

Kontrol Motor Berbasis PID untuk Pompa Air di Miniatur Rumah Kaca

Helmy Mukti Himawan^{*a)}, Vita Ria Mustikasari^{b)}, Muhammad Fahmi Hakim^{c)}

(Received 1 Juni 2024 || Revised 22 Juni 2024 || Accepted 29 Juni 2024)

Abstract: Greenhouses are crucial in agriculture for enhancing crop yields by providing controlled environmental conditions. Efficient water management is a key challenge in conventional greenhouse systems, often leading to water wastage due to unmeasured soil moisture levels. This research aimed to design and implement a PID control system for water pumps in a miniature greenhouse to optimize water usage and maintain stable soil moisture and temperature levels. The methodology involved integrating PID control with sensors to monitor and adjust the water pump operation based on real-time soil moisture and temperature data. The study found that the PID-controlled system reduced the time to reach steady-state conditions from 650 ms to 600 ms, with no overshoot compared to systems without control. Additionally, the error in the PID system ranged from 0.89% to 2.32%. These findings suggest that PID control significantly enhances the efficiency and effectiveness of water usage in greenhouses, contributing to better crop management and resource conservation. The implications of this research are substantial for agricultural practices, as it demonstrates a viable solution for improving irrigation precision and overall greenhouse management.

Keywords: PID control, water pump, greenhouse, temperature control, agricultural management, sensor integration

1. Pendahuluan

Pertanian modern semakin bergantung pada teknologi untuk meningkatkan efisiensi dan produktivitas. Salah satu teknologi penting yang digunakan adalah rumah kaca, yang memungkinkan pengendalian lingkungan tumbuh tanaman [1]. Pengaturan kelembapan dan suhu pada rumah kaca merupakan faktor penting untuk pertumbuhan tanaman yang diproduksi dalam rumah kaca tersebut. Air merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi kelembapan tanah dan suhu rumah kaca.

Permasalahan yang ada saat ini, pada sistem rumah kaca konvensional penggunaan air tidak terlalu efisien yang disebabkan oleh kelembapan tanah tidak diukur dengan baik. Akibatnya, air limbah yang dihasilkan pada saat irigasi sangat tinggi atau bisa dikatakan efisiensi penggunaan air sangat rendah. Masalah lainnya adalah kesulitan dalam menjaga suhu yang seragam di seluruh rumah kaca agar tanaman dapat tumbuh dengan baik. Banyak rumah kaca dilengkapi dengan perangkat kecil untuk penyiraman dan pengatur suhu, namun penyiraman otomatis tidak dapat dikontrol dengan baik dan terpusat [2]. Kondisi ini mengindikasikan perlunya sistem kontrol yang lebih canggih dan terintegrasi.

Rumah kaca merupakan bangunan tempat tanaman ditanam dapat terbuat dari kaca atau plastik. Rumah kaca menjadi panas karena radiasi elektromagnetik matahari memanaskan tanaman dan tanah di dalam gedung. Dengan menggunakan kaca yang digunakan di bangunan, frekuensi spektral yang berbeda dapat ditransmisikan melaluinya. Akibatnya, kaca menangkap energi yang memanaskan tanah dan tanaman di dalam rumah kaca, serta udara di dekatnya, yang kemudian terhalang, naik, dan mengalir keluar. Karena itu, rumah kaca memerangkap radiasi elektromagnetik dan mencegah konveksi [4].

Metode penyiraman rumah kaca sangat memengaruhi pertumbuhan dan kesehatan tanaman. Berikut ini adalah beberapa metode yang paling umum digunakan beserta efek yang dihasilkan oleh metode tersebut [5]. Metode pertama adalah Penyiraman Manual menggunakan selang penyiram tangan atau alat lainnya. Pengaruhnya bergantung pada seberapa cermat petani memberikan air yang cukup dan merata kepada setiap tanaman. Kelebihan metode ini adalah kontrol jumlah air yang lebih langsung; namun, metode ini mungkin kurang efisien dalam penggunaan air dan waktu. Metode kedua yaitu Sistem Irigasi Tetes (*Drip Irrigation*) yang menyuplai air secara perlahan-lahan ke akar tanaman melalui pipa atau selang dengan lubang kecil

(emitter) di dekat tanaman. Metode ini memiliki dua keuntungan utama yaitu penggunaan air yang efisien dan distribusi air yang merata serta minimalisasi kelebihan air yang dapat menyebabkan penyakit tanaman atau kehilangan nutrisi tanah. Metode ketiga disebut Irigasi Permukaan yang mengalirkan air di sekitar tanaman. Meskipun mudah dan murah, teknik ini dapat menyebabkan pemborosan air dan ketidakmerataan penyiraman, yang dapat berdampak negatif pada pertumbuhan tanaman. Metode terakhir bernama Irigasi Sprinkler yang menggunakan *sprinkler* untuk menyemprotkan air ke udara sehingga jatuh ke tanaman seperti hujan. Metode ini mirip dengan metode yang digunakan di luar ruangan. Jenis *sprinkler* dan tempatnya berpengaruh, tetapi metode ini memiliki kemungkinan penguapan yang lebih tinggi atau distribusi air yang tidak merata.

