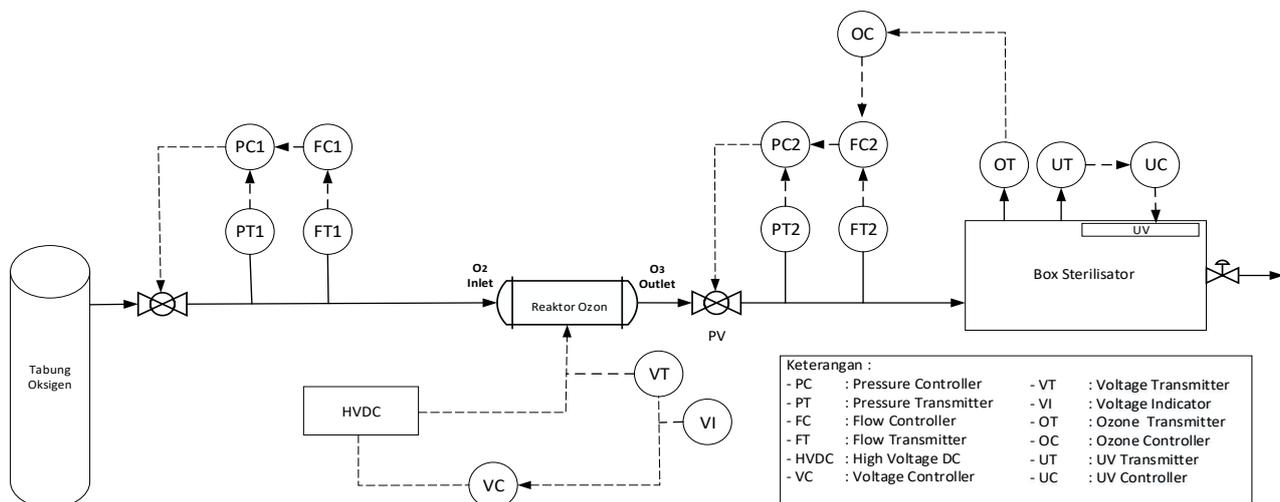


Gambar 2. Arsitektur web server.

karena semua sisa ozon akan diubah kembali menjadi oksigen dalam waktu singkat. Maka dari itu ozon dianggap sebagai desinfektan yang ramah. Namun penerapannya dalam desinfeksi udara tidak sepopuler air karena kekhawatiran tentang *toksisitas* ozon. Ozon dengan konsentrasi lebih tinggi dari 1 ppm memiliki efek buruk pada kesehatan manusia dan penggunaan ozon untuk desinfeksi udara umumnya tidak disarankan jika ada orang di sekitar. Oleh karena itu, desinfeksi udara menggunakan ozon harus dikendalikan kadar ppmnya agar tidak menimbulkan efek buruk pada kesehatan manusia [1].

Ozon dapat diproduksi oleh sterilisator dengan metode DBD (*dielectric barrier discharge*) yang mana bisa dibuat dengan generator ozon menggunakan *high voltage* yang ramah lingkungan. Terjadinya plasma adalah sebelum terbentuknya petir dimana tegangan tinggi diatas 15 kV bisa menjadikannya sebuah petir. Pada rentang 1 kV - 10 kV plasma ozon akan terbentuk [2].

Penentuan produksi ozon yang optimal dari metode DBD (*dielectric barrier discharge*) tidak hanya dipengaruhi oleh tegangan lucutan saja. Tetapi masih banyak faktor lain yang



Gambar 3. Gambar P&ID sistem sterilisasi.

mempengaruhi produksi ozon diantaranya yaitu kecepatan aliran gas O<sub>2</sub>, jumlah dan penempatan elektrode. Disisi lain sterilisator yang dijual dipasaran tidak memiliki fitur *monitoring* performa dari alat tersebut terutama untuk menampilkan nilai kadar ozon yang dikeluarkan selama proses sterilisasi berlangsung. Berdasarkan permasalahan diatas maka perlu dibuat sterilisator yang kadar ppm dari ozon dapat dikontrol serta dimonitoring melalui tampilan website sehingga memudahkan tenaga medis dalam melihat performa dari sterilisator.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. 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* [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 (*fuzzyness*). Harga kebenaran dan derajat kekaburan pada terminologi linguistik dapat dinyatakan dengan tolok ukur, misalnya agak, cukup, sangat dan sebagainya [3].

### B. Sensor ZE27-O3

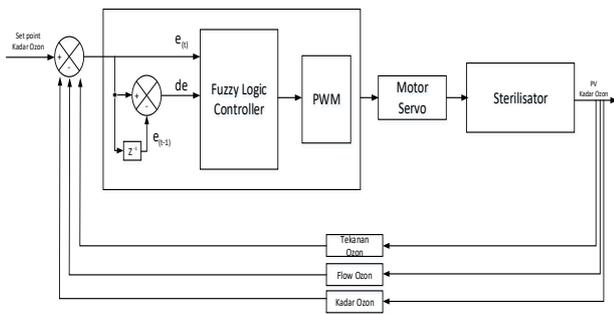
ZE27-O3 adalah modul untuk mendeteksi gas ozon dengan jangkauan pendeteksian mulai dari 0 – 10 ppm (*Part per Million*). Sensor ini menggunakan prinsip elektrokimia untuk mendeteksi ozon di udara yang mana modul memiliki selektivitas dan stabilitas tinggi. Ini adalah kombinasi dari prinsip deteksi elektrokimia yang matang dan desain sirkuit yang canggih.

