

PERANCANGAN WATER LEVEL TRAINING KIT DENGAN MENGGUNAKAN SISTEM PID

**Andra Saputra^{1*}, Cathra Gumilang Sakti Aji², Yohanes Prasetyanto Adi³, Johan Wand⁴,
Paulinus Cherlyndo⁵**

^{1,2,3,4,5}Program Studi Teknik Mekatronika, Politeknik ATMI Surakarta

Jl. Mojo No. 1 Karangasem, Laweyan, Surakarta 57145

*Email: wandi.wicaksono@atmi.ac.id

Abstrak

Water Level Training Kit adalah sebuah alat peraga yang berfungsi untuk mengamati ketinggian dan kestabilan air. Saat ini alat peraga di Laboratorium Teknik Kendali memiliki Water Filling Training Kit dengan menggunakan sistem Fuzzy dan PID, dikarenakan training kit tersebut belum terinstal system pengosongan sehingga peran PID kurang maksimal dan karena banyaknya komponen pada panel box menyebabkan penataan kabel menjadi sulit sehingga rentan terjadi bouncing. Oleh karena itu, untuk melengkapi metode pembelajaran pada laboratorium tersebut dibuatlah alat peraga ini yang bertujuan untuk membandingkan cara kerja sistem alat peraga yang sudah ada sebelumnya untuk melihat hasil kestabilan osilasi pada air dengan menggunakan sistem PID. Berdasarkan pengujian didapatkan hasil respon pengendali terbaik adalah pengendalian PI dengan error sebesar 0,3% - 2 %, sedangkan Pengendalian P memiliki error sebesar 1,3% - 4,5% dan Pengendalian PID memiliki error sebesar 0% - 2,5%. Kualitas Water Level Training Kit dapat dilihat dari kesesuaian fungsinya, dimana kestabilan ketinggian air yang ditunjukkan pada hasil steady state error kurang dari sama dengan 2% selama 3 detik maka sistem akan berhenti. Diharapkan pembuatan Water Level Training Kit ini mampu untuk mendukung pembelajaran praktik bagi mahasiswa di Laboratorium Teknik Kendali.

Kata kunci: water level training kit, PID, stabil

1. PENDAHULUAN

Water Level Training Kit merupakan alat peraga yang berfungsi untuk mengamati ketinggian dan kestabilan air. Saat ini, Laboratorium Teknik Kendali, Politeknik ATMI Surakarta sudah dilengkapi dengan sarana *Water Filling Training Kit* dengan menggunakan sistem PID dan *Fuzzy* serta menggunakan *load cell* sebagai umpan balik. PID merupakan penggabungan dari 3 metode kendali yaitu *Proportional*, *Integral* dan *Derivative*, dimana aksi pengendali *Proportional* (P) berfungsi untuk mempercepat *Rise Time*, aksi pengendali *Integral* (I) berfungsi untuk memperkecil error dan aksi pengendali *Derivative* (D) berfungsi untuk memperkecil d.error serta meredam *overshoot*. Ketiganya dapat digunakan bersamaan maupun sendiri-sendiri tergantung respon yang diinginkan. Disimpulkan bahwa pemilihan sensor, aktuator, dan dimensi yang mempengaruhi kestabilan air.

Berkaitan dengan permasalahan yang dikemukakan di atas, melalui pengembangan tugas akhir ini diupayakan mampu merancang dan membuat alat peraga dengan sistem PID yang lebih baik dan mampu untuk menampilkan grafik ketinggian air yang berguna untuk mempermudah dalam mengamati respon dari sebuah sistem, sehingga mahasiswa memahami sistem PID.

Penelitian yang dilakukan oleh Javan Aristianto P., Abel Ichsan A., dan Mohamad Yanuri (2013), telah menjelaskan pada penelitiannya dengan judul *PID Digital dan Analog beserta aplikasinya*, membahas mengenai apa itu PID, karakteristiknya serta kelebihan, disebutkan pula contoh-contoh pengaplikasian kontrol PID seperti pada pengaturan suhu sebuah tangki, pengaturan motor DC, mengatur kecepatan gas / fluida dalam pipa, dll.

