

# PERANCANGAN SISTEM KONTROL PORTAL OTOMATIS JALUR BUSWAY BERBASIS RFID MENGGUNAKAN METODE FUZZY-PID

Adrian Bela Widodo<sup>\*)</sup>, Aris Triwiyatno, and Darjat

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Diponegoro Semarang  
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

<sup>\*)</sup>E-mail: *adrianbelaw@gmail.com*

## Abstrak

Transjakarta atau yang lebih dikenal busway merupakan salah satu moda transportasi andalan masyarakat di wilayah ibukota Jakarta. Tingginya angka kecelakaan di jalur busway diakibatkan oleh ketidaktertiban pengguna kendaraan bermotor yang nekat menerobos jalur khusus bus transjakarta. Sterilisasi jalur busway kian dilakukan seperti razia, pemasangan MCB (Moving Concrete Block), dan portal yang bersifat manual. Dalam penelitian ini merancang sebuah simulator portal otomatis untuk melakukan sterilisasi jalur busway menggunakan sistem pengendalian Fuzzy-PID. Pada sistem berbasis RFID ini dimaksudkan untuk membedakan kendaraan yang diperbolehkan melintasi jalur busway dengan membandingkan antara Kartu RFID yang terdeteksi dengan data ID bus dalam basis data. Pergerakan portal akan dikendalikan oleh kontrol Fuzzy-PID ketika sensor HC-SR04 mendeteksi jarak bus. Berdasarkan hasil pengujian diperoleh grafik respon sistem menggunakan metode kontrol Fuzzy-PID pada parameter pertama bersifat lebih linier dan memiliki waktu respon yang lebih cepat dibandingkan dengan parameter lainnya. Pada pengujian motor servo sebagai portal otomatis memiliki nilai RMSE total sebesar 0.248%. Pada pengujian keseluruhan sistem menggunakan controller Fuzzy-PID didapat respon yang paling stabil yaitu menggunakan nilai konstanta defuzzifikasi  $K_p$  yaitu  $k_1=40$ ,  $k_2=60$ ,  $k_3 = 80$  sedangkan konstanta defuzzifikasi  $K_i$  yaitu memiliki nilai  $k_1=0.05$ ,  $k_2=0.2$ ,  $k_3=0.35$  dan pada defuzzifikasi  $K_d$  memiliki  $k_1=0.045$ ,  $k_2=0.05$ , dan  $k_3=0.055$ .

*Kata kunci: Transjakarta, Sterilisasi, RFID, Fuzzy-PID*

## Abstract

Transjakarta or better known busway is one mode of transport mainstay in the region of the capital Jakarta. The high number of accidents on the busway lane caused by the vehicles who break through special lanes for Transjakarta bus. Increasing the sterilization carried out such raids, the installation of the MCB (Moving Concrete Block), and manual gates. In this research, designing an automated gate simulator to perform the sterilization using Fuzzy-PID control system. In the RFID based system is intended to distinguish the vehicle is allowed across the busway lane by comparing the detected RFID card with data of bus ID in the database. The movement of the gate will be controlled by the Fuzzy-PID control when HC-SR04 sensor detect the distance of the bus. Based on test results obtained using the system response graph of Fuzzy-PID control method in the first parameter is more linear and has a faster response time than other parameters. In testing the servo motor as automatic gate has a total RMSE values of 0.248%. In testing the whole system using a controller Fuzzy-PID obtained the response of the most stable at constant values defuzzification of  $K_p$  is  $k_1 = 40$ ,  $k_2 = 60$ ,  $k_3 = 80$  while constant defuzzification of  $T_i$  that has a value of  $k_1 = 0.05$ ,  $k_2 = 0.2$ ,  $k_3 = 0.35$  and the defuzzification of  $T_d$  have  $k_1 = 0.045$ ,  $k_2 = 0.05$  and  $k_3 = 0.055$ .

