

Pengendalian Suhu Kolam Ikan dan Tingkat Ketinggian Air Tandon Akumulator pada Sistem Akuaponik Menggunakan Mikrokontroler

Muhammad Irfan Bashori^{1*}, Bambang Priyadi², Imam Saukani³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang, Jalan Soekarno Hatta No.9 Malang, Indonesia

*Penulis Korespondensi, e-mail: muhammadirfan5130@gmail.com

Received: 23/08/2023

Revised: 19/11/2023

Accepted: 21/11/2023

ABSTRAK

Keterbatasan lahan di area perkotaan menjadi masalah tersendiri dalam melakukan budi daya di saat kebutuhan pangan terus meningkat. Salah satu upayanya adalah dengan sistem akuaponik. Akuaponik adalah gabungan kata dari akuakultur dan hidroponik di mana keduanya berhubungan saling menguntungkan yaitu sisa metabolisme ikan menjadi nutrisi untuk tanaman. Dalam akuakultur, suhu adalah parameter yang penting untuk dikontrol supaya ikan terhindar dari penyakit dan nafsu makan yang baik. Untuk hidroponik, aliran nutrisi perlu dikontrol supaya tidak terjadi pembusukan akar. Dalam artikel ini merancang sebuah alat untuk mengendalikan suhu air di kolam ikan dan mengendalikan debit berdasarkan tingkat ketinggian air di dalam tandon akumulator untuk sumber aliran nutrisi tanaman dengan metode kontrol PID *tuning* adaptif. Selain itu, penentuan debit dari nilai ketinggian permukaan air tandon menggunakan Teorema Torricelli. Pengendalian suhu kolam ikan dapat bekerja dengan memiliki kesalahan tunak sebesar $\pm 0,9\%$. Untuk Pengendalian ketinggian permukaan air pada tandon akumulator dapat bekerja dengan memiliki kesalahan nilai tunak sebesar $-2,39\%$. Dalam penentuan nilai debit berdasarkan ketinggian air menggunakan Teorema Torricelli memiliki kesalahan rata-rata absolut sebesar $8,83\%$.

Kata Kunci: Akuaponik, Suhu, Debit, Torricelli, PID

ABSTRACT

Limited land in urban areas is a separate problem in cultivating when food demand continues to increase. One of the solutions is the aquaponic system. Aquaponics is a combination of words from aquaculture and hydroponics where the two are mutually beneficial, namely the rest of fish metabolism becomes nutrition for plants. In aquaculture, temperature is an important parameter to control so that fish can avoid disease and have a good appetite. For hydroponics, the flow of nutrients needs to be controlled so that root rot does not occur. In this article, we design a tool to control water temperature in fish ponds and control flow rate based on the water level in the accumulator tank for nutrient source of plant using the adaptive tuning PID control method. In addition, flow rate determination based on the value of the reservoir water height uses Torricelli's Theorem. Fish pond temperature control works with a steady state error of $\pm 0.9\%$. To control the water level in the accumulator reservoir works with a steady state error of -2.39% . In determining the discharge value based on water level using Torricelli's Theorem has an absolute average error of 8.83% .

Keywords: Aquaponics, Temperature, Flow Rate, Torricelli, PID

p-ISSN: 2356-0533; e-ISSN: 2355-9195



9 772356 053009

1. PENDAHULUAN

Akuaponik merupakan sebuah sistem budidaya yang menggabungkan akuakultur atau budidaya perikanan dengan hidroponik.[1] Sistem ini cocok untuk diaplikasikan pada masyarakat di daerah perkotaan yang hanya tinggal di lahan sempit guna meningkatkan jumlah produksi sehingga tercapai kecukupan pangan nasional.[2] Dengan menggunakan sistem ini juga menjadi salah satu upaya untuk menanggulangi krisis pangan di saat maraknya ketidakstabilan global saat ini seperti perang dan pandemi.[3][4]

Efisiensi akuaponik perlu ditingkatkan dengan menyesuaikan parameter-parameter yang diperlukan dengan tepat seperti suhu air kolam ikan dan debit air hidroponik. Suhu yang hangat dapat menyebabkan peningkatan kecepatan metabolisme. Akibatnya, nafsu makan lebih tinggi dan pertumbuhan lebih cepat meningkat. Jika suhu terlalu rendah, maka nafsu makan ikan menjadi berkurang.[5] Umumnya suhu air yang ideal pada budidaya ikan ialah berkisar antara 26 hingga 30 derajat Celsius.[6][7] Selain suhu, jumlah debit air juga penting untuk dikendalikan dengan debit optimal 2 L/m hingga 4 L/m. Pasalnya, Ketika debit air berlebihan, maka keadaan akar tanaman akan cepat membusuk. Sebaliknya ketika debit air berkurang, maka keadaan tanaman akan layu.[8]

