

PENGARUH PERUBAHAN LAJU ALIRAN AIR TERHADAP PENGENDALIAN TINGGI MUKA AIR METODE PENGENDALIAN BERTINGKAT MENGGUNAKAN PENGENDALI PID

THE EFFECT OF CHANGES IN WATER FLOW RATE ON THE WATER LEVEL CONTROL CASCADE CONTROL METHOD USING PID CONTROLLER

Iwan Rohman Setiawan

Balai Pengembangan Instrumentasi-LIPI, Komplek LIPI, Gd. 80, Jl. Sangkuriang, Bandung.

email: iwanrs007@gmail.com

ABSTRAK

Metode pengendalian bertingkat menggunakan pengendali PID untuk mengendalikan tinggi muka air (*level*) di dalam tangki, digunakan untuk menghilangkan gangguan akibat perubahan laju aliran air (*flow*), terhadap tinggi muka air di dalam tangki. Tulisan ini menyelidiki sampai berapa banyak jumlah perubahan laju aliran air, sehingga berpengaruh terhadap tinggi muka air di dalam tangki. Percobaan dilakukan melalui simulasi menggunakan Simulink dan pemodelan untuk setiap komponen yang digunakan pada simulator sistem pengendalian bertingkat *level control-flow control* menggunakan pengendali PID. *Set point* tinggi muka air di dalam tangki 0,3 m. Ketika tinggi muka air di dalam tangki dalam keadaan *steady* 0,3 m dan laju aliran air $2,2 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{detik}$, lalu laju aliran air dinaikan bertahap pada detik ke 1000, 1500, 2000, 2500, 3000 dan 3500 masing-masing $3,3 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{detik}$, hasilnya tidak mengubah tinggi muka air. Lalu pada detik ke 4000 menaikkan laju aliran air sebanyak $2,3 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{detik}$, maka tinggi muka air berosilasi. Selanjutnya mengurangi laju aliran air pada detik ke 1000, 1500, 2000, 2500, 3000, 3500 dan 4000 masing-masing $1,7 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{detik}$. Pada detik ke 1000 sampai detik ke 3000 tidak mempengaruhi tinggi muka air. Lalu mulai detik ke 3500 tinggi muka air berubah, berada di bawah *set point* nya.

Kata Kunci: simulasi, laju aliran air, pengendalian tinggi muka air, metode pengendalian bertingkat, PID.

ABSTRACT

The cascade control method uses a PID controller to control the water level in the tank, used to eliminate disturbances due to changes in the flow rate of water, to the water level in the tank. This paper investigates to what extent the change in water flow rate affects the water level in the tank. The experiment was carried out through simulation using Simulink and modeling for each component used in the cascade control level control-flow control system simulator using a PID controller. The set point of the water level in the tank is 0.3 m. When the water level in the tank is in a steady state of 0.3 m and the water flow rate is $2.2 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{second}$, then the water flow rate is increased gradually at 1000, 1500, 2000, 2500, 3000 and 3500 seconds, respectively $3.3 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{second}$, the result does not change the water level. Then at the 4000th second, the water flow rate increases by $2.4 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{second}$, then the water level oscillates. Further reducing the water flow rate in seconds to 1000, 1500, 2000, 2500, 3000, 3500, and 4000 respectively $1.7 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{second}$. At 1000 seconds to 3000 second it does not affect the water level. Then from the second to 3500 the water level changes, it is below the set point.

Keywords: *simulation, water flow rate, water level control, cascade control method, PID.*

1. PENDAHULUAN

Pengendalian tinggi muka zat cair di dalam tangki adalah salah satu aspek terpenting yang diterapkan pada banyak pabrik di industri proses, seperti industri minyak dan gas, industri kimia, perlindungan lingkungan, pengolahan air, metalurgi dan industri lainnya. (Cao & Deng, 2016).

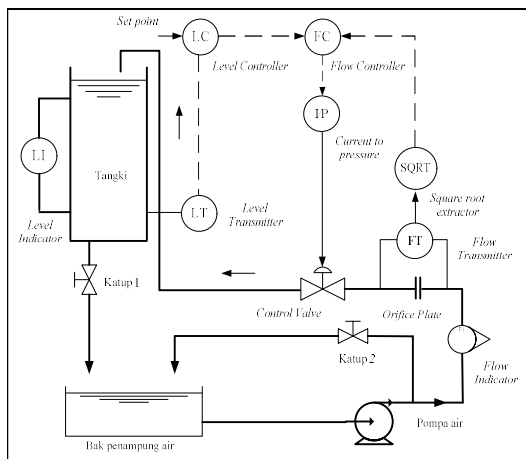
Sistem kendali tinggi muka air di dalam tangki menggunakan metode bertingkat dapat meningkatkan kinerja sistem kendali dibandingkan dengan lup tunggal (Smith & Carripio, 1997), juga mengurangi deviasi dari tanggapan

terhadap gangguan (Zhang dkk, 2019). Strukur pengendalian bertingkat terdiri dari lup primer dan lup sekunder, dimana dinamika proses yang cepat ditangani oleh lup sekunder dan dinamika proses yang lambat ditangani oleh lup primer. (Chandran dkk, 2020).

