

Sistem Monitoring dan Kontrol Level Air pada Pengelolaan Sumber Daya Air Menggunakan Kontrol PID

Larasati Ambararum Pratita^{1*}, Sidik Nurcahyo², Hari Kurnia Safitri³

^{1,2,3}Politeknik Negeri Malang, Malang

Penulis Korespondensi, email: 2041170105@student.polinema.ac.id

Received: 23/08/2024

Revised: 27/08/2024

Accepted: 27/08/2024

Abstract. As the demand for water and technological advancements increase, an effective system is required to measure and control the height and volume of water in storage tanks. This study aims to design a water tank height and volume measuring device based on the Internet of Things (IoT) using an ESP32 microcontroller and PID controller. The system uses an ultrasonic sensor to detect the water level and a water flow sensor to measure the water output from the valve. Testing and calibration were conducted using the Ziegler-Nichols method to obtain optimal PID parameters. The results show that for water level control using an ultrasonic sensor and water pump, the PID parameters obtained are $K_p = 15$, $K_i = 4$, and $K_d = 3.2$ with a rise time of 872s, delay time of 462s, peak time of 42s, overshoot of 6.7%, and settling time of 38s. This study successfully demonstrates that the PID control system based on the ESP32 is effective in automatically controlling water levels and volumes, which can be applied in various applications such as water management in industry and agriculture.

Keywords: PID control, ESP32, Water level, Ultrasonic sensor, Water flow sensor, Blynk, IoT.

Abstrak. Seiring dengan meningkatnya kebutuhan air dan perkembangan teknologi, diperlukan sistem yang efektif untuk mengukur dan mengontrol ketinggian serta volume air dalam tangki penyimpanan. Penelitian ini bertujuan untuk merancang alat ukur ketinggian tangki air dan volume air berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan mikrokontroler ESP32 dan kontroler PID. Sistem ini menggunakan sensor ultrasonik untuk mendeteksi ketinggian air dan sensor *water flow* untuk mengukur keluaran debit air dari valve. Pengujian dan kalibrasi dilakukan dengan metode *Ziegler-Nichols* untuk mendapatkan parameter PID yang optimal. Hasil menunjukkan bahwa untuk kontrol ketinggian air menggunakan sensor ultrasonik dan pompa air, nilai parameter PID yang diperoleh adalah $K_p=15$, $K_i=4$, dan $K_d = 3.2$ dengan *rise time* 872s, *delay time* 462s, *peak time* 42s, *overshoot* 6.7%, dan *settling time* 38s. Penelitian ini berhasil menunjukkan bahwa sistem kontrol PID berbasis ESP32 efektif dalam mengontrol ketinggian dan volume air secara otomatis, yang dapat diterapkan dalam berbagai aplikasi seperti pengelolaan air pada industri dan pertanian.

Kata kunci: Kontrol PID, ESP32, Ketinggian air, Sensor ultrasonik, Sensor *water flow*, Blynk, IoT.

I. PENDAHULUAN

Air mempunyai peranan penting dalam kelangsungan makhluk hidup di bumi [1]. Air merupakan sumber daya alam yang sangat vital bagi kehidupan, khususnya bagi manusia [2]. Manusia memanfaatkan air untuk berbagai kebutuhan baik dalam rumah maupun industri [3]. Semakin hari diiringi dengan pertambahan penduduk, kebutuhan akan air juga semakin meningkat sehingga ketersediaan air tetap harus selalu ada. Ini menyebabkan peran penampung air menjadi penting dan diperlukan suatu mekanisme pengukuran untuk mengetahui ketersediaan air pada wadah tersebut [4]. Seiring dengan kemajuan pola pikir sumber daya

manusia yang semakin maju. Keinginan untuk selalu menciptakan suatu hasil karya mengalami perubahan secara bertahap yang bersifat kompetitif agar dapat menciptakan kemudahan bagi manusianya sendiri yang di dukung dengan perangkat - perangkat canggih [5].

Seiring perkembangan teknologi yang ada sekarang dapat dimanfaatkan untuk mengatasi kebutuhan air manusia yang terus meningkat [6]. Maka dibuatlah sistem kontrol ketinggian air modern yang menawarkan solusi cerdas untuk mengelola air secara efektif dan efisien. Sistem ini memberikan manfaat bagi individu, bisnis, dan lingkungan dengan menghemat air, meningkatkan

kenyamanan, dan memastikan keamanan [2]. Kontrol ketinggian air dilakukan dengan pengukuran menggunakan sensor. Pengukuran ini dilakukan secara otomatis yang kemudian data akan dikirim ke internet sehingga dapat diakses kapanpun dan dimanapun [4]. Namun dalam suatu proses kontrol otomatis, diperlukan suatu sistem yang dapat mempertahankan kestabilan sistem karena berpotensi menyebabkan sistem tidak berjalan sesuai dengan yang diinginkan apabila mendapatkan gangguan pada *plant* [7].

II. METODOLOGI

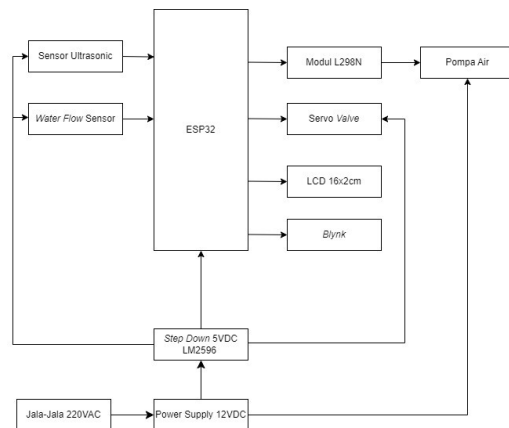
A. Perancangan Sistem

Perancangan sistem alat yang digunakan dibagi menjadi beberapa bagian diantaranya perancangan mekanik yang berupa spesifikasi alat, design mekanik alat, dan penentuan spesifikasi bahan. perancangan elektrik, serta perancangan *software*.

