

Pemodelan dan Simulasi Sistem Kendali Volume Air Pada *Process Plant* Dengan Metode *State Feedback*

¹Dede Irawan Saputra*), ¹Irvan Budiawan & ¹Andhika Jayanugraha

¹Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jenderal Achmad Yani, Cimahi

*) dedeirawan.saputra@lecture.unjani.ac.id

Abstrak

Pengolahan pada sebuah *process plant* sangat dibutuhkan untuk menunjang berbagai aspek dalam kegiatan industri dan manufaktur. Pada kondisi tertentu seperti meningkatnya permintaan pasar untuk memproduksi dalam skala besar atau untuk mengendalikan suatu proses pada *plant* secara otomatis, sehingga penelitian terkait *process plant* masih terus dilakukan untuk mendapatkan suatu metode atau gagasan terkait pengendalian dan kestabilan sistem. Salah satunya adalah pengendalian volume air pada *process plant* yang bertujuan untuk mengendalikan air agar sesuai dengan yang diinginkan. Perancangan sistem terdiri dari tangki sebagai media penyimpanan air dengan integrasi sensor HC-SR04 untuk mendeteksi ketinggian air. Luas permukaan tangki yang sudah diketahui sehingga volume air pada tangki dapat dihitung. sensor YF-S201 digunakan untuk mendeteksi aliran air, serta motor servo untuk mengendalikan valve sebagai pengatur laju aliran air. Hasil pengujian dilakukan pada sistem *open loop* dan pada sistem *closed loop*, berdasarkan hasil percobaan *open loop* di dapatkan fungsi alih sistem dalam bentuk orde kedua, percobaan tersebut selanjutnya dirancang spesifikasi sistem yang diinginkan menggunakan metode *pole placement* dengan spesifikasi maksimum overshoot $\leq 10\%$ dan *peak time* 100 detik didapatkan nilai penguatan $K_1 = 0,0903$ dan $K_2 = 0,0031$. agar dapat melakukan penjejakan pada *set point* yang diinginkan maka ditentukan gain $K_r = 0,002$. Hasil yang pada eksperimen menunjukkan bahwa sistem dapat menjejaki dengan nilai overshoot sebesar 1% dan *peak time* pada 135 detik.

Kata Kunci: *process plant, pole placement, volume air*

1 Pendahuluan

Sistem yang terdapat pada *process plant* dapat beragam jenisnya, seperti *single tank*, *interacting couple tank*, *non interacting tank*, dll. Proses pengendalian pada berbagai *tank* tersebut dapat dilakukan menggunakan berbagai algoritma. Teknik pengendalian pada industri proses pada tangki *cascade* pada umumnya dapat direpresentasikan kedalam sistem *Single Input Single Output* (SISO) [1]. Pada sistem tersebut setiap pengendalian terdiri dari satu variabel yang dibentuk dengan kendali kalang tertutup. Kasus pengendalian SISO tidak memperhatikan perubahan variabel di sekitarnya yang ikut terpengaruh oleh pengendalian satu variabel, sehingga diperlukan suatu model lain yang dapat mengestimasi atau mengobservasi suatu keluaran yang saling terkait. Salah satu cara yang dapat digunakan adalah melakukan proses pemodelan dalam bentuk *state space* [2].

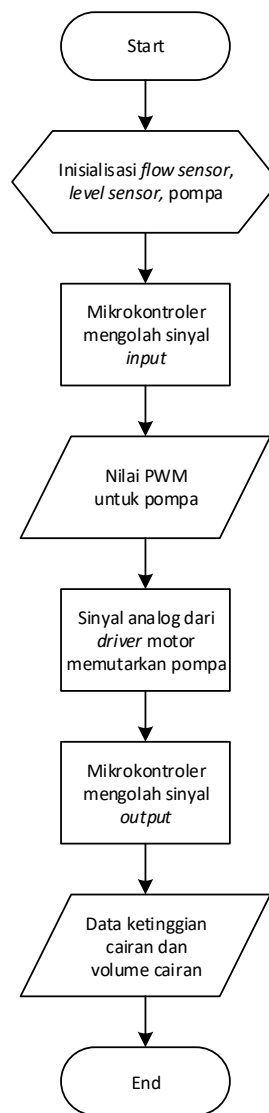
Sistem yang dikembangkan untuk proses pengendalian terdiri dari perangkat kendali yang berupa sistem tertanam seperti mikrokontroler [3] maupun PLC [4]. Sensor dan aktuator yang terpasang pada *plant* tangki menggunakan perangkat yang menggunakan standar industri baik berupa sinyal analog arus 4 - 20 mA maupun tegangan 0 - 5 volt [5]. Ketiga komponen pembentuk kendali kalang tertutup berupa perangkat kendali, sensor dan aktuator serta algoritma kendali [6] yang dapat diterapkan serta dipelajari pada tingkat universitas sehingga *plant* yang dibangun dapat digunakan untuk contoh kasus pembelajaran dan menyelidiki fenomena dinamika dari sistem [7]. Terdapat banyak strategi pengendalian yang dapat digunakan di antaranya adalah PID [8] *Fuzzy Logic Controller* [9], dan *pole placement* [10] atau algoritma kendali *state feedback control* [11].