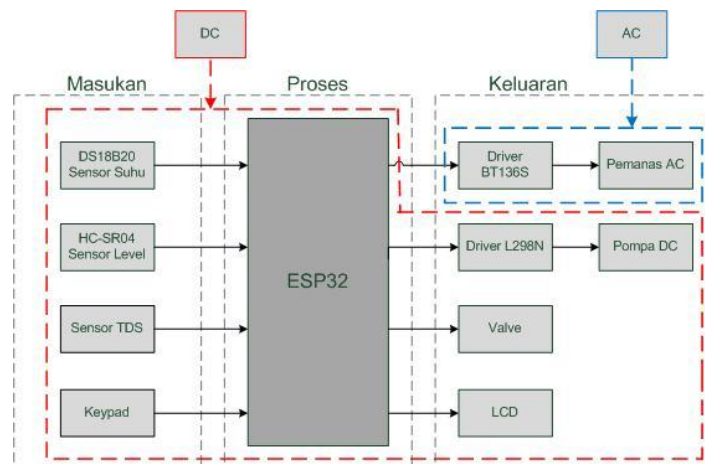
Kusbiantoro melakukan studi pengendalian suhu air akuarium menggunakan kontrol proporsional dapat menstabilkan suhu senilai 28 derajat Celcius dengan nilai Kp sebesar 139,19.[9] Sedangkan Alimuddin melakukan studi untuk membuat alat penstabil ketinggian air dengan metode *on/off* dapat mengendalikan air pada rentang 34 sampai 43 cm.[10]

Oleh karena itu penulis merancang alat untuk mengendalikan suhu kolam ikan sesuai dengan set poin sesuai dengan set poin yang dimasukkan melalui tombol dan menampilkan suhu terukur ke dalam LCD. Selain itu, mengendalikan ketinggian air tandon untuk mendapatkan debit berdasarkan teorema Torricelli yang sesuai dengan set poin yang dimasukkan melalui tombol dan menampilkan debit terukur ke dalam LCD.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Diagram Blok Sistem

Prinsip kerja sistem diilustrasikan pada sebuah diagram blok di Gambar 1.



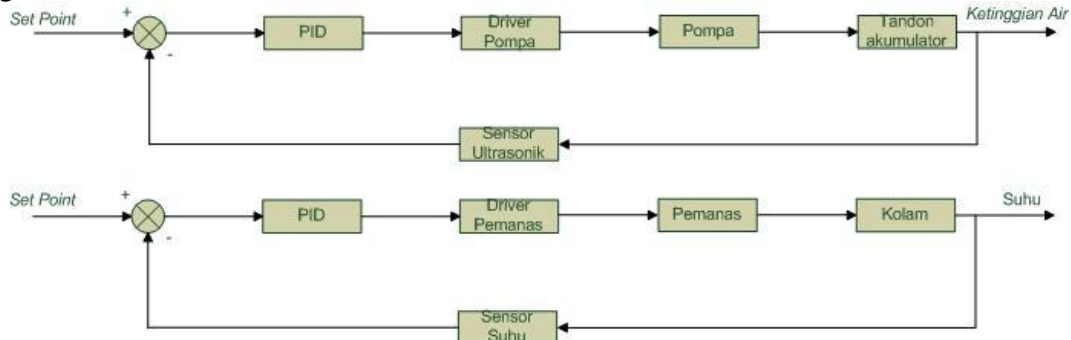
Gambar 1: Blok Diagram Sistem

Gambar 1 menunjukkan mikrokontroler yang digunakan adalah ESP32 DevKit C V4, di mana mikrokontroler ini yang menjadi pemroses dari semua tugas yang dilakukan yaitu memproses masukan dan keluaran. Terdapat empat komponen yang menjadi masukan untuk ESP32 diantaranya adalah sensor suhu DS18B20 untuk mengetahui nilai suhu yang terukur, sensor ultrasonik HC-SR04 untuk mengetahui ketinggian permukaan air, sensor TDS digunakan untuk mengetahui kadar partikel terlarut dalam air, keypad sebagai masukan nilai set poin. Keluaran yang diproses ESP32 terdiri dari empat komponen utama yaitu pemanas AC yang dikendalikan oleh modul BTA16 melalui gelombang PWM, pompa DC yang dikendalikan oleh modul



L298N melalui PWM, valve untuk mengatur bukaan aliran nutrisi, LCD untuk menampilkan suhu dan debit yang terukur.