Meskipun terdapat banyak metode dalam teknologi irigasi dan kontrol lingkungan, masih ada kesenjangan dalam penerapan sistem yang benar-benar efisien dan efektif. Banyak sistem yang ada tidak mampu memberikan pengukuran *real-time* yang akurat dan respons yang cepat terhadap perubahan lingkungan. Ini menunjukkan adanya kebutuhan mendesak untuk pengembangan sistem yang lebih integratif dan responsif. Selain itu, banyak penelitian yang masih berfokus pada skala besar, sementara penerapan pada skala kecil seperti rumah kaca miniatur belum banyak dikaji.

Penelitian ini bertujuan untuk mengatasi kesenjangan tersebut dengan mengembangkan sistem kontrol berbasis PID untuk pompa air di rumah kaca miniatur. Konsep ini menggabungkan penggunaan sensor untuk pemantauan *real-time* dan kontrol otomatis yang responsif terhadap perubahan kondisi lingkungan. Dengan menerapkan kontrol PID, diharapkan dapat mengoptimalkan penggunaan air dan menjaga stabilitas kelembapan serta suhu di dalam rumah kaca. Penggunaan teknologi pengaturan suhu dan kelembapan yang tepat dapat menciptakan lingkungan yang ideal untuk pertumbuhan tanaman di rumah kaca.

2. Metode

2.1 Tahapan Penelitian

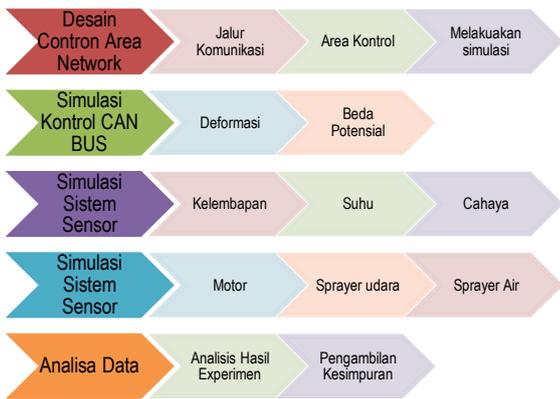
Penelitian ini memiliki beberapa tahapan seperti pada Gambar 2.1.

*Korespondensi: helmy@akabi.ac.id

a) Prodi D3 Teknik Alat Berat, Akademi Teknik Alat Berat, Malang, Indonesia

b) Prodi S1 Pendidikan IPA, Fakultas MIPA, Universitas Negeri Malang, Malang, Indonesia

c) Prodi Sistem Kelistrikan, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang, Malang, Indonesia



GAMBAR 2.1 TAHAPAN PENELITIAN

Berdasarkan Gambar 2.1 dapat dilihat bahwa tahapan penelitian dimulai dengan fase perencanaan. Pada tahap ini, dilakukan identifikasi kebutuhan penelitian dan tujuan yang ingin dicapai. Tahap berikutnya adalah perancangan sistem, yang meliputi pemilihan sensor yang tepat untuk mengukur kelembapan tanah dan suhu, serta pemilihan komponen lain seperti pompa air dan mikrokontroler. Setelah sistem dirancang, langkah berikutnya adalah pengembangan perangkat lunak. Perangkat lunak ini dikodekan untuk mengimplementasikan algoritma PID dan mengontrol operasi pompa berdasarkan data sensor real-time. Selanjutnya, sistem yang telah dikembangkan diuji secara awal untuk memastikan semua komponen berfungsi dengan baik. Tahap berikutnya adalah validasi dan kalibrasi, yaitu sistem dikalibrasi untuk memastikan bahwa kontrol PID bekerja dengan optimal. Akhirnya, sistem yang telah divalidasi diimplementasikan di rumah kaca miniatur dan diuji dalam kondisi operasional yang sebenarnya. Pengujian akhir ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja sistem secara keseluruhan dan memastikan bahwa tujuan penelitian tercapai.

2.2 Can Bus

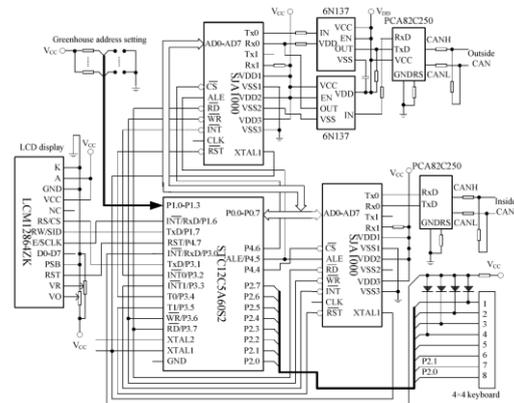
Teknologi CAN (*Controller Area Network*) awalnya dikembangkan oleh Robert Bosch di Jerman untuk aplikasi pada kendaraan bermotor pada tahun 1986, pada saat itu mereka diminta untuk membangun sistem komunikasi untuk *Electronic Control Unit* (ECU) pada sebuah kendaraan yang dirancang oleh Mercedes. Dalam situasi ini, mereka menemukan bahwa berbicara satu-satu tidak lagi efektif. Sistem komunikasi multi-master harus ada. Silikon CAN pertama dibuat oleh Intel pada tahun 1987 [6].