*Keywords: Transjakarta, Sterilization, RFID, Fuzzy-PID*

## 1. Pendahuluan

Dalam perkembangan busway sebagai transportasi andalan masih diwarnai dengan sejumlah hambatan. Berdasarkan data BLU Transjakarta mencatat hingga Agustus 2013 terdapat 574 kasus kecelakaan lalu lintas yang melibatkan bus Transjakarta [2]. Minimnya rasa kesadaran hukum pengguna kendaraan dalam tertib

berlalu lintas dan kurangnya penegakan hukum secara tegas membuat angka kecelakaan di jalur busway terus terjadi. Pada tahun 2007 angka kecelakaan bus Transjakarta mencapai 66 kasus [2]. Jumlah ini dua kali lipat dibanding tahun 2006 yang hanya 31 kecelakaan [2]. Pada 2007 tren kecelakaan terus meningkat menjadi 66 kecelakaan [2]. Beberapa solusi pernah dilakukan dimulai dari peninggian tepi bantaran, pemasangan portal yang

bersifat manual, dan tindakan razia di jalur busway [1]. Namun, masih saja ada kendaraan yang melintasi jalur yang seharusnya dikhususkan bagi bus Transjakarta. Oleh karena itu, diperlukan sebuah solusi alternatif sebagai sistem sterilisasi yang terintegrasi di jalur bus Transjakarta, salah satunya menggunakan portal otomatis yang merupakan sistem sterilisasi cerdas berdasarkan masukan kode dari RFID tag bus yang terdeteksi pada sistem database dan data jarak bus yang terdeteksi oleh sensor ultrasonik [3][4]. Sistem ini akan menghasilkan pergerakan berbasis jarak yang terdeteksi terhadap sumbu translasi X, sudut dari pergerakan inilah yang akan dikontrol [5].

Dalam penelitian ini portal otomatis disajikan sebagai sistem yang dirancang dan dibangun menggunakan struktur fiberglass sederhana yang divisualisasikan seperti pada skala nyata. Mikrokontroler ATmega16 digunakan untuk mengatur motor servo yang berfungsi sebagai portal otomatis dengan masukan berdasarkan data jarak yang terdeteksi oleh sensor ultrasonik dan kode bus yang terdeteksi pada RFID [3][4][6]. Metode kontrol Fuzzy PID dapat digunakan untuk memberikan data *setpoint* dan mempertahankan sistem pada *setpoint* yang diinginkan [4].

## 2. Metode

### 2.1. Kontrol PID

Pengendali PID adalah suatu sistem pengendali yang merupakan gabungan antara pengendali proporsional, integral, dan derivatif. Dalam waktu kontinu, sinyal keluaran pengendali PID dapat dirumuskan sebagai berikut [7].

$$u(t) = K_p \left( e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right) \quad (1)$$

atau

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2)$$

Dengan,

$u(t)$  = sinyal keluaran pengendali PID

$K_p$  = konstanta proporsional

$T_i$  = waktu integral

$T_d$  = waktu turunan

$K_i$  = konstanta integral

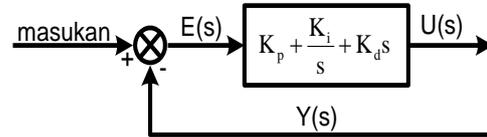
$K_d$  = konstanta turunan

$e(t)$  = sinyal kesalahan

Fungsi alih pengendali PID (dalam domain  $s$ ) dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$G_c(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s \quad (3)$$

Diagram blok pengendali PID dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram blok pengendali PID [7]

Realisasi kontrol PID digital akan ditemukan dalam sistem berbasis mikroprosesor. Sistem kontrol PID digital bekerja dalam basis-basis waktu diskret, sehingga persamaan matematis diskret diperlukan untuk aplikasi kontrol PID ke dalam sistem mikroprosesor [7]. Dari persamaan (3), khusus untuk *output* suku kontrol proporsional karena bentuk persamaannya statis, versi diskretnya dapat diperoleh langsung tanpa menggunakan pendekatan apapun seperti pada persamaan 4.

$$U(k) = K_p \cdot e(k) \quad (4)$$

Dengan mengacu persamaan (3) PID ideal versi diskret yang di tanam dalam sistem digital akan memiliki bentuk seperti nampak pada persamaan (5) [7].