Menurut Dr. Beza Negash Getu (2016), menjelaskan pada penelitiannya dengan judul *Water Level Controlling System Using PID Controller* mengungkapkan bahwa pengontrol *Proporsional* cenderung mengurangi waktu naik dan waktu penyelesaian tetapi tidak pernah

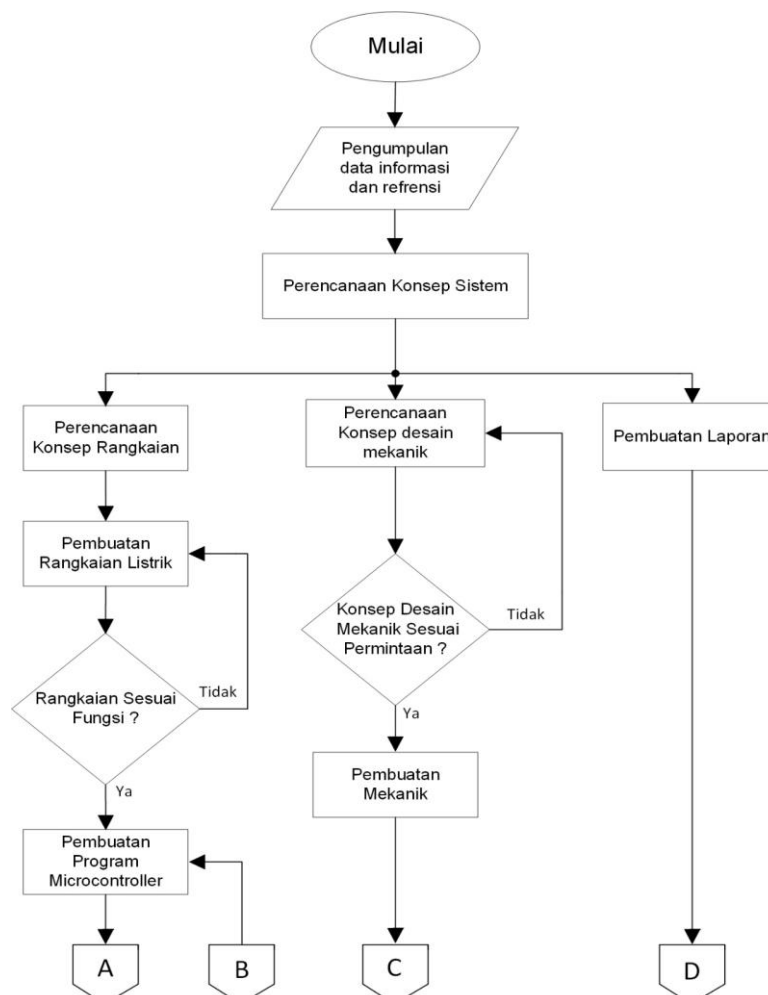
menghilangkan kesalahan kondisi tunak. Ada juga *overshoot* yang besar. Pengontrol *Proporsional-Integral* (PI) memiliki efek menghilangkan kesalahan kondisi tunak dengan nilai akhir mencapai input referensi yang diinginkan tetapi itu membuat respon *transien* lebih buruk dengan *overshoot* yang lebih besar dan juga waktu penyelesaian yang besar. Pengontrol *Proporsional-Derivative* (PD) memiliki efek meningkatkan *stabilitas* sistem dengan mengurangi *overshoot*, waktu naik, waktu penyelesaian, dan secara keseluruhan meningkatkan respon *transien*. Namun, masih ada kesalahan kondisi tunak yang besar. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pengontrol *Proporsional-Integral-Derivative* (PID) bekerja dengan baik di semua parameter dan memenuhi persyaratan desain.

