

# Sistem PID untuk Pengaturan Aliran Air pada Dua Tangki Penampungan

## The PID System for Water Flow Control in Two Storage Tanks

Kartika<sup>1</sup>, M. Fathan Naqi<sup>1</sup>, Misbahul Jannah<sup>1</sup>, Misriana<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Teknik Elektro, Universitas Malikussaleh, Lhokseumawe, Indonesia.

<sup>2</sup> Teknik Elektro Politeknik Negeri Lhokseumawe Indonesia. email: [kartika@unimal.ac.id](mailto:kartika@unimal.ac.id)

[Dikirimkan: 28 November 2024, Direvisi: 20 Mei 2025, Diterima: 26 Mei 2025]

Corresponding Author: Kartika

**INTISARI** — Pengelolaan distribusi air yang stabil dan efisien merupakan tantangan utama dalam sistem penyimpanan air, terutama dalam menghadapi kebutuhan yang bervariasi dan dinamis di berbagai sektor. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem kendali aliran air berbasis Proportional-Integral-Derivative (PID) guna menjaga kestabilan laju aliran serta level air dalam tangki penampungan secara otomatis dan presisi. Sistem yang dikembangkan memanfaatkan sensor ultrasonik HC-SRF04 untuk memantau ketinggian air dengan akurasi pengukuran mencapai 99,77%, serta sensor aliran YF-S201 untuk mendeteksi laju aliran air dengan tingkat akurasi sangat tinggi, yakni 99,997%. Seluruh sensor diintegrasikan dan dikendalikan oleh mikrokontroler Arduino Uno sebagai pusat pemrosesan data dan pengendali sistem. Pengaturan kecepatan pompa air dilakukan melalui sinyal Pulse Width Modulation (PWM) yang dihasilkan berdasarkan algoritma PID, dengan setpoint laju aliran sebesar 4 liter per menit (LPM). Penentuan parameter optimal PID dilakukan menggunakan metode tuning Ziegler-Nichols, menghasilkan konstanta kendali  $K_p = 12.96$ ,  $T_i = 1.102$  detik, dan  $T_d = 0.2755$  detik. Hasil pengujian menunjukkan sistem mampu mencapai waktu naik (rise time) sebesar 0,296 detik, dengan overshoot awal sebesar 2,5% dan waktu pemantapan (settling time) selama 10 detik. Dengan performa ini, sistem diharapkan dapat berkontribusi pada peningkatan efisiensi serta mendukung otomatisasi pengelolaan air di berbagai aplikasi, termasuk industri, pertanian, dan rumah tangga, dengan respons yang cepat dan stabil dalam mempertahankan setpoint aliran.

**ABSTRACT** — The stable and efficient management of water distribution remains a critical challenge in water storage systems, especially in applications requiring precise flow control. This study aims to design and implement a water flow control system based on the Proportional-Integral-Derivative (PID) algorithm to maintain stable flow rates and water levels in a storage tank. The system employs an HC-SRF04 ultrasonic sensor to monitor water level with an accuracy of 99.77%, and a YF-S201 flow sensor to measure water flow rate with an exceptional accuracy of 99.997%. All components are integrated and controlled by an Arduino Uno microcontroller, the system's core processing unit. Flow rate regulation is achieved using Pulse Width Modulation (PWM) to control the water pump, driven by the PID algorithm with a target flow rate (setpoint) of 4 liters per minute (LPM). The optimal PID parameters are obtained using the Ziegler-Nichols tuning method, yielding the constants  $K_p = 12.96$ ,  $T_i = 1.102$  seconds, and  $T_d = 0.2755$  seconds. Experimental results show that the system achieves a rise time of 0.296 seconds, an initial overshoot of 2.5%, and a settling time of 10 seconds. This system demonstrates strong potential to support water management efficiency and automation across industrial, agricultural, and household applications, offering fast and stable control responses to maintain flow rate setpoints under dynamic conditions.

**KATA KUNCI** — Sensor ultrasonik hc-srf04, Sensor yf-s201, Kontrol pid, Arduino uno, Laju aliran air, Level ketinggian air, Tangki penampungan air

### I. PENDAHULUAN

Air sangat penting dalam kehidupan sehari-hari dan digunakan di berbagai sektor seperti industri, pertanian, dan rumah tangga. Pemantauan kecepatan aliran air diperlukan untuk menjaga efisiensi dan mencegah pemborosan. Penggunaan teknologi, seperti mikrokontroler Arduino Uno yang terintegrasi dengan sensor aliran air, memungkinkan akuisisi data kecepatan aliran air secara real time. Sistem akuisisi data ini sangat penting dalam industri untuk mengumpulkan informasi yang berguna dalam pengendalian proses, terutama untuk memantau parameter aliran air (fluida) [1], [2], [3], [4].

Penelitian ini membahas penggunaan sensor ultrasonik HC-SRF04 untuk mengukur ketinggian cairan dan sensor aliran YF-S201 untuk mengukur kecepatan aliran air dengan Arduino. Sistem ini memungkinkan pengaturan distribusi air secara akurat. Arduino Uno yang terhubung dengan sensor aliran YF-S201 memberikan data real-time tentang laju dan volume aliran air [5], [6]. Sensor HC-SRF04 digunakan untuk mengukur ketinggian cairan, mencegah kelebihan atau kekurangan pengisian air. Data dari kedua sensor dapat dianalisis untuk pengendalian manajemen air [7], [8].

Memastikan stabilitas dan efisiensi aliran air, kontrol PID (Proportional-Integral-Derivative) dapat digunakan [9]. PID memungkinkan penyesuaian kecepatan aliran agar sesuai dengan setpoint, mengatasi perubahan beban [10]. Dengan PID, Arduino mengatur PWM pada pompa untuk menjaga laju aliran sesuai target, berdasarkan data dari sensor YF-S201, sehingga aliran lebih



stabil dan efisien, mengurangi pemborosan, serta meningkatkan kontrol distribusi air [11]. Integrasi sensor YF-S201, HC-SRF04, dan PID memberikan solusi pengelolaan air yang efisien dan mendukung keberlanjutan sumber daya air.

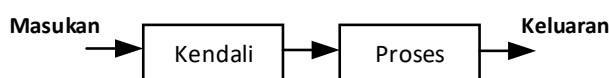
## II. LANDASAN TEORI

### A. AIR

Air termasuk dalam kategori zat cair karena memiliki sifat fisik yang memungkinkannya mengalir dari satu tempat ke tempat lain. Zat yang dapat mengalir dan dapat memberikan sedikit hambatan terhadap perubahan bentuk ketika ditekan, baik dalam bentuk air atau gas, disebut air [12]. Pembangunan Sektor Air (SDA) pada hakikatnya adalah upaya untuk memenuhi kebutuhan air; oleh karena itu, sangat penting untuk menggunakan air secara bijaksana dan menjaga kelestarian sumber daya air.

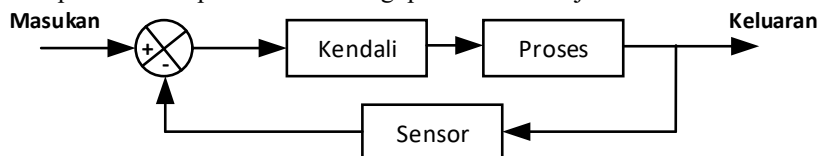
### B. SISTEM KENDALI

Sistem kendali adalah sekumpulan komponen yang saling bekerja sama untuk mencapai tujuan tertentu dalam suatu proses [29]. Pada dasarnya, sistem kendali dibagi menjadi dua jenis utama, yaitu sistem kendali loop terbuka dan sistem kendali loop tertutup, yang masing-masing memiliki karakteristik dan cara kerja yang berbeda. Sistem kendali loop terbuka adalah sistem di mana keluaran dari sistem tidak mempengaruhi proses kendali yang berlangsung. Dalam sistem ini, sinyal masukan dan keluaran tidak dapat dibandingkan secara langsung, sehingga kinerja sistem sangat tergantung pada kalibrasi yang dilakukan sebelumnya. Kalibrasi ulang sering diperlukan, karena sistem ini tidak dapat mengantisipasi gangguan atau perubahan kondisi yang terjadi selama proses. Sebagai contoh, sistem kendali yang berfungsi berdasarkan pengaturan waktu, seperti yang terlihat pada Gambar 1 [13], adalah contoh dari sistem kendali loop terbuka. Sistem ini bekerja dengan cara yang sederhana, namun memerlukan pemeliharaan yang teliti agar tetap berfungsi dengan baik.



Gambar 1. Sistem Kendali Loop Terbuka

Sistem kendali loop tertutup merupakan sistem kendali umpan balik yang lebih canggih. Pada sistem ini, hubungan antara keluaran yang diinginkan dan masukan sistem dibandingkan secara langsung. Pengontrol menerima sinyal kesalahan, yang merupakan perbedaan antara masukan dan keluaran, dan berusaha untuk mengurangi kesalahan tersebut. Sinyal kesalahan ini bisa berupa keluaran itu sendiri atau fungsi dari keluaran, seperti turunan atau integralnya. Tujuan utama dari pengontrol pada sistem ini adalah untuk mengurangi kesalahan dan mengatur sistem sehingga mencapai kondisi yang diinginkan, di mana keluaran mempengaruhi kontrol yang diterapkan. Contoh penerapan sistem kendali loop tertutup ini dapat dilihat pada Gambar 2 [14], yang menggambarkan bagaimana umpan balik berperan dalam mengoptimalkan kinerja sistem.



Gambar 2. Sistem Kendali Loop Tertutup

Dengan demikian, meskipun kedua jenis sistem kendali ini memiliki peran yang penting dalam berbagai aplikasi, sistem kendali loop tertutup lebih unggul dalam hal kemampuannya untuk mengoreksi kesalahan dan menyesuaikan diri dengan perubahan kondisi yang tidak terduga, sehingga lebih banyak digunakan dalam aplikasi yang memerlukan ketepatan dan keandalan yang tinggi.

### C. LEVEL AIR

Pengukuran dan pengendalian level air dalam tangki sangat penting untuk berbagai aplikasi, mulai dari industri hingga rumah tangga. Level air dalam tangki adalah istilah yang mengacu pada ketinggian permukaan air di dalam sebuah wadah penampung, seperti tangki air. Pengukuran level air adalah untuk mengukur ketinggian air di tempat tertentu. Ini biasanya digunakan untuk mengetahui apakah ukuran level air di dalam tangki sudah tepat atau tidak, dan saat ini juga banyak digunakan untuk mengukur ketinggian air sungai untuk mendeteksi banjir [15].