$$U(k) = U_p(k) + U_i(k) + U_d(k) \quad (5)$$

Dimana,

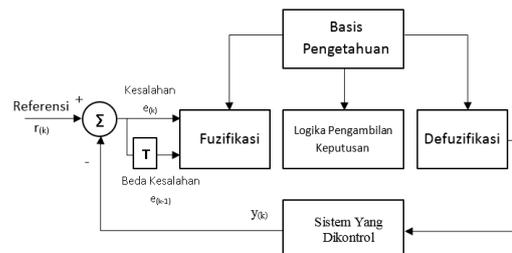
$$U_p(k) = K_p \cdot \theta(k) \quad (6)$$

$$U_i(k) = U_i(k-1) + \frac{K_p T_c}{T_i} \theta(k) \quad (7)$$

$$U_d(k) = K_p T_d \frac{\theta(k) - \theta(k-1)}{T_c} \quad (8)$$

### 2.2. Pengendali Fuzzy

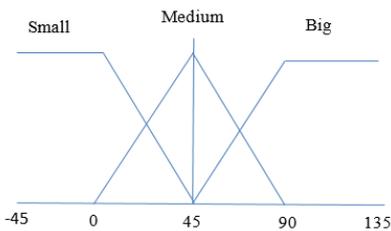
*Fuzzy* berarti samar, kabur atau tidak jelas. *Fuzzy* adalah istilah yang dipakai oleh Lotfi A Zadeh pada bulan Juli 1964 untuk menyatakan kelompok / himpunan yang dapat dibedakan dengan himpunan lain berdasarkan derajat keanggotaan dengan batasan yang tidak begitu jelas (samar) [8]. Pada himpunan *Fuzzy* tidak seperti himpunan klasik yang membedakan keanggotaan himpunan menjadi dua yaitu himpunan anggota atau bukan anggota. Gambar 2 menunjukkan mekanisme kendali logika fuzzy.



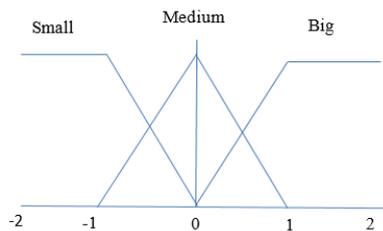
Gambar 2. Mekanisme kendali logika fuzzy [8]

2.2.1. Fungsi Keanggotaan Fuzzy

Kontroller fuzzy mendapat masukan dari data sensor ultrasonik HC-SR04. Pada penentuan *membership function* portal otomatis diujikan pada tingkat sudut putar yang dilalui *busway* dengan batas minimum yang dapat ditentukan yaitu pada *range* 0° hingga 90°. Masukan yang digunakan sebagai *membership function* digambarkan dalam gambar himpunan keanggotaan sebagaimana pada Gambar 3 dan 4.



Gambar 3. Himpunan keanggotaan masukan error



Gambar 4. Himpunan keanggotaan masukan delta error

Gambar 3 dan 4 merupakan masukan kontroler fuzzy dimana dalam *membership function* ini terdiri dari satu segitiga dengan dua trapesium.

2.2.2. Penentuan Aturan Fuzzy

Basis aturan dibuat sesuai dengan keluaran yang diinginkan sebagai masukan parameter PID. Basis aturan dibagi menjadi 3 yaitu basis aturan untuk nilai Kp, basis aturan untuk nilai Ki dan basis aturan untuk nilai Kd. Pada keluaran basis aturan fuzzy ini diimplikasikan dengan menggunakan variabel linguistik. Berikut merupakan aturan yang digunakan di dalam perancangan model fuzzy ini dapat dilihat pada Tabel 1 – 3.

Tabel 1. Basis aturan fuzzy tuning Kp

$\Delta E$ \ E	Small	Medium	Big
Small	Fast	Medium	Slow
Medium	Medium	Medium	Slow
Big	Medium	Slow	Slow

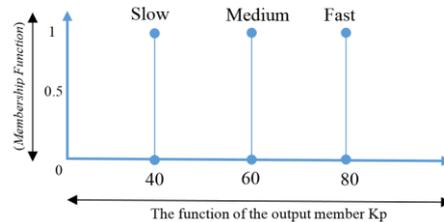
Tabel 2. Basis aturan fuzzy tuning Ki

$\Delta E$ \ E	Small	Medium	Big
Small	Fast	Medium	Slow
Medium	Medium	Medium	Slow
Big	Medium	Slow	Slow

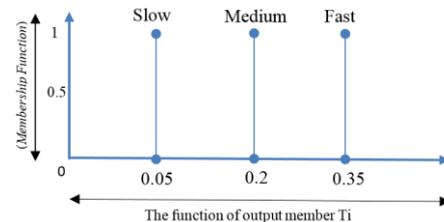
Tabel 3. Basis aturan fuzzy tuning Kd

$\Delta E$ \ E	Small	Medium	Big
Small	Fast	Medium	Slow
Medium	Medium	Medium	Slow
Big	Medium	Slow	Slow