Fitur ZE27-O3: sensitivitas dan resolusi tinggi, stabilitas yang baik, konsumsi daya yang sangat rendah, cara keluaran UART, stabilitas tinggi, kemampuan anti-interferensi yang sangat baik, kompensasi suhu, output linier yang sangat baik.

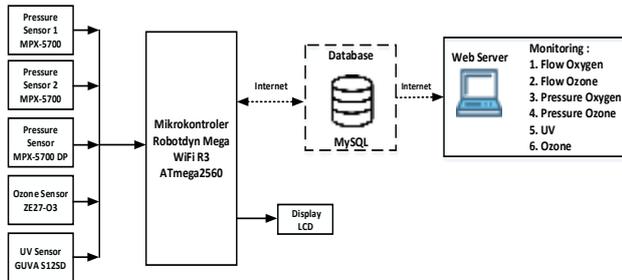
Struktur dan konfigurasi ZE27-O3 sensor gas ditunjukkan pada Gambar 1, sensor disusun oleh mikro AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub> keramik, Tin Dioksida (SnO<sub>2</sub>) lapisan sensitif, elektroda pengukuran yang dibuat oleh plastik dan stainless steel. Pengukuran menyediakan kondisi kerja yang diperlukan untuk pekerjaan komponen sensitif. ZE27-O3 dibuat dengan 5 pin, dimana pin 1 dan pin 4 digunakan sebagai sumber tegangan dan GND serta pin 2 dan 3 digunakan untuk mengambil sinyal.

### C. Web Server

*Web server* merupakan *software* yang memberikan layanan data yang mempunyai fungsi untuk menerima permintaan *HTTP (HyperText Transfer Protocol)* atau *HTTPS* yang dikirim oleh klien melalui *web browser* dan mengirimkan kembali hasilnya dalam bentuk halaman *web* yang umumnya berbentuk dokumen *HTML (HyperText Markup Language)*. *Web server* berguna sebagai tempat aplikasi *web* dan sebagai penerima *request* dan *client*. Pada umumnya *web server* telah dilengkapi pula dengan mesin penerjemah bahasa skrip dengan memanfaatkan pustaka tambahan seperti *PHP (Hypertext Preprocessor)* [4].



Gambar 4. Diagram blok kontrol kadar ozon.



Gambar 5. Diagram blok monitoring sterilisator.

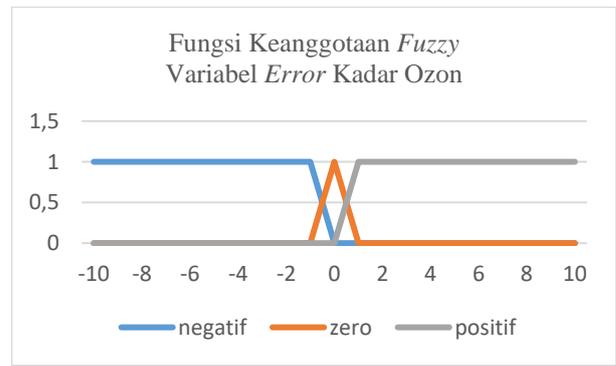
Gambar 2 merupakan arsitektur dari *web server*. *Client* merupakan *HTTP request* ke *web server* dan *web server* akan mengembalikan *request* berupa halaman *website* meliputi *HTML*, *image*, *CSS* dan *javascript*. *Server* juga dapat melakukan *query* ke *database* jika *client* ingin mengolah data. *Database* akan mengembalikan *request* dari *server* berupa data dan *server* akan menampilkan kembali berupa halaman *web* ke *client*. Dua contoh *web server* yang sering digunakan adalah *Apache15* dan *IIS*. Sedangkan *database* yang digunakan adalah *MySQL*. *MySQL* merupakan *software* sistem manajemen *database* (DBMS) yang sangat populer atau banyak digunakan untuk membangun aplikasi *web* sebagai sumber data. *MySQL* bersifat *open source*, mudah dan cepat dalam mengeksekusi *query* [4].

III. PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI

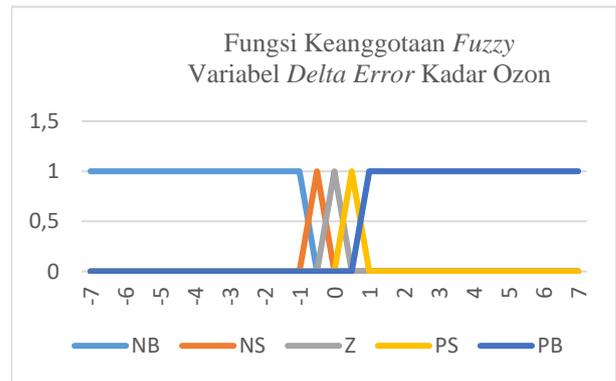
A. Perancangan Sistem Keseluruhan Sterilisasi

Gambar skematik P&ID perancangan sistem sterilisasi yang digunakan untuk menggambarkan jalur instrumentasi dan sistem pengaturan yang berada di sterilisator dapat dilihat pada Gambar 3.