2.2 Diagram Blok Kontrol

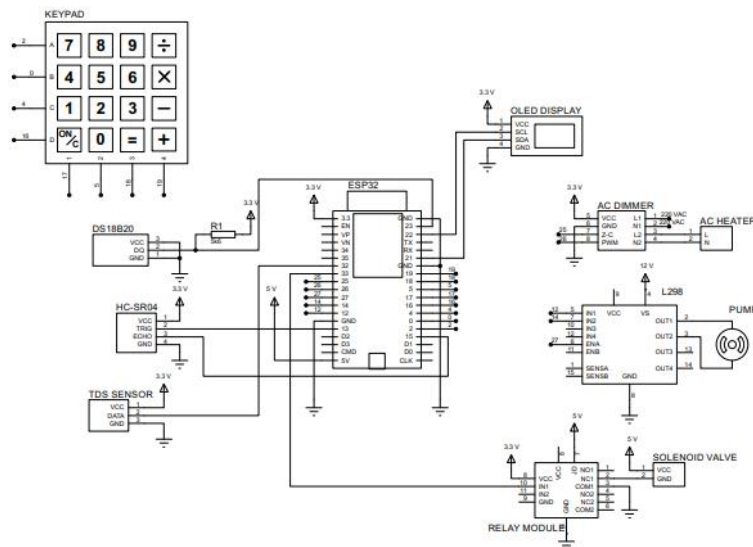


Gambar 2: Diagram Blok Kontrol

Pada pengendalian suhu di Gambar 2, sensor suhu diletakkan di dalam air kolam ikan yang akan mengukur besar temperatur air di dalam kolam ikan. Sinyal dari sensor akan diteruskan ke masukan mikrokontroler dan diproses dengan membandingkannya dengan *set point* yang telah dimasukkan dari keypad, lalu dikontrol menggunakan PID. Kemudian mikrokontroler menghasilkan PWM untuk mengatur besar kecil tegangan AC yang dikeluarkan driver pemanas. Pemanas akan mengeluarkan panas yang sebanding dengan besar tegangan yang diberikan oleh *driver*.

Pada pengendalian ketinggian air di Gambar 2, sensor ultrasonik diletakkan di atas tandon akumulator yang akan mengukur besar jarak permukaan air di dalam tandon. Prinsip yang sama seperti pengendalian suhu, sinyal dari sensor ini akan diteruskan ke masukan mikrokontroler dan diproses dengan membandingkannya dengan *set point* yang telah dimasukkan dari keypad, lalu dikontrol menggunakan PID. Kemudian mikrokontroler menghasilkan PWM untuk mengatur besar kecil tegangan DC yang dikeluarkan driver pompa. Pompa akan menghasilkan putaran yang sebanding dengan besar tegangan yang diberikan oleh *driver*.

2.3 Perancangan Elektrik



Gambar 3: Rangkaian Elektrik



Pada Gambar 3 menunjukkan rangkaian perkabelan antara ESP32 dengan komponen-komponen masukan dan keluaran. Pin-pin masukan dan keluaran yang digunakan oleh ESP32 untuk memproses komponen lainnya berjumlah 20. Sensor suhu yang digunakan yaitu sensor suhu DS18B20. Dalam menentukan resistor *pull-up* yaitu dengan mencari batas minimum dan maksimum yang dapat digunakan untuk resistor *pull-up* pada komponen tertentu.

Pada saat logika tinggi

$$R_{Pmaks} = \frac{V_{Rp}}{I_{Rp}} = \frac{(V_{cc} - V_{IHmin})}{I_{DQ} + I_{IH}} \quad (1)$$

Mengacu pada (1), nilai V_{cc} , V_{IHmin} , I_{DQ} , I_{IH} masing-masing adalah 3,3 V; 2,457 V; 5 uA; 50 nA. Sehingga didapatkan nilai resistansi pull-up maksimal adalah 166K Ω .

