

PERANCANGAN SISTEM KONTROL SIMULATOR PORTAL OTOMATIS JALUR BUSWAY MENGGUNAKAN METODE FUZZY-PID

Aris Triwiyatno^{*)}, Adrian Bela Widodo, and Darjat

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

^{*)}E-Mail: aristriwiyatno@undip.ac.id

Abstrak

Transjakarta atau yang lebih dikenal sebagai *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* seperti razia, pemasangan MCB (*Moving Concrete Block*), dan portal yang bersifat manual, merupakan solusi yang telah dilakukan untuk mengurangi permasalahan tersebut. Dalam penelitian ini dirancang sebuah simulator portal otomatis untuk melakukan sterilisasi jalur *busway* menggunakan sistem pengendalian *Fuzzy-PID*. Pembuatan 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 defuzifikasi K_p yaitu $k_1=25$, $k_2=30$, $k_3 = 45$ sedangkan konstanta defuzifikasi K_i yaitu memiliki nilai $k_1=0.005$, $k_2=0.005$, $k_3=0.005$ dan pada defuzifikasi K_d memiliki $k_1=0.01$, $k_2=0.02$ dan $k_3=0.03$.

Kata kunci: transjakarta, sterilisasi, RFID, Fuzzy-PID.

Abstract

Transjakarta or better known as bus-way is one of favourite transport mainstay mode in the region of the capital Jakarta. Many accidents on the bus-way lane were caused by the vehicles that break through Transjakarta bus lane. To reduce the accident, increasing bus-way lane sterilization were carried out, such applying raids, the installation of the MCB (*Moving Concrete Block*), and applying manual gates. In this research, an automated gate simulator using *Fuzzy-PID* control system was designed to perform this sterilization procedure. This system operates based on RFID identification system to distinguish the vehicle that allowed across the bus-way lane by comparing the detected RFID card with bus ID data in the database. The movement of the gate is controlled by the *Fuzzy-PID* control when HC-SR04 sensor detects the distance of the bus. Based on test results, applying the first fuzzy parameter on *Fuzzy-PID* control perform more linear and faster time response than applying other parameters. The servo motor as automatic gate has a total RMSE values of 0.248%. The best result can be reach at defuzzification constant value of K_p are $k_1 = 25$, $k_2 = 30$, and $k_3 = 45$; defuzzification constant values of K_i are $k_1 = 0.005$, $k_2 = 0.005$, and $k_3 = 0.005$; and defuzzification constant values of K_d are $k_1 = 0.01$, $k_2 = 0.02$ and $k_3 = 0.03$.

Keywords: transjakarta, sterilization, RFID, Fuzzy-PID.

1. Pendahuluan

Jakarta merupakan kota metropolitan dengan tingkat pertumbuhan penduduk paling tinggi di Indonesia [1][2]. Permasalahan yang kompleks seperti transportasi merupakan salah satu permasalahan utama di wilayah ini. Transjakarta atau yang lebih dikenal busway merupakan salah satu moda transportasi publik andalan masyarakat ibukota Jakarta [1]. Bus transjakarta menghubungkan tiap

titik di wilayah Jakarta dengan cepat, aman, dan ekonomis. Namun, dalam perkembangannya 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].

Pada 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

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

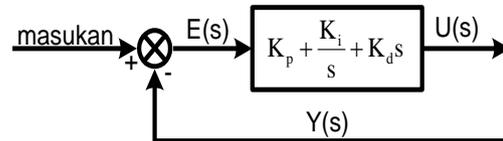
Dengan,

- $u(t)$ = 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 diterapkan 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.

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

Dengan mengacu Persamaan 3, PID ideal versi diskret yang ditanam dalam sistem digital akan memiliki bentuk seperti nampak pada Persamaan 5 [7].

$$U(k) = Up(k) + Ui(k) + Ud(k) \quad (5)$$

dimana,

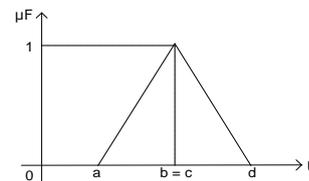
$$Up(k) = Kp \cdot e(k) \quad (6)$$

$$Ui(k) = Ui(k-1) + \frac{KpTc}{Ti} e(k) \quad (7)$$

$$Ud(k) = KpTd \frac{e(k) - e(k-1)}{Tc} \quad (8)$$

2.2. Pengendali Fuzzy

Terdapat beberapa fungsi keanggotaan (*membership function* = MF) yang sering digunakan dalam aplikasi logika *fuzzy*[6]. Salah satu fungsi keanggotaan pada logika *fuzzy* adalah fungsi keanggotaan segitiga seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