B. Diagram Blok Sistem

Dalam diagram blok pada gambar 1, terdapat blok input, proses, dan output. Dalam blok input terdiri dari Sensor Ultrasonik yang digunakan untuk membaca ketinggian level air pada tangki, Sensor *water flow* berfungsi untuk menghitung debit aliran air yang mengalir yang memutar rotor dalam satuan liter yang akan keluar melalui servo *valve* [8]. Kemudian pada blok proses terdapat mikrokontroler ESP32 yang digunakan sebagai kontroler utama yang akan memproses semua nilai dari input [9]. ESP32 kemudian juga digunakan untuk mengendalikan pompa air yang akan menyala apabila air di dalam tangki kurang dari *setpoint* hasil pembacaan dari sensor ultrasonik, dan juga akan mengendalikan bukaan dari servo MG996R yang dicouple dengan *valve* hasil pembacaan dari sensor *water flow* yang itu semua akan dikendalikan menggunakan kontroler PID. Kontroler PID terdiri dari elemen *Proportional*, *Integral*, dan *Derivative* [10]. Salah satu peran dari kontrol PID adalah untuk mengurangi kesalahan (*error*) yang merupakan perbedaan antara nilai yang diinginkan (*setpoint*) dengan nilai *actual* yang didapatkan oleh sistem (*presentvalue*) [11]. Tuning PID pada penelitian ini dilakukan menggunakan metode *Ziegler-Nichols*

[12]. Pada blok output terdapat modul L298N yang digunakan sebagai sistem yang mengontrol kondisi *on-off* dan mengatur kecepatan putaran dari pompa air [13]. Kemudian ada servo *valve*, servo disini menggunakan servo MG996R yang digunakan sebagai untuk menentukan dan memastikan posisi sudut dari poros keluaran motor dan digunakan sebagai pengendali buka atau tutup keran (*valve*) [14]. Selanjutnya ada LCD 16x2 yang digunakan sebagai display untuk menampilkan hasil dari sistem berupa hasil pembacaan dari sensor ultrasonik, sensor *water flow*, dan bukaan dari servo *valve*. Juga ada aplikasi *blynk* yang fungsinya hampir sama seperti pada LCD tetapi dapat diakses jarak jauh. Terakhir pada blok output terdapat pompa air yang berfungsi sebagai pengisi air ke dalam tangki.

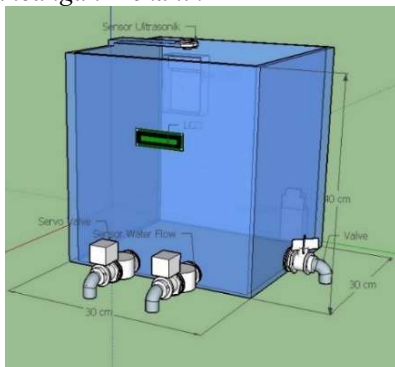


Gambar 1. Diagram blok sistem

Prinsip kerja dari alat ini adalah dengan memanfaatkan sensor ultrasonik sebagai pendeteksi ketinggian air didalam tangki yang keluarannya akan ditampilkan melalui LCD 16x2cm yang akan menampilkan berapa jumlah volume yang sesuai dengan *setpoint* pada tangki. Ada juga pompa air dc 12V yang digunakan untuk memompa air ke dalam tangki apabila air sudah kurang dari *setpoint*, pompa air akan menghasilkan *feedback* terhadap pembacaan dari sensor ultrasonik. ESP32 yang berfungsi sebagai mikrokontroler untuk mengolah data berupa *setpoint* untuk tangki air dan *setpoint* untuk keluaran level air pada *valve*. Kemudian sensor *water flow* digunakan untuk mendeteksi keluaran level air yang akan diatur menggunakan

motor servo yang akan disambungkan dengan *ball valve*. Servo *valve* akan bekerja sesuai dengan *setpoint* jumlah air yang melalui sensor *water flow*. Keluaran dari sensor *water flow* juga akan ditampilkan melalui LCD 16x2cm yang akan menampilkan jumlah *flow* yang keluar melalui *valve*. Selain ditampilkan melalui LCD 16x2cm, *setpoint* tangki dan *flow* dapat dilihat secara *realtime* melalui aplikasi *blynk*. Pada alat ini peran mikrokontroler sangat penting dalam pengaturan *setpoint* volume air, level air, dan penstabilannya. Hal tersebut dikarenakan pada mikrokontroler yang digunakan yaitu ESP32 sangat mempengaruhi dalam pengambilan keputusan kepada pompa air yang akan mengisi tangki dan servo *valve* yang akan mengeluarkan *flow*. Mikrokontroler memiliki tanggung jawab besar terhadap semua proses yang terjadi pada alat monitoring dan kontrol level air ini untuk menjaga kestabilan sistem.