Metode bertingkat menggunakan dua pengendali PID, yaitu pengendali primer dan pengendali sekunder. Keluaran dari pengendali primer digunakan sebagai *set point* pengendali sekunder, sehingga secara signifikan dapat mengurangi akibat gangguan yang terjadi pada

variabel primer yang dikendalikan (Somkane dkk, 2017).

Telah dibangun di Puslit KIM-LIPI simulator untuk mengendalikan tinggi muka air di dalam tangki, menggunakan pengendali PID dengan metode bertingkat seperti diperlihatkan di Gambar 1 (Setiawan, 2010).

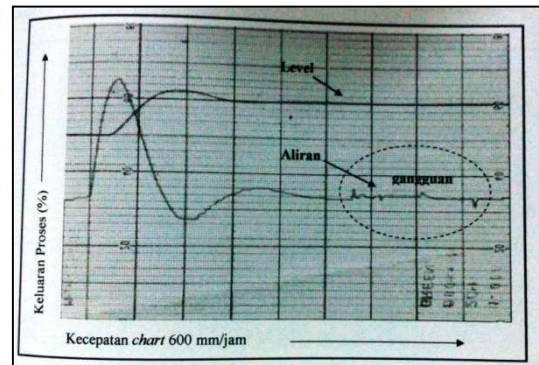


Gambar 1. Pengendalian tinggi muka air menggunakan pengendali PID-metode pengendalian bertingkat

Level controller di Gambar 1 sebagai kontroler primer, *Flow controller* sebagai kontroler sekunder. Tinggi muka air adalah variabel primer, sedangkan variabel sekunder adalah laju aliran air menuju tangki.

Ketika tinggi muka air di dalam tangki mencapai *set point*, jumlah laju aliran air diubah dengan membuka atau menutup katup 2. Perubahan laju aliran air tidak mengganggu tinggi muka air di dalam tangki. Seperti diperlihatkan di Gambar 2. (Setiawan, 2003). Selanjut-

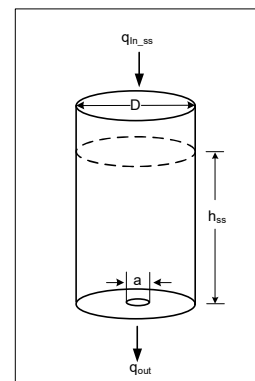
nya untuk mengetahui sampai berapa jumlah perubahan laju aliran air, sehingga dapat mempengaruhi tinggi muka air di dalam tangki, maka akan diselidiki melalui pemodelan simulator dan simulasi menggunakan Simulink.



Gambar 2. Perubahan laju aliran air tidak memengaruhi tinggi muka air

2. TEORI DASAR

2.1. Gravity Flow Tank



Gambar 3. Gravity flow tank

Pada Gambar 3 ketika tinggi muka air di dalam tangki dalam keadaan *steady*, berlaku persamaan seperti ditulis di persamaan [1].

$$h_{ss} = \frac{q_{in,ss}^2}{2g} \dots \dots \dots [1]$$

dengan:

h_{ss} : tinggi muka air di dalam tangki dalam keadaan *steady*, m

q_{in_ss} : debit air yang masuk ke dalam tangki dalam keadaan *steady*, m³/detik

g : percepatan gravitasi, m²/detik

a : adalah luas lubang untuk air keluar dari tangki, m².

Fungsi alih *gravity flow tank* seperti diperlihatkan pada persamaan [2].

$$G(s) = \frac{\frac{q_{in_ss}}{a^2 g} c}{\frac{A q_{in_ss}}{a^2 g} s + 1} \dots\dots\dots [2]$$

dengan:

s : operator Laplace

A : luas tangki, m².

c : koreksi, 0,5.

Dari persamaan [2] diketahui,

$$K = \frac{q_{in_ss}}{a^2 g} c \dots\dots\dots [3]$$

dengan:

K : penguatan, detik/m²

$$\tau = A \frac{q_{in_ss}}{a^2 g} c \dots\dots\dots [4]$$

dengan:

τ : konstanta waktu, detik

(Muller, 2003) dan (Setiawan & Munandar, 2019).