Adapun alternatif pengendali yang cocok diimplementasikan pada *plant* dengan bentuk *state space* adalah *state feedback*. Dengan hal tersebut dapat direalisasikan sebuah sistem yang dapat mengamati keadaan dari aliran dan level air yang saling berpengaruh dan terkait pada tangki dengan satu model persamaan *state space*. Pada penelitian *process plant* tangki dapat dikendalikan aliran dan volume air dalam tangki yang akan dipengaruhi oleh debit air yang masuk dalam tangki, sehingga memungkinkan pengendalian *plant* tangki menggunakan strategi kendali SISO atau MIMO. Adapun tahap yang perlu ditempuh dalam merealisasikan sistem tersebut adalah, pemodelan dinamika sistem, perancangan algoritma pengendali, simulasi sistem, dan implementasi perangkat keras. Penelitian yang diajukan berupa pembuatan *mini plant* tangki untuk kasus pengendalian *plant* proses dengan model *state space*.

2 Metode

2.1 Perancangan sistem

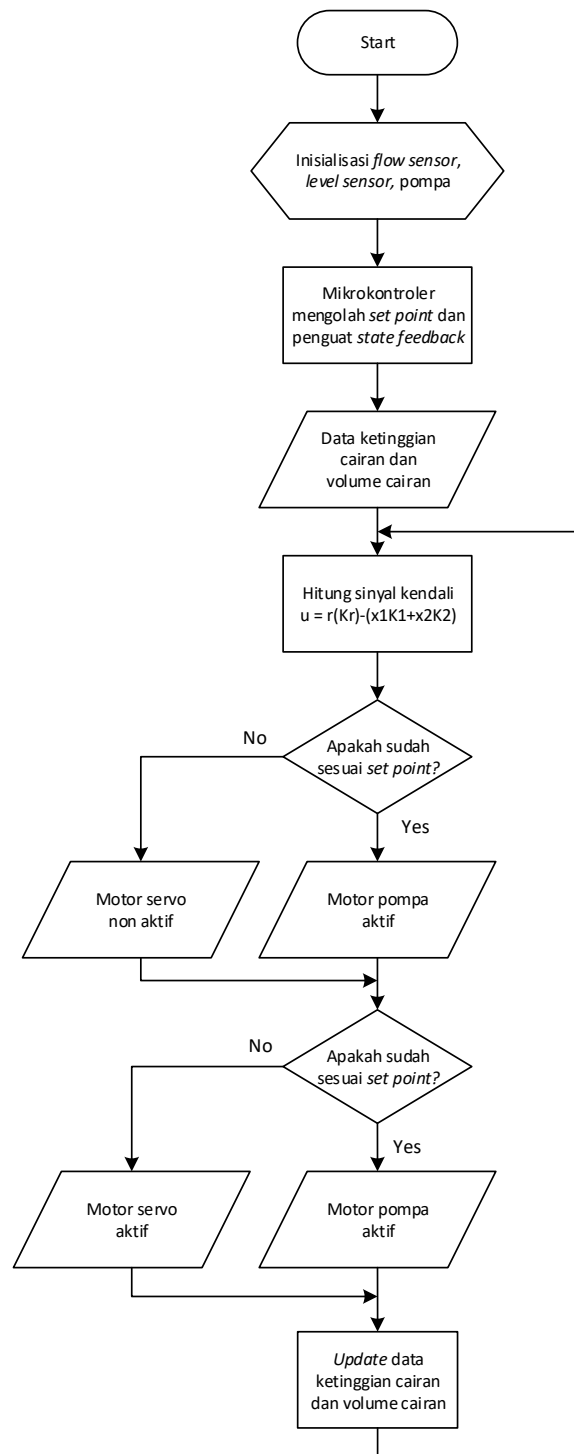
Pada perancangan pertama sistem dibuat menjadi *open loop* dengan menggunakan diagram alir seperti tertera pada Gambar 1 yang memiliki tahapan yaitu setelah proses inialisasi untuk motor pompa, motor driver selesai maka semua data inialisasi tersebut diterima oleh mikrokontroler yang didalamnya sudah tersedia pengendali *open loop* untuk selanjutnya sinyal PWM dari mikrokontroler akan dikirim untuk mengaktifkan motor pompa sehingga motor pompa dapat mengalirkan air dari tangki sumber menuju tangki utama untuk menambah ketinggian air yang tersedia pada tangki utama.