Model Interkoneksi Sistem Terbuka atau istilah umumnya adalah *Open System Interconnection* (OSI) mengacu pada standar untuk data pada lapisan link dan lapisan fisik. CAN adalah protokol komunikasi serial yang sangat membantu dalam penyebaran kontrol secara *real-time* dengan keamanan tingkat yang tinggi. CAN adalah sistem serial bus yang memiliki kemampuan multi-master, yang berarti setiap simpul memiliki kemampuan untuk mengirimkan data dan memiliki kemampuan untuk mengakses bus secara bersamaan [7]. Sesuai dengan kebutuhan kontrol irigasi fasilitas pertanian modern, pengukuran dan sistem kontrol kelembapan tanah dari kelompok besar sebuah system rumah kaca berdasarkan Double CAN bus adalah design antarmuka dari sistem pada rumah kaca dengan PC sebagai pengontrol terpusat. Sistem ini terdiri dari: *Host* (Server Pusat), *Inside* CAN bus, *Outside* CAN bus, *Slave Unit*, dan *Sub-slave Unit*.

Sistem ini mengadopsi cara *master-slave* bekerja, yaitu PC *Host* berfungsi sebagai pemantauan terpusat dari semua rumah kaca, unit *slave* terdapat pada displai siklus, parameter pengaturan kelembapan tanah dari semua blok dari satu rumah kaca; dan unit *sub-slave* bertanggung jawab untuk pengukuran kelembapan tanah dan irigasi kontrol satu blok. *Master*, *slave*, dan *sub-slave*, masing-masing dihubungkan oleh bus CAN luar dan di dalam CAN bus [7]. Dengan menggunakan sistem dikombinasikan dengan sistem pertanian pakar, tidak hanya kontrol terpusat dan manajemen, tetapi juga pengukuran dan pengendalian dalam partisi sesuai dengan kebutuhan dapat dicapai, sehingga tanaman mendapatkan tepat waktu, *on demand* irigasi yang tepat, tidak hanya dapat meningkatkan rasio penggunaan alat dan air, tetapi juga mendukung hasil yang tinggi dan kualitas.

2.3 Perancangan Sistem

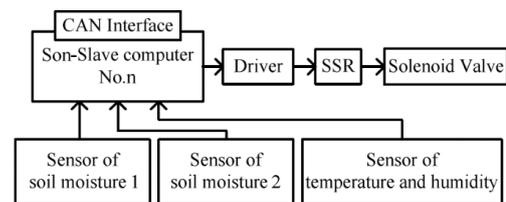
Gambar 2.2 dapat ditemukan pada setiap unit berupa sensor pada rumah kaca terkontrol dan monitoring secara baik melalui *Host* komputer.



GAMBAR 2.2 PERANCANGAN SISTEM KONTROL

Pada Gambar 2.2 ditunjukkan bahwa setiap CAN interface pada setiap unit memiliki kelengkapan sensor dan actuator yang dapat kita kontrol secara terpusat.

Untuk mendapatkan data yang diinginkan pada penelitian ini digunakan metode seperti pada Gambar 2.3.



GAMBAR 2.3 CARA MENDAPATKAN DATA PENGUKURAN

Berdasarkan Gambar 2.3 dapat dilihat bahwa pada sistem yang dirancang terdapat beberapa masukan sebagai parameter pengontrol solenoid valve. Alat ini dipakai sebagai penyiraman air agar suhu dan kelembapan pada rumah kaca selalu sesuai dengan setting point yang telah ditentukan.

2.4 Sensor DHT 22

Sensor DHT22 yang digunakan dalam penelitian ini, memiliki tiga terminal: GND, VCC, dan Vout. Terminal GND dan VCC dihubungkan ke rangkaian pembagi tegangan dengan IC regulator 7805, sedangkan terminal Vout, yang berfungsi sebagai terminal data, dihubungkan ke pin input. Sensor ini mendeteksi suhu dan

kelembaban udara. Data yang diterima dari sensor ini dikirim ke board untuk diproses dan ditampilkan pada layar. Dengan cara ini, pemilik dapat melihat suhu dan kelembaban udara di dalam ruangan secara real-time.

Sensor DHT 22 dapat beroperasi pada suhu antara -40 °C hingga 80 °C dengan akurasi ± 0,5 °C dan kelembaban antara 0 hingga 100 %. Namun, dalam penelitian ini, sensor DHT 22 hanya akan mendeteksi suhu udara pada mini rumah hijau yang akan dijaga, yang akan berkisar antara 20 °C dan 30 °C, dengan kelembaban udara 70% hingga 85%. Pada *board* telah ditanamkan logika program kelembaban pada miniatur Rumah kaca.

2.5 Sensor Cahaya LDR (Light Dependent Resistor)

Resistansi LDR berubah dengan berubahnya intensitas Cahaya yang diterimanya. Resistensi LDR berada pada angka 1MΩ dalam keadaan gelap, dan 1KΩ atau bisa kurang dalam keadaan terang. LDR terbuat dari bahan semikonduktor seperti kadmium sulfida, yang menghasilkan peningkatan arus listrik atau peningkatan muatan yang dilepas sebagai akibat dari energi cahaya yang jatuh. LDR mengubah energi cahaya menjadi energi listrik. Alarm pencuri dan saklar cahaya otomatis adalah beberapa alat yang menggunakan LDR. Namun, jika intensitas cahaya berubah secara signifikan, LDR tidak digunakan. Sensor cahaya berfungsi untuk mendeteksi cahaya yang ada di sekitar kita. Sensor yang terkenal untuk mendeteksi cahaya ialah LDR. Sensor ini akan berubah nilai hambatannya apabila ada perubahan tingkat kecerahan cahaya.

2.6 Desain Kontrol

Tujuan sistem kontrol adalah selalu mendapatkan nilai aktual (diinginkan) sama dengan nilai setting [8]. Ini karena salah satu tugas komponen kontrol adalah mereduksi sinyal error, yaitu perbedaan antara setting point dan actual point.