C. Perancangan Mekanik



Gambar 2. Tampak depan tangki

Spesifikasi Mekanik

1. Panjang : 30 cm
2. Lebar : 30 cm
3. Tinggi : 45 cm
4. Kapasitas Air : 36 Liter
5. Bahan : Akrilik

D. Perancangan Elektronik

Dalam perancangan implementasi sistem kontrol PID pada monitoring dan kontrol level air pada pengelolaan sumber daya air berbasis ESP32 ini, terdapat spesifikasi elektronik diantaranya:

- a. Tegangan Input : 12 VDC

- b. Arus : 10 A
- c. Daya : 82 W
- d. Mikrokontroler : ESP32
- e. Tegangan Mikrokontroler : 5 VDC

Dalam perancangan elektronik terdapat beberapa hal yang perlu dirancang, diantaranya:

1. Perancangan Sensor Ultrasonik

Pada sistem alat monitoring dan kontrol level air ini dibutuhkan input berupa nilai *setpoint* dari pembacaan sensor ultrasonik agar pengguna dapat mengatur kebutuhan air sesuai dengan kebutuhan.

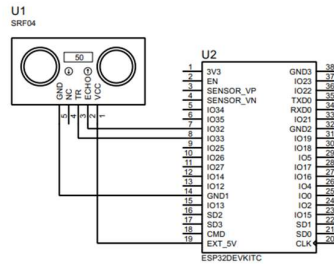
Sensor ultrasonik yang digunakan disini adalah HC-SRF05 yang memiliki kemampuan 2 cm hingga 450 cm. Sensor ini akan bekerja di tegangan 5V. Dengan tangki air yang memiliki ketinggian 45cm, maka sensor ini akan bekerja dengan memancarkan gelombang ultrasonik yang dikirimkan oleh pin *trig* ke arah objek dan kemudian menerima gelombang pantulan dari objek tersebut yang akan dibaca oleh pin *echo*. *Trigger* (pin *trig*) akan menghasilkan pulsa output *HIGH* setelah memancarkan gelombang ultrasonik dan setelah gelombang pantulan terdeteksi maka pin *Trig* akan membuat output *LOW*. Lamanya waktu yang ditempuh akan sesuai dengan lebar pulsa *HIGH* dari gelombang ultrasonik untuk 2 kali jarak ukur dengan objek. ESP32 menerima data dalam bentuk pulsa digital yang kemudian dikonversi menjadi jarak dengan perhitungan di dalam mikrokontroler yang dapat dihitung menggunakan rumus:

$$\text{Jarak} = \frac{\text{kecepatan suara} \times \text{waktu pantul}}{2} \quad (1)$$

Dimana kecepatan suara diudara sekitar adalah 344 m/s atau 0,0344 cm/ μ s maka didapatkan:

$$\text{Jarak} = \frac{0,0344 \times \text{waktu pantul}}{2} \quad (2)$$

Berikut pada gambar 4 merupakan desain skematik rangkaian sensor ultrasonik.



Gambar 3. Rangkaian skematik sensor ultrasonik

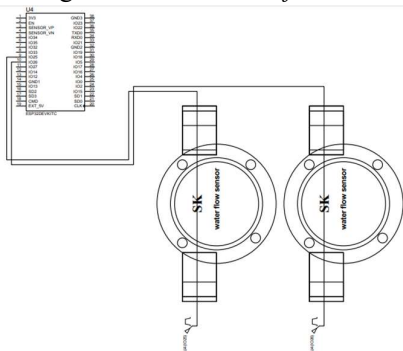
2. Perancangan Sensor Water Flow

Pada sistem alat monitoring dan kontrol level air ini dibutuhkan juga input berupa nilai setpoint dari pembacaan sensor *water flow* agar pengguna dapat mengatur kebutuhan air yang keluar melalui servo *valve* sesuai dengan kebutuhan. Sensor *water flow* merupakan sensor yang digunakan untuk mengukur laju aliran air dalam sebuah sistem. Sensor *flow* digunakan sebagai input untuk membuka dan menutup servo *valve* sesuai dengan *setpoint* yang telah ditentukan. Sensor *water flow* memiliki 3 buah pin, yaitu pin vcc, ground, dan data.

Sensor *water flow* yang digunakan disini adalah YF-S201, yang bekerja pada tegangan 5V. Data dari sensor YF-S201 terhubung ke pin digital ESP32 yang mana pembacaan dari pin digital ESP32 berada pada *range* 0-5V. Tegangan 0-5V ini akan dikonversi menjadi nilai ADC oleh ESP32 0-2048. Nilai ADC kemudian akan dikonversi menjadi *flow rate* (L/min) dengan rumus:

$$\text{Flow Rate} = \frac{\text{Nilai ADC} - \text{Nilai Offset}}{\text{Faktor Kalibrasi}} \quad (3)$$

Berikut pada gambar 5 merupakan desain skematik rangkaian sensor *water flow*.



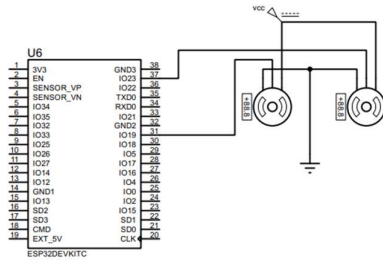
Gambar 4. Rangkaian skematik *sensor water flow*

3. Perancangan Servo Valve

Pada sistem alat monitoring dan kontrol level air ini dibutuhkan output berupa keluaran melalui servo MG996R yang di *couple* dengan valve. Servo MG996R merupakan jenis servo motor yang digunakan untuk mengatur aliran air yang akan keluar melalui *valve* dengan presisi tinggi. Servo valve digunakan sebagai output yang menerima sinyal kontrol dari sensor *water flow* yang selanjutnya katup *valve* akan membuka sesuai dengan sinyal kontrol dari motor servo.