2.2. Pengukuran Tinggi Muka Air

Tinggi muka air di dalam tangki pada simulator diukur menggunakan

differential pressure transmitter (DP), seperti diperlihatkan pada Gambar 1. Tekanan yang terjadi akibat tinggi muka air di dalam tangki diperoleh melalui persamaan [5].

$$P = \rho g h \dots\dots\dots [5]$$

dengan:

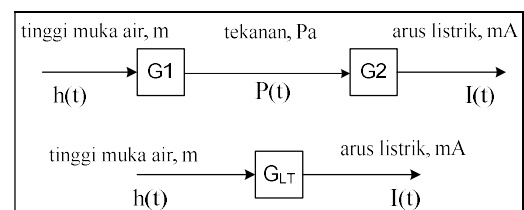
P : tekanan, Pascal (Pa)

h : tinggi muka air di dalam tangki, meter (m)

ρ : densitas air, kg/m³

g : percepatan gravitasi, m/detik²

Model hubungan antara masukan tinggi muka air dan keluaran sinyal listrik untuk DP, seperti diperlihatkan pada blok diagram di Gambar 4.



Gambar 4. Blok diagram pengukuran tinggi muka air menggunakan *differential pressure transmitter*

$G1$ diperoleh melalui persamaan [6].

$$G1 = \frac{P(t)}{h(t)} = \rho g \dots\dots\dots [6]$$

dengan :

$G1$: penguatan, Pa/m

Lalu penguatan $G2$ diperoleh melalui persamaan [7].

$$G2 = \frac{I(t)}{P(t)} = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{P_{\max}} \dots\dots\dots [7]$$

dengan:

$G2$: penguatan, mA/Pa

$I_{\max}$: keluaran arus listrik maksimum, yaitu 20 mA.

$I_{\min}$: keluaran arus listrik minimum, yaitu 4 mA.

$P_{\max}$: tekanan maksimum yang diukur oleh DP, Pa.

Selanjutnya diperoleh G_{LT} dengan menggunakan persamaan [8]

$$G_{LT} = G1. G2 \dots\dots\dots [8]$$

dengan:

G_{LT} : penguatan *differential pressure transmitter*, mA/m.

(Wilkie & Johnson & Katebi, 2002).

2.3. Pengukuran Laju Aliran Air

Laju aliran air di dalam pipa pada simulator menggunakan *plat orifice* sebagai elemen primer dan DP sebagai elemen sekunder, seperti diperlihatkan di Gambar 1. Keluaran dari DP adalah kuadratik, maka dilinierkan menggunakan *square root extractor*. (Anderson, 1980).

Penulis menyampaikan model pengukuran laju aliran air di dalam pipa menggunakan sensor *plat orifice* sebagai berikut: berdasarkan persamaan [9] yaitu:

$$Q = kA \sqrt{\frac{\Delta P}{\rho}} \dots\dots\dots [9]$$

dengan:

Q : laju aliran, m³/detik

k : konstanta

A : adalah luas pipa, m²

ΔP : perbedaan tekanan, Pa

ρ : densitas, kg/m³.

(Liptak, 2003).

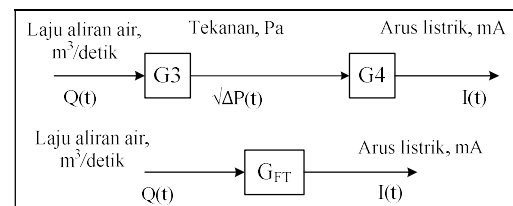
Lalu dari persamaan [9] mendefinisikan,

$$\text{Const} = kA \dots\dots\dots [10]$$

dengan:

Const : konstanta, m²

Selanjutnya model pengukuran laju aliran air di dalam pipa menggunakan sensor *plat orifice* seperti diperlihatkan pada gambar blok diagram di Gambar 5.



Gambar 5. Blok diagram pengukuran aliran menggunakan *differential pressure transmitter*.

Persamaan untuk pengukuran laju aliran zat cair yang mengalir di dalam pipa menggunakan sensor *plat orifice*, juga disampaikan oleh (Anderson, 1980), seperti diperlihatkan pada persamaan [11] yaitu,

$$Q = 5.667 SD^2 \sqrt{\frac{\Delta P}{\rho}} \dots\dots\dots [11]$$

dengan :

Q : laju aliran air, GPM

S : *sizing factor*, tanpa satuan
 D : diameter pipa, inch
 ΔP : perbedaan tekanan, IN H₂O
 $s.g$: *specific gravity* untuk air = 1.

Sizing factor diperoleh dengan menghitung beta rasio melalui persamaan [12].

$$\beta = \frac{d}{D} \dots\dots\dots [12]$$

dengan :

β : beta rasio, tanpa satuan

d : diameter lubang plat orifice, inch

Sizing factor diperoleh dengan menggunakan Tabel 1.