Pengukuran level air dalam tangki dapat dilakukan dengan berbagai cara, mulai dari metode manual yang sederhana hingga penggunaan teknologi sensor yang lebih canggih. Salah satu cara yang paling sederhana adalah dengan menggunakan pengukur visual, seperti tongkat pengukur atau pelampung sederhana, yang memberikan indikasi visual langsung tentang ketinggian air dalam tangki. Meskipun metode ini tidak memerlukan teknologi canggih, akurasi pengukurannya sangat bergantung pada ketepatan pengamatan dan kondisi fisik alat yang digunakan. Pengukur visual ini sangat berguna untuk tangki dengan ukuran kecil atau dalam situasi yang membutuhkan pemantauan cepat.

Selain itu, ada metode sensor tekanan, yang bekerja dengan mengukur tekanan hidrostatik yang terjadi di dasar tangki. Tekanan ini meningkat seiring dengan bertambahnya ketinggian air di atas sensor, dan sensor tekanan akan mengonversi tekanan tersebut menjadi level air yang dapat dibaca. Metode ini lebih akurat dan sering digunakan pada tangki besar, terutama yang memiliki kedalaman signifikan. Keunggulannya adalah memberikan hasil yang lebih stabil dan dapat diandalkan, meskipun membutuhkan kalibrasi yang tepat.

Metode lainnya adalah dengan menggunakan sensor ultrasonik, yang mengukur level air tanpa kontak langsung dengan permukaan air. Sensor ini memancarkan gelombang ultrasonik dan mengukur waktu yang dibutuhkan gelombang tersebut untuk memantul kembali setelah mengenai permukaan air. Dengan demikian, sensor ultrasonik dapat memberikan pengukuran yang sangat akurat dan bebas dari kontak fisik, mengurangi risiko kerusakan atau kontaminasi pada sensor. Ini sangat ideal untuk tangki

yang sulit dijangkau atau yang berisi bahan yang bisa merusak sensor. Terakhir, sensor kapasitif bekerja dengan mendeteksi perubahan kapasitansi antara dua elektroda yang terendam dalam air. Ketika level air naik atau turun, kapasitansi antara elektroda tersebut juga berubah, dan sensor akan menggunakan perubahan tersebut untuk menentukan level air. Metode ini sangat sensitif terhadap perubahan kecil dalam level air dan bisa digunakan dalam berbagai kondisi, baik untuk tangki kecil maupun besar. Namun, kelemahan dari metode ini adalah ketergantungannya pada jenis air dan kemungkinan adanya material lain yang dapat mempengaruhi kapasitansi. Setiap metode memiliki keunggulan dan keterbatasannya masing-masing, dan pemilihan metode pengukuran level air harus disesuaikan dengan kebutuhan spesifik, ukuran tangki, serta lingkungan tempat pengukuran dilakukan.

#### D. ALIRAN AIR

Aliran air merujuk pada volume zat cair yang mengalir melalui pipa atau sungai, dan umumnya diukur dalam liter per menit (L/min). Laju aliran air ini menggambarkan volume zat cair yang melewati suatu penampang dalam satuan waktu tertentu, dan biasa disebut sebagai aliran air. Pengukuran aliran ini penting untuk memahami bagaimana air bergerak dalam sistem pipa atau sungai. Aliran air dapat diukur dalam berbagai satuan, termasuk liter per detik (L/s), meter kubik per detik ( $m^3/s$ ), galon per menit (GPM), serta liter per menit (L/mnt).

Konversi aliran air adalah proses mengubah satu satuan pengukuran aliran ke satuan lainnya yang setara. Proses ini memungkinkan kita untuk lebih mudah memahami dan membandingkan data aliran air, serta merancang sistem yang lebih efisien. Misalnya, jika kita ingin mengonversi satuan liter per detik ke meter kubik per jam, kita dapat menggunakan rumus konversi yang ada. Konversi ini penting dalam berbagai aplikasi, seperti desain sistem irigasi, distribusi air, atau analisis aliran sungai.

Beberapa konversi aliran air yang sering digunakan antara lain: 1 liter per detik (L/s) setara dengan 3.6 meter kubik per jam ( $m^3/h$ ), 1 meter kubik per detik ( $m^3/s$ ) setara dengan 3.600 liter per detik (L/s), 1 galon per menit (GPM) setara dengan 3.785 liter per menit (L/min), dan 1 liter per menit (L/min) setara dengan 0.264 galon per menit (GPM). Dengan konversi-konversi ini, kita dapat lebih mudah melakukan analisis atau perencanaan yang melibatkan aliran air, serta memastikan desain sistem yang tepat guna.

#### E. ARDUINO UNO

Arduino Uno yaitu board berbasis mikrokontroler ATmega328 yang memiliki 14 pin I/O digital, 6 input analog, osilator kristal 16 MHz, konektor USB, dan tombol reset untuk daya. Untuk mendukung mikrokontroler, pin ini memiliki semua yang diperlukan. Anda dapat menyalakannya dengan adaptor AC-DC atau baterai, atau Anda dapat menggunakan kabel USB untuk menyambungkannya ke komputer [18].

#### F. SENSOR ULTRASONIK HC-SRF04

Sensor ultrasonik HC-SRF04 merupakan sensor yang menggunakan prinsip pemantulan gelombang suara untuk mengubah besaran fisis (suara) menjadi besaran listrik atau sebaliknya setelah dikonversi menjadi jarak. Ini memungkinkan untuk menghitung jarak benda dengan frekuensi tertentu sesuai dengan sumber osilator [19].

#### G. WATER FLOW SENSOR YF-S201

*Water Flow Sensor* merupakan sensor yang digunakan untuk mengukur aliran zat cair pada aliran tertutup seperti pipa atau tabung. Dalam penelitian ini, sensor aliran air YF-S201 menggunakan rotor dan transducer hall-effect untuk mengukur aliran zat cair pada aliran tertutup seperti pipa atau tabung. Cara kerja sensor ini adalah dengan mendeteksi putaran rotor atau turbin ketika air melewatinya. Pulsa digital dihasilkan sebagai hasil dari putaran yang jumlah darinya sebanding dengan banyaknya fluida yang mengalir melaluinya [20].

#### H. SELENOID VALVE

*Solenoid Valve* juga disebut sebagai katup solenoid, memiliki tiga lubang diantaranya lubang masukan, lubang keluaran, dan lubang exhaust. Jenis kumparan ini digerakkan oleh listrik dan menggerakkan piston, yang dapat digerakkan oleh arus AC atau DC. Prinsip kerja dari solenoida valve yaitu katup listrik yang mempunyai koil sebagai penggerakannya di mana ketika koil mendapat supply tegangan maka koil tersebut akan berubah menjadi medan magnet sehingga menggerakkan piston pada bagian dalamnya ketika piston berpindah posisi maka lubang keluaran dari solenoida valve mempunyai tegangan mulai kerja di 12 Vdc [21].

#### I. POMPA AIR DC

Pompa air merupakan alat mekanis yang menggunakan energi kinetik untuk mengangkut fluida dari satu tempat ke tempat lain. Selain itu, pompa ini sangat praktis dan mudah digunakan karena tidak perlu mengisi air pada awalnya [22]. Salah satu keuntungan lainnya adalah bahwa pompa air membutuhkan sekitar 0,5 hingga 0,7 ampere saat bekerja dan sekitar 0,18 ampere saat tidak bekerja. prinsip kerja pompa yaitu membuat tekanan rendah pada bagian hisap, sehingga fluida akan ter hisap masuk dan mengeluarkannya pada sisi tekan atau sisi keluar dengan tekanan yang lebih tinggi, semua itu dilakukan dengan menggunakan elemen pompa penggerak yaitu impeller, plunger atau piston [23].

#### J. Proportional Integral Derivative (PID)

Kontroler proporsional integral derivatif, juga dikenal sebagai PID, digunakan untuk mengukur presisi sistem instrumentasi berdasarkan fitur adanya umpan balik pada sistem. Untuk mengontrol sistem dinamis, PID merupakan salah satu metode kontrol yang paling umum dan berhasil. PID adalah algoritma pengendalian yang menggabungkan tiga komponen pengendalian utama: proporsional (P), integral (I), dan derivatif (D) [24].

### K. ARDUINO IDE

Arduino IDE (*Integrated Development Environment*) merupakan perangkat lunak dengan menggunakan bahasa pemrograman C untuk membentuk perintah pada mikrokontroler. Software Arduino IDE memiliki pengaturan bernama Bootloader yang bertindak sebagai penghubung compiler Arduino dengan mikrokontroler[25].

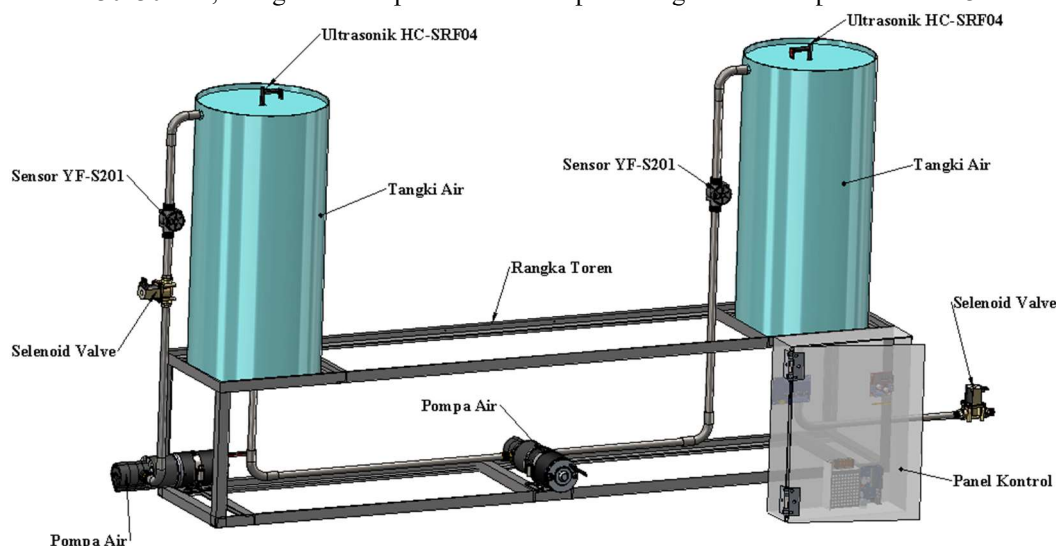
## III. METODE PENELITIAN

### A. ALAT DAN BAHAN

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini melibatkan Tangki air, Arduino UNO R3, Module Driver Motor L298N, Sensor Ultrasonik HC-SRF04, Sensor aliran air YF-S201, Pompa air, Relay, Selenoid valve, Matlab, dan Arduino IDE yang merupakan perangkat keras dan perangkat lunak pada penelitian.