Servo MG996R bekerja pada tegangan 4.8V-7.2V, tetapi pada sistem ini akan disambungkan ke pin vcc pada ESP32 dengan tegangan maksimal yaitu 3.3V. Motor ini akan berputar terus menerus dengan pengaturan sebagai berikut: sudut 0° dalam program akan menyebabkan motor berputar berlawanan arah jarum jam (*Counter Clockwise*), sudut 90° dalam program akan menghentikan putaran motor, dan sudut 180° dalam program akan menyebabkan motor berputar searah jarum jam (*Clockwise*). Pengaturan sudut di antara nilai-nilai tersebut akan menentukan kecepatan putarannya. Oleh karena itu, pada motor servo tipe rotasi kontinyu ini, tidak memungkinkan untuk mengatur motor agar bergerak ke sudut tertentu yang diinginkan.

Sensor *water flow* digunakan untuk memberikan umpan balik kepada motor servo MG996R tentang jumlah air yang mengalir. Umpan balik tersebut kemudian dapat digunakan untuk mengendalikan sudut putaran motor servo. Sudut putaran servo ini diatur sedemikian rupa sehingga aliran air yang diukur oleh sensor *water flow* sesuai dengan nilai yang diinginkan. Dengan menggunakan sensor *water flow* untuk mengontrol sudut putaran motor servo MG996R, maka sistem akan dibuat lebih otomatis dan presisi. Berikut pada gambar 6 merupakan desain skematik rangkaian servo.



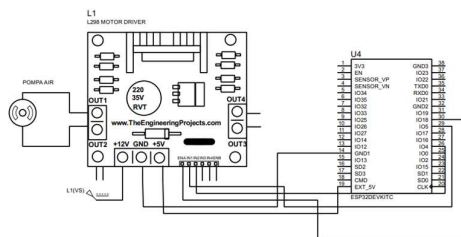
Gambar 5. Rangkaian skematik servo valve

4. Perancangan Pompa Otomatis

Pada sistem alat monitoring dan kontrol level air ini dibutuhkan output berupa pompa air otomatis yang terhubung dengan modul motor *driver* LN298N. Modul motor driver LN298N digunakan karena memiliki kemampuan untuk mengatur kecepatan motor (pompa air) secara otomatis.

Modul L298N akan bekerja pada tegangan 5V-12V, dengan pompa air yang digunakan pada sistem ini menggunakan tegangan 12V, maka diperlukan catu daya yang terpisah untuk menyuplai daya ke pompa dan ke modul LN298N.

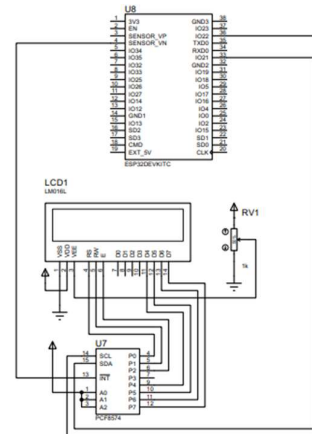
Pompa air yang terhubung dengan modul L298N akan menyala secara otomatis apabila modul L298N digunakan bersama dengan sensor ultrasonik.. Data ketinggian air dari sensor ultrasonik akan dikirimkan ke mikrokontroler yang kemudian mikrokontroler akan membandingkan ketinggian air yang diukur dengan nilai ketinggian air yang diinginkan (*setpoint*). Jika ketinggian air lebih rendah dari *setpoint*, mikrokontroler akan mengirimkan sinyal ke modul L298N. Modul L298N akan mengaktifkan pompa air untuk mengisi air ke dalam tangki. Jika ketinggian air mencapai *setpoint*, mikrokontroler akan mengirim sinyal ke modul L298N untuk mematikan pompa air. Berikut pada gambar 6 merupakan desain skematik pompa air otomatis.



Gambar 6. Rangkaian skematik pompa air otomatis

5. Perancangan LCD dan I2C

LCD 16x2 ini berfungsi untuk monitoring sekaligus penampil data dari pembacaan sensor jarak, sensor *flow*, dan servo motor. LCD 16x2 ini dilengkapi dengan modul I2C yang digunakan untuk mempermudah koneksi antara mikrokontroler (ESP32) dengan layer LCD. Rangkaian LCD diintegrasikan dengan sebuah modul konversi yang memungkinkannya untuk berkomunikasi melalui protokol I2C yang terdapat 4 pin yang akan terhubung ke mikrokontroler agar rangkaian dapat berjalan, keempat pin tersebut yaitu, VCC, SCL, SDA, dan GND. Berikut pada gambar 7 merupakan desain skematik rangkaian LCD dan modul I2C.



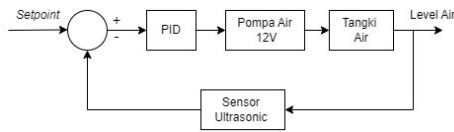
Gambar 7. Rangkaian skematik LCD 16x2 dan modul I2C

E. Perancangan Software

Pada perancangan *software* akan membahas perancangan kontrol PID dan perancangan aplikasi *blinky*.