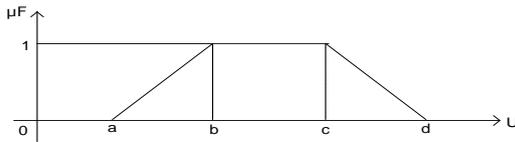
Gambar 2. Fungsi keanggotaan segitiga[6]

2.2.1. Fungsi Keanggotaan Fuzzy

Fungsi keanggotaan segitiga mempunyai persamaan matematis seperti Persamaan 9.

$$\mu(u) = \begin{cases} 0 & , \text{ untuk } u \leq a \\ \frac{u-a}{b-a} & , \text{ untuk } a \leq u \leq b \\ 1 & , \text{ untuk } b \leq u \leq c \\ \frac{d-u}{d-c} & , \text{ untuk } c \leq u \leq d \\ 0 & , \text{ untuk } u \geq d \end{cases} \quad (9)$$

Fungsi keanggotaan lain pada logika *fuzzy* adalah fungsi keanggotaan trapesium yang dapat digambarkan seperti Gambar 3.



Gambar 3. Fungsi keanggotaan trapesium[6]

Fungsi keanggotaan trapesium mempunyai persamaan matematis seperti Persamaan 10.

$$\mu(u) = \begin{cases} 0 & , \text{ untuk } u \leq a \\ \frac{(u-a)}{(b-a)} & , \text{ untuk } a \leq u \leq b \\ 1 & , \text{ untuk } b \leq u \leq c \\ \frac{(d-u)}{(d-c)} & , \text{ untuk } c \leq u \leq d \\ 0 & , \text{ untuk } u \geq d \end{cases} \quad (10)$$

2.2.2. Aturan Fuzzy

Aturan pada suatu model *fuzzy* biasa disebut dengan aturan *IF-THEN*. Secara umum aturan *fuzzy* dituliskan seperti Persamaan 11[6].

$$\text{if } x \text{ is } A \text{ then } y \text{ is } B \quad (11)$$

A dan B merupakan suatu nilai linguistik yang didefinisikan oleh suatu fungsi keanggotaan *fuzzy*. Pernyataan “*x is A*” sering disebut dengan pernyataan penyebab. Pernyataan “*y is B*” sering disebut dengan pernyataan akibat atau kesimpulan. Contoh penggunaan aturan *IF-THEN* pada pernyataan linguistik sehari-hari adalah sebagai berikut:

- Jika tekanan tinggi, maka volume kecil.
- Jika jalanan licin, maka menyetir itu berbahaya.
- Jika tomat telah berwarna merah, maka tomat tersebut telah matang.
- Jika kecepatan tinggi, maka sedikit pengereman perlu dilakukan.

2.2.3. Metode Fuzzy Sugeno

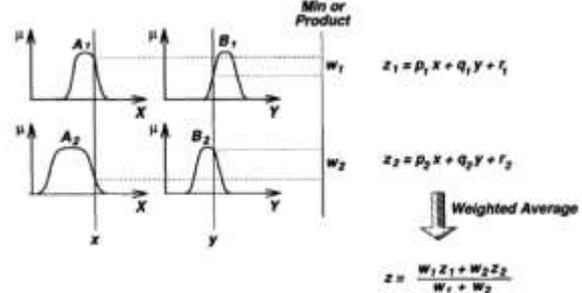
Model *fuzzy* Sugeno (dikenal juga dengan model *fuzzy* TSK) diusulkan oleh Takagi, Sugeno, dan Kang. Model ini merupakan pendekatan sistematis pembangkit aturan

fuzzy dari himpunan data masukan dan keluaran yang diberikan. Aturan *fuzzy* sugeno memiliki bentuk dasar seperti Persamaan 12.

$$\text{if } x \text{ is } A \text{ AND } y \text{ is } B \text{ then } z = f(x, y) \quad (12)$$

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 k -i dan q juga merupakan konstanta dalam konsekuensi[6]. Gambar 4 merupakan tampilan dari inferensi *fuzzy* model Sugeno. Masukan yang digunakan merupakan himpunan *fuzzy* sedangkan bagian keluaran merupakan keluaran yang berupa persamaan linier.