### B. PERANCANGAN MEKANIK

Perancangan mekanik pada penelitian terdiri dari 3 perancangan yaitu perancangan panel kontrol, Perancangan tangki air, dan Perancangan toren tangki. Untuk panel sendiri dibangun dengan bahan akrilik dengan tebal 2mm dan memiliki ukuran 29x21x10 cm. Tangki air digunakan sebagai plant atau wadah penampungan air. Pada penelitian ini menggunakan 2 tangki menggunakan bahan aluminium dengan ukuran tangki air 1 tingginya 47 cm dengan diameter tangki 28 cm dan tangki air 2 tingginya 47 cm dengan diameter tangki 26 cm. Dan rangka toren pada penelitian ini digunakan untuk tempat peletakan tangki dan panel sistem kendali, dirancang menggunakan besi siku 40x40x4 mm dengan ukuran panjang 1 meter lebar 28 cm dan tinggi 50 cm dibuat menggunakan besi siku 30x30 mm, sebagaimana dapat dilihat untuk perancangan mekanik pada Gambar 3.



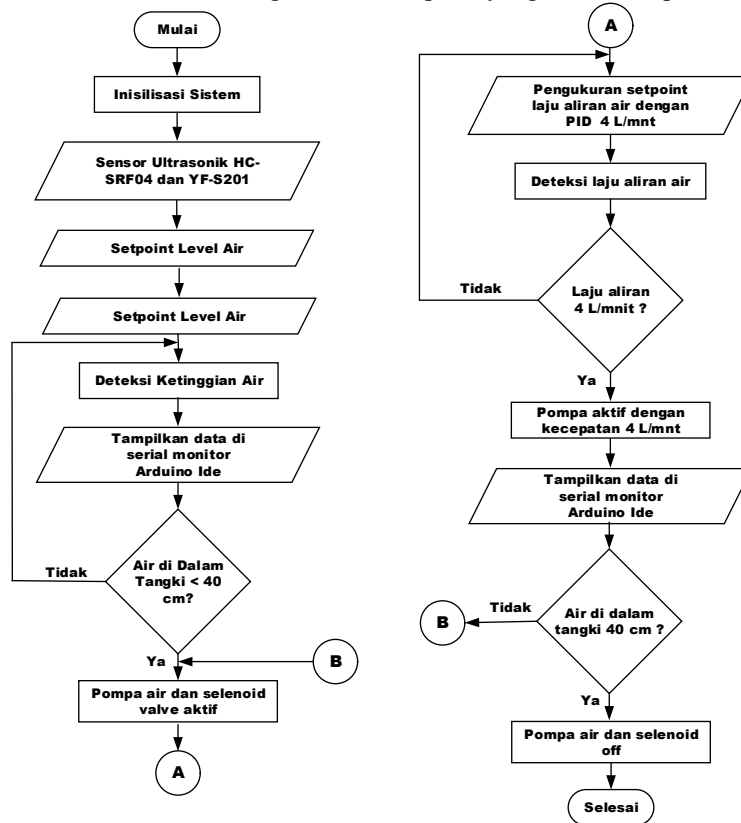
Gambar 3. Desain Perancangan Alat

### C. PERANCANGAN SISTEM

Perancangan sistem pada penelitian ini dapat dibedakan menjadi dua, yaitu perancangan perangkat keras dengan pembuatan flowchart penelitian, perancangan alat sistem kendali aliran air, dan perancangan alur kerja sistem. Tujuan dari perancangan ini untuk memastikan bahwa sistem kendali aliran air dapat bekerja secara efektif dan sesuai dengan spesifikasi yang diharapkan, Perancangan alur kerja sistem difokuskan pada bagaimana data dari sensor dibaca, diproses, dan digunakan untuk mengontrol pompa air secara real-time, memastikan aliran air stabil sesuai dengan setpoint yang ditentukan. Integrasi sistem ini juga mencakup implementasi kontrol PID, yang akan memungkinkan penyesuaian otomatis agar aliran air tetap konsisten meskipun terjadi gangguan atau variasi dalam sistem.

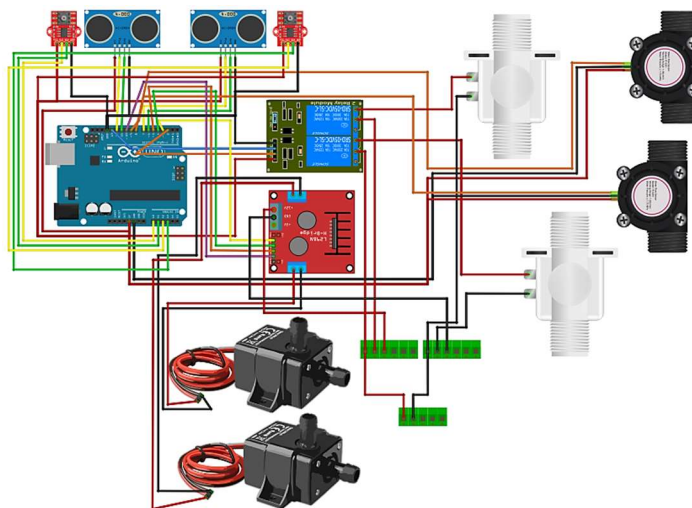
Tahapan penelitian yang dilakukan untuk merancang sistem kendali aliran air dimulai dengan pengumpulan data informasi yang mencakup berbagai aspek, seperti jenis gangguan yang dapat terjadi dalam sistem aliran air, pemilihan sensor yang tepat untuk mendeteksi perubahan atau gangguan, serta pemilihan mikrokontroler dan aktuator yang sesuai untuk mengendalikan sistem. Setelah pengumpulan data, tahap berikutnya adalah perancangan dan penyusunan tata letak alat yang mencakup semua komponen utama, dengan mempertimbangkan efisiensi dan kemudahan integrasi. Proses ini kemudian dilanjutkan dengan pengujian laboratorium untuk memastikan setiap komponen alat berfungsi sebagaimana mestinya. Setelah alat teruji dengan baik, dilakukan uji lapangan untuk menguji kinerja sistem dalam kondisi nyata dan mendalam. Selanjutnya, dilakukan pembuatan program yang akan mengendalikan sistem berdasarkan data dan tujuan yang telah dijelaskan sebelumnya, dan hasil dari proses tersebut. Gambar 4 menunjukkan diagram alir sistem kendali aliran air pada tangki penampungan air dengan PID digital. Sistem ini dimulai dengan inialisasi komponen, di mana Arduino mengaktifkan sensor ultrasonik HC-SRF04 untuk mendeteksi level air dalam tangki dan sensor aliran air YF-S201 untuk memantau laju aliran air. Setelah inialisasi, sistem menetapkan setpoint level air yang diinginkan, kemudian memulai pengukuran ketinggian air dalam tangki menggunakan sensor ultrasonik. Data ketinggian ini ditampilkan pada Serial Monitor Arduino untuk pemantauan lebih lanjut. Selanjutnya, sistem memeriksa apakah ketinggian air berada di bawah 40 cm. Jika air dalam tangki kurang dari 40 cm, pompa air dan selenoid valve akan aktif untuk mulai mengisi tangki. Pada saat yang sama, sistem menggunakan kontrol PID (Proportional-Integral-Derivative) untuk mengatur laju aliran air agar mencapai setpoint 4 liter per menit (LPM). PID akan membaca data dari sensor aliran air YF-S201 dan menyesuaikan kecepatan pompa dengan

mengatur sinyal PWM yang diberikan ke driver pompa untuk mencapai dan mempertahankan laju aliran yang diinginkan. Sistem secara terus-menerus memantau apakah laju aliran air sudah mencapai 4 LPM. Jika belum, PID akan terus menyesuaikan PWM untuk mencapai setpoint. Setelah tercapai, pompa akan beroperasi secara stabil pada kecepatan 4 LPM, dan data laju aliran air akan ditampilkan di Serial Monitor Arduino. Pada titik ini, sistem juga terus memantau level air dalam tangki. Jika level air mencapai 40 cm, maka pompa air dan selenoid valve akan dimatikan, dan sistem selesai beroperasi. Jika level air masih di bawah 40 cm, pompa akan terus beroperasi sesuai kendali PID hingga tangki mencapai level yang diinginkan. Dengan demikian, sistem ini memungkinkan kontrol otomatis dan pemantauan level air serta laju aliran air dalam tangki secara efisien, menggunakan sensor, Arduino, dan algoritma PID untuk memastikan air mengalir sesuai setpoint yang telah ditetapkan.



Gambar 4. Diagram Alir Penelitian

Gambar 5 menunjukkan perancangan alat ini menggunakan input dari sensor ultrasonik HC-SRF04 untuk mendeteksi level air dalam tangki dan sensor aliran air YF-S201 untuk memantau laju aliran air. Arduino digunakan sebagai mikrokontroler utama untuk memproses data dari sensor-sensor tersebut. Sistem ini menggunakan logika PID (Proportional-Integral-Derivative) untuk mengatur laju aliran air agar sesuai dengan setpoint yang telah ditentukan, misalnya 5 LPM (Liter Per Menit). Algoritma PID akan membaca nilai aktual dari sensor YF-S201 dan menghitung selisihnya dengan setpoint. Berdasarkan selisih ini, PID akan mengatur sinyal PWM (Pulse Width Modulation) ke driver L298N yang mengontrol kecepatan pompa air. Dengan menyesuaikan PWM, laju aliran air dapat dikendalikan secara presisi sesuai target. Apabila pembacaan sensor menunjukkan level air di bawah batas yang ditentukan, Arduino akan mengaktifkan pompa air melalui modul driver L298N yang juga terhubung ke power supply. Relay digunakan untuk mengontrol selenoid valve, yang akan membuka atau menutup aliran air sesuai kebutuhan. Selenoid valve akan aktif untuk mengatur aliran air menuju atau dari tangki sesuai kondisi level dan aliran air yang terpantau. Sistem ini dirancang untuk mengotomatiskan kontrol air dalam tangki secara terintegrasi menggunakan sensor-sensor yang telah dipasang pada jalur air, dengan penyesuaian laju aliran secara otomatis melalui pengendalian PID yang memastikan aliran tetap stabil dan sesuai kebutuhan.



Gambar 5. Desain Alat Sistem Pemaantauan dan Kendali

#### IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

##### A. HASIL PERANCANGAN ALAT

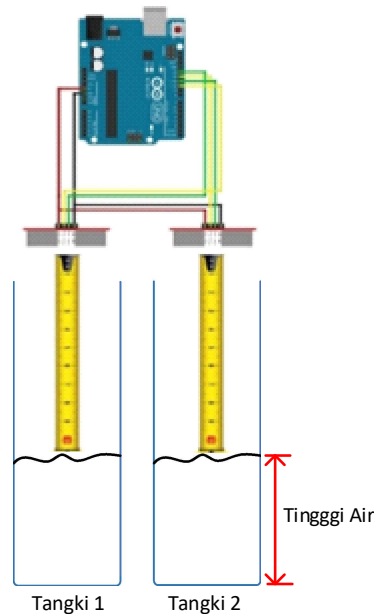
Hasil dari perancangan ini yaitu menciptakan sistem perancangan sistem kendali aliran air pada tangki penampungan air berbasis PID digital. Sistem ini terintegrasi dengan sensor-sensor untuk memantau parameter-parameter penting seperti tingkat air dan aliran, serta menggunakan aktuator seperti pompa dan valve untuk menjaga aliran air sesuai dengan setpoint yang diinginkan. Adapun rancangan alat telah terbuat pada Gambar 6 .