1. Perancangan kontrol PID

Pada perancangan *software* menjelaskan alur dari pembuatan program yang digunakan untuk mengontrol pompa air dengan metode kontrol PID. Dimana penentuan K_p , K_i , dan K_d berdasarkan metode *Ziegler-Nichols* yang diterapkan pada sistem. Berikut merupakan blok diagram PID :

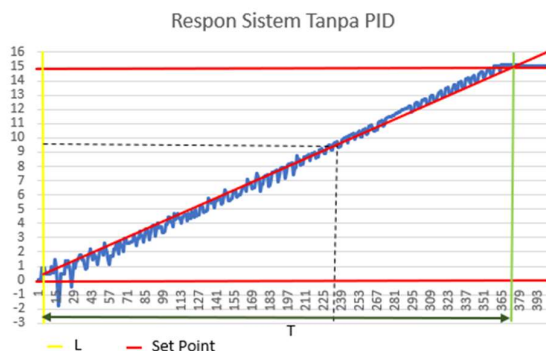


Gambar 8. Diagram blok kontrol PID 1

Penjelasan tentang gambar 8 diatas adalah sebagai berikut:

- Input terdiri dari *setpoint* level air hasil pembacaan dari sensor ultrasonik.
- Pada proses terdapat kontrol PID yang digunakan untuk mengontrol *plant* berupa tangka air agar level didalamnya stabil.
- Modul *driver* motor LN298N digunakan untuk mengontrol pompa air, agar apabila pembacaan sensor ultrasonik kurang dari *setpoint*, maka pompa air akan otomatis menyala
- Sensor Ultrasonik SRF05 digunakan untuk mengetahui ketinggian air yang akan dipompa oleh pompa air 12V menuju ke dalam tangki air sebagai *plant*.

Perancangan parameter kontrol PID bertujuan untuk menentukan nilai K_p , K_i , dan K_d yang cocok dengan sistem dengan melihat grafik respon sistem. Kontrol PID digunakan agar alat dapat mencapai *setpoint* dari level air yang diinginkan. Perancangan Parameter kontrol PID menggunakan metode *Ziegler-Nichols* dan *tunning* manual yang digunakan sebagai pembanding. Berikut pada gambar 9 adalah hasil respon dari alat tanpa kontrol:



Gambar 9. Grafik pengujian sensor ultrasonik tanpa kontrol

Hasil dari respon terlihat bahwa kurva responnya berupa kurva S, maka metode PID yang digunakan yaitu metode *Ziegler-Nichols* 1 menggunakan perhitungan seperti pada tabel berikut:

Tabel 1. Tunning PID *Ziegler-Nichols* 1.

Tipe Kontrol	K_p	T_i	T_d
P	T/L	-	0
PI	0.9 T/L	L/0.3	0
PID	1.2 T/L	2L	0.5L

Keterangan:

L= Delay Time

T= Konstanta Waktu Tunda

Berdasarkan hasil percobaan diatas pada gambar, dapat diperoleh nilai T pada sistem kontrol level air sebesar 368s dan nilai L sebesar 4s. Nilai tersebut dimasukkan ke dalam rumus perhitungan PID dengan metode *Ziegler-Nichols* 1. Berikut adalah perhitungan untuk mendapatkan nilai K_p , T_i , dan T_d pada sistem kontrol level air:

$$K_p = 1.2 \times \frac{T}{L} \quad (3)$$

$$= 1.2 \times \frac{368}{4} = 110,4$$

$$T_i = 2. L \quad (4)$$

$$= 2 \times 4 = 8$$

$$T_d = \frac{L}{2} \quad (5)$$

$$= \frac{4}{2} = 2$$

Setelah diketahui nilai K_p , T_i , dan T_d maka untuk mencari K_i dan K_d :

$$K_i = \frac{K_p}{T_i} \quad (6)$$

$$= \frac{110,4}{8} = 13,8$$

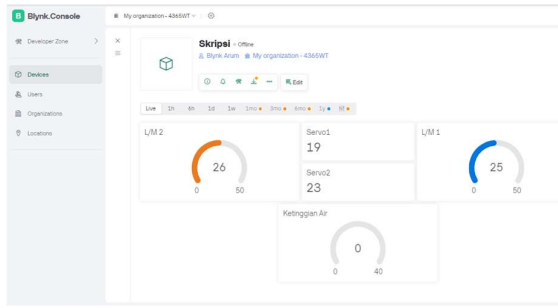
$$K_d = K_p \times T_d \quad (7)$$

$$= 110,4 \times 2 = 220,8$$

Dari perhitungan PID sistem kontrol diatas maka didapatkan nilai $K_p=110,4$, $K_i=13,8$, dan $K_d=220,8$.

2. Perancangan Aplikasi Blynk

Sistem monitoring juga dilakukan secara *real-time* dan dapat dilakukan sistem monitoring jarak jauh, menggunakan aplikasi *blynk*. Monitoring ini berguna untuk meningkatkan efisiensi dan keandalan sistem secara keseluruhan. Apabila terjadi *error* pada sistem, dapat langsung ditangani dengan monitoring jarak jauh ini tanpa harus melihat langsung pada alat.



Gambar 10. Tampilan aplikasi *Blynk*.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

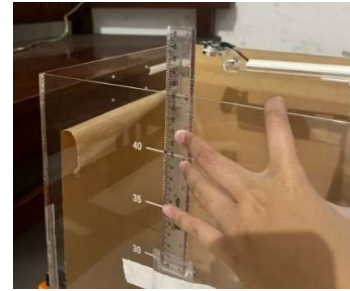
A. Pengujian Sensor Ultrasonik

Dilakukan pengujian dalam pengukuran rangkaian sensor ultrasonik dengan penggaris 45 cm. Berikut merupakan tabel 2 pengukuran dari sensor ultrasonik HC-SRF05.