Gambar 4. Inferensi *fuzzy* model Sugeno[6]

Berdasarkan Gambar 4 dapat pula dituliskan dalam Persamaan 13[6]:

$$v_0 = \frac{\sum_{k=1}^m v_k \mu_k(v_k)}{\sum_{k=1}^m \mu_k(v_k)} \quad (13)$$

dimana,

- v_0 = nilai keluaran
- m = tingkat kuantitas
- 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 Perangkat Keras

3.1.1. 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 mengurangkan 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 1.

Tabel 1. Pengujian sudut motor servo.

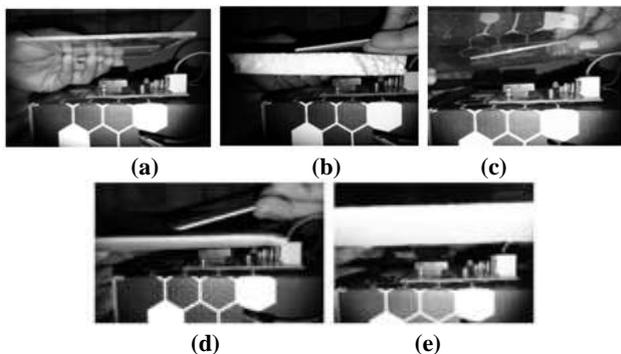
No.	Pengujian sudut (derajat)									
	0	10	20	30	45	50	60	70	80	90
1	-0,5	9,4	20	30,7	45	50	61	70	80,7	91,2
2	-0,5	9,3	19,5	31	45	49,7	60	70	80,5	91,1
3	0	9,2	19	29,5	44	49,2	59,3	69,1	80	90,4
4	0	9,3	19,3	30	44,1	49,6	59,6	69,3	80	90,8
5	-0,5	9,8	19,4	30	44,4	49,1	59	69,5	80,3	91
RM SE (%)	0,16	0,33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

Dari Tabel 1 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.

3.1.2. 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 5 (a)-(e).

Hasil pengujian pembacaan kartu RFID terhadap berbagai material bahan seperti pada Gambar 5 (a)-(e) dapat dibentuk ke dalam sebuah tabel seperti pada Tabel 2. Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 2 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.



Gambar 5. (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

Tabel 2. Pengujian pembacaan RFID terhadap material bahan

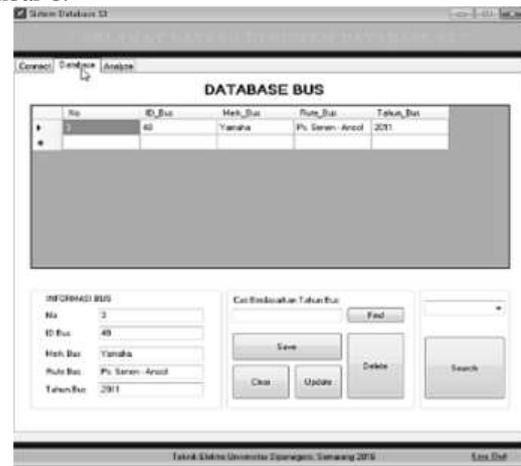
Pengujian Ke-	Material Bahan	Tebal Bahan	Jarak Baca RFID
1	Kardus	7 mm	3,5 cm
2	Plastik Mika	1 mm	4 cm
3	Gabus	15 mm	2,7 cm
4	Kayu	10 mm	3 cm
5	Akrilik	2 mm	4 cm

keterangan : v =terdeteksi ; x = tidak terdeteksi

3.2. Pengujian Perangkat Lunak

3.2.1. 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 6.



Gambar 6. Pengujian kartu ujipada sistem basis data

Hasil pengujian pada Gambar 6 dapat direpresentasikan ke dalam tabel pengujian kartu uji RFID yang terdapat pada Tabel 3.

Tabel 3. 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 3 diketahui bahwa sistem basis data RFID berjalan dengan baik, hal ini terbukti dengan sistem dapat menseleksi bus sesuai yang diharapkan.