Gambar 6. Hasil Perancangan Alat

##### B. PENGUJIAN SENSOR ULTRASONIK HC-SRF04

Pengujian sensor ultrasonik HC-SRF04 bertujuan untuk mengetahui jarak air didalam tangki air telah sesuai. Kesesuaian pengujian ini dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor ultrasonik HC-SRF04 dengan alat ukur jarak (Penggaris). Pengujian Kalibrasi Sensor Ultrasonik merupakan pengujian untuk memastikan bahwa sensor ultrasonik HC-SRF04 dapat mendeteksi ketinggian air dalam tangki penampungan secara akurat. Pengujian dilakukan dengan menempatkan sensor pada posisi tetap dan mengatur berbagai tingkat ketinggian air sebagai titik acuan. Hasil pengukuran dari sensor kemudian dicatat dan dibandingkan dengan ketinggian sebenarnya untuk mengetahui tingkat akurasi sensor. Pengujian ini bertujuan untuk mengkalibrasi sensor agar dapat mengurangi kesalahan baca akibat noise atau variasi jarak. Dengan kalibrasi yang tepat, sensor ultrasonik diharapkan menghasilkan data ketinggian air yang stabil dan linier, sehingga mendukung kendali aliran air berbasis PID digital agar bekerja dengan respons optimal. Pada sensor ultrasonik HC-SRF04, output yang perlu dikalibrasi adalah nilai jarak yang diukur, yang dihitung berdasarkan durasi pulsa echo yang dihasilkan oleh sensor. Sensor ultrasonik efektif mendeteksi objek yang memiliki permukaan reflektif atau keras dalam jangkauan tertentu, dengan memanfaatkan pantulan gelombang suara untuk mengukur jarak atau mendeteksi keberadaan objek.



Gambar 7. Skema Pengujian Sensor Ultrasonik HC-SRF04

Gambar 7, memperlihatkan rangkaian pengujian sensor ultrasonik HC-SR04 pada dua tangki penampungan air, di mana pengukuran dilakukan dengan alat ukur jarak. Sensor ultrasonik dihubungkan ke Arduino, yang berfungsi sebagai pengendali dan pemroses data. Setiap sensor diatur untuk mengukur jarak berdasarkan pantulan gelombang ultrasonik dari permukaan objek pada saat pengujian berlangsung, dan hasil pembacaan jarak tersebut dikonversi menjadi data hasil kalibrasi. Data ini nantinya digunakan sebagai parameter dalam sistem kendali aliran air berbasis PID.

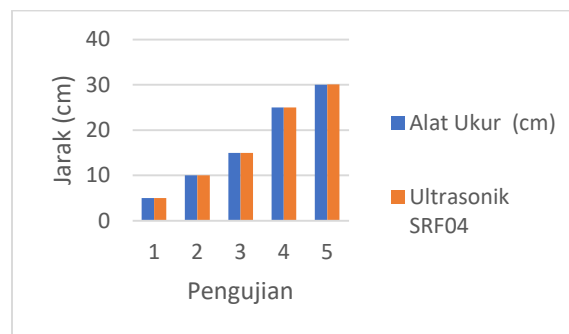
TABEL I  
DATA KALIBRASI SENSOR ULTRASONIK HC-SRF04

No	Jarak Ukur (cm)	Durasi ( $\mu$ s)
1	3	174
2	10	582
3	12	699
4	14	815
5	18	1044
6	20	1164
7	22	1281
8	24	1397
9	26	1518
10	30	1747

Tabel I dan II, menampilkan hasil pengukuran durasi pulsa echo pada sensor ultrasonik HC-SR04 untuk berbagai jarak ukur. Dari 10 kali pengujian, diperoleh durasi pulsa echo yang beragam sesuai dengan jarak objek dari sensor, mulai dari 174  $\mu$ s untuk jarak 3 cm hingga 1747  $\mu$ s untuk jarak 30 cm. Nilai ini menunjukkan hubungan linier antara jarak objek dan durasi pulsa yang dihasilkan oleh sensor, yang sesuai dengan karakteristik yang dijelaskan dalam datasheet sensor HC-SR04. Hasil pengukuran ini dapat digunakan sebagai referensi dalam kalibrasi sensor untuk memastikan akurasi pembacaan jarak di dalam aplikasi kontrol level air. Dari hasil percobaan kalibrasi sensor ultrasonik yang dilakukan dengan penggaris diperoleh rata-rata persentase error sebesar 0,23%. Sehingga, dapat dicari nilai akurasi pembacaan suhu sensor ultrasonik terhadap alat ukur jarak dengan persentase maksimal 100% dikurangi nilai error pengujian sensor ultrasonik. Jadi, nilai akurasi deteksi jarak yang diperoleh dari sensor ultrasonik sebesar 99,77% dan hasil pengukurannya ditunjukkan pada Gambar 8.

TABEL II  
HASIL PENGUJIAN SENSOR ULTRASONIK HCSR04

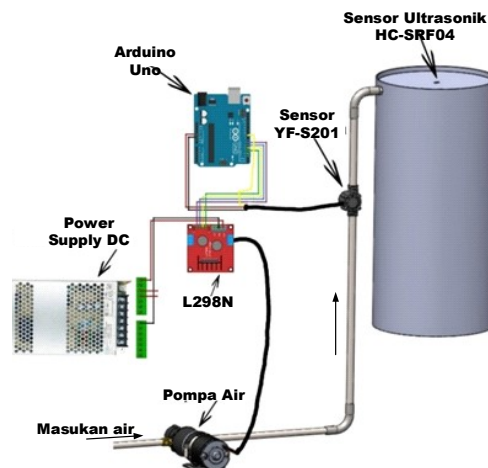
Pengujian Jarak (cm)	Alat Ukur (cm)	Ultrasonik SRF04	Selisih	Error (%)
5	5	4,91	0,09	1,8
	5	4,98	0,02	0,4
	5	4,91	0,09	1,8
	5	4,98	0,02	0,4
	5	4,98	0,02	0,4
Rata-Rata	5	5,11	0,04	0,96
10	10	10,05	0,05	0,5
	10	10,00	0,00	0,0
	10	10,14	0,14	1,4
	10	10,05	0,05	0,5
	10	10,00	0,00	0,0
Rata-Rata	10	10,04	0,04	0,48
15	15	15,11	0,11	0,73
	15	15,01	0,01	0,06
	15	15,00	0,00	0,00
	15	15,18	0,18	1,2
	15	15,20	0,20	1,33
Rata-Rata	15	15,10	0,10	0,66
25	25	25,16	0,16	0,64
	25	25,19	0,19	0,76
	25	25,02	0,02	0,08
	25	25,00	0,00	0,00
	25	25,00	0,00	0,00
Rata-Rata	25	25,07	0,07	0,29
30	30	30,00	0,00	0,00
	30	30,07	0,07	0,23
	30	30,00	0,00	0,00
	30	30,13	0,13	0,43
	30	30,16	0,16	0,53
Rata-Rata	30	30,07	0,07	0,23



Gambar 8. Grafik Hasil Pengujian Sensor Ultrasonik HC-SRF04

### C. KALIBRASI SENSOR ALIRAN AIR YF-S201

Pengujian Kalibrasi Sensor YF-S201 merupakan pengujian untuk memastikan bahwa sensor aliran air YF-S201 dapat mengukur laju aliran air dengan akurat dalam sistem kendali aliran air pada tangki penampungan berbasis PID digital. Pengujian dilakukan dengan menjalankan air melalui sensor pada berbagai tingkat laju aliran sebagai titik acuan, kemudian mencatat frekuensi pulsa yang dihasilkan oleh sensor. Nilai frekuensi ini dibandingkan dengan laju aliran sebenarnya untuk menentukan tingkat akurasi pengukuran sensor. Tujuan dari kalibrasi ini adalah untuk mengurangi kesalahan pengukuran yang mungkin terjadi akibat fluktuasi atau noise dalam pembacaan frekuensi pulsa. Dengan kalibrasi yang tepat, sensor YF-S201 diharapkan menghasilkan pembacaan aliran air yang stabil dan linier, yang sangat penting bagi pengendalian aliran berbasis PID digital agar sistem dapat menjaga laju aliran sesuai setpoint dengan respons yang optimal. Pada sensor YF-S201, output yang perlu dikalibrasi adalah nilai laju aliran air, yang dihitung berdasarkan frekuensi pulsa yang dihasilkan oleh sensor saat air mengalir melalui perangkat.



Gambar 9. Skema Pengujian Sensor Aliran Air YF-S201

Gambar 9, memperlihatkan rangkaian pengujian sensor aliran air YF-S201, di mana pengujian dilakukan dengan mengalirkan air menggunakan pompa air dengan spesifikasi pompa air menghasilkan aliran air sebesar 5 LPM. Sensor YF-S201 dihubungkan ke Arduino, yang berfungsi sebagai pengendali dan pemroses data. Sensor diatur untuk mengukur aliran air berdasarkan nilai frekuensi dari aliran air pada saat pengujian berlangsung, dan hasil pembacaan aliran air tersebut dikonversi menjadi data hasil kalibrasi. Data tabel III ini, nantinya digunakan sebagai parameter dalam sistem kendali aliran air berbasis PID.