Tabel 2. Hasil pengujian sensor ultrasonik

No.	Pengukuran Oleh Penggaris (cm)	Pengukuran Oleh Sensor Ultrasonik (cm)	Error (%)
1.	0	2	0%
2.	5	4.87	2,6%
3.	10	10	0%
4.	15	14.47	3,53%
5.	20	19.76	1,2%
6.	25	24.82	0,72%
7.	30	29.22	2,6%
8.	35	34.22	2,23%
9.	40	39.22	1,95%
10.	45	42.77	4,96%
	Rata-rata Error (%)	1,979%	

Dari hasil pengujian didapat bahwa jarak hasil pengujian pada penggaris dan sensor terdapat rata-rata *error* 1,97%. Berdasarkan karakteristik dari sensor ultrasonik HC-SRF05 dapat menghitung dengan rentang 2 cm – 450 cm, sedangkan dari data hasil pengujian didapat bahwa untuk jarak 0 cm menghasilkan pembacaan 2 cm. Kemudian pada pengukuran 45 cm terdapat *error* yang besar dibandingkan dengan pengukuran lainnya. Secara umum, semakin jauh jarak yang diukur, semakin besar pula kesalahan. Perbedaan jarak dari hasil pengujian dengan jarak sesungguhnya dapat disebabkan oleh *noise*. Berikut dapat dilihat pada gambar 11 gambar percobaan sensor ultrasonik.



Gambar 11. Percobaan sensor ultrasonik

B. Pengujian Pompa Air dan Modul L298N

Tabel 3. Hasil pengujian sensor ultrasonik dan pompa air

No.	Ketinggian Air (cm)	Keadaan Pompa
1.	0 cm	Pompa ON
2.	3 cm	Pompa ON
3.	4.67 cm	Pompa ON
4.	14.47	Pompa ON
5.	19.76	Pompa OFF

Dari hasil pengujian didapatkan bahwa apabila ketinggian air yang terbaca oleh sensor ultrasonik dibawah setpoint pompa air akan menyala secara otomatis, hingga mencapai *setpoint* yaitu 15cm. Apabila ketinggian air sudah mencapai *setpoint* maka apabila ketinggian air diatas 15cm pompa akan dalam keadaan mati.

C. Pengujian Sensor Water Flow

Tabel 4. Hasil pengujian sensor *water flow*.

No.	Pengukuran menggunakan Gelas Ukur (ml)	Pengukuran menggunakan Sensor Water Flow (ml)	Error(%)
1.	50	70	40%
2.	100	110	10%
3.	150	165	10%
4.	200	220	10%
5.	250	270	8%
6.	300	325	8,33%
7.	350	370	4,29%
8.	400	415	3,75%
9.	450	480	6,67%
10.	500	590	18%
	Rata-rata		11,9%

Dari hasil pengujian didapat bahwa jarak hasil pengukuran dari gelas ukur dan sensor terdapat perbedaan dan terdapat *error* 8%-40%, Dengan rata-rata *error* 11,9%.

D. Pengujian Servo Valve

Tabel 5. Hasil pengujian servo MG996R

No	Sudut Pengujian (°)	Sudut Pengukuran (°)	Error (%)
1.	0°	0°	0%
2.	15°	15°	0%
3.	30°	30°	0%
4.	45°	47°	4,4%
5.	60°	60°	0%
6.	75°	78°	4%
7.	90°	90°	0%
8.	105°	105°	0%
9.	120°	117°	2,5%
10.	135°	125°	7,41%
11.	150°	138°	8%
12.	165°	155°	6,06%
13.	180°	165°	8,33%
Rata-Rata Error			(%) 3,13%

Berdasarkan hasil pengujian menurut program dan hasil pengujian menurut dengan pengukuran menggunakan penggaris busur, didapatkan bahwa terjadi rata-rata *error* sebesar 3,13% dengan *error* terbesar terjadi pada sudut 150°-180°. Semakin besar sudut yang diukur oleh servo maka terjadi *error* yang semakin besar juga, dikarenakan *gear* pada servo memiliki sedikit kelonggaran, yang dapat menyebabkan ketidakakuratan posisi ketika servo bergerak ke sudut yang lebih besar. Dapat dilihat pada gambar merupakan gambar 12 perbandingan servo dengan penggaris busur.



Gambar 12. Hasil pengukuran servo MG996R dengan penggaris busur.

E. Pengujian LCD 16x2 dan modul I2C

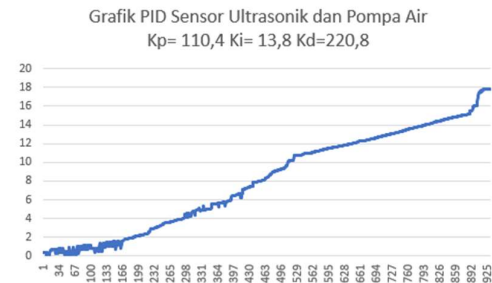


Gambar 13. Hasil pengujian LCD 16x2 cm dan modul I2C

Berdasarkan hasil pengujian menunjukkan menunjukkan bahwa LCD 16x2cm dan I2C berjalan dengan baik sesuai dengan program yang telah dituliskan.