3.2.2. Pengujian Sistem Login Administrator

Pada sistem *login* data username dan password yang digunakan untuk sistem *login* tersimpan di dalam sistem database MySQL. Penggunaan fitur sistem *login administrator* dimaksudkan untuk menjaga kerahasiaan dan keamanan sistem database sehingga sistem database hanya dapat diakses oleh orang tertentu yang mempunyai *username* dan *password*. Cara pengujian sistem *login administrator* dalam sistem database ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Pengujian sistem *login administrator*

Pada pengujian sistem *login* inilah bekerja sesuai yang diharapkan, dimana data pada *username* dan *password* yang diinput harus sesuai dengan data yang terdapat di dalam *query* sistem database MySQL untuk melanjutkan menuju *form* selanjutnya.

3.2.3. Pengujian Setting Password Login

Pada pengujian *setting password login* dilakukan dengan mengganti *password* atau kata sandi yang digunakan dalam sistem *login*. Untuk mengganti *username* dan *password*, pengguna diwajibkan untuk melakukan *login* terlebih dahulu untuk menuju ke *form setting*. Setelah berhasil masuk ke dalam *form setting* dalam sistem *interface* database, user diwajibkan mengisi *username*, *password* saat ini, dan *password* yang akan diganti pada kolom yang tersedia pada *form*. Cara pengujian *setting password login* dalam sistem *interface* dapat dilihat pada Gambar 8.

Persyaratan untuk mengganti *password* baru membutuhkan minimal 8 digit karakter yang dapat dikombinasikan menggunakan huruf dan angka. Selanjutnya apabila *password* tersebut diganti menjadi *password* baru, maka sistem *interface* akan menampilkan *command dialog* baru yang memberikan notifikasi perubahan *password* berhasil diganti.

3.2.3. Pengujian Kontroler Fuzzy-PID Dalam Simulator Portal Otomatis

Pada pengujian kontroler *Fuzzy-PID* dilakukan dengan mengubah nilai *k1*, *k2* dan *k3* pada proses *defuzzifikasi* dan melihat respon sistem yang dihasilkan. Nilai *k1*, *k2* dan *k3* pada parameter PID yaitu *Kp*, *Ki* dan *Kd* memiliki

nilai yang berbeda-beda dan di ambil secara *try and error*. Pengujian dengan variasi nilai konstanta yang digunakan sebagai pengali *W1*, *W2* dan *W3* pada tahap *defuzzifikasi* sesuai pada penjelasan pada persamaan (13) terdapat pada Tabel 4.



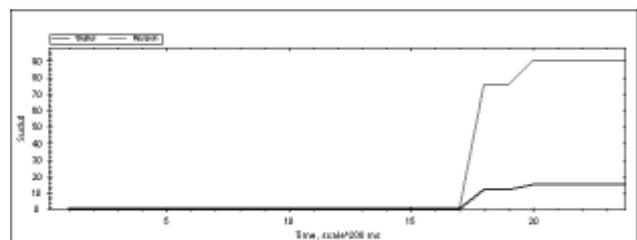
Gambar 8. Pengujian *setting password login*

Tabel 4. Nilai variasi *singleton output* pada proses *defuzzifikasi*.

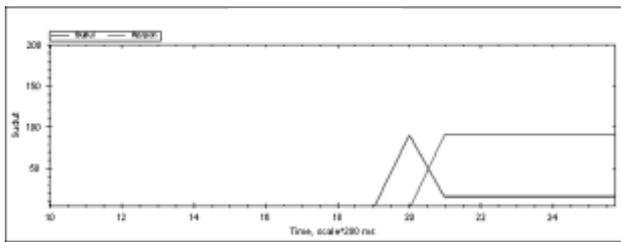
Variasi ke	Kp			Ki			Kd		
	K1	K2	K3	K1	K2	K3	K1	K2	K3
1	25	30	45	0,005	0,005	0,005	0,01	0,02	0,03
2	25	35	45	0,005	0,005	0,01	0,01	0,02	0,07
3	25	35	45	0,005	0,005	0,01	0,01	0,03	0,08
4	25	35	50	0,005	0,005	0,02	0,01	0,02	0,03
5	20	40	50	0,003	0,004	0,02	0,02	0,03	0,04

Pada Tabel 4 variasi ke-1 adalah nilai *singleton output* paling baik dibanding lainnya. Keluaran dalam bentuk grafik ditunjukkan pada Gambar 9 - 13.