Gambar 1. Diagram alir *open loop* sistem

Selanjutnya sistem dibuat menjadi *closed loop* dengan menggunakan hasil pengurangan dari nilai *set point* dengan *output* ketinggian yang dihasilkan seperti yang terlihat pada Gambar 2. Proses awal yang terjadi adalah dengan inialisasi motor pompa, motor servo, LCD, nilai *set point* yang diinginkan untuk ketinggian air, dan nilai penguatan K. Setelah inialisasi selesai maka mikrokontroler akan mengolah data tersebut, selanjutnya sensor ultrasonik akan membaca ketinggian dari tangki yang telah diisi air, apabila ketinggian air kurang dari *set point* yang diinginkan maka motor pompa akan terus berfungsi untuk mengalirkan air ke dalam tangki utama dan setelah ketinggian air mencapai *set point* maka motor pompa akan berhenti. Tetapi jika ketinggian air dalam tangki utama ternyata melebihi dari nilai *set point* yang diinginkan maka terdapat motor servo yang akan menggerakkan *valve* untuk membuka posisi *valve* agar air dapat dibuang, apabila ketinggian air kurang dari nilai *set point* maka motor servo akan kembali bergerak untuk menutup *valve* agar

air dalam tangki tidak terbangun. Ketika proses masih berjalan semua perubahan yang terjadi dalam tangki tersebut akan ditampilkan pada LCD.

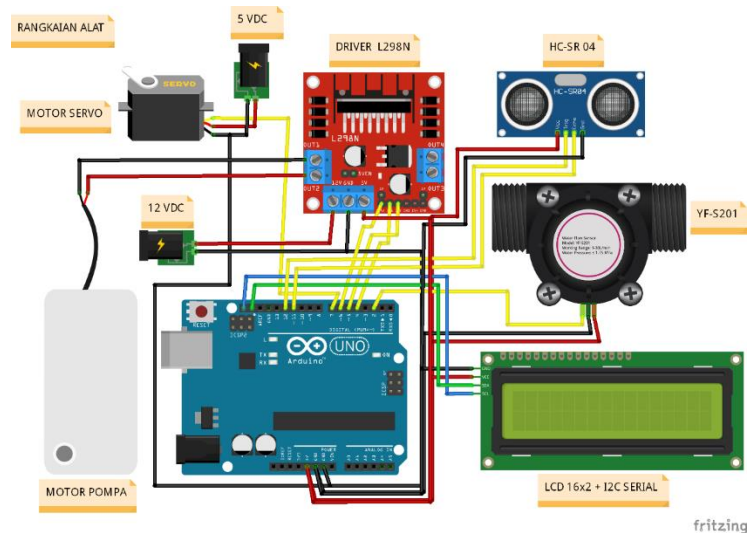


Gambar 2. Diagram alir *closed loop system*

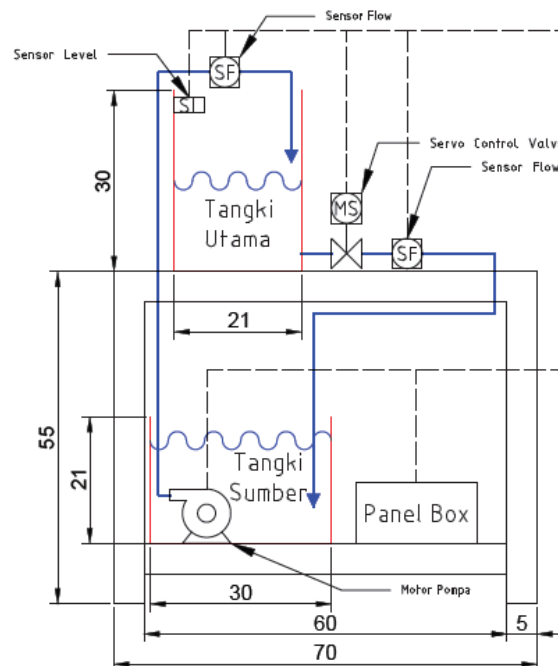
2.2 Perancangan perangkat keras sistem

Perancangan sistem kendali volume air pada *plant* proses ini bertujuan untuk mengidentifikasi kinerja sistem yang telah dirancang dengan metode *pole placement* agar berjalan sesuai dengan perencanaan dan analisis. Pada penelitian *plant* proses ini penulis hanya membahas tentang pengendalian volume air. Komponen yang digunakan dalam melakukan penelitian kali ini antara lain, motor pompa, driver I298n, sensor ultrasonik HC-SR04, sensor flow YF-S201, servo control valve, dan mikrokontroler sebagai pengendali utamanya.

Skematik dan kebutuhan komponen sistem terlihat pada Gambar 3. Berikut untuk memudahkan dalam pembacaan aliran proses yang sedang terjadi, dapat mengetahui dimensi dari setiap alat yang digunakan serta peletakan setiap yang terhubung dapat menggunakan *Piping & Instrument Diagram (P&ID)* seperti pada Gambar 4 dengan ukuran tinggi meja sebesar 70 cm, lebar meja sebesar 30 cm dan panjang meja sebesar 70 cm. Jarak antara meja bagian bawah bawah serta meja bagian atas sekitar 50 cm untuk memberi jarak antara tangki sumber dan tangki utama. Bahan yang digunakan untuk membuat rangka meja yaitu *holo got alumunium* dan bahan meja dari triplek dengan tebal 12 mm.