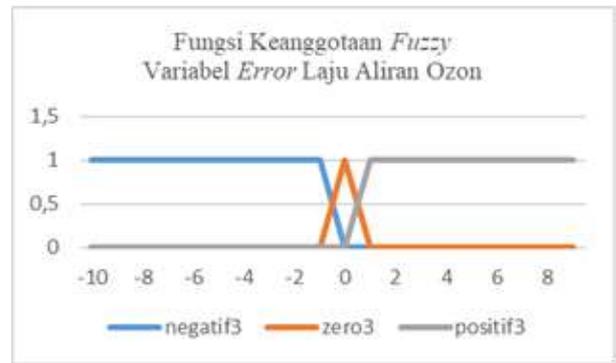
Pada gambar 3 merupakan P&ID sistem sterilisasi secara keseluruhan. Pertama oksigen keluar dari tabung oksigen menuju ke reaktor ozon dan *valve* yang digunakan untuk mengatur laju aliran dan tekanan dari oksigen serta terdapat sensor untuk membaca nilai laju aliran dan tekanan dari oksigen. Oksigen yang berada pada reaktor ozon akan diubah menjadi ozon dengan metode DBD (*Dielectric Barrier Discharge*). Ozon dapat diproduksi dengan metode DBD (*Dielectric Barrier Discharge*) yang dibuat pada reaktor ozon menggunakan *high voltage* yang ramah lingkungan. Peristiwa terbentuknya ozon terjadi ketika oksigen melewati plasma tegangan tinggi yang mengakibatkan terjadinya reaksi pemecahan molekul oksigen oleh plasma tegangan tinggi menjadi dua atom oksigen yang kemudian bereaksi dengan molekul oksigen lain menjadi molekul ozon. Terjadinya plasma adalah sebelum terbentuknya petir, tegangan tinggi diatas 15 KV bisa menjadikannya sebuah petir. Pada range 1



Gambar 6. Fungsi keanggotaan error kadar ozon.



Gambar 7. Fungsi keanggotaan delta error kadar ozon.

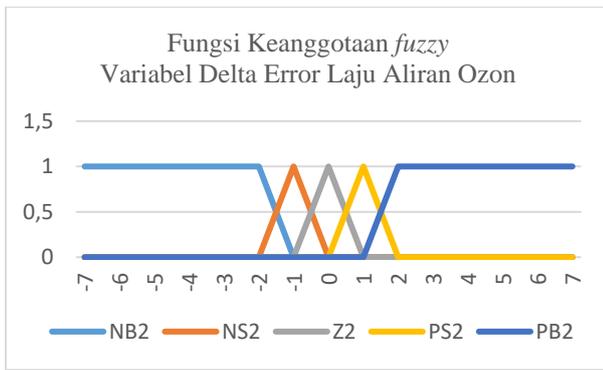


Gambar 8. Fungsi keanggotaan error aliran ozon.

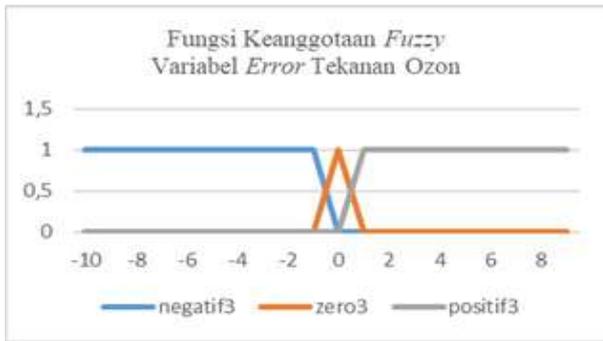
KV - 10 KV plasma ozon itu terbentuk. Setelah ozon diproduksi maka ozon akan melewati *valve* yang digunakan untuk mengatur laju aliran, tekanan dan kadar ozon serta terdapat sensor untuk membaca nilai aliran dan tekanan dari ozon yang akan menuju ke *box* sterilisasi. Pada *box* sterilisasi terdapat sensor untuk membaca kadar ozon selama proses sterilisasi berlangsung untuk mensterilkan alat-alat kesehatan. Kemudian setelah proses sterilisasi selesai maka akan mengaktifkan *ultraviolet* (UV) untuk mempercepat mendegradasi residu ozon hingga mencapai kadar 0.1 ppm (standar ISO 13964:1998) yang aman bagi kesehatan manusia.