Tabel 1. *Sizing factor*

<i>Beta Ratio</i>	<i>Square-edged orifice, flange corner or radius taps</i>
0,500	0,1568
	S
0,525	0,1745

Selanjutnya dari persamaan [11] mendefinisikan konstanta K_f seperti diperlihatkan pada persamaan [13].

$$K_f = 5.667 SD^2 \dots\dots\dots [13]$$

dengan:

K_f : konstanta, inch²

Substitusi persamaan [13] ke [11], maka persamaan [11] menjadi seperti diperlihatkan pada persamaan [14]

$$Q = K_f \sqrt{\frac{\Delta P}{sg}} \dots\dots\dots [14]$$

Penguatan G_3 di Gambar 5 diperoleh dengan menggunakan persamaan [9] dan persamaan [10], sehingga persamaan untuk G_3 menjadi persamaan [15],

$$G_3 = \frac{\sqrt{\Delta P}(t)}{Q(t)} = \frac{\sqrt{\rho}}{\text{Const}} \dots\dots\dots [15]$$

dengan:

G_3 : penguatan, $\sqrt{\text{kg/m}^3/\text{m}^2}$.

Selanjutnya penguatan G_4 diperoleh dengan menggunakan persamaan [16].

$$G_4 = \frac{I}{\sqrt{\Delta P}} = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{\sqrt{\Delta P_{\max} - \Delta P_{\min}}} \dots\dots\dots [16]$$

dengan :

G_4 : penguatan, mA/Pa

$\Delta P_{\max}$: perbedaan tekanan maksimum, Pa

$\Delta P_{\min}$: perbedaan tekanan minimum, Pa

Sehingga penguatan G_{FT} di Gambar 5 diperoleh dengan menggunakan persamaan [17]

$$G_{FT} = G_3 G_4 \dots\dots\dots [17]$$

dengan:

G_{FT} : penguatan *flow transmitter* pengukuran aliran menggunakan plat orifice dan DP, mA/(m³/detik).

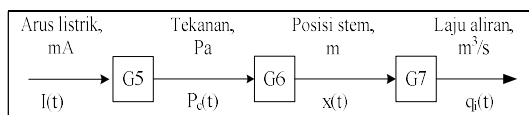
Pengukuran laju aliran air dengan akurasi yang baik, diperoleh ketika laju aliran air pada kondisi laminar.

2.4. *Control Valve*

Valve dipasang pada pipa di mana fluida mengalir melalui badan *valve*. Ukuran bukaan *valve* yang mengakibatkan

sejumlah fluida mengalir ditentukan oleh posisi *stem valve*. Posisi *stem* dikontrol melalui perubahan tekanan diaphragma yang menyebabkan perubahan posisi *plug*. (Wilkie & Johnson & Katebi, 2002).

Sinyal tekanan pada diaphragma diperoleh dari *current to pressure converter* (I/P), I/P mengubah sinyal listrik 4 – 20 mA menjadi sinyal tekanan yang proporsional yaitu 20 – 100 kPa seperti diperlihatkan pada blok diagram di Gambar 6.



Gambar 6. Blok diagram *Control valve*

G5 adalah penguatan I/P *converter* diperoleh melalui persamaan [18]

$$G5 = \frac{P(t)}{I(t)} = \frac{P_{\max} - P_{\min}}{I_{\max} - I_{\min}} \dots\dots\dots [18]$$

dengan:

P : sinyal tekanan keluaran dari I/P, Pa

I : sinyal arus listrik masukan ke I/P, mA

$P_{\max}$: sinyal tekanan keluaran maksimum dari I/P, Pa

$P_{\min}$: tekanan keluaran minimum dari I/P, Pa

G6 diperoleh melalui persamaan [19]

$$G6 = \frac{x(t)}{P(t)} \dots\dots\dots [19]$$

dengan:

x : perubahan posisi stem. 100 %, 0,0127 m.

(Control Valve Handbook, 2019).

G7 adalah hubungan antara posisi *stem* dengan laju aliran fluida yang mengalir keluar dari *valve*, diperoleh dengan menggunakan persamaan [20]

$$G7 = \frac{Q(t)}{x(t)} \dots\dots\dots [20]$$

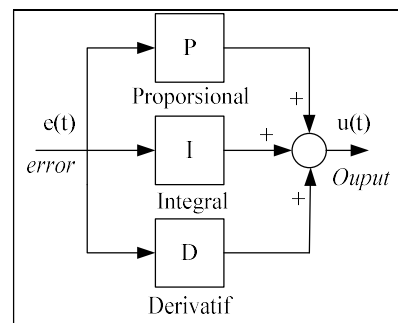
dengan:

x : perubahan posisi stem. 100 %, m.

(Wilkie & Johnson & Katebi, 2002).

2.5. Pengendali PID

Pengendali PID terbentuk dari pengendali proporsional (P), pengendali integral (I) dan pengendali derivatif (D), seperti diperlihatkan di Gambar 7. (Wilkie & Johnson & Katebi, 2002).



Gambar 7. Blok diagram pengendali PID

Dua tahap untuk melakukan penalaan pengendali PID pada metode bertingkat yaitu, pengendali sekunder harus ditala terlebih dahulu terhadap lup proses sekunder. Selanjutnya melakukan penalaan untuk pengendali primer dengan melibatkan lup proses sekunder. (Hwang & Jung, 2020) dan (Setiawan, 2003).