Gambar 3. Skematik sistem



Keterangan :

Sinyal Elektrik

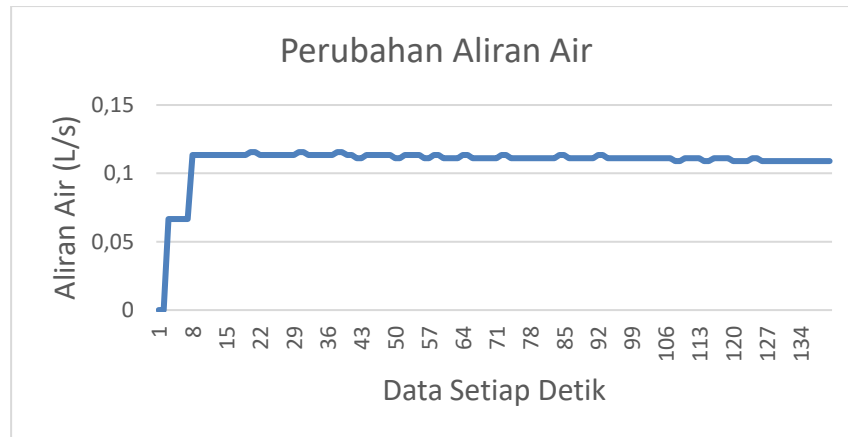
Proses Aliran Air



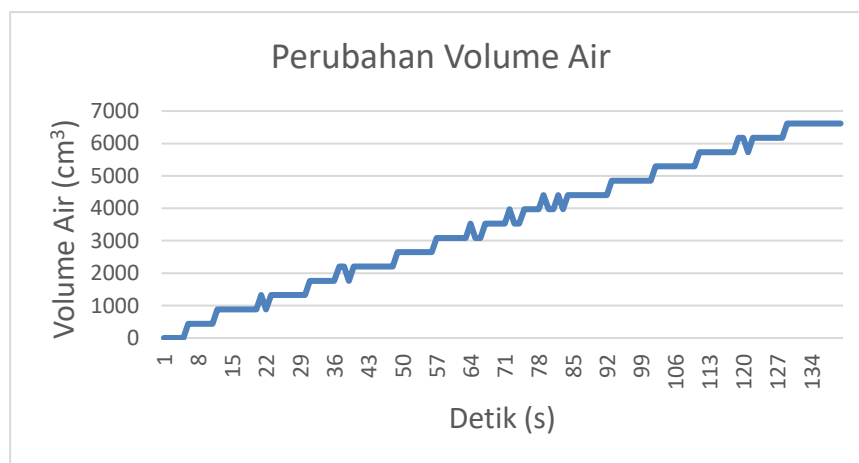
Gambar 4. P&ID process plant

2.3 Pemodelan fungsi alih

Pemodelan fungsi alih dilakukan untuk menentukan hubungan antara *output* terhadap *input* yang diberikan. Pemodelan fungsi alih *open loop* menggunakan data input berupa aliran air dan *output* berupa ketinggian permukaan air yang dikonversi menjadi volume air yang terdapat pada tangki. *Input* pada plant berupa aliran air yang beragam diantaranya *input* aliran air yang ditampilkan pada Gambar 5 sebesar 0,2 liter/detik sehingga apabila air tersebut ditampung pada sebuah tangki maka akan melakukan pengisian dan akan terlihat perubahan volume yang terdapat pada tangki seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Perubahan aliran air *open loop* volume air

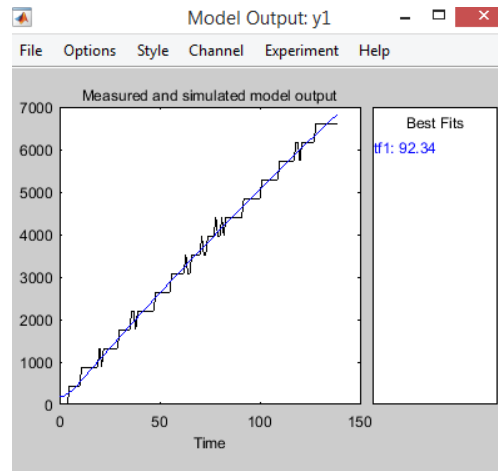


Gambar 6. Perubahan volume air *open loop* dengan volume = 6615 cm³

Terlihat pada setiap hasil pengujian *open loop* untuk variabel *input* yaitu berupa kecepatan aliran air kondisi awal terdapat *delay* yang terjadi saat proses pengiriman air dari tangki sumber menuju tangki utama. Hal ini disebabkan oleh berbagai faktor diantaranya posisi motor pompa harus melewati pipa dengan panjang 80 cm untuk mencapai tangki utama, dan yang kedua karena posisi sensor *flow* sejajar dengan bagian atas tangki utama. Sehingga menyebabkan sedikit *delay* dalam pengiriman air. Sedangkan untuk variabel *output* yaitu berupa volume air terjadi *delay* juga hal ini dikarenakan proses pengiriman air yang dilakukan oleh pompa melewati pipa tersebut maka air dari sumber tidak akan langsung mengalir kepada tangki utama. Yang terjadi selanjutnya adalah semakin bertambahnya waktu maka grafik akan terus bertambah naik juga hal ini disebabkan karena adanya perubahan volume air yang berada dalam tangki tetapi pada saat proses terjadinya perubahan kondisi yang tidak stabil hal ini dikarenakan adanya riak dari air yang mengalir sehingga perubahan volume air serta pembacaan sensor ultrasonik naik turun.