B. Subsistem Kontrol Kadar Ozon

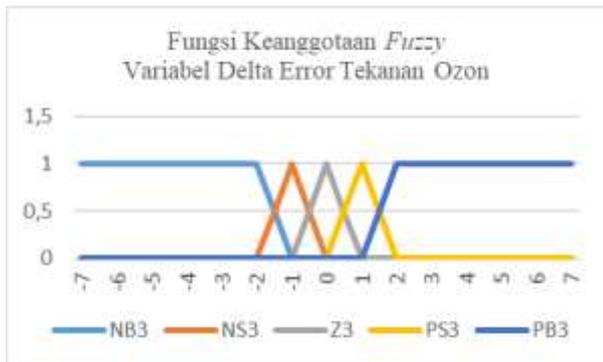
Pada subsistem kontrol kadar ozon digunakan *robotdyn mega 2560* sebagai unit pengolahan data dalam hal pengontrolan kadar ozon selama proses sterilisasi berlangsung. Pengontrolan kadar ozon dilakukan dengan cara mengatur derajat buka tutup dari *valve* yang dikople dengan motor servo. Untuk mengatur jumlah gas ozon yang akan masuk dari reaktor ozon ke *box* sterilisator agar mendapatkan kadar ozon yang aman pada saat proses sterilisasi yaitu antara



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



Gambar 10. Fungsi keanggotaan *error* tekanan ozon.



Gambar 11. Fungsi keanggotaan *delta error* tekanan ozon.

2.5 – 3 ppm. Sensor ozon diletakan didalam *box* sterilisator untuk membaca nilai kadar ozon yang terdapat pada *box* tersebut selama proses sterilisasi berlangsung.

Pada gambar 4 merupakan diagram blok subsistem kontrol kadar ozon pada sterilisator menggunakan aktuator berupa motor servo yang dikople dengan *valve* untuk mengatur kadar ozon yang menuju ke *box* sterilisator guna mensterilkan alat-alat kesehatan. Diagram blok dibawah merupakan sistem kontrol dengan menggunakan konfigurasi *cascade* memiliki 3 *loop* pengaturan yang saling berkesinambungan. Terdiri atas 2 *inner loop* dan 1 *outer loop* yang masing-masing memiliki kontroler yaitu kontroler primer, sekunder dan tersier. Sinyal kontrol yang dihasilkan oleh kontroler primer pada *outer loop* menjadi *set point* untuk *inner loop*. *Set point* yang diberikan pada sistem berupa nilai kadar ozon sebesar 3 ppm. Pada kontroler ini dirancang dengan metode *fuzzy* dengan *input* yang diberikan berupa *error* dan *delta error* dari kadar ozon, aliran, dan tekanan kemudian dikontrol oleh kontroler dan menghasilkan *manipulated value* berupa PWM untuk mengendalikan *aktuator* berupa motor servo yang dikople dengan *valve* agar dapat diatur derajat buka tutupnya. Dan *measurement system* yang digunakan berupa sensor ozon, aliran, dan tekanan.



Gambar 12. Tampilan pembacaan sensor pada LCD..



Gambar 13. Tampilan dashboard sterilisator di website.



Gambar 14. Tampilan realtime graik flow, pressure, UV dan ozon.

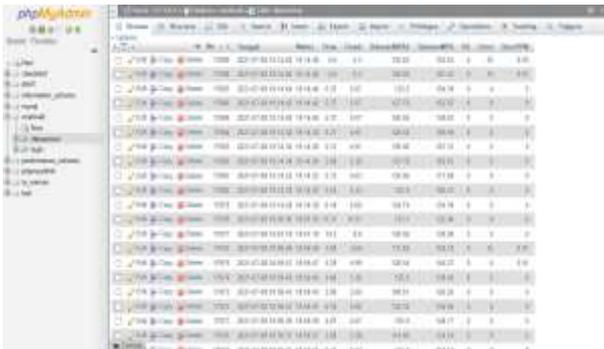
### C. Subsistem Monitoring Performa Sterilisator

Pada subsistem *monitoring* performa sterilisator, perangkat yang digunakan untuk pengambilan data adalah sensor ZE27-O3 (ozon), MPX-5700 (tekanan dan aliran), MPX-5700 DP (tekanan dan aliran), GUYA S12SD (UV). Data yang diambil nantinya akan diproses pada *robotdyn mega 2560* yang menggunakan ATmega2560 sebagai kontroler yang digunakan untuk memproses data. Setelah data diterima dan diproses, kemudian dari data tersebut akan dikirimkan ke modul *wifi* dengan menggunakan metode *batch processing*, dimana dari beberapa variabel data pengirimannya dijadikan satu sehingga dapat mempersingkat proses pengirimannya. Setelah data diterima modul *wifi*, data diuraikan kembali untuk dikirim ke *database* untuk disimpan dan ditampilkan ke *website* secara *realtime*. Diagram blok *monitoring* sterilisator dapat dilihat pada Gambar 5.

### D. Perancangan Kontrol Kadar Ozon 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 digunakan ada dua macam yaitu jenis segitiga dan jenis trapesium. Dalam satu variabel, terdapat dua buah fungsi



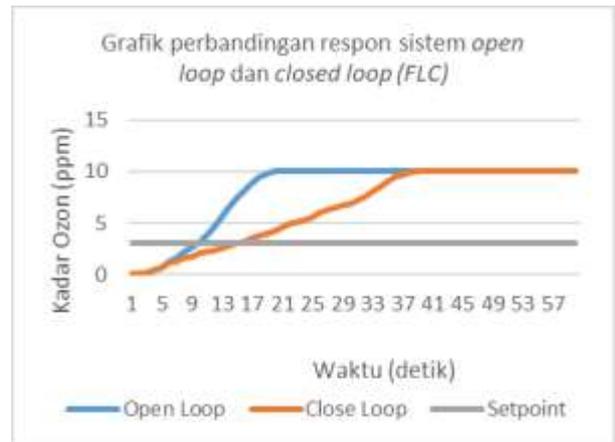
Gambar 15. Database MySQL.