3. METODOLOGI

3.1. Pemodelan

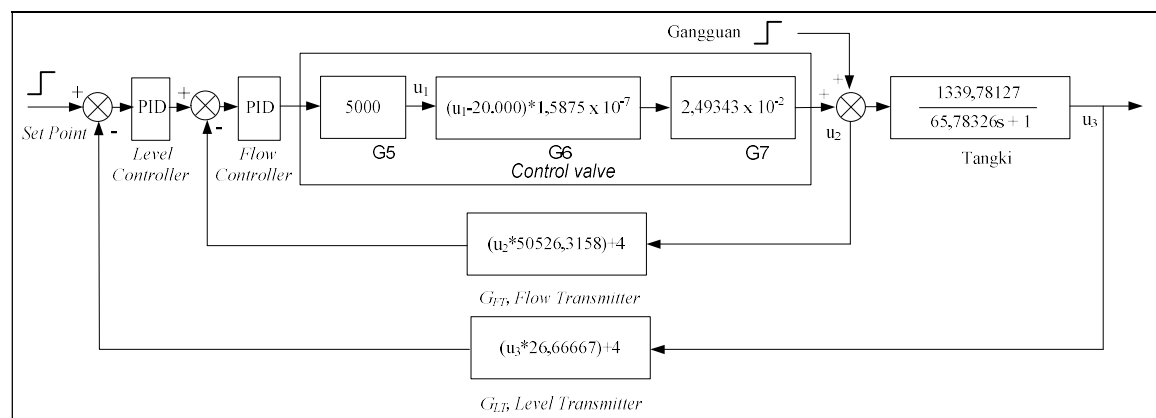
Pemodelan matematika untuk setiap komponen pada simulator sistem kendali

tinggi muka air di dalam tangki, diperlihatkan di Tabel 2.

3.2. Simulasi

Blok diagram pengendalian tinggi muka air di dalam tangki diperlihatkan di Gambar 8, berdasarkan Gambar 1, juga berdasarkan hasil pemodelan setiap komponen pada simulator. Penalaan terhadap *level controller* dan *flow controller* menggunakan *automatic PID tuning-Simulink*. Hasil penalaan untuk *level controller* diperoleh, $P=2,6045$, $I=0,05386$, $D=-45,76666$. Lalu untuk hasil penalaan *flow controller* diperoleh, $P=0$, $I=0,6309$, $D=0$.

Ketika tinggi muka air di dalam tangki dalam keadaan *steady*, lalu pada detik ke 1000, 1500, 2000, 2500, 3000, 3500 laju aliran air dinaikan masing-masing $3,3 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{detik}$, selanjutnya pada detik ke 4000 dinaikan sebesar $2,4 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{detik}$. Hasil simulasi diperlihatkan di Gambar 9 dan Gambar 10. Selanjutnya mengurangi jumlah laju aliran air pada detik ke 1000, 1500, 2000, 2500, 3000, 3500 dan 4000, masing-masing sebanyak $1,7 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{detik}$. Hasil simulasi diperlihatkan di Gambar 11 dan Gambar 12.



Gambar 8. Blok diagram dan model matematika pengendalian tinggi muka air menggunakan pengendali PID-metode pengendalian bertingkat