TABEL III  
DATA KALIBRASI SENSOR ALIRAN AIR YF-S201

No	Tegangan	Nilai Frekuensi
1	2	1
2	3	2
3	4	3
4	5	9
5	6	12
6	7	15
7	8	17
8	9	19
9	10	21
10	11	23

TABEL IV  
HASIL PENGUJIAN SENSOR ALIRAN AIR YF-S201

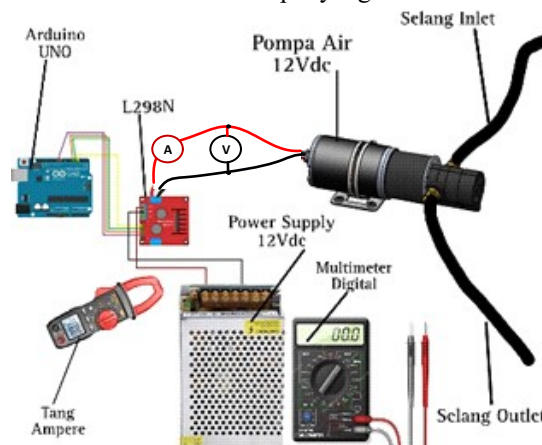
Tegangan (V)	PWM pada Pompa Air			YF-S201	Selisih Liter/menit(L/m)	Error %
	Tegangan (V)	Arus (A)	Liter/menit (L/m)	Liter/menit (L/m)		
4	4,02	1,34	1,82	1,79	0,15	0,037
	4,01	1,33	1,81	1,61	0,2	0,05
	4,03	1,34	1,82	1,74	0,08	0,02
	4,00	1,33	1,81	1,68	0,13	0,032
	4,01	1,33	1,81	1,68	0,13	0,032
6	6,00	2,00	2,72	2,63	0,09	0,015
	6,02	2,00	2,73	2,71	0,02	0,003
	6,02	2,00	2,73	2,68	0,05	0,008
	6,01	2,00	2,72	2,64	0,08	0,013
	6,01	2,00	2,72	2,70	0,02	0,003
8	8,01	2,67	3,64	3,56	0,08	0,01
	8,01	2,67	3,64	3,56	0,08	0,01
	8,00	2,66	3,63	3,34	0,29	0,036
	8,00	2,66	3,63	3,34	0,29	0,036
	8,01	2,67	3,64	3,42	0,22	0,027
10	10,00	3,33	4,54	4,05	0,49	0,049
	10,00	3,33	4,54	4,17	0,37	0,037
	10,01	3,33	4,55	4,41	0,14	0,014
	10,00	3,33	4,54	4,41	0,13	0,013
	10,00	3,33	4,54	4,25	0,29	0,029

11	11,04	3,68	5,00	5,00	0,,00	0,00
	11,01	3,67	5,00	5,00	0,00	0,00
	11,00	3,66	5,00	4,92	0,08	0,007
	11,00	3,66	5,00	4,87	0,13	0,011
	11,01	3,67	5,00	5,00	0,00	0,00
Rata-Rata	11,01	3,66	5,00	4,95	0,04	0,003

Tabel IV, menampilkan hasil pengukuran frekuensi pada sensor YF-S201 untuk berbagai tegangan yang diberikan ke pompa air. Dari 10 kali pengujian, diperoleh frekuensi yang beragam sesuai dengan tegangan input pada pompa air, mulai dari 1 Hz untuk tegangan 2 volt hingga 23 Hz untuk tegangan 11 volt. Nilai ini menunjukkan hubungan linier antara tegangan input pompa air dan frekuensi yang dihasilkan oleh sensor, yang sesuai dengan karakteristik yang dijelaskan dalam datasheet sensor YF-S201. Hasil pengukuran ini dapat digunakan sebagai referensi dalam kalibrasi sensor untuk memastikan akurasi pembacaan jarak di dalam aplikasi kontrol level air. Dari hasil percobaan kalibrasi sensor ultraonik yang dilakukan dengan pompa air dengan spesifikasi pompa menghasilkan aliran air sebesar 5 L/m diperoleh rata-rata persentase error sebesar 0,003%. Sehingga, dapat dicari nilai akurasi pembacaan aliran air terhadap tegangan input pompa air dengan persentase maksimal 100% dikurangi nilai error pengujian sensor YF-S201. Jadi, nilai akurasi deteksi jarak yang diperoleh dari sensor ultraonik sebesar 99,997%.

**D. PENGUJIAN MODULE DRIVER L298N DENGAN NILAI PWM**

Pengujian Modul Driver L298N dengan Variasi Nilai PWM merupakan pengujian yang bertujuan untuk mengetahui hubungan antara nilai PWM yang diberikan dan tegangan output yang dihasilkan oleh modul driver L298N. Pengujian dilakukan dengan mengatur berbagai nilai PWM sebagai input ke modul, kemudian mencatat tegangan output yang dihasilkan pada terminal motor. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk memastikan bahwa modul L298N mampu menghasilkan tegangan output yang bervariasi sesuai dengan nilai PWM yang diberikan, sehingga memungkinkan pengaturan kecepatan motor atau pompa dalam sistem kendali aliran air. Dengan mengetahui karakteristik tegangan output modul terhadap nilai PWM, pengendalian aliran air berbasis PID dapat dilakukan secara lebih akurat, karena modul akan memberikan output yang sesuai untuk mencapai laju aliran sesuai dengan setpoint.



Gambar 6. Skema Pengujian Module Driver L298N

Gambar 10, memperlihatkan rangkaian pengujian module driver L298N, di mana pengujian dilakukan dengan mengubah nilai PWM pada program pengujian. Modul driver L298N dihubungkan ke Arduino, yang berfungsi sebagai pengendali dan pemroses data. Modul diatur untuk mengukur tegangan dan arus output berdasarkan nilai PWM pada saat pengujian berlangsung. Data tabel V, ini nantinya digunakan sebagai parameter dalam sistem kendali aliran air berbasis PID.

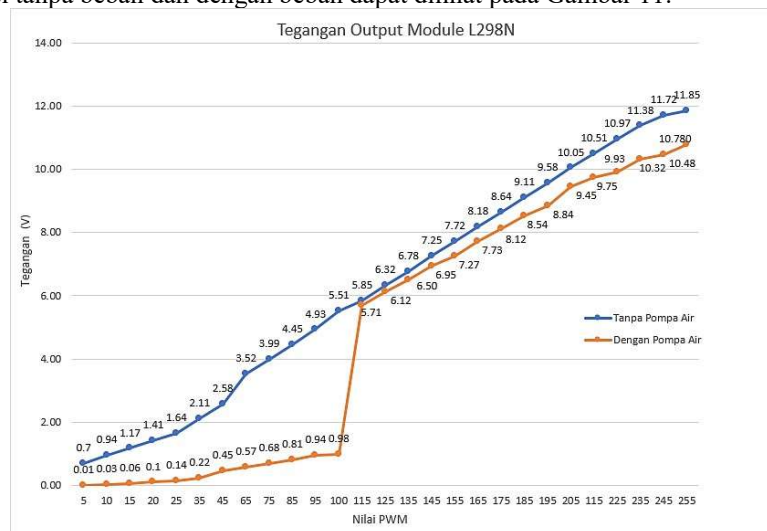
TABEL V

HASIL PENGUJIAN MODULE DRIVE L298N

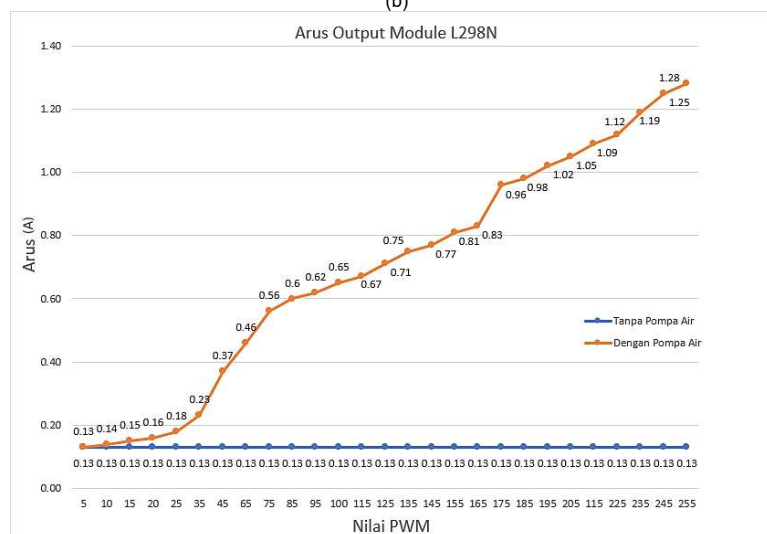
PWM	Tanpa Pompa Air		Dengan Pompa Air		Keterangan Pompa
	Tegangan (V)	Arus (A)	Tegangan (V)	Arus (A)	
5	0,70	0,13	0,01	0,13	Berdengung
10	0,94	0,13	0,03	0,14	Berdengung
15	1,17	0,13	0,06	0,15	Berdengung
20	1,41	0,13	0,1	0,16	Berdengung
25	1,64	0,13	0,14	0,18	Berdengung
35	2,11	0,13	0,22	0,23	Berdengung
45	2,58	0,13	0,45	0,37	Berdengung
65	3,52	0,13	0,57	0,46	Berdengung
75	3,99	0,13	0,68	0,56	Berdengung
85	4,45	0,13	0,81	0,60	Berdengung
95	4,93	0,13	0,94	0,62	Berdengung
100	5,51	0,13	0,98	0,65	Berdengung

115	5,85	0,13	5.71	0,67	Berputar Pelan
125	6,32	0,13	6.12	0,71	Berputar Pelan
135	6,78	0,13	6.50	0,75	Berputar Pelan
145	7,25	0,13	6.95	0,77	Berputar Pelan
155	7,72	0,13	7.27	0,80	Berputar Pelan
165	8,18	0,13	7.73	0,83	Berputar Pelan
175	8,64	0,13	8.12	0,96	Berputar Sedang
185	9,11	0,13	8.54	0,98	Berputar Sedang
195	9,58	0,13	8.84	1,02	Berputar Sedang
205	10,05	0,13	9.45	1,05	Berputar Kencang
115	10,51	0,13	9.75	1,09	Berputar Kencang
225	10,97	0,13	9.93	1,12	Berputar Kencang
235	11,38	0,13	10.32	1,19	Berputar Kencang
245	11,72	0,13	10.48	1,25	Berputar Kencang
255	11,85	0,13	10.78	1,28	Berputar Kencang

Pengujian modul driver motor L298N menunjukkan perbedaan tegangan dan arus pada kondisi tanpa beban dan saat dihubungkan dengan beban berupa pompa air. Dalam pengujian ini, variasi nilai PWM dari 5 hingga 255 diaplikasikan. Pada rentang PWM 5 hingga 100, terjadi penurunan tegangan yang signifikan, menyebabkan pompa air hanya berdengung tanpa berputar. Kondisi ini menunjukkan bahwa nilai PWM rendah tidak cukup untuk menggerakkan pompa secara optimal, bahkan dapat berisiko merusak komponen. Sebaliknya, pada rentang PWM 100 hingga 255, penurunan tegangan yang terukur hanya sekitar 1 volt atau kurang, yang lebih ideal untuk menjaga performa pompa air secara optimal. Hasil ini menunjukkan bahwa nilai PWM yang lebih tinggi lebih baik dalam mengontrol pompa untuk pengisian dan penyaluran air pada tangki. Perbandingan tegangan dan arus output modul L298N antara kondisi tanpa beban dan dengan beban dapat dilihat pada Gambar 11.