Setelah kedua data input dan output tersebut didapat maka dengan bantuan aplikasi MATLAB didapatkan nilai fungsi transfer sistemnya dengan menggunakan perintah '*ident*' pada MATLAB maka akan membuka

System Identification Toolbox. Pada tampilan 'ident' di MATLAB juga kita dapat memilih untuk mengubah sampling data *open loop* yang terdiri dari nilai *input* dan *output* menjadi sebuah fungsi transfer. Untuk melihat model *output* yang didapatkan dapat dipilih atau di centang pada bagian model *output* maka didapatkan hasilnya sinyal *ramp* seperti Gambar 7 berikut ini.



Gambar 7. Hasil model output

Berdasarkan hasil identifikasi didapatkan sebuah fungsi alih seperti yang ditunjukkan pada persamaan (1)

$$TF = \frac{493,3}{s^2 + 0,0018s} \quad (1)$$

Setelah mendapatkan fungsi alih, maka langkah selanjutnya adalah mengubah fungsi alih tersebut ke dalam persamaan *State Space*. Di mana untuk model *state space* standar yang digunakan :

$$\dot{x} = Ax + Bu \quad (2)$$

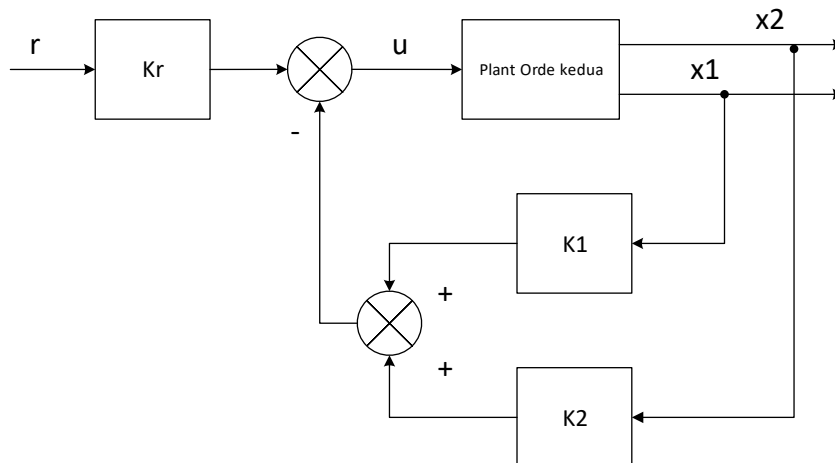
Maka untuk mendapatkan nilai u bisa digunakan :

$$u = Kx \quad (3)$$

Sehingga untuk membuat model *state space* orde ke-2 nya dan diagram blok sistem yang ditunjukkan pada Gambar 8:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -0,0018 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 493,3 \end{bmatrix} u \quad (4)$$

$$y = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} \quad (5)$$



Gambar 8. Diagram blok *closed loop system*

2.4 Perancangan dan Spesifikasi Sistem Baru

Dari sistem diatas, maka peneliti akan merancang kendali dengan spesifikasi sebagai berikut:

- *Maximum Overshoot* (M_p) $\leq 10\%$
- *Peak Time* (T_p) = 100 detik
- *Error Steady State* (E_{ss}) = 0

Setelah mendapatkan persamaan karakteristik dari spesifikasi sistem yang diinginkan maka langkah selanjutnya adalah mendapatkan nilai konstanta penguatan K sebagai umpan balik. Untuk mendapatkan konstanta penguatan K , dapat menggunakan persamaan karakteristik sebagai berikut:

$$|sI - A + BK| \quad (7)$$

Berikut nilai konstanta K akan didapatkan berdasarkan persamaan karakteristik yang diinginkan yaitu $K_1 = 0,0903$ dan untuk $K_2 = 0,0031$ dan $K_r = 0,002$. Seperti yang didapatkan dari persamaan 7 untuk sinyal kendali u karena didapatkan dua buah nilai K dimana K_1 untuk sensor *flow* dan K_2 untuk sensor *volume* maka persamaan akan berubah menjadi seperti berikut:

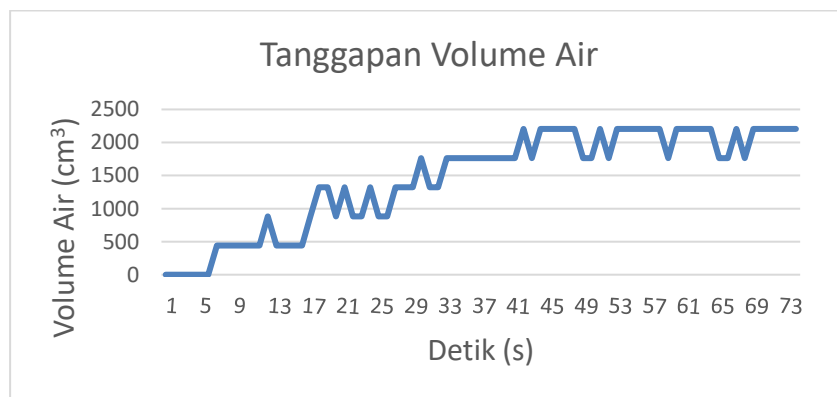
$$u = r.K_r - (K_1 * \text{sensor flow} + K_2 * \text{sensor volume}) \quad (8)$$