Gambar 17. Grafik kontroler fuzzy pada setpoint 3 ppm.



Gambar 16. Grafik pengujian sterilisator dengan konfigurasi open loop.



Gambar 18. Grafik perbandingan karakteristik respon sistem open loop dan closed loop.

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 6. Kemudian untuk fungsi keanggotaan *delta error* kadar ozon terdapat pada Gambar 7. Untuk fungsi keanggotaan variabel *error* laju aliran ozon terdapat pada Gambar 8, sedangkan fungsi keanggotaan *delta error* laju aliran ozon dapat dilihat pada Gambar 9. Terakhir untuk fungsi keanggotaan variabel *error* tekanan ozon disajikan pada Gambar 10, sedangkan untuk fungsi keanggotaan variabel *delta error* terdapat pada Gambar 11.

Setelah pembentukan fungsi keanggotaan pada masing-masing variabel, input yang berupa nilai *crisp* akan diubah kedalam *fuzzy* input yaitu menentukan derajat keanggotaan nilai *input* pada sebuah himpunan *fuzzy*, proses ini disebut fuzzyfikasi.

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*).

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:

$$\alpha Predikat_z = \mu Anteseden_x \frown \mu Anteseden_y = \min (\mu Anteseden_x, \mu Anteseden_y) \quad (1)$$

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:

$$\mu F(z) = \mu F1(z) \cup \mu F2(z) \cup \mu F3(z) \dots \mu F16(z) \quad (2)$$

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 metode *centroid*:

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

Tabel 1.

Hasil pengujian open loop kadar ozon pada sterilisator

Percobaan ke-n	Waktu 1 ppm (detik)	Waktu 2 ppm (detik)	Waktu 3 ppm (detik)	Waktu 10 ppm (detik)
1	6	8	10	22
2	7	9	11	21
3	5	7	10	19
4	6	8	10	20
5	5	7	10	22
6	5	8	10	20
7	6	8	10	20
8	6	8	11	19
9	6	9	11	19
10	8	10	11	20
11	9	11	10	21
12	6	8	10	20
13	6	8	11	22
14	7	9	10	22
15	5	7	9	20
16	6	8	10	20
17	5	7	9	19
18	6	9	11	20
19	6	8	10	20
20	6	8	10	22
X	6,1	8,25	10,45	20,4

Tabel 2.

Data hasil pengujian sterilisator konfigurasi open loop

SV (ppm)	PV (ppm)	Td (s)	Tr (s)	Tp (s)	Ts (s)	Error (%)
3	10	6,45	6,34	20	10,45	233,3
3	10	6,5	6,33	20	10,45	233,3
3	10	6,5	6,34	20	10,45	233,3
3	10	6,5	6,34	20	10,45	233,3
3	10	6,45	6,34	20	10,44	233,3
3	10	6,5	6,34	20	10,45	233,3
3	10	6,5	6,34	20	10,45	233,3
3	10	6,5	6,34	20	10,45	233,3
3	10	6,5	6,33	20	10,45	233,3
3	10	6,45	6,33	20	10,44	233,3

Tabel 3.

Hasil pengujian kontroler fuzzy dengan setpoint 3 ppm

Percobaan ke-n	Waktu 1 ppm (detik)	Waktu 2 ppm (detik)	Waktu 3 ppm (detik)	Waktu 10 ppm (detik)
1	7	12	17	43
2	5	10	15	40
3	6	10	16	39
4	5	9	15	39
5	6	10	16	40
6	7	12	16	39
7	7	12	17	44
8	6	9	15	39
9	7	12	17	42
10	6	9	15	41
11	7	11	17	40
12	5	10	15	41
13	6	11	17	43
14	5	10	15	42
15	6	9	15	40
16	5	10	15	41
17	6	10	16	42
18	5	9	16	41
19	6	10	16	42
20	5	10	17	43
X	5,9	10,25	15,9	41,05

Tabel 4.

Data hasil pengujian sterilisator konfigurasi closed loop dengan setpoint 3 ppm

SV (ppm)	PV (ppm)	Td (s)	Tr (s)	Tp (s)	Ts (s)	Error (%)
3	10	8,05	10,1	40,21	15,20	233,3
3	10	8,05	10,1	40,2	15,15	233,3
3	10	8,1	10	40,21	15,10	233,3
3	10	8,05	10	40,21	15,15	233,3
3	10	8,05	10,1	40,2	15,10	233,3
3	10	8,05	10,1	40,2	15,15	233,3
3	10	8,05	10	40,2	15,15	233,3
3	10	8,1	10	40,21	15,20	233,3
3	10	8,05	10,1	40,21	15,15	233,3
3	10	8,1	10	40,2	15,10	233,3

IV. PENGUJIAN DAN ANALISIS

A. Pengujian Integrasi Database ke Website

Pengujian ini dibagi menjadi 2 jenis yaitu yang pertama adalah pengintegrasian antara *realtime* data sensor dengan *dashboard* utama yang bertujuan untuk menampilkan data yang diperoleh secara *realtime* dengan *delay* yang minimum. Kedua adalah pengintegrasian antara *database MySQL* dengan *website* yang digunakan untuk menampilkan data performa sterilisator disertai dengan riwayat perubahan data berupa tabel maupun grafik. Tampilan pembacaan sensor pada LCD terdapat pada Gambar 12 dan unuk tampilan *dashboard* sterilisator di *website* dapat dilihat pada Gambar 13.