(b)



(b)

Gambar 7. Grafik (a) Tegangan Output Module L298N, (b) Arus Output Module L298N

### E. PENGUJIAN TUNNING PID

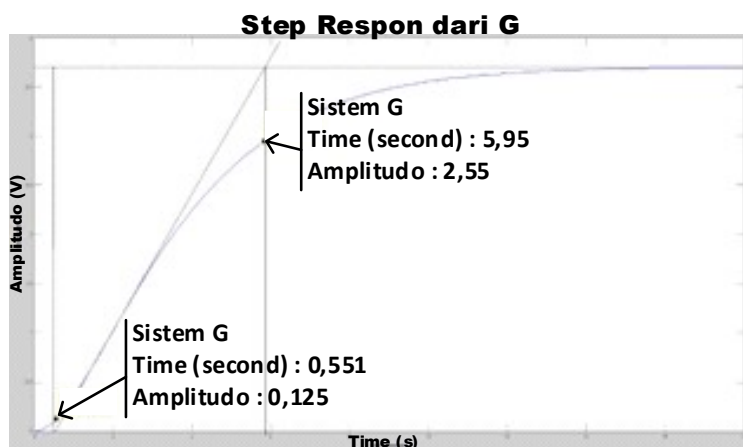
Pada penelitian ini tuning PID dilakukan dengan menguji input level air dan kecepatan aliran air terhadap output berupa waktu

pengisian air pada Tangki penampungan air yang nantinya diatur melalui pengaturan kecepatan pompa air pada module driver L298N. Pada pengujian awal yang telah dilakukan dengan menguji pengaruh kecepatan aliran air terhadap nilai pwm pompa air yang dihasilkan dari pengisian tangki penampungan air. Proses pengujian ini dilakukan dengan menyalakan pompa air untuk mengalirkan air pada tangki penampungan air dan melakukan dokumentasi kecepatan aliran air awal serta mencatat proses perubahan waktu yang terjadi. Berikut ini adalah Tabel VI hasil pengujian respon kecepatan aliran air terhadap nilai pwm untuk pompa air dengan durasinya.

TABEL VI  
HASIL PENGUKURAN LAJU ALIRAN AIR SEBELUM MENGGUNAKAN PID

No	Nilai PWM	Kecepatan Aliran Air (Lpm)	Durasi (detikt)
1	255	3.40	1
2	255	3.80	2
3	255	7.00	3
4	255	8.40	4
5	255	11.80	5
6	255	4.00	6
7	255	4.00	7
8	255	9.20	8
9	255	7.00	9
10	255	4.00	10
11	255	4.00	11
12	255	4.20	12
13	255	8.40	13
14	255	11.80	14
15	255	4.00	15
16	255	4.00	16
17	255	4.20	17
18	255	8.40	18
19	255	11.80	19
20	255	4.00	20
21	255	4.00	21
22	255	9.20	22
23	255	7.00	23
24	255	4.00	24
25	255	4.20	25
26	255	8.40	26
27	255	11.80	27
28	255	4.00	28
29	255	4.00	29
30	255	9.20	30

Berdasarkan Tabel 6, hasil pengujian respon kecepatan aliran air terdapat nilai pwm pada pompa air digunakan untuk melakukan perhitungan PID, terlebih dahulu mengidentifikasi sistem yang akan dikendalikan dengan menentukan parameter-parameter yang diperlukan seperti waktu pengendalian, overshoot, dan steady state galat. Setelah itu, dapat menggunakan metode Zigler Nichols untuk menentukan nilai awal dari parameter PID. Data ini menunjukkan waktu (Time), kecepatan aliran air dan nilai pwm pada pompa air. Dari data menunjukkan perubahan kecepatan aliran air terhadap nilai pwm pompa air pada Tangki penampungan air, sehingga dapat menggunakan metode Zigler Nichols untuk menentukan parameter PID. Kemudian yang dikendalikan adalah nilai pwm pompa air terhadap kecepatan aliran air dan level air, sehingga untuk menggunakan metode Zigler Nichols untuk menentukan parameter PID terlebih dahulu. Pada metode Ziegler Nichols menggunakan tahap 1 atau ZN1 berupa kurva reaksi Untuk menemukan nilai L dan T, harus dilakukan uji sistem dengan melihat step respon hingga sistem mulai osilasi secara stabil. Metode ini berdasarkan terhadap reaksi sistem untaian terbuka, Plant sebagai untaian terbuka dikenakan sinyal fungsi tangga satuan dengan menunjukkan kurva berbentuk S seperti terlihat pada Gambar 12.



Gambar 8. Step Respon Nilai L dan T

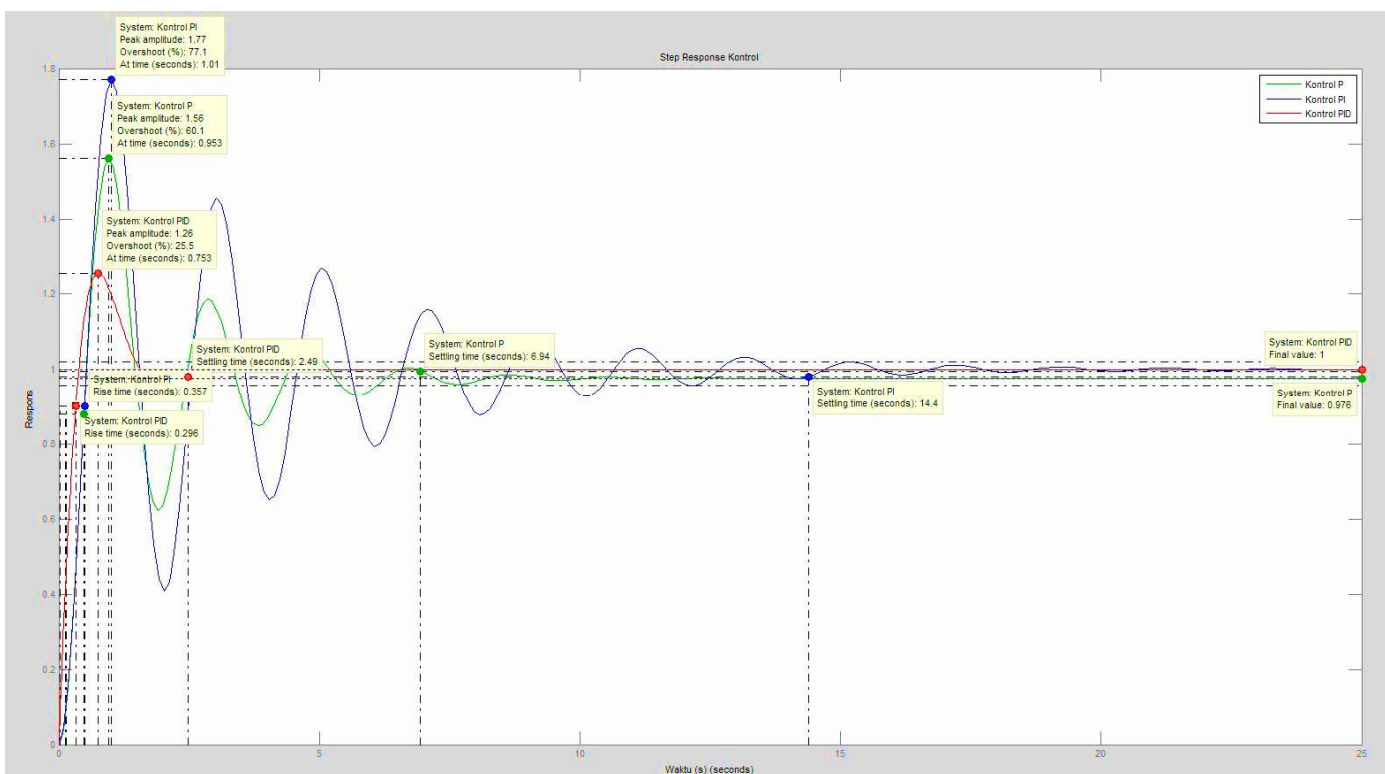
Dapat dilihat untuk nilai waktu mati (L) dan waktu tunda (T) yang dihasilkan dari respon aliran air menunjukkan pada nilai waktu mati (L) yaitu 0.551 sedangkan waktu tunda (T) berada pada 5,95. Pada dasarnya, asumsi tersebut didasarkan pada penggunaan metode ZN1 dalam penyetulan kontroler PID, yang dikenal sebagai metode Ziegler Nichols. Metode ini adalah pendekatan tahap 1 yang digunakan untuk menentukan parameter kontrol PID tanpa memerlukan model matematis berupa transfer function dari sistem yang dikontrol.

Saat sistem tidak menunjukkan osilasi yang jelas atau jika osilasi tidak dapat diamati dengan jelas, metode ini bisa sulit diterapkan. Dalam situasi seperti itu, beberapa tahapan diperlukan untuk memperoleh estimasi awal parameter kontrol. Salah satu asumsi yang mungkin dilakukan dengan melihat step respon berbentuk kurva S mempunyai dua konstanta, waktu mati (dead time) L dan waktu tunda T yaitu untuk nilai L dan nilai T, Berikut perhitungan parameter PID menggunakan metode Ziegler Nichols dengan lebih rinci.

Tuning parameter PID menggunakan metode Ziegler-Nichols adalah teknik yang digunakan untuk mendapatkan nilai optimal dari tiga parameter utama dalam kontrol PID, yaitu  $K_p$  (Proportional Gain),  $T_i$  (Integral Time), dan  $T_d$  (Derivative Time). Setiap parameter ini berperan dalam mengatur respons sistem.  $K_p$  (Proportional Gain) menentukan seberapa besar respons sistem terhadap kesalahan yang terjadi. Dalam metode Ziegler-Nichols, nilai  $K_p$  dihitung berdasarkan perbandingan antara T (periode osilasi) dan L (panjang waktu gelombang), yang menghasilkan rumus  $K_p = T/L$ . Dalam contoh ini, dengan nilai T sebesar 5,95 dan L sebesar 0,551,  $K_p$  dihitung menjadi 10,80.

$T_i$  (Integral Time) berfungsi untuk mengurangi kesalahan jangka panjang dengan menambahkan komponen integral pada kontrol PID.  $T_i$  dihitung sebagai 50% dari  $T_u$ , di mana  $T_u$  adalah konstanta waktu yang setara dengan nilai T. Dalam perhitungan ini,  $T_i$  dihitung sebagai  $L/0,3$ , menghasilkan  $T_i$  sebesar 1,83.  $T_d$  (Derivative Time) membantu menghaluskan perubahan sistem dengan menambahkan komponen turunan pada kontrol PID.  $T_d$  dihitung sebagai 12,5% dari  $T_u$ , yang pada metode ini diwakili dengan 0,5 kali nilai L, menghasilkan  $T_d$  sebesar 0,2755. Hasil tuning PID dengan metode Ziegler-Nichols pada sistem ini menghasilkan nilai-nilai berikut. Untuk Proportional (P) Control,  $K_p$  dihitung sebagai  $T/L$ , yaitu 10,80. Untuk Proportional-Integral (PI) Control,  $K_p$  dihitung sebagai 0,9 kali  $T/L$ , menghasilkan 9,72.  $T_i$  dihitung sebagai  $L/0,3$ , menghasilkan nilai 1,83. Untuk PID Control,  $K_p$  dihitung sebagai 1,2 kali  $T/L$ , yang menghasilkan 12,96.  $T_i$  dihitung sebagai dua kali L, yaitu 1,102, dan  $T_d$  dihitung sebagai 0,5 kali L, menghasilkan 0,2755. Dengan hasil ini, tuning PID dapat digunakan untuk mengoptimalkan kontrol sistem, mengurangi kesalahan, dan meningkatkan respons sistem terhadap perubahan variabel input.