3 Hasil & Diskusi

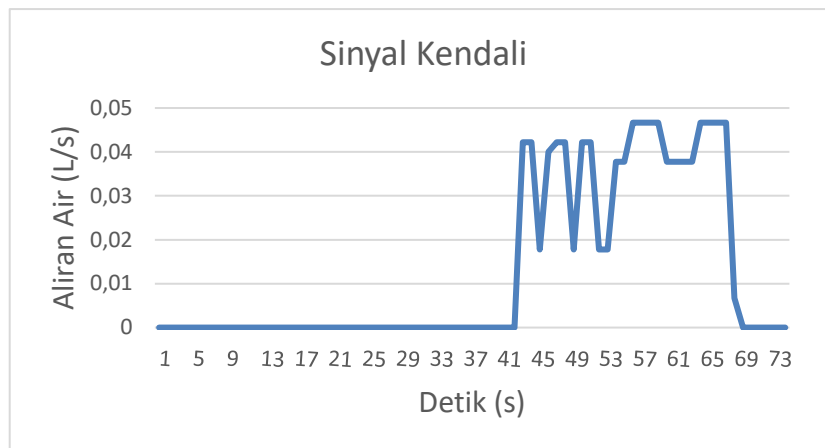
3.1 Pengujian Sistem *Closed Loop*

3.1.1 Pengujian 1

Dengan menggunakan nilai *set point* volume air 2000 cm^3 maka dapat dilihat pada Gambar 9 untuk perubahan nilai *input* yaitu perubahan volume air yang terjadi memiliki nilai $T_d = 5$ detik, dan $T_r = 36$ detik, $T_s = 44$ detik dengan *overshoot* = 0% sedangkan pada Gambar 10 terlihat sinyal kendali yang berupa aliran air dalam liter/detik yang akan terus memberikan sinyal agar selalu mempertahankan nilai *set point*.

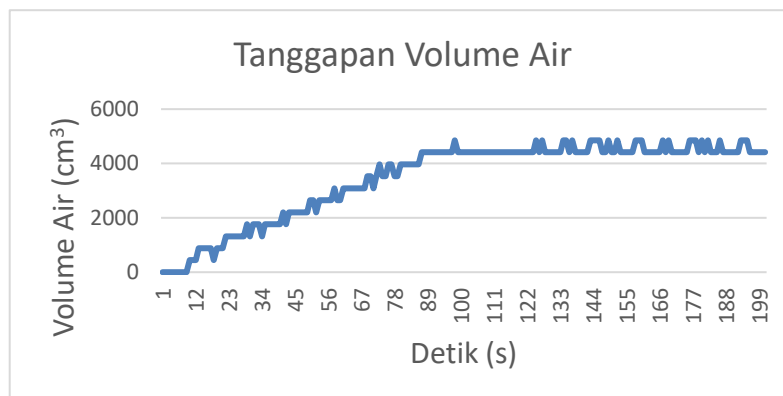
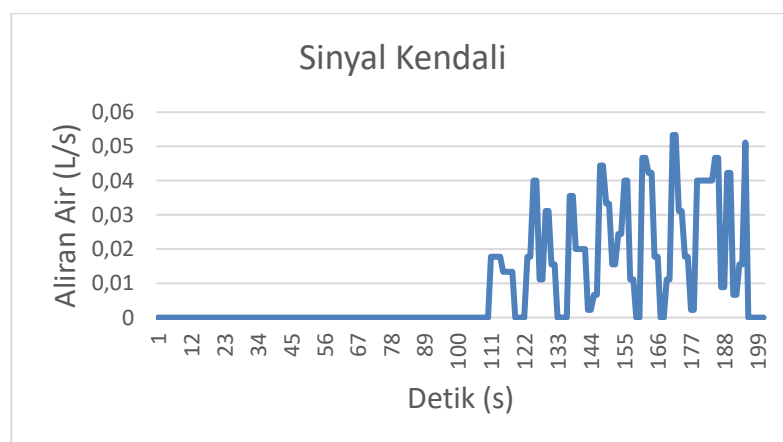