Data angka yang ditunjukkan pada *dashboard website* terhubung dengan *database MySQL*. Dimana telah tersambung nilai yang ada pada *database MySQL* dengan yang ada pada tampilan layar situs *website*. Hal ini dibuktikan dengan nilai yang tertera pada layar LCD sama dengan yang berada di situs *website* pada waktu yang sama.

Selanjutnya adalah hasil uji integrasi antara *database MySQL* dengan situs *website*. Dimana pengecekan dilakukan dengan cara membandingkan *grafik* data yang tertampil pada halaman *dashboard* dengan data yang tersimpan di *database*. Namun, untuk membandingkan nilai yang berada di *database* perlu adanya proses dekripsi data terlebih dulu, untuk dapat

mengetahui nilai sesungguhnya. Hasil pengujiannya dapat dilihat pada Gambar 14 dan Gambar 15.

Dari pengujian koneksi antara *database MySQL* dengan tampilan *grafik flow, pressure, UV* dan kadar ozon yang ditampilkan di situs *website* sama dengan data yang tersimpan di *database*. Dengan catatan nilai pada *database* harus didekripsikan terlebih dahulu untuk mengetahui nilai yang sesungguhnya.

B. Pengujian Open Loop Sistem Sterilisator

Pada pengujian ini bertujuan untuk mengetahui performa dari sterilisator tanpa menggunakan kontroler dan tidak ada umpan balik berupa nilai kadar ozon. Serta untuk mengetahui waktu yang dibutuhkan dalam menghasilkan kadar ozon sebesar 3 ppm yang stabil. Pengujian dilakukan dengan setting besaran konstan berupa laju aliran oksigen sebesar 5 lpm dan tekanan sebesar 120 kPa. Adapun hasil dari pengujian disajikan pada Tabel 1.

Pada Tabel 1 pengujian *open loop* sistem sterilisator ditampilkan waktu yang diperlukan kadar ozon untuk mencapai 1 ppm, 2 ppm, 3 ppm dan 10 ppm. Pengujian open loop ini dilakukan sebanyak 20 kali sehingga bisa dilihat performa rata-rata alat tersebut, yang mana waktu yang diperlukan untuk mencapai 1 ppm = 6,1 detik, 2 ppm = 8,25 detik, 3 ppm = 10,45 detik dan 10 ppm = 20,4 detik. Dari pengujian open loop ini disimpulkan bahwa waktu yang dibutuhkan sterilisator untuk mencapai kadar ozon sebesar 3

ppm adalah selama 10,45 detik dan nilai kadar ozon masih terus meningkat sampai 10 ppm dan belum bisa stabil pada kadar ozon sebesar 3 ppm.

Pada pengujian ini juga dilakukan untuk mengetahui karakteristik respon transient dari sistem yang telah dirancang. Data yang diambil pada pengujian ini antara lain % error kadar ozon, *time delay* ( $T_d$ ), *rise time* ( $T_r$ ), *peak time* ( $T_p$ ) dan *settling time* ( $T_s$ ). Adapun hasil pengujian sistem sterilisator konfigurasi *open loop* dapat dilihat pada tabel 2.

Pada Tabel 2 merupakan data hasil pengujian sterilisator konfigurasi *open loop*. Nilai *delay time* ( $T_d$ ) diperoleh dari waktu yang diperlukan untuk respons mencapai setengah dari nilai akhir pertama kali. Nilai *rise time* ( $T_r$ ) diperoleh dari waktu yang dibutuhkan untuk respon meningkat dari 10% hingga 90% dari nilai akhirnya. Nilai *peak time* ( $T_p$ ) diperoleh dari waktu yang dibutuhkan respon untuk mencapai puncak pertama. Nilai *settling time* ( $T_s$ ) diperoleh dari waktu yang dibutuhkan kurva respons untuk mencapai kondisi *steady state* dalam kisaran tentang nilai akhir ukuran yang ditentukan oleh persentase absolut dari nilai akhir (biasanya 2% atau 5%). Nilai presentase *Error steady state* ( $E_{ss}$ ) diperoleh dari selisih antara *set point* dan *process variable*. Berikut merupakan salah satu sampel sinyal respon transient ketika pengujian *open loop* yang telah dilakukan dengan nilai setpoint sebesar 3 ppm yang ditunjukkan pada gambar 16.