Apabila *Plant* berbentuk orde 1 maka jenis kontroler yang digunakan adalah *Controller* PID dengan harapan (*Hope*) dalam bentuk orde1 pula. Pada kontroler PID tidak ada batasan dalam penetapan hope. Dibawah ini merupakan bentuk *Plant*, *Controller*, dan *hope* [11].

Kontroler PID selalu bergantung pada karakteristik yang diatur (*Plant*). Oleh karena itu, tidak peduli seberapa kompleks suatu tanaman, perilakunya harus dipahami sebelum penalaan parameter PI dilakukan [12].

Persamaan (2-1) menunjukkan bagaimana fungsi transfer *Plant* orde 1 ditulis dalam domain S.

$$G(s) = \frac{K}{\tau_p s + 1} \quad (2-1)$$

Persamaan (2-2) menunjukkan bagaimana fungsi transfer kontroler tipe PID ditulis dalam domain S.

$$G_c(s) = \frac{K_p(\tau_i s + 1)}{\tau_i s} \quad (2-2)$$

Persamaan (2-3) menunjukkan bagaimana fungsi transfer hope persamaan orde 1 ditulis dalam domain S.

$$G_h(s) = \frac{1}{\tau_h s + 1} \quad (2-3)$$

Rumus dasar untuk analisis loop tertutup adalah sebagai berikut: Analisa loop tertutup dilakukan dengan persamaan *Plant* dan *Controller*, yang kemudian digunakan untuk menentukan parameter kontrol PI.

$$G_{cl}(s) = \frac{G_p(s).G_c(s)}{1+G_p(s).G_c(s)} \quad (2-4)$$

Persamaan $G_c(s)$ dan $G_p(s)$ dimasukkan ke dalam persamaan $G_{cl}(s)$, dapat ditulis seperti di bawah ini:

$$G_{cl}(s) = \frac{\frac{K}{\tau_p s + 1} \times \frac{K_p(\tau_i s + 1)}{\tau_i s}}{1 + \frac{K}{\tau_p s + 1} \times \frac{K_p(\tau_i s + 1)}{\tau_i s}} \quad (2-5)$$

$$G_{cl}(s) = \frac{K K_p (\tau_i s + 1)}{\tau_i s (\tau_i s + 1) K K_p (\tau_i s + 1)} \quad (2-6)$$

$$\tau_i = \tau_p \frac{K K_p}{\tau_i s + K K_p} = \frac{1}{\frac{\tau_i}{K K_p} s + 1} \quad (2-5)$$

$$\tau_h = \frac{\tau_p}{K K_p}; K_p = \frac{\tau_p}{\tau_h K} \quad (2-6)$$

Dengan menggunakan persamaan integral, Kontroler I membantu Kontroler PI dengan mengurangi kesalahan *steady-state* yang dapat dikurangi hingga zero "0" [8].

Ketika menggunakan $e(t)$ pada fungsi error, maka rumus PI adalah:

$$R(t) = K_p \times [e(t) + \frac{1}{\tau_i} \times \int_0^t e(t) dt] \quad (2-7)$$

Apabila $Q_i = \frac{K_p}{\tau_i}$, maka rumus PI menjadi:

$$R(t) = K_p \times e(t) + Q_i \times \int_0^t e(t) dt \quad (2-8)$$

Cara yang lebih tepat dalam Kontroler PI dengan merubah ke nilai diskrit sbb:

$$R(n) = K_p \times e_n + Q_i \times \Delta t \sum_{i=1}^n \frac{e_i + e_{i-1}}{2} \quad (2-9)$$

Sekarang dapat mengisarkan dari penjumlahan R_{n-1} , maka nilai sebelumnya:

$$R_n - R_{n-1} = K_p(e_n - e_{n-1}) + Q_i \times \Delta t \left(\frac{e_n + e_{n-1}}{2} \right)$$

Sehingga:

$$R_n = R_{n-1} + K_p(e_n - e_{n-1}) + K_i \left(\frac{e_n + e_{n-1}}{2} \right) \quad (2-10)$$

Untuk mendapatkan sistem yang diinginkan, kedua parameter gain harus diatur secara optimal. Ini biasanya disebut sebagai modifikasi mode. Metode Ziegler-Nichols akan digunakan untuk menentukan nilai parameter. Parameter pengontrol PID selalu didasarkan pada karakteristik yang diatur (*Plant*) [12]. Data yang digunakan berasal dari kurva keluaran pendekatan model, karena membuat model matematik *Plant* tidak mudah. Metode ini memungkinkan penyesuaian kontrol PID, seperti yang dilakukan Ziegler Nichols dengan metode kurva reaksi dan osilasi.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Identifikasi *Plant*

Proses identifikasi *Plant* bertujuan untuk menentukan harga parameter dari K_p dan K_i yang dipergunakan untuk memperbaiki sistem kerja dari motor DC. Pada proses identifikasi penentuan parameter ini menggunakan metode Ziegler-Nichols sedangkan untuk metode indentifikasi menentukan fungsi transfer dalam bentuk Laplace menggunakan metode RLS (*Recursive Least Square*). Pengambilan data dilakukan per 100ms dengan setting point 12 V, pengambilan data dilakukan menggunakan osiloskop historisis. Hal yang perlu disiapkan untuk melakukan identifikasi antara lain: Frequency to Voltage, motor yang akan identifikasi, *encoder*, Osiloskop, catu daya, optokopler