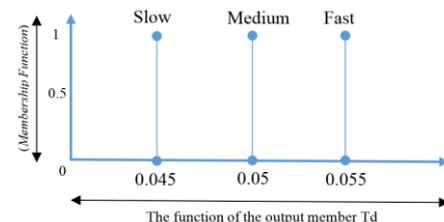
Penentuan nilai keluaran Kp, Ki, dan Kd yang diinginkan diperoleh dengan menggunakan metode *try and error*. Defuzzifikasi merupakan tahap akhir dalam perancangan metode kontrol fuzzy. Pada tahap ini mengubah himpunan Fuzzy keluaran menjadi keluaran tegas (*crisp*). Perubahan ini diperlukan karena konstanta kendali PID hanya mengenal nilai tegas sebagai variabel parameter. Pada perancangan ini menggunakan sebuah himpunan Fuzzy keluaran dengan fungsi keanggotannya berupa *singleton*, seperti ditunjukkan pada Gambar 5 – 7.



Gambar 5. Fungsi keanggotaan keluaran konstanta Kp



Gambar 6. Fungsi keanggotaan keluaran konstanta Ki



Gambar 7. Fungsi keanggotaan keluaran konstanta Kd

Dalam perancangan fuzzy metode sugeno, untuk mendapatkan nilai tegas (*crisp*) keluaran fuzzy digunakan metode *Weighted Average* untuk semua nilai keluaran masing-masing aturan. Metode *Weighted Average* dilakukan dengan menjumlahkan hasil kali masing-masing bobot dengan nilai keluaran kemudian dibagi dengan jumlah bobot.

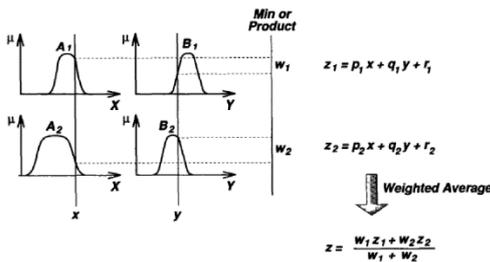
2.2.3. Metode Fuzzy Sugeno

Model fuzzy Sugeno (dikenal juga dengan model fuzzy TSK) diusulkan oleh Takagi, Sugeno, dan Kang. Model

ini merupakan pendekatan sistematis pembangkit aturan fuzzy dari himpunan data masukan dan keluaran yang diberikan. Aturan fuzzy sugeno memiliki bentuk dasar seperti persamaan (9).

$$\text{if } x \text{ is } A \text{ AND } y \text{ is } B \text{ then } z = f(x,y) \quad (9)$$

A dan B adalah himpunan fuzzy dalam penyebab dan  $z = f(x,y)$  adalah fungsi tegas dalam konsekuensi. Biasanya  $f(x,y)$  adalah *polynomial* dalam variabel  $x$  dan  $y$ . Karakteristik dari fuzzy Sugeno adalah bagian konsekuennya bukan merupakan himpunan fuzzy, melainkan suatu persamaan linier dengan variabel-variabel sesuai dengan variabel-variabel masukannya. Ada 2 model untuk sistem inferensi fuzzy model TSK, yaitu model TSK orde-0 dan model orde-1. Model Fuzzy Sugeno orde-0 memiliki keluaran konstan yaitu  $z = k$ . Model Fuzzy Sugeno orde-1 memiliki keluaran  $z = p_1 \cdot x_1 + \dots + p_n \cdot x_n + q$  dengan  $p_i$  adalah suatu konstanta tegas ke- $i$  dan  $q$  juga merupakan konstanta dalam konsekuen [6]. Gambar 8 merupakan tampilan dari inferensi fuzzy model Sugeno. Masukan yang digunakan merupakan himpunan fuzzy sedangkan bagian keluaran merupakan keluaran yang berupa persamaan linier.