2. METODOLOGI

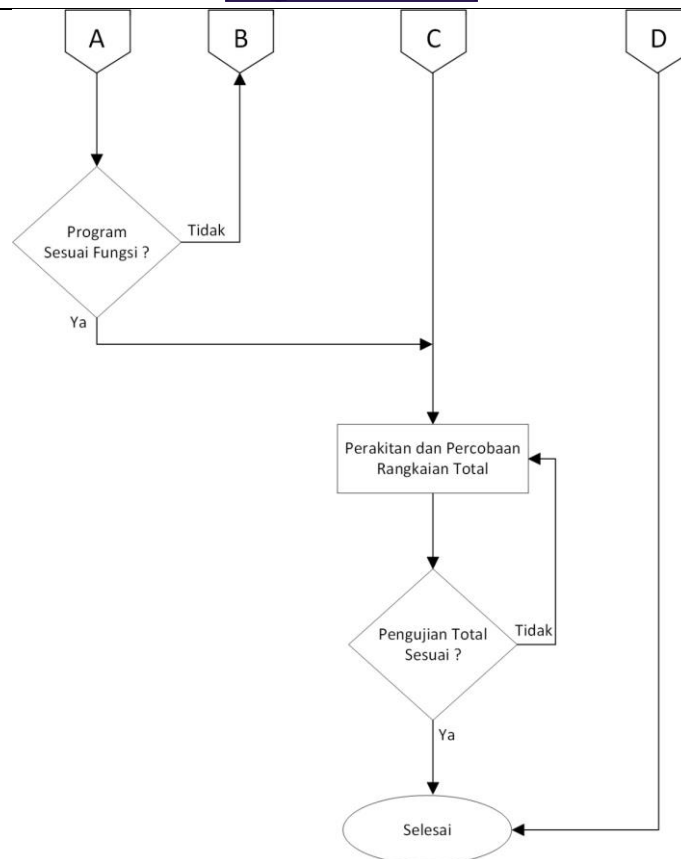
Proses penelitian ini memerlukan beberapa bahan dan peralatan sebagai perlengkapan dalam proses perancangan serta beberapa metode pengumpulan data dan perumusan masalah.

2.1. Metode Pengerjaan

Metode pengerjaan dilakukan dengan beberapa tahapan yang ditunjukkan pada *flowchart* di Gambar 1 dan Gambar 2.



Gambar 1. Diagram Alir Metode Pengerjaan



Gambar 2. Diagram Alir Metode Pengerjaan

2.1.1. Pengumpulan Data Informasi dan Referensi

Tahap pencarian referensi bertujuan untuk mengumpulkan informasi dan data yang berhubungan dengan materi dan mendukung tercapainya tugas akhir, diantaranya adalah referensi tentang *microcontroller*, pengertian kendali PID, sistem kendali untuk mengatur ketinggian air, karakteristik sensor *PING* ultrasonik untuk membaca ketinggian air melalui pantulan gelombang suara, rangkaian penampil pada layar *Nextion*, serta beberapa materi maupun komponen pendukung lain. Pencarian referensi dilakukan dengan mencari data di internet dan Studi Pustaka.

2.1.2. Perencanaan Konsep Mekanik *Water Level Training Kit*

Tahap perencanaan konsep bertujuan untuk mendiskusikan tentang konsep yang akan digunakan pada pembuatan *Water Level Training kit* menggunakan sistem PID. Konsep tersebut meliputi sistem kerja keseluruhan, dan fitur yang direncanakan sekaligus desain produknya.

2.1.3. Perencanaan Konsep Rangkaian Elektronika *Water Level Training Kit*

Tahap perencanaan konsep rangkaian dimulai dengan pembuatan simulasi rangkaian sensor *PING* ultrasonik untuk mengukur ketinggian air yang terdapat pada silinder tangki ukur disertai program konversi dan untuk pembacaan, rangkaian *input* dan *output* yang masuk ke *Arduino* termasuk rangkaian penampil pada *Nextion*.