Proses adaptif algoritma RLS mempunyai beberapa langkah sebagai berikut. Pertama, inialisasi bobot awal filter dan $P(0)$. Nilai $P(0) = \delta^{-1} I$. I merupakan matriks identitas, δ merupakan konstanta positif yang nilainya kecil. Kedua, menghitung nilai estimasi error menggunakan Persamaan (3-1).

$$\xi(n) = d(n) - w^H(n-1).u(n) \quad (3-1)$$

Ketiga, menghitung nilai *gain vector* menggunakan Persamaan (3-2).

$$k(n) = \frac{\lambda^{-1}P(n-1).u(n)}{1+\lambda^{-1}.u^H(n).P(n-1).u(n)} \quad (3-2)$$

Keempat, perbarui nilai invers matrik autokorelasi menggunakan Persamaan (3-3).

$$P(n) = \lambda^{-1}P(n-1) - \lambda^{-1}k(n)u^H(n)P(n-1) \quad (3-3)$$

Kelima, perbarui nilai bobot filter menggunakan Persamaan 3-4.

$$w(n) = w(n-1) + \mu.k(n).\xi^*(n) \quad (3-4)$$

Keenam, perbesar nilai n, lalu kembali ke langkah kedua.

Setelah mendapatkan nilai *sampling* maka langkah berikutnya adalah melakukan pengolahan data menggunakan matlab. Dari hasil pengolahan data diperoleh fungsi transfer dalam bentuk Laplace seperti di Persamaan (3-5).

$$F(s) = \frac{0,0714s+67,79}{s^2+106,1s+764,5} \quad (3-5)$$

Maka untuk mengubahnya ke dalam transformasi Z digunakan Persamaan (3-6).

$$s = \frac{2}{T} \cdot \frac{1-z^{-1}}{1+z^{-1}} \quad (3-6)$$

Menggunakan nilai T = 0.01 detik, maka persamaan dalam bentuk laplace akan menjadi bentuk tranformasi Z seperti Persamaan (3-7).

$$F(z) = \frac{0,002872Z+0,00128}{Z^2-1,299Z+0,346} \quad (3-7)$$

Setelah diubah dalam bentuk diskrit untuk mendapatkan nilai Theta estimasi menggunakan Persamaan (3-8).

$$F(z) = \frac{Y}{U} = \frac{B1.Z^{-1}+B2.Z^{-2}}{1+A1.Z^{-1}+A2.Z^{-2}} \quad (3-8)$$

$$\frac{Y}{U} = \frac{0,002872Z^{-1}+0,00128Z^{-2}}{1-1,299Z^{-1}+0,46Z^{-2}}$$

$$Y(1 - 1,299.Z^{-1} + 0,346.Z^{-2}) = U(0,002872.Z^{-1} + 0,00128.Z^{-2})$$

$$Y = 1,299.Z^{-1}.Y + 0,346.Z^{-2}.Y + 0,002872.Z^{-1}.U + 0,00128.Z^{-2}.U$$

$$Y(k) = 1,229.Y(k-1) + 0,346.Y(k-1) + 0,002872.U(k-2) + 0,00128.Y(k-1)$$

$$Y(k) = -A1.Y(k-1) + A2.Y(k-1) + B1.U(k-1) + B2.U(k-2) \quad (3-9)$$

Sehingga nilai Theta estimasi yaitu A1= -12989, A2 = 0.3457, B1 = 0.0079, dan B2 = 0.0013.

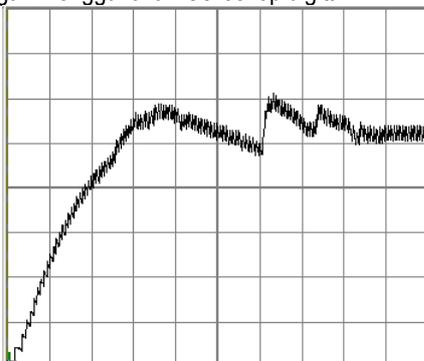
Untuk melakukan pengontrolan posisi maka nilai *Plant* dikalikan 1/s sehingga diperoleh Persamaan (3-10)

$$F(s) = \frac{0,08283}{s+0,9865} X \frac{1}{s} = \frac{0,08283}{s^2+0,9865s} \quad (3-10)$$

Plant inilah yang dimasukkan ke dalam analisis selanjutnya.

3.2 Pengujian Rangkaian

Pengujian rangkaian ini bertujuan untuk menguji kinerja rangkaian *Driver* motor untuk penggerak motor DC setelah ditala dengan kontrol PID. Gambar 3.1 menunjukkan respon motor yang diukur dengan menggunakan Osiloskop digital



GAMBAR 3.1 GRAFIK RESPON MOTOR PADA OSILOSKOP DIGITAL (200 mV/DIV DAN 100 MS/DIV)

Respon motor seperti pada Gambar 3.1 dapat diperbaiki menggunakan matlab dengan melakukan *sampling* per 100 ms dari data di Gambar 3.1 sehingga dapat digunakan metode RLS untuk

mendapatkan transfer fungsi dalam bentuk laplace dan diskrit.