Gambar 8. Inferensi fuzzy model Sugeno [6]

Berdasarkan Gambar 8 dapat pula ditulis dalam persamaan (10) [6]:

$$v_D = \frac{\sum_{k=1}^n v_k \mu_k(v_k)}{\sum_{k=1}^n \mu_k(v_k)} \quad (10)$$

Dimana,

- $v_o$  = nilai keluaran
- $m$  = tingkat kuantitasi
- $v_k$  = elemen ke- $k$
- $\mu_k(v_k)$  = derajat keanggotaan elemen-elemen pada fuzzy set  $v$
- $v$  = semesta pembicaraan

### 3. Hasil dan Analisa

#### 3.1. Pengujian Sudut Motor Servo

Metode analisa pengujian dilakukan dengan mengambil 5 kali data pengujian. Setelah mendapatkan nilai dari tiap sudut selanjutnya adalah menghitung nilai error. Nilai error hasil pengujian didapatkan dengan mengurangi nilai sudut uji dengan sudut percobaan kemudian dibagi 180 derajat dan dikalikan dengan nilai 100%. Pada tiap error yang didapat dari sudut yang berbeda selanjutnya

akan dibagi dengan banyaknya sudut uji menjadi error rata-rata. Nilai hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4 :

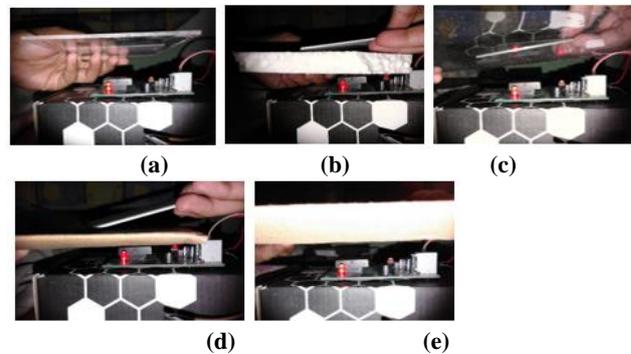
Tabel 4. Pengujian sudut motor servo

No.	Pengujian sudut (derajat)									
	0	10	20	30	45	50	60	70	80	90
1	-0,5	9,4	20	30,7	45	50	61	70	80,7	91,2
2	-0,5	9,3	19,5	31	45	49,7	60	70	80,5	91,1
3	0	9,2	19	29,5	44	49,2	59,3	69,1	80	90,4
4	0	9,3	19,3	30	44,1	49,6	59,6	69,3	80	90,8
5	-0,5	9,8	19,4	30	44,4	49,1	59	69,5	80,3	91
RMSE (%)	0,16	0,33	0,31	0,24	0,27	0,26	0,34	0,23	0,16	0,5

Dari Tabel 4 dapat diketahui bahwa nilai RMSE rata-rata dari motor servo sebesar = 0,284 %. Nilai kesalahan pada motor servo tersebut masih dapat ditoleransi sehingga dapat digunakan untuk simulator portal otomatis.

#### 3.2. Pengujian Pembacaan Kartu RFID

Pada pengujian ini dilakukan dengan melakukan pengukuran jarak pendeteksian kartu RFID dengan RFID Reader yang dilapisi oleh material bahan. Pada simulator portal otomatis hanya memanfaatkan sistem *read-only* tanpa *write* pada RFID Reader ID-12 Innovation. Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui material bahan yang dapat ditembus oleh RFID agar tidak berpengaruh terhadap proses deteksi. Pengambilan data pengujian jarak pembacaan kartu RFID terhadap material bahan ditunjukkan pada Gambar 9 (a)-(e) :



Gambar 9. (a) Pengujian RFID pada bahan akrilik, (b) Pengujian RFID pada bahan gabus, (c) Pengujian RFID pada bahan plastik mika, (d) Pengujian RFID pada bahan kardus, (e) Pengujian RFID pada bahan kayu

Hasil pengujian pembacaan kartu RFID terhadap berbagai material bahan seperti pada Gambar 9 (a)-(e) dapat dibentuk ke dalam sebuah tabel seperti pada Tabel 5 dibawah ini :

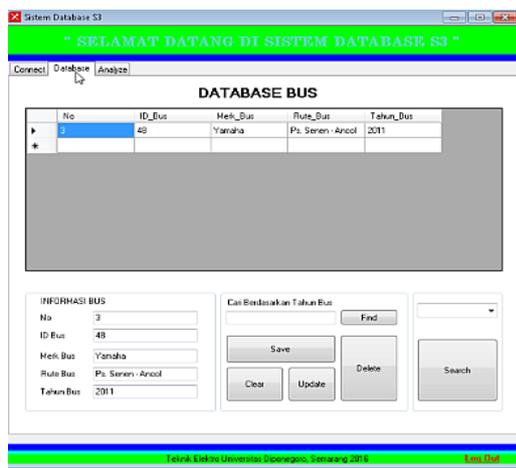
Tabel 5. Pengujian pembacaan RFID terhadap material bahan