2.1.4. Pembuatan Program *Microcontroller Water Level Training Kit*

Pembuatan program *microcontroller* *Arduino* Mega terdiri dari program *setting* sensor, program *LCD Touchscreen*, program kontroler P (*Proportional*), I (*Integral*), dan D (*Derivative*), program motor pompa air. Program *setting* sensor *PING* ultrasonik berfungsi

untuk mengukur dan mengirim sinyal berupa jarak antara sensor dengan air yang akan dikonversi menjadi nilai aktual ketinggian air dengan menggunakan perhitungan *algoritma*. Program LCD *touchscreen* digunakan untuk mengintegrasikan *input* yang tertera pada LCD ke *Arduino*. Program kontroler PID berfungsi untuk mengatur keluaran sistem sesuai dengan respon yang diharapkan berdasarkan dengan nilai K_P , K_I , K_D yang telah diinputkan. Program motor pompa air berfungsi untuk melakukan proses pengisian maupun pengosongan pada tangki silinder, terdapat 2 motor pompa air DC 12V yang masing- masing memiliki fungsi yaitu proses pengisian dan pengosongan air.

2.1.5. Pembuatan Rangkaian Elektronika *Water Level Training Kit*

Pembuatan rangkaian elektronika terdiri dari rangkaian LCD *touchscreen*, rangkaian sensor, rangkaian motor. Rangkaian LCD *touchscreen*, rangkaian sensor dan rangkaian motor memiliki fungsi yang sama, yaitu untuk mensinkronkan komponen ke *Arduino*.

2.1.6. Pembuatan Mekanik *Water Level Training Kit*

Pembuatan perangkat keras merupakan pengerjaan mekanik yang bertujuan untuk membuat struktur kerangka *training kit* dari *box* tangki, *box* kontrol hingga dudukan. Untuk pembuatan *box* tangki dan *box* kontrol, material yang digunakan adalah akrilik dan untuk pembuatan penyangga tangki silinder menggunakan 3D *printing*.

2.1.7. Pengujian Sistem *Water Level Training Kit*

Tahap pengujian sistem dimulai dengan pengujian sensor *PING* ultrasonik apakah dapat bekerja sesuai fungsi yang diinginkan atau tidak. Selain itu, dilakukan pengujian penampil pada *Nextion* serta pengujian rangkaian pada motor pompa DC. Dilanjutkan dengan pengujian *training kit* secara keseluruhan.

2.1.8. Pembuatan Laporan

Tahap pembuatan laporan berisi hasil dari proses yang telah dilakukan selama pengerjaan tugas akhir didokumentasikan dan dibuat laporan. Laporan tugas akhir dilakukan melalui media tertulis berupa jurnal, pengujian maupun media *audio visual* berupa foto. Pengerjaan laporan dan pengerjaan purwarupa dilakukan secara beriringan sehingga semua yang dikerjakan dapat didokumentasikan secara baik.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perancangan konsep *Water Level Training Kit* dilakukan dalam beberapa tahap, yaitu pembuatan desain morfologi, deskripsi konsep dan kriteria pembobotan. Selanjutnya dari beberapa konsep yang ada dilakukan penilaian untuk mendapatkan sebuah konsep yang dipilih atau konsep yang paling sesuai dengan kebutuhan pelanggan. Berikutnya dalam pembuatan sebuah konsep perlu adanya pengujian yang berguna untuk mengetahui kelebihan serta kelemahan konsep yang dibuat. Dengan harapan adanya kelemahan produk, maka dapat dijadikan sebuah pengembangan. Berikut adalah penjelasannya.

3.1. Penentuan Matriks Kebutuhan

Matriks kebutuhan diawali dengan data permintaan pelanggan dengan menggunakan metode *HOQ*. Berikut adalah tabel kebutuhan pelanggan.

Tabel 1. Kebutuhan Pelanggan

No.	Permintaan Pelanggan	Kepentingan
1.	Alat yang mudah dioperasikan	5
2.	Desain yang sederhana dan aman	4
3.	Mesin yang mampu bongkar pasang dengan mudah	3
4.	Perawatan mesin yang mudah	2
5.	Ergonomi	2

Skala kepentingan : 5 = Sangat Penting, 1 = Tidak Penting

Setelah mengetahui data kebutuhan pelanggan, tahap selanjutnya dilakukan analisa tentang karakteristik teknis dari mesin yang hendak dibuat. Berikut adalah tabel karakteristik teknis dari mesin.