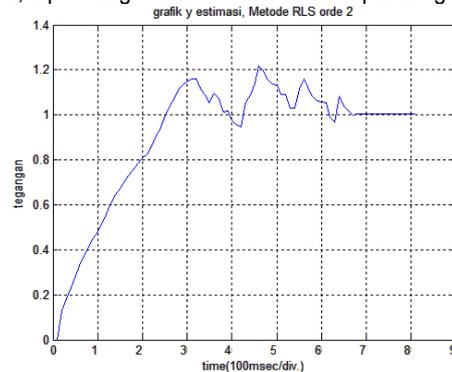
$$\text{Fungsi Transfer dalam bentuk laplace: } F(s) = \frac{0,0714s+67,79}{s^2+106,1s+764,5}$$

Fungsi Transfer dalam bentuk transformasi Z:

$$F(z) = \frac{0,002872Z+0,00128}{Z^2-1,299Z+0,346}$$

Theta Estimasi: A1 = -12989, A2 = 0.3457, B1 = 0.0079, B2 = 0.0013.

Setelah itu, diplot fungsi transfer untuk mendapatkan grafik.



GAMBAR 3.2 GRAFIK DIGAMBARKAN DENGAN MATLAB

Untuk meningkatkan hasil, metode Ziegler-Nichols identifikasi motor membutuhkan kurva reaksi berbentuk S untuk mengidentifikasi dua konstanta yang diharapkan: waktu mati L dan waktu tunda T. Kedua konstanta ini diperoleh dari sinyal masukan dan keluaran dalam percobaan. Salah satu contoh dari metode eksperimental adalah metode identifikasi yang digunakan berikut. Dari gambar di atas, jelas Pu sebesar 4.61-3,2=1,41. Dalam menentukan Ku adalah seperti berikut: $F(s) = \frac{0,0714s+67,79}{s^2+106,1s+764,5}$. Osilasi akan terjadi jika penguatan kritis atau *ultimate gain* (Ku) adalah 19,74.

Perhitungan parameter KP: $K_p = 0,6 \times Ku = 0,6 \times 19,74 = 11,844$.

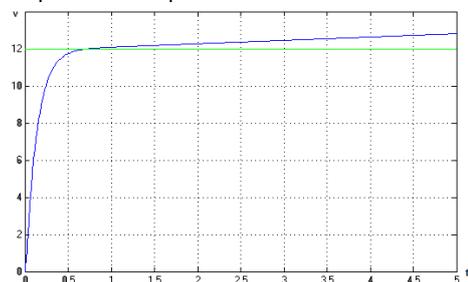
Perhitungan parameter Ki: $T_i = 0,5 \times 1,41 = 0,705$.

$$K_i = \frac{K_p}{T_i} = \frac{11,844}{0,705} = 16,8$$

Perhitungan Parameter Kd: $T_d = 0,125 \times 11,844 = 1,4805$.

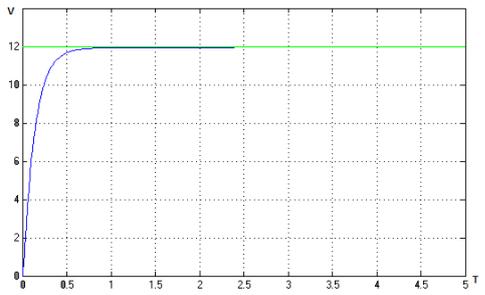
$$K_d = K_p \times T_d = 11,844 \times 1,4805 = 17,536$$

Hasil perhitungan menggunakan metode Ziegler-Nichols setelah disimulasikan dengan matlab ternyata tidak memenuhi harapan, respon masih seperti Gambar 3.3.



GAMBAR 3.3 GRAFIK PLANT YANG DITALA DENGAN ZIEGLER-NICHOLS

Dikarenakan hasil tidak memenuhi harapan, maka nilai masing-masing parameter diganti dengan $K_p=11,8$, $K_i = 16,8$ dan $K_d=0,01$. Setelah disimulasikan dengan simulink maka didapatkan hasil seperti Gambar 3.4.



GAMBAR 3.4 GRAFIK *PLANT* HASIL PERBAIKAN NILAI PARAMETER

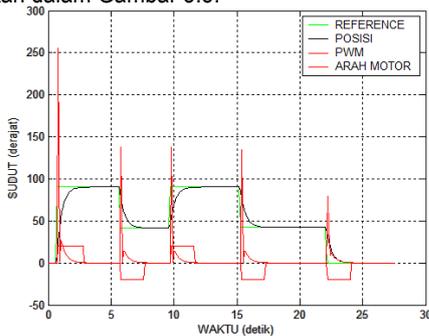
3.3 Simulasi Sistem

Sebelum melakukan pengujian sistem secara aktual dilakukan simulasi terlebih dahulu sehingga dapat diketahui apabila terjadi error pada sistem yang telah dirancang.

Untuk melakukan pengontrolan posisi maka nilai *Plant* dikalikan $1/s$ maka didapat Persamaan (3-11).

$$F(s) = \frac{0,0714s + 67,79}{s^2 + 106,1s + 764,5} \times \frac{1}{s} = \frac{0,0714s + 67,79}{s^3 + 106,1s^2 + 764,5s} \quad (3-11)$$

Plant inilah yang dimasukkan ke dalam program dan dilakukan simulasi terlebih dahulu. Pada simulasi ini ditetapkan 2 setting poin sebesar 90,2 dan 41,5 dengan pengaturan 2 kali pada setting poin 90,2 dan 2 kali pengaturan setting poin 41,5. Hasil simulasi disampaikan dalam Gambar 3.5.

