

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pengelolaan sumber daya air merupakan aspek fundamental dalam menunjang keberlanjutan sistem kehidupan modern, baik pada sektor industri maupun domestik. Peningkatan kebutuhan air akibat pertumbuhan populasi, urbanisasi, dan perkembangan industri mendorong perlunya sistem pengelolaan air yang lebih efisien dan presisi. Secara global, permintaan air diproyeksikan meningkat hingga 20–30% pada tahun 2050, yang menunjukkan urgensi pengembangan teknologi pengendalian yang andal [1]. Dalam konteks industri, kontrol level air berperan penting dalam menjaga stabilitas proses pada sistem seperti pembangkit listrik, pengolahan kimia, dan instalasi pengolahan limbah. Sementara itu, pada sektor domestik, sistem tangki air otomatis digunakan untuk memastikan ketersediaan air secara kontinu tanpa intervensi manual. Oleh karena itu, pengembangan sistem kontrol level air yang akurat dan stabil menjadi kebutuhan penting untuk meningkatkan efisiensi penggunaan air serta mengurangi potensi pemborosan [1].

Meskipun demikian, metode pengendalian level air yang banyak digunakan saat ini masih didominasi oleh sistem kontrol ON–OFF karena kemudahan implementasinya. Metode ini bekerja dengan prinsip sederhana, yaitu menghidupkan atau mematikan aktuator berdasarkan batas tertentu, namun memiliki kelemahan dalam hal kestabilan sistem. Sistem ON–OFF cenderung menghasilkan osilasi yang tinggi di sekitar

setpoint, respon yang kurang halus, serta ketidakmampuan dalam menyesuaikan perubahan kondisi secara kontinu. Kondisi ini tidak hanya menurunkan efisiensi sistem, tetapi juga dapat mempercepat keausan komponen seperti pompa akibat *switching* yang berulang. Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, pengendali *Proportional-Integral-Derivative* (PID) banyak digunakan karena mampu menghasilkan respon yang lebih halus dan stabil terhadap perubahan sistem [2]. Namun demikian, keberhasilan implementasi PID sangat bergantung pada proses penalaan parameter yang tepat agar sistem dapat mencapai performa optimal.

Seiring dengan perkembangan teknologi, berbagai penelitian telah mengembangkan sistem kontrol level air berbasis PID dengan memanfaatkan mikrokontroler sebagai platform implementasi. Penggunaan Arduino dengan sensor ultrasonik mampu meningkatkan kestabilan sistem dibandingkan metode konvensional[3]. Implementasi *embedded* PID controller pada sistem tangki air dan memperoleh respon yang lebih cepat serta *overshoot* yang lebih kecil[4]. PID tetap efektif dalam mengendalikan sistem level cairan baik secara teoritis maupun eksperimental[2]. Selain itu, penelitian lain membandingkan PID dengan metode cerdas seperti *fuzzy logic* dan *reinforcement learning*, yang menunjukkan bahwa PID masih menjadi metode dasar yang penting dalam sistem kontrol modern [5][6]. Penggunaan Arduino sebagai platform juga dinilai efektif karena biaya rendah, fleksibilitas tinggi, serta kemudahan integrasi dengan berbagai sensor dan aktuator [7].

Meskipun telah banyak penelitian dilakukan, masih terdapat beberapa kesenjangan yang perlu dikaji lebih lanjut dalam pengembangan sistem kontrol level air. Sebagian besar penelitian masih berfokus pada simulasi atau skala laboratorium dengan kondisi ideal,

sehingga belum sepenuhnya merepresentasikan kondisi nyata yang dinamis. Selain itu, proses penalaan parameter PID umumnya dilakukan secara *trial and error* tanpa pendekatan optimasi yang sistematis, sehingga hasil yang diperoleh cenderung kurang konsisten. Beberapa penelitian juga belum mempertimbangkan pengaruh gangguan eksternal terhadap sistem, padahal dalam aplikasi nyata gangguan seperti perubahan debit aliran sering terjadi [4]. Di sisi lain, integrasi sistem monitoring secara *real-time* serta pengolahan data yang efisien juga masih terbatas dalam implementasi berbasis Arduino. Oleh karena itu, diperlukan pengembangan sistem yang tidak hanya mampu mengontrol level air, tetapi juga mampu beradaptasi terhadap kondisi gangguan dan memberikan informasi sistem secara *real-time*.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan merealisasikan sistem kontrol level air berbasis Arduino menggunakan pengendali PID yang mampu memberikan respon cepat, stabil, dan akurat. Sistem yang dikembangkan memanfaatkan pompa sebagai aktuator utama yang dikendalikan secara kontinu, serta dilengkapi dengan mekanisme gangguan berupa aliran keluar untuk menguji ketahanan sistem terhadap perubahan kondisi. Secara teoritis, penelitian ini diharapkan dapat memperkaya kajian mengenai implementasi PID pada sistem kontrol berbasis mikrokontroler serta memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai karakteristik respon sistem terhadap gangguan. Secara praktis, sistem yang dikembangkan dapat diaplikasikan pada pengelolaan air di sektor industri maupun domestik untuk meningkatkan efisiensi dan keandalan sistem. Selain itu, penggunaan Arduino sebagai *platform* diharapkan dapat memberikan solusi yang ekonomis, fleksibel, dan mudah dikembangkan untuk berbagai aplikasi sistem kontrol [7].