Tabel 2. Pemodelan komponen-komponen simulator

Komponen	Parameter	Persamaan	Hasil
1. Tangki	Maksimum <i>level</i> $h_{ss} = 0,6$ m	[1]	$a = 9,295 \times 10^{-5} \text{ m}^2$.
	Maksimum laju aliran air $q_{in_ss} = 3,16667 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{detik}$		
	<i>Setpoint level</i> $h_{ss} = 0,3$ m $a = 9,295 \times 10^{-5} \text{ m}^2$.	[1]	$q_{in_ss} = 2,23917 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{detik}$.
	$q_{in_ss} = 2,23917 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{detik}$. $a = 9,295 \times 10^{-5} \text{ m}^2$.	[3]	$K = 1339,78127 \text{ detik/m}^2$
	Luas tangki $A = 0,0491 \text{ m}^2$ $K = 1339,78127 \text{ detik/m}^2$	[4]	$\tau = 65,78326 \text{ detik}$.
2. <i>Level transmitter</i> (LT)	$K = 1339,78127 \text{ detik/m}^2$ $\tau = 65,78326 \text{ detik}$.	[2]	$G(s) = \frac{1339,78127}{65,78326 s + 1}$
	$g = 9,8 \text{ m/detik}^2$ $\rho \approx 1000 \text{ kg/m}^3$	[6]	Maka $G1 = 9800 \text{ Pa/m}$.
	$h = 0,6 \text{ m}$ $g = 9,8 \text{ m/detik}^2$ $\rho \approx 1000 \text{ kg/m}^3$	[5]	$P_{\max} = 5886 \text{ Pa}$.
	$I_{\max} = 20 \text{ mA}$ $I_{\min} = 4 \text{ mA}$ $P_{\max} = 5886 \text{ Pa}$.	[7]	Maka $G2 = 2,71831 \times 10^3 \text{ mA/Pa}$
	$G1 = 9800 \text{ Pa/m}$. $G2 = 2,71831 \times 10^3 \text{ mA/Pa}$	[8]	Diperoleh $G_{LT} = 26,66667 \text{ mA/m}$. Ketika <i>level</i> 0 m , maka keluaran $LT = 4 \text{ mA}$, sehingga $G_{LT} = 26,66667 \text{ mA/m} + 4 \text{ mA}$
3. <i>Flow Transmitter</i> (FT)	Diameter pipa $D = 0,674 \text{ inch}$, diameter lubang plat orifice $d = 0,34 \text{ inch}$	[12]	<i>Beta Ratio</i> $\beta = 0,504$
	$\beta = 0,504$	Interpolasi di tabel 1	<i>Sizing factor</i> $S = 0,1600$.
	$D = 0,674 \text{ inch}$ $S = 0,1600$.	[13]	$K_f = 0,4119 \text{ inch}^2$.
	Konversi satuan imperial ke metrik:		
	1. Ambil nilai Q dari $1,667 \times 10^{-5} - 3,16667 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{detik}$. $Q = 1,333 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{detik}$	1. konversi ke GPM 2. [14]	1. $Q = 2,113 \text{ GPM}$ 2. $\sqrt{\Delta P} = 5,131 \text{ IN H}_2\text{O}$
	2. $K_f = 0,4119 \text{ inch}^2$ dan $Q = 2,113 \text{ GPM}$.	3. $(\sqrt{\Delta P})^2$	3. $26,325 \text{ IN H}_2\text{O}$
	3. $\sqrt{\Delta P} = 5,131 \text{ IN H}_2\text{O}$	4. konversi ke Pa	4. $6557,256 \text{ Pa}$.
	4. $26,325 \text{ IN H}_2\text{O}$ 5. $6557,256 \text{ Pa}$.	5. $\sqrt{(6557,256)}$	5. $80,977 \text{ Pa}$

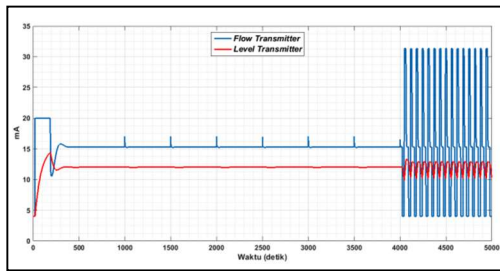
Komponen	Parameter	Persamaan	Hasil
	$\sqrt{\Delta P} = 80,977 \text{ Pa}$, $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ dan $Q = 1,333 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{detik}$.	[9]	$C_{\text{onst}} = 5,207 \times 10^{-5} \text{ m}^2$
	$\sqrt{\rho} = \sqrt{1000}$ dan $80,977 \text{ Pa}$	[15]	$G3 = 6,073 \times 10^5 \text{ Kg/m}^3/\text{m}^2$
	$Q = 3,16667 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{detik}$, $\text{Const} = 5,207 \times 10^{-5} \text{ m}^2$ $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$	[9]	$\Delta P_{\text{max}} = 192,320 \text{ Pa}$.
	$\Delta P_{\text{max}} = 192,320 \text{ Pa}$. $P_{\text{min}} = 0$	[16]	$G4 = 0,00832 \text{ mA/Pa}$
	$G3 = 6,073 \times 10^5 \text{ Kg/m}^3/\text{m}^2$ $G4 = 0,00832 \text{ mA/Pa}$	[17]	$G_{\text{FT}} = 50526,3158 \text{ mA/m}^3/\text{detik}$. Ketika laju aliran $0 \text{ m}^3/\text{detik}$, maka keluaran $\text{FT} = 4 \text{ mA}$, sehingga $G_{\text{FT}} = 50526,3158 \text{ mA/m}^3/\text{detik} + 4 \text{ mA}$.
4. Control valve(CV)	I/P, I = 4-20 mA, P = 20-100 kPA	[18]	$G5 = 5 \text{ kPa/mA} = 5000 \text{ Pa/mA}$
	$x = 0,0127 \text{ m}$, $P = 80.000 \text{ Pa}$	[19]	$G6 = 1,58750 \times 10^{-7} \text{ m/Pa}$. Masukan sebesar 20.000 Pa ke $G6$ mengakibatkan <i>stemcontrol valve</i> pada posisi 0 m , maka $G6$ menjadi, $G6 = (u - 20.000) \times (1,58750 \times 10^{-7}) \text{ m/Pa}$. dengan: u adalah keluaran dari I/P, Pa
	$Q = 3,16667 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{detik}$ $x = 0,0127 \text{ m}$	[20]	$G7 = 2,49343 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{detik/m}$.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Set point tinggi muka air $0,3 \text{ m}$ dicapai pada laju aliran air $2,2 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{detik}$. Laju aliran naik pada detik ke 1000, 1500, 2000, 2500, 3000 dan 3500, tidak mempengaruhi *set point* tinggi muka air di dalam tangki. Seperti diperlihatkan di Gambar 9. Kenaikan laju aliran air dideteksi oleh *flow transmitter*. *Flow transmitter* menjadi umpan balik bagi