Pada Gambar 16 merupakan grafik respon transient ketika diberikan nilai *setpoint* sebesar 3 ppm. Dari pengujian *open loop* ini diperoleh bahwa waktu yang dibutuhkan sterilisator untuk mencapai kadar ozon sebesar 3 ppm adalah selama 10,45 detik dan nilai kadar ozon masih terus meningkat sampai 10 ppm dan belum bisa stabil pada kadar ozon sebesar 3 ppm.

### C. Pengujian Close Loop Sistem Sterilisator

Pengujian kontrol kadar ozon dengan konfigurasi *closed loop* yang dimaksud adalah dengan adanya umpan balik berupa nilai *error* dan *delta error* dari kadar ozon, aliran ozon, dan tekanan ozon sebagai masukan kontroler logika fuzzy dengan tujuan untuk mengendalikan derajat buka tutup valve dengan cara mengatur sinyal PWM dari motor servo sehingga dapat mengatur jumlah kadar ozon yang masuk ke box sterilisator. Pengujian ini dilakukan dengan melakukan setting besaran konstan pada laju aliran sebesar 5 Lpm dan tekanan sebesar 120 kPa. Pengujian ini dilakukan dengan *setpoint* kadar ozon sebesar 3 ppm. Adapun hasil dari pengujian disajikan pada Tabel 3.

Pada Tabel 3 pengujian kontroler fuzzy pada sterilisator dengan setpoint 1 ppm ditampilkan waktu yang diperlukan kadar ozon untuk mencapai 1 ppm, 2 ppm, 3 ppm dan 10 ppm. Pada pengujian ini dilakukan sebanyak 20 kali sehingga bisa lihat performa rata-rata alat sterilisasi, yang mana waktu yang diperlukan untuk mencapai 1 ppm = 5,9 detik, 2 ppm = 10,25 detik, 3 ppm = 15,9 detik dan 10 ppm = 41,05 detik. Dari pengujian konfigurasi *close loop* menggunakan kontroler fuzzy ini disimpulkan bahwa terdapat *delay* waktu untuk mencapai 3 ppm jika dibandingkan dengan pengujian *open loop*. Dimana pada pengujian *close loop* (kontroler fuzzy) waktu yang dibutuhkan sterilisator untuk mencapai kadar ozon sebesar 3 ppm adalah selama 15,9 detik sedangkan pada pengujian *open loop* waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kadar ozon sebesar 3 ppm adalah selama 10,45 detik. Dan

pada pengujian *close loop* (kontroler fuzzy) waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kadar ozon sebesar 10 ppm adalah selama 41,05 detik sedangkan pada pengujian *open loop* waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kadar ozon sebesar 10 ppm adalah selama 20,4 detik. Nilai kadar ozon masih terus meningkat sampai 10 ppm dan belum bisa stabil pada kadar ozon sebesar 3 ppm.

Pada pengujian ini juga dilakukan untuk mengetahui karakteristik respon transient dari sistem yang telah dirancang. Data yang diambil pada pengujian ini antara lain % error kadar ozon, *time delay* ( $T_d$ ), *rise time* ( $T_r$ ), *peak time* ( $T_p$ ) dan *settling time* ( $T_s$ ). Adapun hasil pengujian sistem sterilisator konfigurasi *close loop* dengan menggunakan kontroler fuzzy dapat dilihat pada tabel 4.

Pada Tabel 4 merupakan data hasil pengujian sterilisator konfigurasi *close loop*. Nilai *Delay Time* ( $T_d$ ) diperoleh dari waktu yang diperlukan untuk respons mencapai setengah dari nilai akhir pertama kali. Nilai *Rise Time* ( $T_r$ ) diperoleh dari waktu yang dibutuhkan untuk respon meningkat dari 10% hingga 90% dari nilai akhirnya. Nilai *Peak Time* ( $T_p$ ) diperoleh dari waktu yang dibutuhkan respon untuk mencapai puncak pertama. Nilai *Settling Time* ( $T_s$ ) diperoleh dari waktu yang dibutuhkan kurva respons untuk mencapai kondisi *steady state* dalam kisaran tentang nilai akhir ukuran yang ditentukan oleh persentase absolut dari nilai akhir (biasanya 2% atau 5%). Nilai presentase *Error steady state* ( $E_{ss}$ ) diperoleh dari selisih antara *setpoint* dan *process variable*. Berikut merupakan salah satu sampel sinyal respon transient ketika pengujian *closed loop* yang telah dilakukan dengan nilai *setpoint* sebesar 3 ppm yang ditunjukkan pada gambar 17.

Pada Gambar 17 merupakan grafik respon transient ketika diberikan nilai *setpoint* 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*).

### D. Pengujian Respon Sistem antara Konfigurasi Open Loop dan Close Loop

Pada subbab ini akan dibahas mengenai perbandingan karakteristik respon sistem pada konfigurasi *open loop* dan *closed loop* (menggunakan kontroler logika fuzzy). Beberapa parameter untuk membandingkan karakteristik dari kedua konfigurasi tersebut antara lain *delay time* ( $T_d$ ), *rise time* ( $T_r$ ), *peak time* ( $T_p$ ), *settling time* ( $T_s$ ), dan *error* kadar ozon (*Error*). Berikut merupakan grafik perbandingan karakteristik respon sistem *open loop* dan *close loop* yang ditunjukkan pada Gambar 18.