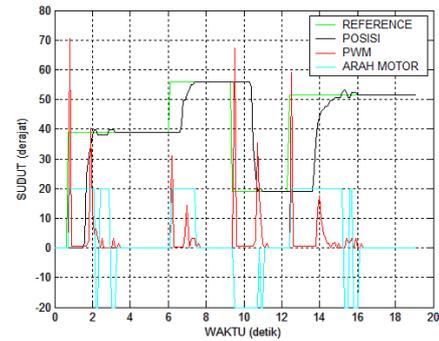


GAMBAR 3.5 HASIL SIMULASI KONTROL POSISI

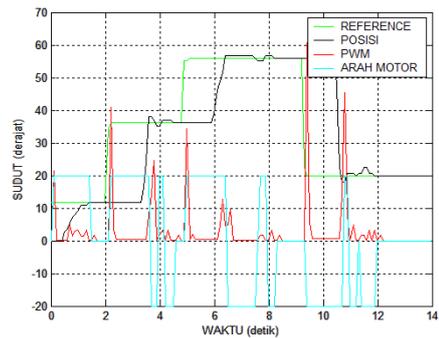
Dari hasil simulasi yang dilakukan, pada sinyal *output* tidak terdapat *overshoot* begitu pula *rise time* mengalami perbaikan sebesar 2,6 detik lebih cepat atau waktu yang diperlukan untuk mencapai kondisi *steady state* hanya 1,2 detik. Sedangkan untuk *error steady state* hanya 0,05%.

3.4 Pengujian Sistem Secara Aktual

Sebelum uji coba atual pada sistem maka parameter yang diambil datanya secara langsung adalah sebagai berikut. Garis Hijau merupakan *setting point* atau referensi yang ditargetkan oleh *output*, yaitu kontrol motor. Referensi ini pada kondisi sebenarnya berasal dari sensor yang digunakan oleh sistem di miniatur rumah kaca. Garis Merah merupakan sinyal yang keluar dari *Driver* motor mengeluarkan PWM untuk tetap untuk menjaga motor tetap dalam kondisi stabil. Garis Hitam merupakan sinyal respon motor yang terjadi saat perubahan *setting point* dilakukan. Dalam hal ini, dievaluasi apakah ada *overshoot* dan waktu settling motor. Hasil pengujian aktual dapat dilihat pada Gambar 3.6 dan Gambar 3.7.

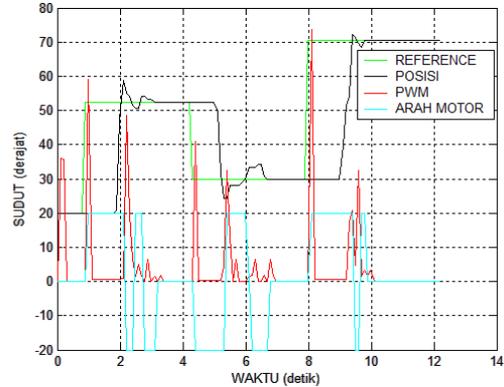


GAMBAR 3.6 HASIL KONTROL POSISI MOTOR DC DENGAN 2 BUAH VR (DENGAN SETTING POINT 40 – 55 – 20 – 51)

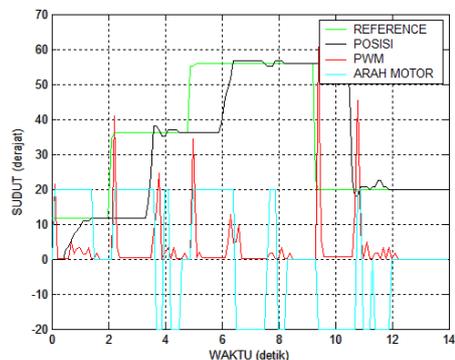


GAMBAR 3.7 HASIL KONTROL POSISI MOTOR DC DENGAN 2 BUAH VR (DENGAN SETTING POINT 12 – 35 – 56 – 20)

Gambar 3.6 dan 3.7 merupakan tahap awal dari pengujian sistem yaitu menguji Motor DC dengan menggunakan 2 buah variabel resistor masing-masing sebesar 10K ohm.

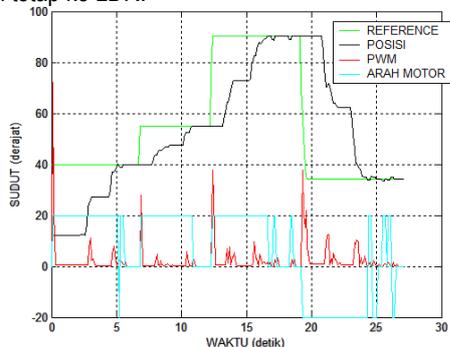


GAMBAR 3.8 HASIL KONTROL POSISI MOTOR DC MENGGUNAKAN 1 LDR (DENGAN SETTING POINT 20 – 52 – 30 – 70)



GAMBAR 3.9 HASIL KONTROL POSISI MOTOR DC MENGGUNAKAN 1 LDR (DENGAN SETTING POINT 12 – 46 – 56 – 20)

Gambar 3.8 dan Gambar 3.9 menunjukkan tahap lanjutan dari pengujian sistem yaitu menguji Motor DC dengan menggunakan LDR dengan pengaturan terang dan gelap secara manual, yaitu menggunakan lampu yang dapat diatur gelap terangnya dan diarahkan tetap ke LDR.