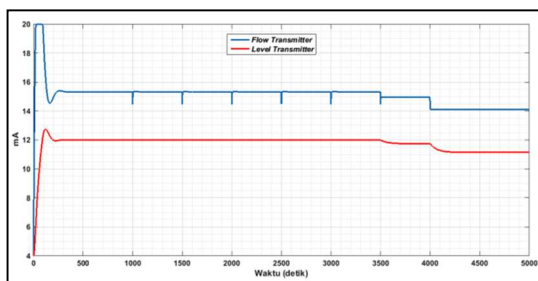
flow controller. *Flow controller* memerintahkan *control valve* untuk membuka katup, masing-masing menjadi 59,843%, 49,606%, 38,583%, 28,346%, 18,11%, 7,599% seperti diperlihatkan di Gambar 10, sehingga laju aliran air ke dalam tangki tetap $2,2 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{detik}$. Selanjutnya pada detik ke 4000 laju aliran naik, sehingga jumlah kenaikan laju aliran air menjadi $2,2 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{detik}$.

Maka katup *control valve* membuka 0%, mengakibatkan laju aliran air menjadi 0 m³/detik, sehingga *control valve* membuka katupnya 100%. Jumlah laju aliran air menjadi 0,0005406 m³/detik, sehingga katup *control valve* segera



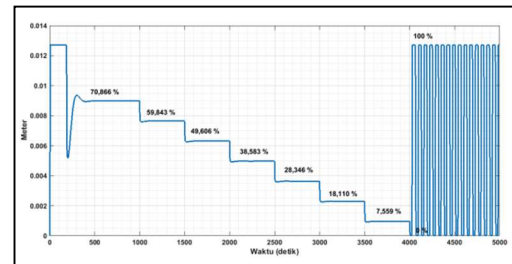
Gambar 9. Pengaruh kenaikan laju aliran air terhadap tinggi muka air pada metode pengendalian bertingkat

Penurunan laju aliran air pada detik ke 1000, 1500, 2000, 2500 dan 3000 tidak mempengaruhi tinggi muka air di dalam tangki. Seperti diperlihatkan di Gambar 11. Setiap penurunan laju aliran air pada mengakibatkan katup *control valve* membuka, masing-masing 75,984%, 81,260%, 86,457%, 91,732% dan 97,008%. Seperti diperlihatkan di Gambar 12.



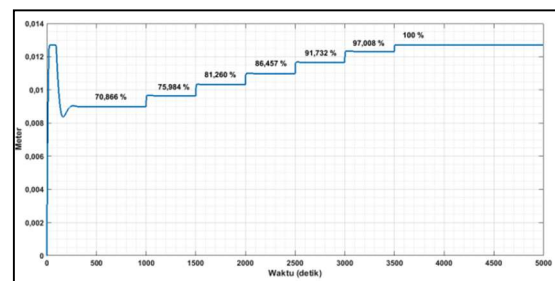
Gambar 11. Pengaruh penurunan laju aliran air terhadap tinggi muka air pada metode pengendalian bertingkat

membuka 0%. Kejadian katup *control valve* membuka 0% dan 100% terus berulang atau berosilasi, sehingga laju aliran air berosilasi, mengakibatkan tinggi muka air di dalam tangki juga berosilasi.



Gambar 10. Bukaan katup *control valve* akibat kenaikan laju aliran air pada metode pengendalian bertingkat

Sehingga laju aliran air ke dalam tangki tetap $2,2 \times 10^{-4}$ m³/detik. Detik ke 3500 dan 4000 laju aliran air kembali dikurangi, sehingga jumlah pengurangan menjadi 1×10^{-4} m³/detik dan $1,2 \times 10^{-4}$ m³/detik. Maka tinggi muka air turun dan tidak dapat mencapai *set point* walau bukaan katup *control valve* 100%, karena laju aliran air kurang dari $2,2 \times 10^{-4}$ m³/detik.



Gambar 12. Bukaan katup *control valve* akibat pengurangan laju aliran air pada metode pengendalian bertingkat

Pengendalian tinggi muka air di dalam tangki menggunakan pengendali PID dengan metode pengendalian bertingkat, dapat menghilangkan gangguan terhadap tinggi muka air di dalam tangki, akibat perubahan laju aliran air sampai batas jumlah perubahan laju aliran air tertentu. Dengan mengetahui jumlah batas perubahan laju aliran air yang diizinkan, sehingga dapat mencegah gangguan terhadap tinggi muka air.