Pada Gambar 18 merupakan grafik respon *open loop* ditunjukkan pada sinyal berwarna biru, sedangkan untuk respon *closed loop* berwarna orange dan *setpoint* berwarna abu-abu. Ketika sistem tersebut dalam konfigurasi *open loop*, nilai kadar ozon sangat cepat untuk mengalami peningkatan konsentrasi kadar ozon dari 0 ppm ke 3 ppm hanya membutuhkan waktu selama 10,45 detik sedangkan dari 0 ppm ke 10 ppm membutuhkan waktu selama 20,4 detik. Namun ketika menggunakan konfigurasi *close loop* dengan menerapkan kontroler logika fuzzy dengan aktuator berupa motor servo yang dikople dengan valve untuk mengontrol

derajat buka tutup valve sehingga bisa mengatur jumlah kadar ozon yang masuk menuju ke box *sterilisator*. Adapun waktu yang diperlukan dari kadar ozon sebesar 0 ppm untuk mencapai 3 ppm adalah selama 15,9 detik sedangkan waktu yang diperlukan dari 0 ppm ke 10 ppm membutuhkan waktu selama 41,05 detik. Berdasarkan grafik pada Gambar 18 dapat dilihat bahwa sistem memiliki karakteristik respon yaitu mengalami delay waktu untuk mencapai 3 ppm dan masih belum bisa stabil pada kadar ozon sebesar 3 ppm ketika menggunakan kontroler logika *fuzzy*. Hal ini dikarenakan sifat ozon yang sangat reaktif dan merupakan oksidator yang kuat, yang mana sangat kuat dalam hal reaksi pengikatan oksigen sehingga sangat cepat dalam hal meningkatkan konsentrasi kadar ozon. Dengan adanya kontroler *fuzzy* konsentrasi kadar ozon cenderung lambat untuk mencapai 3 ppm sehingga akan mempermudah dan mempersingkat waktu bagi sinar UV dalam mendegradasi dan menstabilkan kadar ozon pada nilai sebesar 3 ppm.

## V. KESIMPULAN

Berdasarkan pengujian dan analisis data, maka dapat ditarik kesimpulan: (1) Pada pengujian kontrol kadar ozon dengan konfigurasi *open loop*, kadar ozon sangat cepat mengalami peningkatan konsentrasi ke 3 ppm dengan waktu 10,45 detik. Namun pada konfigurasi *close loop* (kontroler *fuzzy*) memerlukan waktu selama 15,9 detik. Berdasarkan data tersebut diketahui bahwa sistem memiliki karakteristik respon yaitu mengalami delay waktu untuk mencapai 3 ppm dan masih belum bisa stabil pada kadar ozon sebesar 3 ppm ketika menggunakan kontroler logika *fuzzy*. Hal ini dikarenakan pengaturan *sampling time* yang masih kurang kecil, sifat ozon yang sangat reaktif dan merupakan oksidator

yang kuat, yang mana sangat kuat dalam hal reaksi pengikatan oksigen sehingga sangat cepat dalam hal meningkatkan konsentrasi kadar ozon. (2) Berdasarkan perbandingan karakteristik respon *transient* antara konfigurasi *open loop* dan *close loop* yang mana pada pengujian *open loop* untuk mencapai kadar ozon sebesar 3 ppm dibutuhkan *delay time* (Td) sebesar 6,5 detik, *rise time* (Tr) sebesar 6,34 detik, *peak time* (Tp) sebesar 20 detik dan *settling time* (Ts) sebesar 10,45 detik sedangkan pada pengujian *close loop* membutuhkan *delay time* (Td) sebesar 8,05 detik, *rise time* (Tr) sebesar 10,1 detik, *peak time* (Tp) sebesar 40,21 detik dan *settling time* (Ts) sebesar 15,15 detik. Secara keseluruhan respon sistem membutuhkan waktu yang lebih lambat ketika menggunakan FLC sebagai kontroler dibandingkan tidak menggunakan kontroler. (3) Penambahan fitur *monitoring* pada sterilisator dapat digunakan untuk memantau kinerja alat tersebut selama proses sterilisasi berlangsung dalam bentuk riwayat perubahan data berupa nilai dalam tabel maupun *grafik* secara *realtime*. Pengiriman data dari kontroler menuju *database* sekurang-kurangnya membutuhkan waktu 4,35 detik.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. K. K Lam and M. Phil, "Ozone Disinfection of SARS-Contaminated Areas," Hongkong: Enviro Labs Ltd., 2005.
- [2] T. Ishida, K. Hirasawa, M. Dozen, and Y. Tada, "Appearance of DC Dielectric Barrier Discharge," *Proceedings of 2011 International Symposium on Electrical Insulating Materials*, pp. 102–104, 2011, doi: 10.1109/iseim.2011.6826332.
- [3] J. Baldwin and N. Guild, "Modeling controllers using fuzzy relations," *Kybemetes.*, vol. 9, pp. 223–229, 1980.
- [4] R. S. dan J. Febio, "Membangun aplikasi e-library menggunakan HTML, PHP script, dan MySQL database," *Jurnal Processor*, vol. 6, no. 2, pp. 38–54, 2011.