Pengujian Ke-	Material Bahan	Tebal Bahan	Jarak Baca RFID
1	Kardus	7 mm	3,5 cm
2	Plastik Mika	1 mm	4 cm
3	Gabus	15 mm	2,7 cm
4	Kayu	10 mm	3 cm
5	Akrilik	2 mm	4 cm

keterangan : v =terdeteksi ; x = tidak terdeteksi  
 Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 5, semua material bahan dapat ditembus oleh RFID dengan menggunakan pancaran gelombang radio sebesar 125 KHz. Ketebalan material bahan akan berpengaruh terhadap berkurangnya jangkauan jarak deteksi RFID.

**3.3. Pengujian Sistem Basis Data RFID**

Pada pengujian sistem basis data RFID didasarkan pada pengujian secara fungsional dimana saat pembacaan ID kartu RFID dalam sistem *interface*, data ID tersebut harus sesuai dengan data pada tabel ID yang tersedia di dalam di sistem *query* database MySql untuk membuka portal otomatis pada simulator. Pada pengujian ini menggunakan teknik *parsing data* sehingga data yang ditampilkan dalam sistem *interface* menjadi lebih sedikit dengan cara mengambil data ke-9 dari ID RFID. Hasil pengujian kartu uji dalam sistem *interface* terlihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Pengujian kartu uji pada sistem basis data

Hasil pengujian pada Gambar 10 dapat direpresentasikan ke dalam tabel pengujian kartu uji RFID yang terdapat pada Tabel 6 sebagai berikut :

Tabel 6. Pengujian kartu uji pada sistem basis data

Kartu uji ke -	ID RFID	Penempatan	Status database	Keterangan
1.	53	-	Tidak Ada	Portal Tertutup
2.	48	Di dalam Body Bus	Ada	Portal Terbuka
3.	67	Di dalam Body Bus	Ada	Portal Terbuka

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 6 diketahui bahwa sistem basis data RFID berjalan dengan baik, hal ini terbukti dengan sistem dapat menseleksi bus sesuai yang diharapkan.

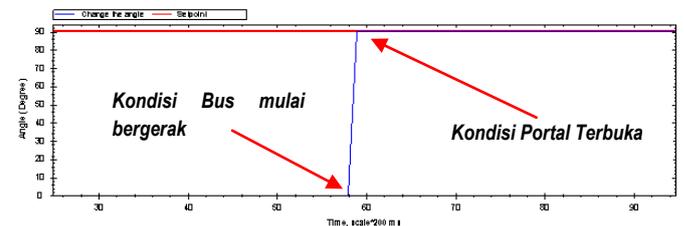
**3.4. Pengujian Kontroler Fuzzy-PID dalam Simulator Portal Otomatis**

Pada pengujian kontroler *Fuzzy-PID* dilakukan dengan mengubah nilai  $k_1$ ,  $k_2$  dan  $k_3$  pada proses *defuzzifikasi* dan melihat respon sistem yang dihasilkan. Nilai  $k_1$ ,  $k_2$  dan  $k_3$  pada parameter PID yaitu  $K_p$ ,  $K_i$  dan  $K_d$  memiliki nilai yang berbeda-beda dan di ambil secara *try and error*. Pengujian dengan variasi nilai konstanta yang digunakan sebagai pengali  $W_1$ ,  $W_2$  dan  $W_3$  pada tahap *defuzzifikasi* sesuai pada penjelasan pada persamaan (10) terdapat pada Tabel 7.