Tabel 2. Karakteristik Teknis Mesin

No	Karakteristik Teknis
1.	Terdapat informasi penggunaan dan perawatan secara tertulis dan jelas
2.	Tata letak komponen yang memudahkan pengguna
3.	Material yang digunakan adalah bahan yang ringan dan kuat
4.	Ukuran alat peraga

Tahap selanjutnya adalah mengkorelasikan antara kebutuhan pelanggan dengan karakteristik teknis dari mesin yang hendak dibuat. Berikut adalah tabel korelasi karakteristik teknis dengan kebutuhan pelanggan.

Tabel 3. Matrik Korelasi

Matrik Korelasi		Karakteristik teknis				
		Terdapat informasi penggunaan dan perawatan secara tertulis dan jelas	Tata letak komponen yang memudahkan pengguna	Material yang digunakan adalah bahan yang ringan dan kuat	Ukuran alat peraga	
Kebutuhan Pelanggan		1	2	3	4	
Mudah pengoperasian	5	•	•			
Desain yang sederhana	4		•			
Mesin yang mampu bongkar pasang dengan mudah	3		•	•	•	
Perawatan mesin yang mudah	2	•	•		•	
Ergonomis	2		•		•	

3.2. Perancangan Konsep *Water Level Training Kit*

Dari tabel 3, tanda “•” digunakan untuk mengetahui bahwa antara data karakteristik teknis mesin dengan kebutuhan pelanggan memiliki korelasi. Maka dengan mengetahui matrik korelasi pada tabel 3, tahap berikutnya yaitu menyusun beberapa konsep yang dianggap sesuai untuk melakukan pembuatan sistem serta memenuhi kebutuhan pelanggan, sehingga terdapat alternatif lain apabila terdapat konsep yang tidak bisa diterapkan atau terlalu jauh dari kebutuhan pelanggan. Desain morfologi dilakukan setidaknya mencari tiga alternatif konsep sistem untuk diterapkan dalam sistem yang memiliki beberapa kemungkinan. Berikut adalah tabel tentang alternatif konsep sistem yang dianalisa berdasarkan dengan kebutuhan konsumen dan diambil yang terbaik.

Tabel 4. Desain Morfologi

No.	Sub Fungsi	Solusi 1	Solusi 2	Solusi 3
1.	Tangkii ukur dan tangkii reservoir	Berbentuk kotak • harga murah • terlalu banyak lem bisa berakibat bocor • kurang berestetik	Berbentuk silinder • harga mahal • minim penggunaan lem, tingkat kebocoran rendah • berestetik	
2.	Motor	Penggunaan 2 motor • Mahal • Butuh tempat yang luas • Lebih cepat proses pengisian dan pengosongan air	Penggunaan 1 motor dan 1 valve yang terbuat dari motor servo • lebih murah • tidak butuh tempat yang luas • proses pengosongan air lebih lambat	
3.	Sensor	Pressure sensor • tidak terpengaruh oleh gelombang air • tangki air harus vakum • Tegangan input: 5V_{DC}	Sensor Berat • tidak terpengaruh oleh gelombang air • tangki tidak harus vakum • kalibrasi sulit	Sensor PING • terpengaruh oleh gelombang air • tangki tidak harus vakum • Pengoperasian mudah

	• Working pressure rate range : 0 – 1,2 MPa	• Tegangan input: 5V_{DC} • Jangkauan : < 5 Kg	• Tegangan input: 5V_{DC} • Jangkauan : 2 cm – 400 cm • Kecepatan : 15ms
4. Cover	Akrilik • lebih ringan • mudah diproses	Aluminium • lebih berat • lebih sulit diproses	
5. Display	Nextion • lebih ringkas penggunaan komponen elektrik dan pengoperasian alatnya • harganya mahal	LCD display • rangkaiannya elektriknya tidak ringkas • tidak banyak fitur yang ada /terbatas • harganya murah	Seven Segment • rangkaian elektriknya tidak ringkas • penampilnya terbatas • harganya murah

Berdasarkan hasil korelasi kebutuhan pelanggan dan alternative penggunaan komponen berdasarkan morfologi diatas, maka bagian yang berwarna abu- abu adalah konsep dari Tugas Akhir ini.