Gambar 9. Tanggapan volume air *closed loop* dengan volume = 2000 cm^3

Gambar 10. Sinyal kendali *closed loop* dengan volume = 2205 cm³

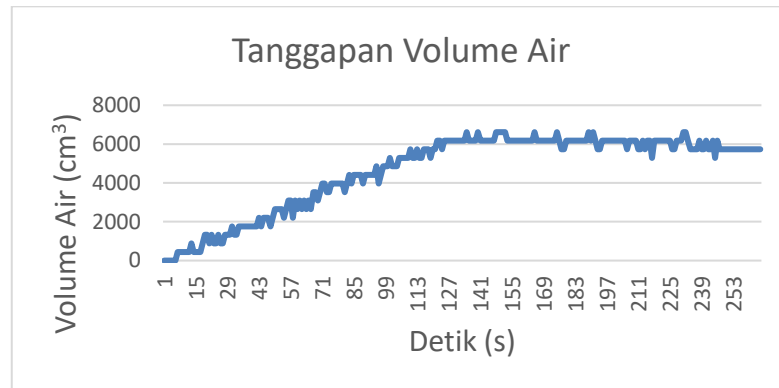
3.1.2 Pengujian 2

Dengan menggunakan nilai *set point* volume air 4410 cm³ maka dapat dilihat pada Gambar 11 untuk perubahan nilai input yaitu perubahan volume air yang terjadi memiliki nilai $T_d = 5$ detik, dan $T_r = 66$ detik, $T_p = 98$ detik, $T_s = 101$ detik dengan *overshoot* = 1% sedangkan pada Gambar 12 terlihat sinyal kendali yang berupa aliran air dalam liter/detik yang akan terus memberikan sinyal agar selalu mempertahankan nilai *set point*.

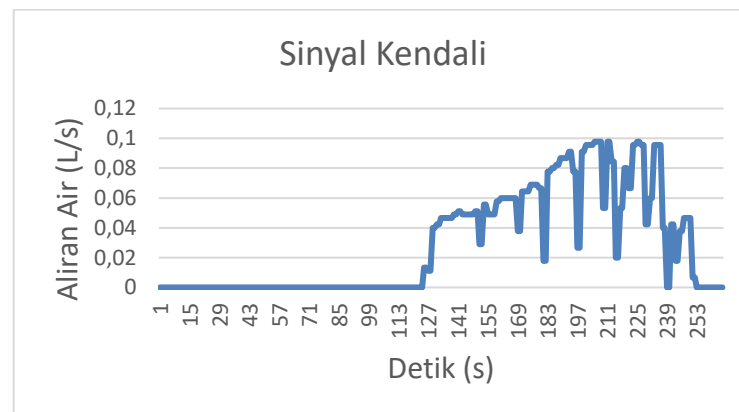
Gambar 11 Tanggapan volume air *closed loop* dengan volume = 4410 cm³Gambar 12. Sinyal kendali *closed loop* dengan volume = 4410 cm³

3.1.3 Pengujian 3

Dengan menggunakan nilai *set point* volume air 5733 cm³ maka dapat dilihat pada Gambar 13 untuk perubahan nilai *input* yaitu perubahan volume air yang terjadi nilai $T_d = 5$ detik, dan $T_r = 88$ detik, $T_p = 135$ detik, $T_s = 237$ detik dengan *overshoot* = 1% sedangkan pada Gambar 14 terlihat sinyal kendali yang berupa aliran air dalam liter/detik yang akan terus memberikan sinyal agar selalu mempertahankan nilai *set point*.



Gambar 13. Tanggapan volume air *closed loop* dengan volume = 5733 cm³



Gambar 14. Sinyal kendali *closed loop* dengan volume = 5733 cm³

3.1.4 Analisa

Terlihat pada setiap hasil pengujian *closed loop* dengan menambahkannya nilai *gain* pada sistem maka membuat sistem menjadi lebih stabil, hal ini dikarenakan dengan didaparkannya nilai untuk $K_1 = 0,0903$ dan untuk $K_2 = 0,0031$ dan *gain* penjejak $K_r 0,002$ membuat sistem *closed loop* ini lebih mendekati spesifikasi. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 1 hasil percobaan yang sudah dilakukan. Sistem tersebut juga adalah sistem tipe-1 sehingga memiliki error steady state = 0.

Tabel 1. Percobaan terhadap respon sistem

Percobaan	Set point	T_d	T_r	T_s	O_s
1	2205 cm ³	5 detik	36 detik	44 detik	0%
2	4410 cm ³	5 detik	66 detik	101 detik	1%
3	5733 cm ³	5 detik	88 detik	237 detik	1%

Pada tabel di atas dapat dilihat setiap melakukan percobaan memiliki nilai yang berbeda beda hal ini disebabkan karena berapa nilai *set point* yang diinginkan. Jika nilai *set point* yang diinginkan semakin besar maka proses respon tanggapan sistem nya juga semakin lama tetapi menghasilkan proses yang lebih stabil dalam perubahan volume nya. Sedangkan jika nilai *set point* yang diinginkan semakin kecil maka proses respon tanggapan sistemnya akan semakin cepat tetapi akan menghasilkan proses yang kurang stabil dalam perubahan volume nya. Sedangkan untuk nilai *state feedback gain* memiliki dua buah nilai yaitu K_1 sebagai

state feedback gain sensor aliran K2 sebagai *state feedback gain* sensor volume. Kedua nilai penguatan ini dilakukan untuk mendapatkan sinyal kendali untuk mengatur proses yang terjadi pada plant. Di mana sinyal kendali ini dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 7 sebelumnya sehingga mendapatkan sinyal kendali yang ditampilkan pada Gambar 10, Gambar 12 dan Gambar 14 sebelumnya.