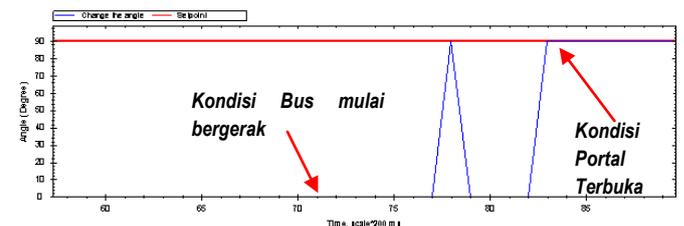
Tabel 7. Nilai variasi *singleton output* pada proses *defuzzifikasi*

Variasi ke -	Kp			Ti			Td		
	K1	K2	K3	K1	K2	K3	K1	K2	K3
1	40	60	80	0,05	0,2	0,35	0,045	0,05	0,055
2	25	35	50	0,01	0,015	0,02	0,1	0,2	0,3
3	25	35	45	0,003	0,005	0,007	0,01	0,02	0,03
4	18	22	26	0,01	0,02	0,03	0,02	0,03	0,04
5	18	22	26	0,01	0,02	0,03	0,02	0,02	0,03

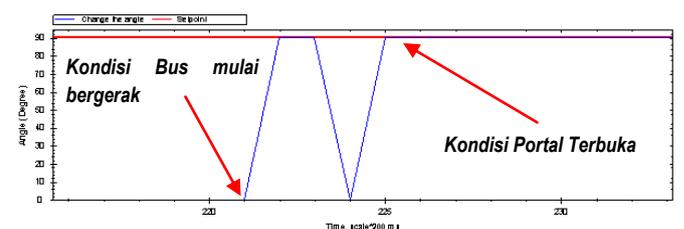
Pada Tabel 7 variasi ke-1 adalah nilai *singleton output* paling baik dibanding lainnya. Keluaran dalam bentuk grafik ditunjukkan pada Gambar 11 - 15.



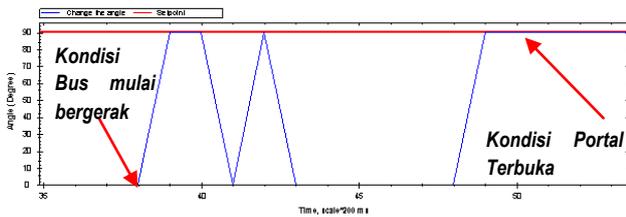
Gambar 11. Keluaran sistem pada variasi 1



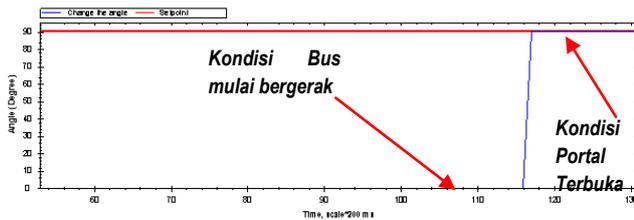
Gambar 12. Keluaran sistem pada variasi 2



Gambar 13. Keluaran sistem pada variasi 3

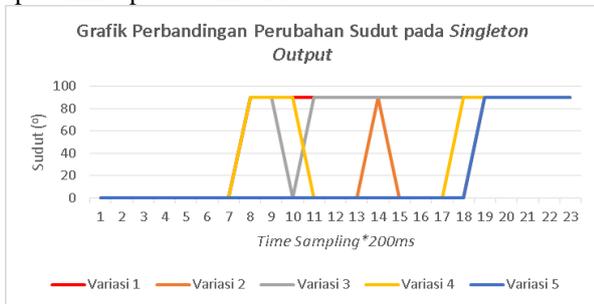


Gambar 14. Keluaran sistem pada variasi 4



Gambar 15. Keluaran sistem pada variasi 5

Pada variasi ke 4 pada Gambar 13, respon sistem tidak stabil dan memiliki beberapa osilasi lebih buruk dibandingkan variasi pada parameter pertama, kedua, ketiga, dan keempat. Pengujian pada variasi kedua, ketiga, dan keempat grafik respon sistem memiliki osilasi. Pada pengujian variasi ke 1 membutuhkan waktu perubahan sudut yang lebih cepat apabila dibandingkan dengan variasi lainnya. Sehingga perbandingan nilai *output* berupa perubahan sudut motor servo tiap variasi dapat dilihat pada Gambar 16.



Gambar 16. Grafik perbandingan perubahan sudut pada motor servo tiap variasi

Sehingga berdasarkan keluaran tiap *singleton output* dapat dianalisa pada Tabel 8.