3.3. Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan dengan tujuan mengetahui kelebihan dan kelemahan sistem yang dibuat, sehingga dengan adanya kelemahan maka diharapkan adanya pengembangan. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian sensor *PING* ultrasonik, sensor *Flow* dan pengujian PID. Berikut adalah penjelasannya.

3.3.1. Pengujian Sensor *PING* Ultrasonik

Pengujian sensor *PING* Ultrasonik dilakukan dengan metode mengisi air pada tabung pengukuran melalui pompa air. Dilakukannya pengujian ini bertujuan untuk mencari nilai *error* paling kecil. Pengujian ini dilakukan dengan memasukkan set point dari 0 – 400mm kelipatan 25 mm dengan percobaan sebanyak 30 kali. Berikut adalah data yang diperoleh dari pengujian sensor *PING* Ultrasonik.

Tabel 5. Hasil data pengujian kestabilan sensor *PING* Ultrasonik

Setpoint	Percobaan (Rata-Rata (mm))						Rata - rata (mm)	Error (%)
	1-5	6-10	10-15	16-20	20-25	25-30		
0	-3,6	-3,6	-3,6	-3,6	-3,6	-3,6	-3,60	~
25	21,6	22	22,4	22,2	22,4	20,6	21,87	12,53
50	47,6	48,6	47	47,4	51,4	48,2	48,37	3,27
75	74,2	72,2	74	72,2	76,2	72,2	73,50	2,00
100	98,8	98	98,6	97,2	98,4	96,8	97,97	2,03
125	124,8	121,6	123,2	121,4	122,6	121,6	122,53	1,97
150	148,6	147,2	148	146,8	147,4	146,4	147,40	1,73
175	175,6	172,2	172,8	171,6	172,6	171,4	172,70	1,31
200	199,8	197,2	197,6	197,2	197,2	197	197,67	1,17
225	224,4	221,8	221,8	221,8	221	221,8	222,10	1,29
250	250,2	252,2	248,6	248	246,6	247,4	248,83	0,47
275	275,2	277,4	276,4	277,6	277,2	278	276,97	0,72
300	302,8	302,4	301,4	303,2	302,4	303	302,53	0,84
325	322	324	323,6	324	323,2	323,8	323,43	0,48
350	347,4	351	351,4	351,6	351,2	351,4	350,67	0,19
375	375,2	374	374,2	375,4	374,4	374	374,53	0,12
400	399,8	399,8	399,6	399,6	400	399,4	399,70	0,07

Dari tabel 5 dapat disimpulkan bahwa semakin besar nilai ketinggian air, maka semakin stabil dan presisi sensor dalam membaca *actual value*.

3.3.2. Pengujian debit air yang dihasilkan motor

Pengujian debit air yang dihasilkan motor pompa dibaca menggunakan sensor *flow*, Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui debit air yang dihasilkan oleh motor pompa. Pengujian ini dilakukan berdasarkan pada besarnya nilai sinyal *PWM* motor (*analog write*) dengan range 0 - 255 yang diolah melalui Arduino Mega 2560 kemudian sinyal tersebut mengendalikan *switching* dari MOSFET sebagai saklar elektrik yang terdapat pada *driver* motor. Berikut adalah data yang diperoleh dari pengujian debit air yang dihasilkan motor pompa.