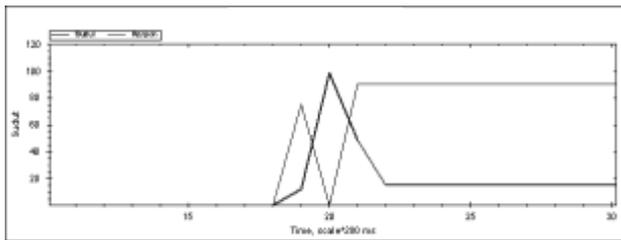
Pada variasi ke 5 pada Gambar 13, respon sistem tidak stabil dan memiliki beberapa overshoot lebih buruk dibandingkan variasi pada parameter pertama, kedua, ketiga, dan keempat. Pengujian pada variasi kedua, ketiga, dan kelima grafik respon sistem memiliki *overshoot*. Pada pengujian variasi ke 1 dan 4 memiliki waktu perubahan sudut, respon sistem, dan tunda yang sama, namun berbeda dalam perubahan sudutnya. Pada variasi ke 1 pada Gambar 9 mempunyai perubahan sudut sistem dari 0° menjadi 75° dilanjutkan *interval* konstan sebesar 0,2 detik sebelum mencapai sudut 90°, sedangkan pada variasi ke 2 pada Gambar 10 mempunyai perubahan sudut sistem dari 0° menjadi 54° dilanjutkan *interval* konstan sebesar 0,2 detik sebelum mencapai sudut 90°.



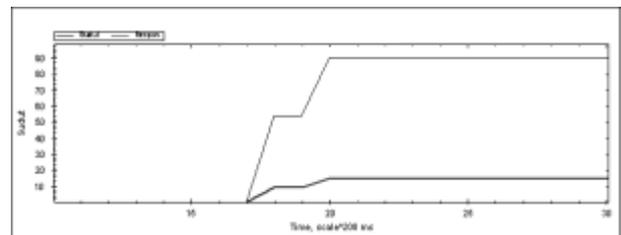
Gambar 9. Keluaran sistem pada variasi 1



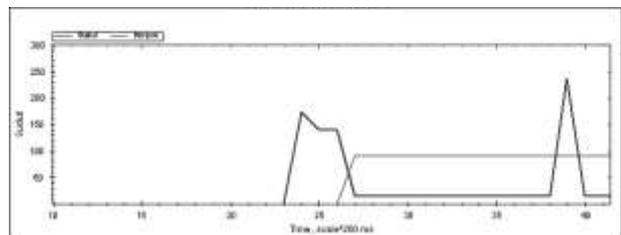
Gambar 10. Keluaran sistem pada variasi 2



Gambar 11. Keluaran sistem pada variasi 3



Gambar 12. Keluaran sistem pada variasi 4



Gambar 13. Keluaran sistem pada variasi 5

Tabel 5. Analisa hasil pengujian keluaran sistem pada *singleton output*.

Variasi ke-	Waktu tunda pada sensor (detik)	Waktu perubahan sudut sistem (detik)	Waktu Respon Sistem (detik)	Keterangan grafik sudut dan Respon sistem
1.	0	0,6	0,6	Linier, namun terdapat <i>interval</i> konstan
2.	0,6	0,2	0,8	Linier dan memiliki <i>overshoot</i>
3.	0,2	0,6	1	Berosilasi dan memiliki <i>overshoot</i>
4.	0	0,6	0,6	Linier, namun terdapat <i>interval</i> konstan
5.	1,8	0,2	2	Linier, tidak stabil, dan memiliki <i>overshoot</i>

Berdasarkan Tabel 5 terlihat bahwa pada *singleton output* variasi ke 1 dan 4 memiliki waktu pendeteksian bus yang lebih baik dibandingkan pada variasi ke 2, 3, dan 5, namun memiliki waktu perubahan sudut sistem yang cukup lama sebesar 0,6 detik. Pada tabel diatas *singleton output* variasi ke 3 memiliki grafik yang berosilasi dibandingkan parameter variasi lainnya.

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.