Setelah dilakukan tuning PID dengan metode Ziegler Nichols, maka didapatkan parameter  $K_p = 12,96$ ,  $T_i = 1,102$  detik,  $T_d = 0,2755$  detik. Selanjutnya nilai PID yang didapat dari hasil tuning menggunakan metode Ziegler Nichols untuk melihat respon sistem melihat step respon kurva S yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 9. Data Hasil Step Respon PID

Dari gambar 13, menunjukkan perubahan step respons terhadap kendali PID kecepatan aliran air. Dari gambar juga didapatkan data berupa Rise Time sebesar 0.296 s, Overshoot sebesar 25,5 %, dan Settling Time 2,49 s. Terlihat pada nilai tersebut menunjukkan nilai turun perlahan dari titik nilai overshoot ini merupakan hasil dari nilai  $T_d$  12.5% dari  $T_u$  yang berfungsi membantu menghaluskan perubahan respons sistem.

#### F. PENGUJIAN KESELURUHAN

Tujuan pengujian kinerja sistem kendali aliran air pada tangki penampungan air berbasis PID digital yaitu untuk melihat tingkat keberhasilan dalam penelitian serta untuk mengendalikan laju aliran air pada tangki penampungan air menggunakan PID, mengendalikan level air pada tangki penampungan air. Pengujian kinerja sistem dilakukan dengan mengatur setpoint level air dan laju aliran air. Pada kendali level air tangki, dilakukan setpoint 40 cm. Sedangkan laju aliran air pada tangki penampungan air digunakan setpoint 4,00 LPM. Parameter yang ditinjau dari percobaan yang dilakukan pada kendali laju aliran air menggunakan PID adalah delay time, rise time, peak time, maximum overshoot, galat steady state, dan settling time. Pengujian yang telah dilakukan ini terdiri dari persiapan bahan pengujian berupa hasil perancangan pada fungsional, lalu mempersiapkan hasil dari tuning PID yang didapatkan sebelumnya. Berikut ini adalah parameter gabungan dari Metode Zigler Nichols.

TABEL VII

PARAMETER NILAI PID

Parameter		Zigler Nichols
P	$K_p$	10,80
PI	$K_p$	9,72
	$T_i$ (s)	1,83
PID	$K_p$	12,96
	$T_i$ (s)	1,102
	$T_d$ (s)	0,2755

Tabel VII, menunjukkan hasil parameter yang digunakan dalam tuning PID yang dilakukan pada Tangki penampungan air. Hasil parameter ini akan dimasukkan ke dalam program pengujian keseluruhan yang telah dilakukan. Program ini berisikan parameter lengkap dari gabungan sebelumnya. Tentunya terdiri dari program pwm pompa air, Level air, Volume air, Tekanan air, dan lain-lainnya. Kemudian pada bagian implementasi kendali PID dengan setpoint laju aliran air telah dilakukan untuk konfigurasi yang diperlukan serta strategi tuning PID yang efektif untuk mencapai tujuan ini. Kendali dilakukan dengan memasukkan nilai tuning PID menggunakan Zigler Nichols. Berikut ini adalah hasil pengujian yang dilakukan setelah menggunakan tuning PID dengan setpoint laju aliran air sebesar 4.00 Lpm dapat dilihat pada Table VIII berikut ini.

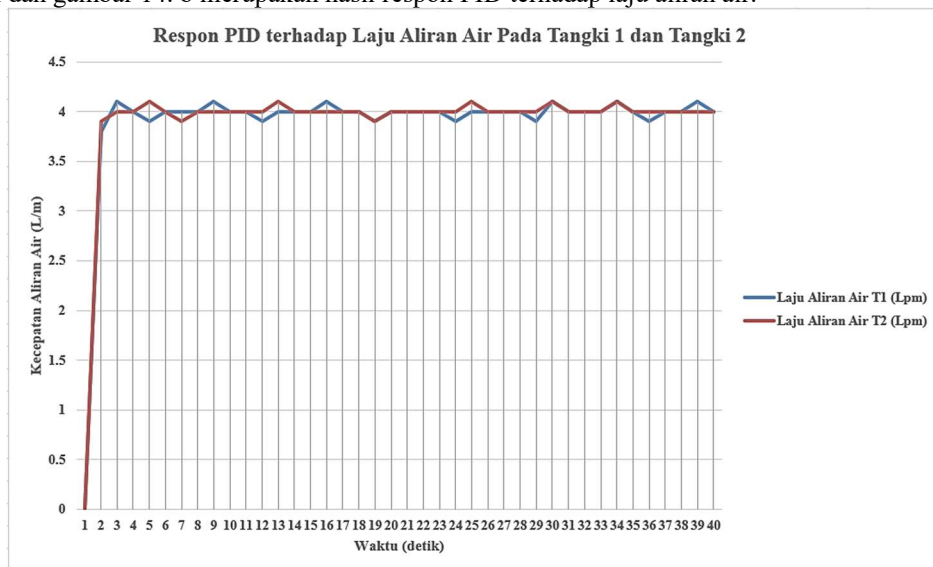
TABEL VIII

HASIL PENGUJIAN LAJU ALIRAN AIR MENGGUNAKAN PID DENGAN SETPOINT 4 L/M

No	Waktu (detik)	Nilai PWM		Laju Aliran Air (YF-S201)		Level Air (HC-SRF04)	
		Pompa 1	Pompa 2	T1 (Lpm)	T2 (Lpm)	T1 (cm)	T2 (cm)
1	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	1	210	210	3.8	3.9	0.12	0.13
3	2	220	220	4.1	4.0	0.24	0.26
4	3	215	215	4.0	4.0	0.36	0.39
5	4	208	208	3.9	4.1	0.48	0.52
6	5	212	212	4.0	4.0	0.6	0.65
7	6	210	210	4.0	3.9	0.72	0.78
8	7	211	211	4.0	4.0	0.84	0.91
9	8	213	213	4.1	4.0	0.96	1.04
10	9	210	210	4.0	4.0	1.08	1.17
11	10	209	209	4.0	4.0	1.2	1.3
12	11	208	208	3.9	4.0	1.32	1.43
13	12	211	211	4.0	4.1	1.44	1.56
14	13	210	210	4.0	4.0	1.56	1.69
15	14	212	212	4.0	4.0	1.68	1.82
16	15	213	213	4.1	4.0	1.8	1.95
17	16	210	210	4.0	4.0	1.92	2.08
18	17	209	209	4.0	4.0	2.04	2.21
19	18	208	208	3.9	3.9	2.16	2.34
20	19	211	211	4.0	4.0	2.28	2.47
21	20	210	210	4.0	4.0	2.4	2.6
22	21	210	210	4.0	4.0	2.52	2.73
23	22	209	209	4.0	4.0	2.64	2.86
24	23	208	208	3.9	4.0	2.76	2.99
25	24	211	211	4.0	4.1	2.88	3.12
26	25	210	210	4.0	4.0	3.0	3.25
27	26	210	210	4.0	4.0	3.12	3.38
28	27	209	209	4.0	4.0	3.24	3.51
29	28	208	208	3.9	4.0	3.36	3.64
30	29	211	211	4.1	4.1	3.48	3.77
31	30	210	210	4.0	4.0	3.6	3.9
32	31	210	210	4.0	4.0	3.72	4.03
33	32	209	209	4.0	4.0	3.84	4.16
34	33	211	211	4.1	4.1	3.96	4.29
35	34	210	210	4.0	4.0	4.08	4.42
36	35	208	208	3.9	4.0	4.2	4.55
37	36	210	210	4.0	4.0	4.32	4.68
38	37	210	210	4.0	4.0	4.44	4.81
39	38	211	211	4.1	4.0	4.56	4.94
40	39	210	210	4.0	4.0	4.68	5.07

Dari tabel VIII, hasil pengujian sistem kontrol PID untuk menjaga laju aliran air pada setpoint 4 LPM, dapat dilihat bagaimana respons sistem dalam mencapai stabilitas. Pada awalnya, sistem menunjukkan overshoot, yaitu kondisi di mana laju aliran air melampaui setpoint. Overshoot terbesar terjadi sekitar detik ke 2, dengan laju aliran pada T1 mencapai sekitar 4.1 LPM atau sekitar 102.5% dari setpoint. Ini menunjukkan bahwa pada tahap awal, sistem merespons secara berlebihan terhadap sinyal kontrol sebelum akhirnya mulai menyesuaikan diri dengan target yang diinginkan. Setelah overshoot awal, laju aliran air mulai mendekati setpoint dalam waktu yang disebut rise time, yang dalam sistem ini terjadi antara detik ke 2 hingga ke 5. Dalam periode ini, laju aliran air pertama kali mendekati nilai target 4 LPM. Meskipun masih terlihat fluktuasi kecil, sistem secara bertahap mengurangi penyimpangan dari setpoint. Kemudian, sistem memasuki settling time atau waktu stabilisasi, yaitu waktu yang dibutuhkan agar laju aliran air tetap berada di sekitar setpoint dalam toleransi tertentu. Dalam pengujian ini, settling time berlangsung hingga sekitar detik ke 10, di mana laju aliran air mulai konsisten di sekitar 4 Lpm dengan fluktuasi yang berkurang. Pada titik ini, variasi berada dalam kisaran 0.1 LPM atau sekitar 2.5% dari setpoint, yang dianggap sebagai batas toleransi yang dapat diterima. Setelah detik ke 15, sistem mencapai stabilitas yang diinginkan, dengan laju aliran air berada sangat dekat dengan setpoint 4 LPM dan hanya berfluktuasi dalam toleransi 0.05 Lpm atau sekitar 1.25% dari setpoint. Ini menunjukkan bahwa sistem PID bekerja secara efektif, mengurangi fluktuasi awal dan menjaga laju aliran air sesuai dengan target setelah periode penyesuaian. Secara keseluruhan, respons sistem menunjukkan bahwa kontrol PID berhasil mengatasi overshoot awal dan menstabilkan aliran air dengan cepat. Hasil ini menunjukkan bahwa PID mampu mempertahankan laju aliran air pada setpoint yang ditetapkan, memberikan respons cepat, dan stabil dalam jangka panjang. Dengan demikian, sistem PID pada pengujian ini mencapai performa yang optimal dan efektif dalam menjaga kestabilan laju aliran air, sebagaimana dapat dilihat pada gambar 14. a merupakan grafik respon PID terhadap laju aliran

air dari kedua tangki dan gambar 14. b merupakan hasil respon PID terhadap laju aliran air.