F. Pengujian Kontrol PID 1

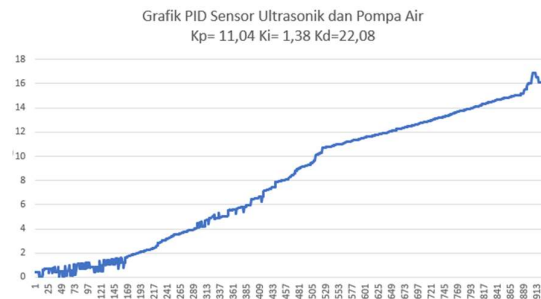
1. Metode Ziegler-Nichols 1



Gambar 14. Grafik menggunakan metode Ziegler-Nichols 1.

Berdasarkan hasil pengujian menggunakan metode *Ziegler-Nichols*, dari grafik respon pengendalian kontrol PID menunjukkan sistem melebihi *setpoint* yang diinginkan. *Setpoint* diatur yaitu 15cm, sedangkan sistem menunjukkan pengukuran 17,8cm. Maka dari itu perlu untuk melakukan *trial and error* berdasarkan nilai Kp, Ki, dan Kd dari metode *Ziegler-Nichols* sebagai acuan untuk mendapatkan hasil akhir sesuai dengan *setpoint*.

2. Metode Trial and Error Pertama

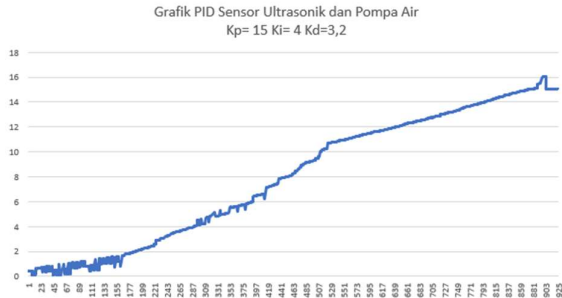


Gambar 15. Grafik menggunakan metode *trial and error* pertama.

Berdasarkan hasil pengujian menggunakan metode *Ziegler-Nichols*, dari grafik respon pengendalian kontrol PID menunjukkan sistem melebihi *setpoint* yang diinginkan. *Setpoint* diatur yaitu 15cm, sedangkan sistem menunjukkan pengukuran 16,1cm. Maka dari itu perlu untuk melakukan *trial and error* berdasarkan nilai Kp, Ki,

dan K_d dari metode *Ziegler-Nichols* sebagai acuan untuk mendapatkan hasil akhir sesuai dengan *setpoint*.

3. Metode Trial and Error Kedua



Gambar 15. Grafik menggunakan metode *trial and error* kedua.

Berdasarkan hasil pengujian menggunakan metode *Ziegler-Nichols*, dari grafik respon pengendalian kontrol PID menunjukkan sistem melebihi *setpoint* yang diinginkan. *Setpoint* diatur yaitu 15cm, sedangkan sistem menunjukkan pengukuran 15,01cm. Maka dari itu perlu untuk melakukan *trial and error* berdasarkan nilai K_p , K_i , dan K_d dari metode *Ziegler-Nichols* sebagai acuan untuk mendapatkan hasil akhir sesuai dengan *setpoint*.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari teori, perancangan, dan pengujian yang telah dibahas pada bab-bab sebelumnya dapat diambil beberapa kesimpulan, yakni:

1. Dalam perancangan sistem monitoring dan kontrol level air dibuat sistem kontrol PID untuk mengontrol level air pada tangki air dan level air yang keluar pada servo *valve*. Mekanik alat ini menggunakan akrilik dengan panjang 30cm, lebar 30cm dan tinggi tangki 45 cm. Sistem ini menggunakan aktuator pompa 12V dan servo MG996R yang dikendalikan dengan mikrokontroler ESP32 yang mendapatkan input dari sensor ultrasonic dan sensor *water flow*.
2. Berdasarkan karakteristik dari sensor ultrasonik HC-SRF05 dapat menghitung dengan rentang 2 cm – 450 cm Pada percobaan terdapat rata-rata error 1,97%. Secara umum, semakin jauh jarak yang diukur, semakin besar pula kesalahan. Perbedaan jarak dari hasil pengujian dengan

jarak sesungguhnya dapat disebabkan oleh *noise* yang disebabkan riak air, lingkungan yang berisik, dan pencahayaan.

3. Pompa air dapat diatur nyala matinya sesuai dengan pembacaan sensor ultrasonic menggunakan modul L298N.
4. Pada percobaan servo valve didapatkan bahwa terjadi rata-rata *error* sebesar 3,13%. Semakin besar sudut yang diukur oleh servo maka terjadi *error* yang semakin besar juga, dikarenakan gear pada servo memiliki sedikit kelonggaran, yang dapat menyebabkan ketidakakuratan posisi ketika servo bergerak ke sudut yang lebih besar. Kemudian *gear* plastik berkualitas rendah dapat memiliki lebih banyak ketidakakuratan dibandingkan dengan gear yang berkualitas tinggi.
5. Tuning kontrol PID menggunakan metode tuning manual berdasar metode *Ziegler-Nichols* sebagai acuan didapat nilai $K_p=15$, $K_i=4$ cm, dan $K_d=3,2$ untuk PID pada sensor ultrasonik dan pompa air. Dengan menghasilkan *rise time* 872s, *delay time* 462s, *peak time* 42s, *overshoot* sebesar 6,7%, dan *settling time* 38s.