GAMBAR 3.10 HASIL KONTROL POSISI MOTOR DC DENGAN 2 LDR

Gambar 3.10 menunjukkan tahap lanjutan dari pengujian sistem yaitu menguji Motor DC dengan dengan menambahkan LDR sehingga mendekati alat yang pada penelitian ini. Pengaturan terang dan gelap juga masih menggunakan cara manual.

4. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil mengembangkan dan menguji sistem kontrol PID untuk pompa air di rumah kaca miniatur, dengan tujuan utama meningkatkan efisiensi irigasi dan menjaga stabilitas kelembapan serta suhu di dalam rumah kaca. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *error* untuk pencapaian posisi yang diharapkan pada motor DC didapatkan dari hasil uji coba setelah mencapai keadaan *steady state* adalah sebesar 2,32% (0,232) untuk *error* maksimal dan 0,89% (0,089) untuk *error* terkecil.

Fungsi Transfer dari *Plant* proyek akhir adalah $\frac{0,0714S+67,79}{S^2+106,1S+764,5} X \frac{1}{S} = \frac{0,0714S+67,79}{S^3+106,1S^2+764,5S}$ dan parameter untuk kontrol yang tetap untuk dapat mengontrol posisi adalah nilai $K_p=11,844$, $K_i=0,017$ (nilai K_i dapat dianggap 0) dan $K_d=16,8$.

Terdapat selisih antara kondisi hasil simulasi dengan hasil pengujian secara actual pada system. Yaitu pada simulasi tidak muncul overshoot, sedangkan pada pengujian secara actual terdapat overshoot sebesar 0,4 poin. Hasil dari rise time juga terdapat perbedaan 0,3 detik antara hasil simulasi dengan pengujian secara actual.

Untuk meningkatkan kinerja sistem lebih lanjut, disarankan untuk melakukan kalibrasi berkala pada sensor dan komponen lainnya untuk memastikan data yang akurat dan respons yang optimal dari sistem kontrol PID. Selain itu, implementasi teknologi komunikasi data yang lebih canggih, seperti Internet of Things (IoT), dapat meningkatkan kemampuan monitoring dan kontrol jarak jauh, sehingga sistem dapat dioperasikan dengan lebih efisien dan responsif.

Referensi

[1] Luo Jinyao. Research progress of water saving irrigation theory and technique of facility agriculture in China[J]. Water Saving Irrigation, Winley Library Volume 55, Issue 3, 2015.
 [2] Li Xiaojing, Zhang Kanyu. Design and implementation of control system of greenhouse group based on CAN bus[J]. Computer, Engineering, 2020, 36(1).

[3] Wang Dahong. Application of CAN bus in a distributed Aluminum Electrolysis monitoring system[J]. Process Computer, vol 20 no 3, 2017.
 [4] Mudiyantri R, Aminudin A, dan Hasanah L. Design watering system on greenhouse using microcontroller with matrix based, MSCEIS, 2019.
 [5] Zakaria M, Pagiling Luther, dan Ala WSN, Sistem Penyiraman Otomatis Tanaman Semusim Berbasis Inferensi Fuzzy Multilayer Perceptron, Kendari : Jurnal Fokus Elektroda, Vol. 7, no. 1, pp. 35-45, 2022.
 [6] N. Gaikwad & S. D. Markande, "A Review: Implementation of Intelligent Features in Vehicle using CAN Protocol", IJARCCCE, 2016.
 [7] A. A. Salunkhe, Pravin P Kamble, Rohit Jadhav. Design And Implementation of CAN bus Protocol for Monitoring Vehicle Parameters. IEEE International Conference On Recent Trends In Electronics Information Communication Technology, 2016.
 [8] Rahardjo VA, dan Setiyadi D. Implementasi Sensor Pengukur Kelembapan Tanah Dan Penyiraman Otomatis Serta Monitoring Pada Kebun Tanaman Cabai Rawit. Pringsewu : Aisyah Journal of Informatics and Electrical Engineering UAP Lampung, vol. 3, Juni 2021.
 [9] HM Himawan and O Setyawati Pemodelan Fuzzy Logic Control untuk Pengendali PWM pada Buck Converter. JNTETI., Vol 5 No 1: February 2016.
 [10] Setyawati, H Suyono, HM Himawan, "Prototype of buck converter using fuzzy logic control for LED driver", IEEE Xplore, 21 June 2018.
 [11] Gunterus, Frans. Pengenalan Metode Ziegler-Nichols pada Perancangan Controller pada PID. PT. Elex Media Komputindo, Jakarta, 2017.
 [12] HM Himawan and P P Branjangan, Pemodelan Dan Analisa Yaw-Lock Input Mixer Terhadap Freerudder Hovering Multicopter, Jurnal Ilmiah Informatika Volume 2 No. 2, Desember 2017.
 [13] A. Yunan, S. Safriati, and H. Hermalinda, "Teknik Penyiraman Tanaman Menggunakan Mikrokontroler Berbasis Internet of Things," Journal of Information System Research (JOSH), vol. 3, no. 3, pp. 331–337, 2022.
 [14] B. Sugandi and J. Armentaria, "Sistem Penyiraman Tanaman Otomatis Menggunakan Metode Logika Fuzzy," Journal of Applied Electrical Engineering, vol. 5, no. 1, pp. 5–8, 2021.
 [15] Irawan Y, Sabna E, Azim JF. Automatic Chili Plant Watering Based on Internet Of Things (IoT), Journal of Applied Engineering and Technological Science, Vol. 3, no. 2, pp. 77-83, 2022.