(a)



(b)

Gambar 10. Hasil Pengujian Keseluruhan Sistem, (a) Grafik Respon Laju Aliran Air, (b) Hasil PID pada Proses Pengisian Tangki

## V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian mengenai sistem pengendalian aliran air pada tangki penampungan berbasis PID digital, beberapa kesimpulan utama dapat disarikan. Sistem pengendalian yang dikembangkan berhasil dirancang dan dibangun dengan memanfaatkan sensor ultrasonik HC-SRF04 untuk mendeteksi ketinggian air dengan akurasi 99,77%, serta sensor YF-S201 untuk mengukur laju aliran air dengan akurasi 99,997%. Kedua sensor ini berfungsi secara optimal dalam memantau kondisi sistem dan dikendalikan oleh mikrokontroler Arduino Uno.

Pengendalian laju aliran air dilakukan dengan mengatur Pulse Width Modulation (PWM) pada pompa air, yang dikendalikan melalui algoritma PID. Algoritma PID ini dituning menggunakan metode Ziegler-Nichols, menghasilkan parameter PID dengan nilai  $K_p = 12,96$ ,  $T_i = 1,102$  detik, dan  $T_d = 0,2755$  detik. Dengan parameter ini, sistem mampu mengatur laju aliran air secara optimal, yang terbukti efektif dalam mengontrol aliran air menuju tangki penampungan.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem pengendalian ini menunjukkan kinerja yang baik, dengan rise time sebesar 0,296 detik, overshoot sebesar 2,5% di atas setpoint, dan settling time selama 10 detik untuk mencapai kestabilan aliran pada setpoint 4 liter per menit (LPM). Dengan demikian, sistem pengendalian aliran air ini terbukti efektif dan efisien dalam mempertahankan kestabilan laju aliran air pada tingkat yang diinginkan.

## KONFLIK KEPENTINGAN

Para penulis menyatakan bahwa tidak ada konflik kepentingan terkait dengan publikasi makalah ini.

## REFERENSI

- [1] H. Fair and B. Mulyati, "Rancang Bangun Alat Pengukur Kecepatan Aliran Air Menggunakan Water Flow Sensor Berbasis Arduino Uno," *Jurnal Informatika, Teknologi dan Sains (Formateks)*, vol. 2, no. 1, pp. 1-11, 2023, doi: 10.56244/formateks.v2i1.721.

- [2] I. Z. J. M. Fahd, M. F. Hasan, A. F. Andoko, and A. Sumarahinsih, "Rancang Bangun Alat Ukur Kualitas Air pada Penampungan Air Hujan dengan Sensor TDS Berbasis Mikrokontroler ESP8266," *JASIEK (Jurnal Aplikasi Sains, Informasi, Elektronika dan Komputer)*, vol. 5, no. 1, pp. 1–8, Jun. 2023, doi: 10.26905/jasiek.v5i1.10015.
- [3] A. dian sukowati Sukowati and E. S. Budi, "Sistem Kendali PID Aplikasi Mini Plant Water Flow Berbasis Arduino," *Jurnal Elektronika dan Otomasi Industri*, vol. 10, no. 3, Nov. 2023, doi: 10.33795/elkolind.v10i3.3677.
- [4] S. Rokhmanila and Vandiansyah, "Rancang Bangun Sistem Kendali Laju Alir Fluida Pada Dual Reservoir Berbasis Arduino-Labview," *Journal Of Electrical Power, Instrumentation and Control (EPIC)*, vol. 1, no. 1, pp. 1–16, 2019, doi: 10.32493/epic.v1i1.1034.
- [5] A. D. Putri, F. Politeknik, and N. Malang, "Sistem Pengendalian Aliran Air Laut Pada Alat Pembuat Garam Menggunakan Kontrol Pid," *JURNAL REKAYASA ENERGI (JRE)*, vol. 3, no. 1, pp. 24–32, 2024, doi: 10.31884/jre.v3i1.52.
- [6] A. Ainurrohman, M. Rivai, and Tasripan, "Kontrol Laju Alir Pompa Air Berpenggerak Brushless DC Motor," *JURNAL TEKNIK ITS*, vol. 7, no. 2, pp. 269–274, 2019, doi: 10.12962/j23373539.v7i2.31133.
- [7] H. Steven, A. R. Nabihah, T. Sherina, M. Dwiyaniti, S. Indriyani, and D. Widjajanto, "Implementasi PLC-VSD dan SCADA pada Sistem Pengisian Air Otomatis," *ELECTRICES*, vol. 4, no. 2, pp. 43–49, 2022, doi: 10.32722/ees.v4i2.4679.
- [8] E. Saputra, M. Kabib, and B. Satya Nugraha, "Rancang Bangun Sistem Kontrol Debit Air Pada Pompa Paralel Berbasis Arduino," *Jurnal CRANKSHAFT*, vol. 2, no. 1, pp. 2623–0755, 2019, doi: 10.24176/crankshaft.v2i1.3089.
- [9] A. Rahman Hidayat, A. Dwi Risdhayanti, Fitri, D. Ayu Permatasari, and W. Tri Wahono, "Pemodelan Identifikasi Sistem untuk Pengaturan Kecepatan Motor DC dengan Kontrol PID," *Jurnal Elektronika dan Otomasi Industri*, vol. 11, no. 1, pp. 253–262, May 2024, doi: 10.33795/elkolind.v11i1.5409.
- [10] A. D. Putri and Fitri, "Sistem Pengendalian Aliran Air Laut Pada Alat Pembuat Garam Menggunakan Kontrol Pid," *JURNAL REKAYASA ENERGI (JRE)*, vol. 03, no. 01, pp. 24–32, 2024, doi: 10.31961/jre.v6i2.570.
- [11] P. Pangestu, D. Aribowo, and M. A. Hamid, "Sistem Auto Filling Machine Berbasis Mikrokontroler Human Machine Interface Dengan Water Flow Sensor Auto Filling Machine System Based On Human Machine Interface Microcontroller With Water Flow Sensor," *Journal of Information Technology and Computer Science (INTECOMS)*, vol. 7, no. 3, pp. 663–675, 2024, doi: 10.31539/intecom.v7i3.9742.
- [12] S. Rokhmanila, "Rancang Bangun Sistem Kendali Laju Alir Fluida Pada Dual Reservoir Berbasis Arduino-Labview." *EPIC Journal of Electrical Power Instrumentation and Control*, vol. 1, no. 1, pp. 62–80, 2018, doi: 10.32493/epic.v1i1.1034.
- [13] R. Eko Cahyono *et al.*, "Rancang Bangun Prototipe Smart Control System Sebagai Pengendali Debit Air Berbasis Computer Control," *JRSIT (Jurnal Rekayasa Sistem Informasi dan Teknologi)*, vol. 1, no. 3, pp. 166–174, Feb. 2024, doi: 10.59407/jrsit.v1i3.515.
- [14] S. Trivijaya, A. P. E. Wibowo, A. Pradipta, D. A. Feriando, and A. Fikria, "Penyuluhan Penerapan Sistem Kontrol dan Monitoring Ketinggian Level Air Menggunakan LabVIEW Berbasis Arduino Selama Pandemi COVID-19," *JPP IPTEK (Jurnal Pengabdian dan Penerapan IPTEK)*, vol. 6, no. 2, pp. 135–144, Nov. 2022, doi: 10.31284/j.jpp-iptek.2022.v6i2.3407.
- [15] K. Kartika, A. Asran, and M. Yanis, "Rancang bangun alat pengisian cairan berbasis sensor berat," *Jurnal Energi Elektrik*, vol. 12, no. 1, 2023, doi: 10.29103/jee.v12i1.14341.
- [16] A. Agung Ridowi, R. Fatkhur Rizal, F. Yumono, and I. Kadiri, "Prototype Kontrol Tekanan Air Menggunakan Sensor Pressure Transduser Untuk Kerja Pompa Air Berbasis Arduino," *Zetroem*, vol. 5, no. 1, 2023, doi: 10.36526/ztr.v5i1.2561.
- [17] A. Naufal and Nurfiana, "Rancang Bangun Alat Monitoring Aliran Dan Jumlah Air Pada Greenhouse Berbasis Esp 32," *Jurnal Sistem Komputer Musirawas Andrian Naufal (Jusikom)*, vol. 7, no. 1, pp. 43–59, 2022, doi: 10.32767/jusikom.v7i1.1531.
- [18] K. Kartika and Y. Fauzan, "Moringa Leaf Dryer Oven System Using Fuzzy Logic Method," *International Journal of Engineering, Science and Information Technology*, no. Vol 3, No 1 (2023), pp. 15–21, 2023, doi: 10.52088/ijesty.v3i1.405.
- [19] H. Suryantoro and A. Budiyanto, "Prototype Sistem Monitoring Level Air Berbasis Labview & Arduino Sebagai Sarana Pendukung Praktikum Instrumentasi Sistem Kendali," *Indonesian Journal Of Laboratory*, vol. 1, no. 3, pp. 20–32, 2019, doi: 10.22146/ijl.v1i3.48718.
- [20] A. Naufal and Nurfiana, "Rancang Bangun Alat Monitoring Aliran Dan Jumlah Air Pada Greenhouse Berbasis Esp 32," *Jurnal Sistem Komputer Musirawas Andrian Naufal (Jusikom)*, vol. 7, no. 1, pp. 41–52, Jun. 2022, doi: 10.32767/jusikom.v7i1.1531.
- [21] K. Kartika and A. R. Setiawan, "Gas electric valve design," *International Journal of Social Science, Educational, Economics, Agriculture Research and Technology*, vol. 1, no. 8, pp. 397–404, 2022, doi: 10.54443/ijset.v1i8.46.
- [22] W. Apriyuni and J. Sardi, "Perancangan Sistem Kontrol Ketinggian Air Sawah Berdasarkan Usia Tanaman Padi Menggunakan Arduino Mega 2560," *JTEIN: Jurnal Teknik Elektro Indonesia*, vol. 1, no. 2, pp. 26–31, 2020, doi: 10.24036/jtein.v1i2.13.
- [23] O. A. Saputra and U. Ramelan, "Analisis Efektivitas Konversi Pompa Air Model Motor Penggerak Ac Dengan Pompa Air Model Motor Penggerak Dc," *Electron : Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, vol. 4, no. 1, pp. 56–68, 2023, doi: 10.33018/electron.v4i1.128.
- [24] M. Irwandy, A. Asran, K. Munir, and Salahuddin, "Pid-Based Bottle Shark Heart Heater Design and Development," *International Journal of Engineering, Science and Information Technology*, vol. 3, no. 1, pp. 63–70, 2023, doi: 10.52088/ijesty.v3i1.426.
- [25] S. Rifai, S. Ratna Sulistiyanti, A. Yudamson, and E. Nasrullah, "Rancang Bangun Sistem Deteksi Binatang Penyebab Gangguan Distribusi SUTM Berbasis IoT," *Electron : Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, vol. 5, no. 1, pp. 77–88, 2024, doi: 10.33019/electron.v5i1.128.