Tabel 8. Analisa hasil pengujian keluaran sistem pada *singleton output*

Variasi ke-	Waktu tunda pada sensor (detik)	Waktu perubahan sudut sistem (detik)	Keterangan grafik sudut dan Respon sistem
1.	0	0,4	Linier
2.	1,2	2,4	Linier, berosilasi, dan memiliki waktu tunda
3.	0	0,8	Linier, namun berosilasi
4.	0	2,2	Linier, namun berosilasi
5.	2,2	0,2	Linier, namun memiliki waktu tunda

Berdasarkan Tabel 8 terlihat bahwa pada *singleton output* variasi ke 1, 3 dan 4 memiliki waktu pendeteksian bus yang lebih baik dibandingkan pada variasi ke 2 dan 5 tanpa waktu tunda. Waktu perubahan sudut pada variasi 1 lebih baik dibandingkan parameter 2,3, dan 4, namun memiliki waktu perubahan sudut sistem yang cukup lama sebesar 0,2 detik dibandingkan variasi 5. Pada tabel diatas *singleton output* variasi ke 1 memiliki grafik yang lebih baik dibandingkan parameter variasi lainnya dikarenakan sistem lebih stabil dan linear.

#### 4. Kesimpulan

Sterilisasi di jalur *busway* merupakan kunci untuk menurunkan angka kecelakaan dan meningkatkan kesadaran budaya masyarakat untuk tertib berlalu lintas. Pengembangan sistem sterilisasi menggunakan simulator portal otomatis berbasis RFID yang dipasang pada *body* bus dimaksudkan untuk dapat membedakan kendaraan yang hanya diperbolehkan melintasi jalur *busway*. Data bus tiap unit transjakarta tersimpan di dalam sistem basis data dalam sistem *interface*. Portal otomatis akan membuka ketika data ID bus di dalam basis data sesuai dengan data RFID pada bus transjakarta dan berlaku sebaliknya. Pada sistem simulator ini menggunakan sistem pengendalian *Fuzzy-PID* yang dapat mempercepat respon sistem dalam pembukaan portal berdasarkan jarak bus. Parameter variasi *singleton output* yang sangat baik dengan  $k_p$  memiliki  $k_1=25$ ,  $k_2=30$ ,  $k_3=45$  pada  $k_i$  memiliki  $k_1=0,005$ ,  $k_2=0,005$ ,  $k_3=0,005$  dan pada  $k_d$  memiliki  $k_1=0,01$ ,  $k_2=0,02$ ,  $k_3=0,03$  dikarenakan *singleton output* pada variasi ini memiliki waktu respon sistem untuk mencapai kestabilan paling cepat yaitu sebesar 0,6 detik. Pada penelitian selanjutnya untuk pengembangan menjadi sistem sterilisasi terpadu dengan mengkombinasikan *time management system* agar pengguna *busway* dapat mengetahui keberadaan bus saat ini. Sedangkan untuk proses sistem sterilisasi dapat dikembangkan menggunakan dua mikrokontroler atau lebih yang berfungsi sebagai *master* dan *slave*. Sebagai pengembangan implementasi dalam skala nyata dapat mengembangkannya dengan sistem berbasis PLC (*Programmable Logic Controller*) untuk meningkatkan kapasitas dan kehandalan sistem.

#### Referensi

- [1]. F. Mauludi, "Time Management Busway Transjakarta sebagai Upaya Optimalisasi Pelayanan," Teknik Mesin Universitas Indonesia, Jakarta, 2011.
- [2]. Z. Khoiruddin, M. S. Suraatmadja, and D. Darlis, "Perancangan dan Implementasi Sistem Palang Pintu Otomatis Bus Transjakarta dengan Rf Zigbee," 2013.
- [3]. A. F. Listyono, "Perancangan Prototipe Identifikasi Kendaraan Jalan Tol Berbasis RFID dan Notifikasi Pembayaran Via Sms," Teknik Elektro Universitas Diponegoro, Semarang, 2015.

- [4]. S. Kantawong, "Development of RFID Dressing Robot Using DC Servo Motor with Fuzzy-PID Control System," pp. 14–19, 2013.
- [5]. I. Z. M.Sc.EE, Prof. Dr. Zuhail, *Prinsip Dasar Elektroteknik*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama, 2004.
- [6]. M. K. M. A. G. K. D. P and K. A. Ghosh, "Development of Fuzzy Logic Controller for Servo Systems," pp. 204–207, 1998.
- [7]. M. A. J. M. H. Moradi, *PID Control New Identification and Design Methods*. UK: Springer, 2004.
- [8]. P. T. Chen. G, *Introduction to Fuzzy Sets, Fuzzy Logic, and Fuzzy Control System*. 2001.