Tabel 6. Hasil pengujian debit air melalui sensor *flow*

Analog Write	Flow (L/menit)						Rata - Rata (L/menit)
	1-5	6-10	11-15	16-20	21-25	26-30	
0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0	0
45	1,01	0,99	0,96	0,96	0,93	0,99	0,97
60	1,47	1,44	1,47	1,41	1,52	1,47	1,46
75	1,90	1,84	1,73	1,90	1,87	1,82	1,84
90	2,11	2,13	2,07	2,11	2,03	2,11	2,09
105	2,13	2,27	2,32	2,35	2,30	2,24	2,27
120	2,40	2,37	2,37	2,48	2,53	2,51	2,44
135	2,61	2,64	2,51	2,56	2,61	2,59	2,59
150	2,69	2,67	2,69	2,67	2,72	2,80	2,71
165	2,96	2,75	2,75	2,75	2,77	2,85	2,80
180	3,09	3,23	2,93	3,09	3,20	3,28	3,14
195	2,96	3,09	3,01	3,12	3,23	3,23	3,11
210	3,14	3,17	3,12	3,36	3,31	3,33	3,24
225	3,04	3,28	3,47	3,47	3,25	3,17	3,28
240	3,17	3,25	3,14	3,41	3,36	3,28	3,27
255	3,33	3,33	3,41	3,52	3,55	3,49	3,44

Berdasarkan data pengujian pada tabel 6, dapat disimpulkan bahwa semakin besar nilai *analog write*, maka kecepatan laju air (L/min) semakin cepat, dengan kecepatan maksimal 3,4 L/jam dengan *analog write* 255.

3.3.3. Pengujian PID

Dalam melakukan pengujian sistem PID pada alat peraga, data yang dihasilkan pada pengujian sensor PING Ultrasonik dan *flow sensor* akan digunakan sebagai referensi dalam pengujian sistem PID. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui respon dari masing-masing kendali. Adapun langkah – langkah yang dilakukan dengan metode *Ziegler-Nichols* metode kedua sebagai berikut.

1. Mulai dengan pengendali *Proporsional* (nilai $T_i = \infty$ dan $T_D = 0$), naikan nilai K_P secara bertahap hingga sistem mengalami *osilasi* secara kontinyu dengan *magnitude* tetap.
2. Didapat nilai K_{cr} / K_{krit} yang merupakan nilai penguatan dan P_{cr} / T_{krit} yang merupakan periode *osilasi*
3. Nilai K_P , T_i , dan T_D ditentukan berdasarkan tabel 7.

Tabel 7. Tabel Rumus *Ziegler-Nichols* metode 2

Regler	K_P	T_N	T_D
P-Regler	$0.5 K_{krit}$	-	-
PI-Regler	$0.45 K_{krit}$	$0.85 T_{krit}$	-
PID-Regler	$0.6 K_{krit}$	$0.5 T_{krit}$	$0.12 T_{krit}$

Percobaan dilakukan dengan cara mencari nilai K_{cr} dari 1 sampai 50 atau lebih hingga didapatkan nilai K_{cr} dengan hasil osilasi yang stabil yang dapat dilihat secara *visual* pada penampil grafik di layar Nextion. Dari percobaan yang dilakukan didapat nilai $K_{cr} = 9$ dan $P_{cr} = 2,2$ detik. Setelah didapatkan nilai K_{cr} yang tepat, selanjutnya adalah memasukkan nilai K_{cr} tersebut ke rumus *Zeigler-Nichols* metode kedua pada tabel 7, dari perhitungan tersebut, Maka didapatkan nilai K_P , K_i , dan K_D yang digunakan dalam pengujian *Water Level Training Kit* adalah sebagai berikut.

Tabel 8. Value K_P , K_i , K_D dengan metode *Ziegler-Nichols* metode 2

Tipe Pengendali	K_P	$K_i (K_P / T_i)$	$K_D (K_P * T_D)$
P	4,5	0	0
PI	4,05	2,16	0
PID	5,4	4,9	1,42

Dengan value K_P , K_i , K_D yang didapatkan melalui rumus *Ziegler-Nichols* metode dua, Selanjutnya melakukan pengujian untuk kendali P dengan nilai $K_P = 4,5$; $K_i = 0$ dan $K_D = 0$. Maka didapatkan data hasil pengujian kendali *Proportional* sebagai berikut.