4 Kesimpulan

Pada perancangan *process plant* volume air yang telah dibuat, maka didapatkan hasil sebagai berikut, di antaranya adalah perancangan dan pemodelan volume air menggunakan *pole placement* mendapatkan hasil perhitungan *state feedback gain* dan *tracking gain* berdasarkan fungsi alih *open loop* pada *System Identification Toolbox* di Matlab. Hasil perhitungan *gain* tersebut dapat diimplementasikan dengan tahapan menggunakan simulasi dan melakukan beberapa percobaan. Hasil pengujian sistem kendali *closed loop* berhasil dilakukan menggunakan persamaan *pole placement* dengan nilai *state feedback gain* sensor aliran K1 = 0,0903 dan untuk *state feedback gain* sensor volume K2 = 0,0031 serta *tracking gain* Kr 0,002. Penggunaan *gain* tersebut menghasilkan nilai tanggapan yang berbeda seperti pada percobaan ketiga didapatkan Td = 5 detik, Ts = 237 detik dan Tr = 88 detik. Hasil tanggapan tersebut memiliki nilai *overshoot* kurang dari 10 % yaitu di nilai 1 % dan nilai Tp = 135 detik yang mendekati spesifikasi yang diinginkan. Pada proses penelitian berikutnya perlu dikembangkan dan dilakukan beberapa model validasi sistem seperti menggunakan *Pseudo Random Binary Sequence* kemudian dapat dirancang sistem optimal untuk menghasilkan sinyal kendali yang lebih baik serta dapat mengimplementasikan filter pada setiap sensor yang digunakan.

5 Ucapan Terima kasih

Terima kasih disampaikan kepada LPPM UNJANI atas pendanaan hibah internal penelitian kompetitif UNJANI dengan Surat Keputusan Nomor: Skep/175/UNJANI/VI/2021.

6 Referensi

- [1] A. Rafi, A. Tahtawi, and S. W. Jadmiko, "Kendali Kecepatan Motor DC Berbasis WNCS Menggunakan Pengendali PI Anti-Windup," *JTERA*, vol. 4, no. 2, pp. 227–236, 2019, doi: 10.31544/jtera.v4.i2.2019.227-236.
- [2] E. H. Vásquez Díaz and M. A. Capcha Presentación, "Closed Loop Identification in a Four Coupled Tanks System," in *IEEE International Conference on Automatica, ICA-ACCA 2016*, 2016, no. c, doi: 10.1109/ICA-ACCA.2016.7778437.
- [3] D. I. Saputra, A. Najmurokhman, and Z. Fakhri, "Skema Implementasi Fuzzy Inference System tipe Sugeno Sebagai Algoritma Pengendali Pada Sistem Pengamatan Berbasis IoT," in *Seminar Nasional Sains dan Teknologi 2019*, 2019, pp. 1–12.
- [4] S. Yahya, S. W. Jadmiko, K. Wijayanto, and A. R. A. Tahtawi, "Design and Implementation of Training Module for Control Liquid Level on Tank Using PID Method Based PLC," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 830, no. 3, 2020, doi: 10.1088/1757-899X/830/3/032065.
- [5] U. J. Shobrina, R. Primananda, and R. Maulana, "Analisis Kinerja Pengiriman Data Modul Transceiver NRF24I01, Xbee dan Wifi ESP8266 Pada Wireless Sensor Network," *J. Pengemb. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput.*, vol. 2, no. 4, pp. 1510–1517, 2018.
- [6] A. Alawiah and A. R. Al Tahtawi, "Sistem Kendali dan Pemantauan Ketinggian Air pada Tangki Berbasis Sensor Ultrasonik," *Politek. Sukabumi, Jl. Babakan Sirna*, vol. 01, no. 01, pp. 25–30, 2017.
- [7] D. I. Saputra, S. Sambasri, J. Maulana, C. A. Mulyadi, and L. Aunillah, "Laboratorium Kit Sederhana Untuk Pengolahan Citra Digital dan Instrumentasi," in *Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol dan Otomasi 2018*, 2018, pp. 167–178.
- [8] A. R. Al Tahtawi, S. Yahya, B. Setiadi, and C. Marsya, "The Implementation of Embedded Fuzzy Logic Controller on Liquid Level Control System," in *International Seminar of Science and Applied Technology (ISSAT 2020)*, 2020, vol. 198, no. Issat, pp. 161–166, doi: 10.2991/aer.k.201221.028.
- [9] D. I. Saputra, C. Yusuf, and Z. Fakhri, "Optimasi Kendali Pada Sistem Node Nirkabel Berbasis Algoritma Fuzzy Logic Controller - PI," in *SEMNASTERA (Seminar Nasional Teknologi dan Riset Terapan)*, 2020, pp. 49–57.
- [10] B. Yu and H. Zhu, "Water Level Control Embedded Fuzzy-PID and Pole-placement Strategy," *Key Eng. Mater.*, vol. 464, pp. 43–47, 2011, doi: 10.4028/www.scientific.net/KEM.464.43.
- [11] G. Xingquan, W. Zishuo, and W. Zimo, "State Feedback Control of Oupled-Tank Level System Based on Po Le-Placement," *New Mater. Intell. Manuf.*, vol. 1, no. 1, pp. 341–343, 2018, doi: 10.26480/icnmim.01.2018.341.343.