5. KESIMPULAN

Set point tinggi muka air di dalam tangki menentukan penguatan dan konstanta waktu, sehingga menentukan fungsi alih tangki. *Set point* tinggi muka air di dalam tangki pada simulator pengendalian tinggi muka air di dalam tangki menggunakan pengendali PID metode pengendalian bertingkat ditentukan 0,3 m, maka diperoleh penguatan tangki 1339,78 detik/m² dan konstanta waktu 65,78 detik. Tinggi muka air di dalam tangki dapat mencapai 0,3 m, apabila laju aliran air yang mengalir ke dalam tangki $2,2 \times 10^{-4}$ m³/detik.

Ketika tinggi muka air di dalam tangki dalam keadaan *steady* 0,3 Meter, penambahan laju aliran air dibawah

$2,2 \times 10^{-4}$ m³/detik, tidak memengaruhi tinggi muka air di dalam tangki. Penambahan laju aliran air diatas $2,2 \times 10^{-4}$ m³/detik, mengakibatkan tinggi muka air di dalam tangki berosilasi.

Pengurangan laju aliran air sampai $8,3 \times 10^{-5}$ m³/detik tidak berpengaruh terhadap tinggi muka air. Pengurangan laju aliran air mulai 10^{-4} m³/detik, mengakibatkan tinggi muka air di dalam tangki dibawah 0,3 m, karena laju aliran air menuju tangki kurang dari $2,2 \times 10^{-4}$ m³/detik.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Balai Pengembangan Instrumentasi - BRIN atas dukungan terhadap penulisan makalah ini.

7. DAFTAR PUSTAKA

- Anderson, N.A. (1980). *Instrumentation for Process Measurement and Control*. Pennsylvania: Chilton Company.
- Cao, H.Y., & Deng, N. (2016). Design of Water Tank Level Cascade Control System Based on Semens S7-200. In 2016 IEEE 11th Conference on Industrial Electronics and

- Applications (ICIEA)*, (pp. 1926-1928). IEEE.
- Chandran, K., Murugesan, R., Gurusamy, S., Mohideen, K.A., Pandiyan, S., Nayyar, A., Abouhawwash, M., & Nam, Y., (2020). Modified Cascade Controller Design for Unstable Process With Large Dead Time. *IEEE Access*, volume 8.
- EMERSON™ FISHER. (2019). Control Valve HandBook. Marshaltown, Sorocaba, Cernay, Dubai, Singapore: Emerson Automation Solutions.
- Hwang, S-k., & Jung, B-g. (2020). Methane Number Control of Fuel Gas Supply System Using Combined Cascade/Feed Forward Control. *Journal of Marine Science and Engineering*, volume 8 (5). 16.
- Liptak, B.G. (2003). *Process Measurement and Analysis*. Boca Raton, London, New York, Washington, D.C: CRC Press.
- Muller, K. (2003). *Simulation and Process Control*. University. Bremerhaven. University of Applied Science Bremerhaven.
- Setiawan, I.R. (2003). Penalaan PID Kontroler Dengan Metode Ziegler-Nichols Pada Sistem Pengendalian Bertingkat. Teknik Fisika, Universitas Nasional. Jakarta.
- Setiawan, I.R. (2010). Pembuatan *Mini Plant* Sebagai Simulator Instrumentasi Untuk Pengukuran dan Pengendalian Proses dan SCADA di Industri. Pekan Presentasi Ilmiah-KIM (PPI-KIM), (pp. 101-124).
- Setiawan, I.R., & Munandar, A. (2019). Pengaruh Perubahan Luas Buka-an Katup untuk Air Keluar dari Dalam Tangki pada Sistem Pengendalian Tinggi Muka Air. *Jurnal Telekomunikasi, Elektronika, Komputasi dan Kontrol*, volume 5, No. 1. 12.
- Somkane, P., Kongratana, V., Gulpanich, S., Tipsuwanporn, V., & Wongvanich, N. (2017). A Study of Flow-Level Cascade Control with Wireless HART™ Transmitter with LabVIEW. In 2017 17th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS 2017), (pp. 856-861). ICROS.
- Smith, C.A., & Carripio, A.B. (1997). *Principles and Practice of Automation Process Control*. New York: John & Sons.
- Wilkie, J., Johnson, M., Katebi, R. (2002). *Control Engineering An Introductory Course*. Houndmills, Basingstoke, Hampshire, New York: Palgrave.
- Zhang, Q., Wang, Y-g., Lee, F-f., Zhang, W., & Chen, Q. (2019). Performance

Assessment of Cascade Control
System with Non-Gaussian
Disturbance Based on Minimum
Entropy. *Symmetry*, volume 11(3). 15.