Tabel 9. Hasil pengujian P

Setpoint (mm)	$K_P = 4,5$ $K_i = 0$ $K_D = 0$		Error (%)
	Waktu (s)	Hasil (mm)	
200	35,8	195	2,5

300	53,3	287	4,3
400	59	395	1,3

Berdasarkan dari tabel 9, maka semakin besar set point yang dimasukkan, waktu yang dibutuhkan untuk mencapai *set point* semakin besar juga tapi error yang dihasilkan semakin kecil. Jadi sistem ini dapat berpengaruh pada kecepatan respon sistem dalam pengisian air menjadi lebih cepat, akan tetapi masih terdapat error pada sistem.

Selanjutnya melakukan pengujian untuk kendali PI dengan nilai $K_P = 4,05$; $K_I = 2,16$ dan $K_D = 0$. Berikut adalah data yang diperoleh dari pengujian *Proportional Integral*.

Tabel 10. Hasil pengujian PI

Setpoint (mm)	$K_P = 4,05$ $K_I = 2,16$ $K_D = 0$		Error (%)
	Waktu (s)	Hasil (mm)	
200	29,1	204	2
300	44,3	299	0,3
400	52,3	406	1,5

Berdasarkan dari tabel 10, maka semakin besar *set point* yang dimasukkan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai *set point* semakin lama juga tapi error yang dihasilkan tidak menentu. Jadi sistem ini dapat mempersingkat waktu tunda dan waktu penetapan, memperlambat waktu naik dan waktu puncak.

Selanjutnya melakukan pengujian untuk kendali PID dengan nilai $K_P = 5,4$; $K_I = 4,9$ dan $K_D = 1,42$. Berikut adalah data yang diperoleh dari pengujian *Proportional Integral Derivative*.

Tabel 11. Hasil pengujian PID

Setpoint (mm)	$K_P = 5,4$ $K_I = 4,9$ $K_D = 1,42$		Error (%)
	Waktu (s)	Hasil (mm)	
200	25,6	205	2,5
300	41,6	300	0
400	56,6	408	2,0

Berdasarkan dari tabel 11, maka semakin besar *set point* yang dimasukkan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai *set point* semakin lama juga, tapi error yang dihasilkan tidak menentu. Jadi sistem ini dapat memperkecil error, serta respon system menjadi lebih cepat.

4. KESIMPULAN

Setelah melalui proses dari pencarian referensi, pembuatan hingga pengujian training kit, dapat disimpulkan bahwa sesuai rumus *Ziegler-Nichols* metode dua, respon pengendalian terbaik adalah pengendalian PI dengan error sebesar 0,3% - 2 %, sedangkan Pengendalian P memiliki error sebesar 1,3% - 4,5% dan Pengendalian PID memiliki error sebesar 0% - 2,5%. Kualitas *Water Level Training Kit* dapat dilihat dari kesesuaian fungsinya, dimana kestabilan ketinggian air yang ditunjukkan pada hasil *steady state error* kurang dari sama dengan 2% selama 3 detik maka sistem akan berhenti.

Diharapkan pembuatan *Water Level Training Kit* ini mampu mendukung pembelajaran praktik bagi mahasiswa di Laboratorium Teknik Kendali.

DAFTAR PUSTAKA

- Nor Prasadrian, Adi., Rizky Maulani, Auzan., Yesi Apsari, Fransiska., Wandi Wicaksono, Johan. 2017. *PENGEMBANGAN TRAINING KIT PRECISION WATER FILLING DENGAN MENGGUNAKAN PID – FUZZY*. Tugas Akhir, Program Studi Teknik Mekatronika, ATMI, Surakarta.
- Aristianto P, Javan., Ichsan A, Abel., Yanuri, Muhammad. 2013. *PID DIGITAL DAN ANALOG BESERTA APLIKASINYA*. Tugas Akhir, Program Studi Elektro Industri, PENS, Surabaya.
- Sukarasa, I Ketut. *PENGARUH PID PADA MOTOR DC DENGAN PROGRAM SIMULINK*. Makalah, Program Studi Fisika, Universitas Udayana, Bali.
- Getu, Beza Negash., *WATER LEVEL CONTROLLING SYSTEM USING PID CONTROLLER*. Penelitian Ilmiah, *Department of Electrical, Electronics and Communications Engineering (EECE) American University of Ras Al Khaimah, Ras Al Khaimah, UAE*.