Dengan demikian, penelitian ini diharapkan mampu memberikan kontribusi nyata dalam pengembangan teknologi kontrol otomatis berbasis sistem *embedded*.

1.2 Perumusan Masalah

1.2.1 Rumusan Masalah

1. Bagaimana merancang sistem kontrol level air berbasis Arduino menggunakan pengendali PID dengan pompa sebagai aktuator utama?
2. Bagaimana performa sistem dalam mempertahankan level air pada nilai *setpoint* yang ditentukan?
3. Bagaimana respon sistem terhadap gangguan berupa perubahan debit aliran keluar yang diatur secara manual melalui *valve*?

1.2.2 Batasan Masalah

Agar penelitian ini lebih terfokus dan sesuai dengan tujuan yang telah ditetapkan, maka ruang lingkup penelitian dibatasi pada beberapa hal sebagai berikut:

1. Sistem menggunakan dua tangki, yaitu tangki *reservoir* dan tangki proses.
2. Sensor yang digunakan adalah sensor ultrasonik HC-SR04.
3. Aktuator utama berupa pompa DC yang dikendalikan menggunakan PWM melalui MOSFET IRF520.
4. Sistem kontrol menggunakan metode PID dengan penalaan parameter secara *trial and error*.
5. Level air ditampilkan dalam satuan volume (liter).
6. *Setpoint* level air ditentukan sebesar 9 liter.

7. Sistem difokuskan pada pengendalian level air tanpa mempertimbangkan optimasi metode kontrol lain.

1.3 Tujuan

1. Merancang sistem kontrol level air berbasis Arduino menggunakan pengendali PID.
2. Mengimplementasikan algoritma PID untuk mengontrol kinerja pompa air.
3. Menganalisis respon sistem terhadap perubahan *setpoint* dan gangguan *valve*.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat yang signifikan baik secara teoritis maupun praktis dalam bidang sistem kontrol dan instrumentasi. Secara teoritis, penelitian ini berkontribusi dalam memperkaya kajian mengenai implementasi pengendali *Proportional–Integral–Derivative* (PID) pada sistem kontrol level air berbasis mikrokontroler. Pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini menekankan pada pengendalian debit aliran menggunakan pompa sebagai aktuator utama, yang memberikan perspektif berbeda dibandingkan pendekatan konvensional yang umumnya menggunakan *valve* sebagai elemen kendali. Selain itu, penelitian ini juga memberikan pemahaman mengenai karakteristik sistem kontrol yang dipengaruhi oleh perubahan kondisi aliran, sehingga dapat memperluas wawasan terkait analisis kestabilan dan respon sistem dinamis. Dengan demikian, hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi ilmiah dalam pengembangan sistem kontrol yang lebih adaptif, sederhana, dan aplikatif.

Adapun manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagi Perguruan Tinggi

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi akademik bagi perguruan tinggi, khususnya dalam pengembangan bidang sistem kontrol dan instrumentasi. Rancangan dan realisasi sistem kontrol level air berbasis Arduino menggunakan pengendali PID dan pompa sebagai aktuator dapat memperkaya referensi ilmiah serta mendukung kegiatan pembelajaran, praktikum, dan penelitian di lingkungan perguruan tinggi. Selain itu, penelitian ini dapat menjadi contoh nyata penerapan teori kontrol klasik pada sistem fisik yang sederhana namun representatif terhadap kondisi industri. Dengan adanya sistem ini, perguruan tinggi dapat memiliki media pembelajaran yang lebih aplikatif dan kontekstual dalam memahami konsep sistem kontrol.