Rancangan yang dibuat ini masih perlu adanya perbaikan agar bekerja secara optimal. Ada beberapa hal yang disarankan untuk pengembangan lebih lanjut diantaranya:

1. Dapat dipertimbangkan untuk pembacaan yang lebih akurat dapat digunakan sensor dengan kualitas yang lebih tinggi.
2. Dapat dipertimbangkan untuk penggunaan servo dengan kualitas diatas plastik agar lebih akurat dalam bukaan sudutnya.
3. Dapat menggunakan tangki air yang tidak transparan dan dilakukan pada lingkungan yang tidak bising agar pembacaan sensor ultrasonik lebih akurat.
4. Dapat digunakan metode kendali yang berbeda seperti *fuzzy* untuk melihat metode kendali kontrol mana yang lebih stabil dan lebih cepat dalam mengontrol level air.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih penulis ucapkan kepada orang tua atas doa dan restunya yang tiada henti

serta memberikan semangat, dukungan, serta motivasi dengan penuh kesabaran mendidik penulis selama ini. Bapak Sidik Nurcahyo dan Ibu Hari Kurnia Safitri selaku dosen pembimbing yang senantiasa membimbing penulis pada penulisan jurnal dan skripsi. Sahabat dan teman-teman yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu namanya yang telah membantu dan mendukung penulis selama perkuliahan.

REFERENSI

- [1] A. Amin, "MONITORING WATER LEVEL CONTROL BERBASIS ARDUINO UNO MENGGUNAKAN LCD LM016L," vol. 1, 2018.
- [2] R. Oktaviana, P. W. Rusimamto, and M. S. Zuhrie, "Rancang Bangun Sistem Kendali Water Level Berbasis IoT dengan Metode PID Controller," vol. 11, 2022.
- [3] M. N. F. Muizz and B. Suprianto, "RANCANG BANGUN PENGENDALIAN LEVEL AIR OTOMATIS PADA TANGKI DENGAN SERVO VALVE BERBASIS PID CONTROLLER," vol. 08, 2019.
- [4] V. Yuliaminuddin, Krismes, and J. Bintoro, "PROTOTIPE SISTEM KONTROL DAN MONITORING PADA TANGKI AIR BERBASIS INTERNET OF THINGS," *Autocracy J. Otomasi Kendali Dan Apl. Ind.*, vol. 7, no. 1, pp. 27–34, Jun. 2021, doi: 10.21009/autocracy.071.5.
- [5] L. Safitri and N. Prasetyo, "Sistem Water Level Otomatis Berbasis Mikrokontroler Dan Sms Gateway," 2020.
- [6] A. A. Ridowi, R. F. Rizal, and F. Yumono, "PROTOTYPE KONTROL TEKANAN AIR MENGGUNAKAN SENSOR PRESSURE TRANSDUSER UNTUK KERJA POMPA AIR BERBASIS ARDUINO," vol. 05, no. 01, 2023.
- [7] Y. R. Sujono, E. S. Budi, and I. Nugrahanto, "Modul Pengaturan Motor Pompa DC Metode PID pada Sistem Kontrol Ketinggian Air berbasis Arduino," vol. 10, 2023.
- [8] A. D. S. Sukowati, "Sistem Kendali PID Aplikasi Mini Plant Water Flow Berbasis Arduino," *J. Elektron. Dan Otomasi Ind.*, vol. 10, no. 3, Nov. 2023, doi: 10.33795/elkolind.v10i3.3677.
- [9] H. A. Pramodya, B. Priyadi, and M. Luqman, "Implementasi Kontrol PID Untuk Mengontrol Suhu dan Level Pada Alat Vending machine," *J. Elektron. Dan Otomasi Ind.*, vol. 10, no. 1, pp. 18–25, May 2023, doi: 10.33795/elkolind.v10i1.2745.
- [10] P. P. Kalatiku, "SISTEM PENGENDALIAN PID YANG DIAPLIKASIKAN PADA PENGENDALIAN STEAM TURBIN DENGAN SINGEL VARIABLE INPUT DAN SINGEL OUTPUT," vol. 9, no. 2.
- [11] M. Khalid, F. Fathoni, and A. Murtono, "Implementasi Kontrol PID untuk Pengaturan Kecepatan Motor DC pada Proses Pengupasan Bawang Merah," *J. Elektron. Dan Otomasi Ind.*, vol. 9, no. 3, p. 168, Sep. 2022, doi: 10.33795/elk.v9i3.351.
- [12] Eka Candra Wijaya, Iwan Setiawan, ST. MT, and Wahyudi, ST. MT, "Auto Tuning PID berbasis Metode Osilasi Ziegler-Nichols menggunakan Mikrokontroler AT89S52 pada pengendalian Suhu," *Jur. Tek. Elektro Fak. Tek. Univ. Diponegoro*.
- [13] W. Aulia Nurwicaksana, S. Riskitasari, D. Ayu Permatasari, Fitri, and W. Tri Wahono, "Optimisasi Sistem Pengisian Tangki Air Otomatis Menggunakan Kontrol PID untuk Menjaga Kestabilan Ketinggian Air," *J. Elektron. Dan Otomasi Ind.*, vol. 11, no. 1, pp. 246–252, May 2024, doi: 10.33795/elkolind.v11i1.5408.
- [14] A. Sutanto and H. Tanudjaja, "PENERAPAN KONTROLER PID PADA SISTEM PENGATUR KETINGGIAN AIR BERBASIS LABVIEW".