2. Bagi Mahasiswa dan Dosen

Bagi mahasiswa, penelitian ini dapat digunakan sebagai bahan pembelajaran dan referensi dalam memahami implementasi pengendali PID pada sistem kontrol berbasis mikrokontroler. Penelitian ini juga membantu mahasiswa dalam meningkatkan kemampuan analisis sistem, perancangan alat, serta pemecahan masalah pada sistem kontrol yang memiliki karakteristik dinamis. Selain itu, mahasiswa dapat memahami hubungan antara teori kontrol dengan implementasi nyata, termasuk bagaimana sistem merespon perubahan kondisi operasional. Bagi dosen, hasil penelitian ini dapat dimanfaatkan sebagai bahan ajar, studi kasus, maupun dasar pengembangan penelitian lanjutan dalam bidang sistem kontrol, otomasi, dan *embedded system*. Dengan demikian,

penelitian ini dapat mendukung proses pembelajaran yang lebih interaktif dan berbasis praktik.

3. Bagi Pengembangan Ilmu Pengetahuan

Bagi mahasiswa, penelitian ini dapat digunakan sebagai bahan pembelajaran dan referensi dalam memahami implementasi pengendali PID pada sistem kontrol berbasis mikrokontroler. Penelitian ini juga membantu mahasiswa dalam meningkatkan kemampuan analisis sistem, perancangan alat, serta pemecahan masalah pada sistem kontrol yang memiliki karakteristik dinamis. Selain itu, mahasiswa dapat memahami hubungan antara teori kontrol dengan implementasi nyata, termasuk bagaimana sistem merespon perubahan kondisi operasional. Bagi dosen, hasil penelitian ini dapat dimanfaatkan sebagai bahan ajar, studi kasus, maupun dasar pengembangan penelitian lanjutan dalam bidang sistem kontrol, otomasi, dan *embedded system*. Dengan demikian, penelitian ini dapat mendukung proses pembelajaran yang lebih interaktif dan berbasis praktik.

1.5 Relevansi

Penelitian ini memiliki relevansi yang tinggi terhadap perkembangan teknologi di bidang sistem kontrol dan otomasi, khususnya dalam pengelolaan fluida. Dalam konteks industri, sistem kontrol level air merupakan bagian penting dalam berbagai proses seperti pengolahan air, industri kimia, serta pembangkit listrik, yang menuntut kestabilan dan akurasi tinggi. Implementasi pengendali PID berbasis mikrokontroler memberikan solusi yang efisien dan ekonomis dibandingkan sistem kontrol konvensional. Selain itu, penggunaan pompa sebagai aktuator utama mencerminkan kondisi nyata yang sering

dijumpai di lapangan, sehingga penelitian ini tidak hanya bersifat teoritis tetapi juga aplikatif. Dengan demikian, penelitian ini relevan sebagai jembatan antara konsep teori sistem kontrol dengan implementasi praktis di dunia industri maupun pendidikan.

1.6 Metodologi

Metodologi penelitian dalam tugas akhir ini disusun secara sistematis untuk memastikan bahwa setiap tahapan yang dilakukan dapat mendukung tercapainya tujuan penelitian secara optimal. Pendekatan yang digunakan bersifat eksperimental, yaitu dengan merancang, merealisasikan, dan menguji sistem kontrol level air berbasis Arduino menggunakan pengendali PID. Adapun tahapan penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Tahap awal penelitian dilakukan melalui studi literatur yang bertujuan untuk memperoleh dasar teori dan referensi yang relevan. Pada tahap ini, peneliti mempelajari berbagai konsep yang berkaitan dengan Sistem kontrol level air, prinsip kerja pengendali PID (*Proportional*, *Integral*, *Derivative*), karakteristik sensor ultrasonik HC-SR04, prinsip kerja pompa DC dan pengaruh PWM terhadap debit aliran, dan penggunaan mikrokontroler Arduino dalam sistem kontrol. Studi literatur dilakukan dengan mengacu pada jurnal ilmiah, buku referensi, serta sumber terpercaya lainnya guna memperkuat landasan teoritis penelitian.

2. Perancangan Sistem

Tahap perancangan dilakukan untuk menyusun konsep sistem yang akan direalisasikan. Perancangan meliputi beberapa aspek utama, yaitu:

A. Perancangan mekanik

- 1) Menentukan struktur rangka alat
- 2) Menentukan posisi tangki *reservoir* dan tangki proses
- 3) Menyusun jalur aliran air

B. Perancangan elektrikal

- 1) Menentukan koneksi antar komponen (sensor, pompa, solenoid *valve*, relay, Arduino)
- 2) Menentukan sistem distribusi daya (12V dan 5V)
- 3) Merancang sistem kontrol berbasis PWM dan *input* manual

C. Perancangan perangkat lunak

- 1) Menyusun algoritma pembacaan sensor
- 2) Merancang logika kontrol PID
- 3) Menentukan alur program (*flowchart* sistem)

Tahap ini bertujuan untuk memastikan bahwa sistem yang dirancang dapat bekerja secara terintegrasi dan sesuai dengan kebutuhan penelitian.

3. Realisasi Sistem

Setelah tahap perancangan selesai, dilakukan realisasi sistem dengan merakit seluruh komponen sesuai desain yang telah dibuat. Tahap ini meliputi perakitan rangka mekanik, instalasi, komponen elektrikal, penyambungan sistem kontrol (Arduino, sensor, pompa, relay, dan solenoid *valve*), dan integrasi perangkat lunak ke dalam mikrokontroler. Realisasi dilakukan secara bertahap untuk memastikan setiap bagian sistem dapat berfungsi dengan baik sebelum diintegrasikan secara keseluruhan.

4. Pengukuran Awal Komponen

Sebelum sistem dioperasikan secara penuh, dilakukan pengukuran awal terhadap masing-masing komponen untuk memastikan kinerja

individualnya. Pengukuran meliputi pengujian sensor HC-SR04 dalam mengukur tinggi air, pengujian pompa dengan variasi sinyal PWM, pengukuran relay dan *push button* dalam mengontrol *valve*, dan pengujian komunikasi antara Arduino dan perangkat lainnya. Tahap ini penting untuk mengidentifikasi potensi kesalahan sejak dini serta memastikan bahwa setiap komponen bekerja sesuai spesifikasi.

5. Implementasi dan Pengujian Sistem Kontrol PID

Setelah semua komponen berfungsi dengan baik, dilakukan implementasi pengendali PID pada sistem. Tahap ini meliputi penentuan parameter PID (K_p , K_i , K_d) dengan metode *trial and error*, pengujian respon sistem terhadap perubahan *setpoint*, dan pengamatan karakteristik sistem seperti *rise time*, *overshoot*, dan *steady-state error*. Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi kemampuan sistem dalam mencapai dan mempertahankan level air sesuai dengan nilai yang diinginkan.

6. Pengujian Sistem Secara Keseluruhan

Pada tahap ini, sistem diuji secara terintegrasi untuk melihat performa keseluruhan dalam kondisi nyata. Pengujian meliputi uji kestabilan sistem pada kondisi normal, uji respon sistem terhadap perubahan kondisi operasional, dan pengamatan interaksi antara sistem kontrol dan kondisi aliran. Hasil pengujian ini digunakan untuk menilai keandalan dan performa sistem secara menyeluruh.

7. Analisis data dan Evaluasi Sistem

Data yang diperoleh dari hasil pengujian dianalisis untuk mengetahui performa sistem kontrol. Analisis dilakukan terhadap akurasi sistem dalam mencapai *setpoint*, stabilitas sistem terhadap perubahan kondisi, dan efektivitas parameter PID yang digunakan.

Evaluasi dilakukan untuk mengetahui kelebihan dan keterbatasan sistem yang telah dirancang.

8. Penarikan Kesimpulan

Tahap akhir penelitian adalah penarikan kesimpulan berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, yang mencakup pencapaian tujuan penelitian, kinerja sistem kontrol yang telah dirancang, dan rekomendasi untuk pengembangan penelitian selanjutnya.

1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam penelitian ini disusun secara terstruktur untuk memberikan gambaran yang jelas mengenai alur pembahasan serta keterkaitan antar bab dalam laporan skripsi. Penyusunan sistematika ini bertujuan agar pembaca dapat memahami isi penelitian secara sistematis, mulai dari latar belakang hingga kesimpulan. Adapun sistematika penulisan dalam skripsi ini adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan, dan manfaat penelitian. Selain itu, dijelaskan pula relevansi penelitian, metodologi yang digunakan, serta sistematika penulisan sebagai panduan isi skripsi.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas teori dan literatur yang mendukung penelitian, meliputi sistem kontrol, PID, karakteristik sistem level air, serta komponen yang digunakan. Selain itu, disajikan kerangka teori dan penelitian terdahulu sebagai dasar ilmiah penelitian.

BAB III PERANCANGAN ALAT

Bab ini menjelaskan metode penelitian, perancangan, dan realisasi sistem. Pembahasan mencakup pendekatan penelitian, pengumpulan data, instrumen yang digunakan, serta desain mekanik, elektrikal, dan perangkat lunak termasuk implementasi PID.

BAB IV PENGUKURAN DAN PENGUJIAN ALAT

Bab ini menyajikan hasil pengujian sistem dalam bentuk data dan analisis. Pembahasan dilakukan untuk mengevaluasi performa sistem berdasarkan kestabilan, akurasi, dan respon terhadap kondisi operasional.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan hasil penelitian serta saran untuk pengembangan lebih lanjut berdasarkan hasil yang diperoleh.