Pada saat logika rendah

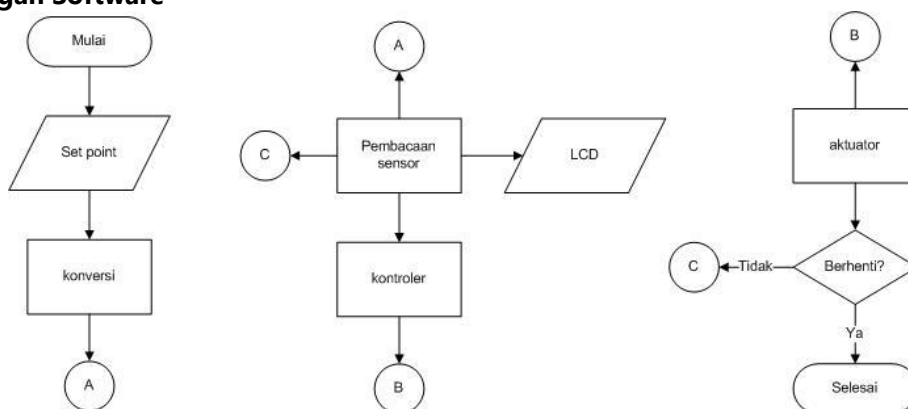
$$R_{Pmin} = \frac{V_{Rp}}{I_{Rp}} = \frac{(V_{cc} - V_{ILmaks})}{I_L + I_{IH}} \quad (2)$$

Mengacu pada (2), nilai V_{cc} , V_{ILmaks} , I_L , I_{IH} masing-masing adalah 3,3 V; 0,825 V; 4 mA; 50 nA. Sehingga didapatkan nilai resistansi pull-up maksimal adalah 614 Ω .

Mengacu pada rekomendasi datasheet sensor yang menyarankan untuk menggunakan resistor *pull-up* dengan nilai sekitar 5K Ω , maka digunakan resistansi 5K6 Ω . Kemudian, Sensor ultrasonik yang digunakan yaitu sensor suhu HC-SR04 untuk menentukan ketinggian air. Sensor ini menggunakan tegangan 3,3 V. Keluaran dari sensor ini yaitu pin TRIG dihubungkan dengan pin GPIO13 pada ESP32 dan pin ECHO dihubungkan dengan pin GPIO15. Untuk sensor TDS digunakan untuk mengukur nutrisi. Sensor ini adalah sensor analog di mana keluaran tegangannya akan sebanding dengan nilai TDS yang diperoleh sensor. Keluaran dari sensor ini yaitu pin DATA dihubungkan dengan pin GPIO32 pada ESP32. Tegangan yang digunakan sensor ini adalah 3,3 V. Keypad yang digunakan yaitu tipe membran 4x4 untuk memasukkan nilai set point. Sistem keypad ini yaitu dengan sistem koordinat. Tombol angka satu jika ditekan, maka pin baris pertama dan pin kolom pertama terhubung. Seperti itu pula untuk tombol yang lain.

Perancangan pemanas AC diperlukan untuk memanaskan air dengan driver AC Dimmer. Keluaran data dari modul ini yaitu pin Z-C dihubungkan dengan pin GPIO25 pada ESP32 dan pin PWM dihubungkan dengan pin GPIO26. Kemudian, Pompa untuk mendorong air ke tandon akumulator yang digunakan adalah pompa DC 12 V dengan modul driver L298N. Masukan data dari modul driver ini yaitu pin IN1 dihubungkan dengan pin GPIO12 untuk sinyal PWM dalam mengatur nilai tegangan pompa. Untuk keran Solenoid yang digunakan menggunakan tegangan 5 V DC dengan relay sebagai drivernya. Pada modul relay ini yaitu pin IN1 sebagai data masukan relay dihubungkan dengan pin GPIO33. Selanjutnya, Layar OLED yang digunakan adalah layar yang berukuran 128x64 pixel. Komunikasi dari layar ini menggunakan dua pin yaitu pin SCL dan SDA dihubungkan dengan pin GPIO22 dan pin GPIO21.

2.4 Perancangan Software



Gambar 4: Diagram Alir Program



Diagram alir pada Gambar 4 menunjukkan alur program yang akan dibuat. Langkah pertama yang diproses adalah memasukkan nilai set point. Nilai set point yang dimasukkan kemudian dikonversi dari debit ke ketinggian air. Kemudian melakukan pembacaan sensor yang ditampilkan di LCD. Nilai set point dan nilai pembacaan sensor digunakan kontroler untuk dikendalikan. Lalu kontroler mengirimkan hasil keluarannya ke aktuator. Jika dikehendaki untuk berhenti, maka sistem mati. Jika tidak dikehendaki untuk berhenti, maka proses akan kembali lagi ke pembacaan sensor.

2.5 Penerapan Teorema Torricelli

Setelah mendapatkan tinggi permukaan air oleh sensor ultrasonik, maka dapat diperoleh nilai debit air yang keluar dari tandon menggunakan teorema Torricelli yang mempunyai rumus sebagai berikut.[11]

$$v = \sqrt{2gh} \quad (3)$$

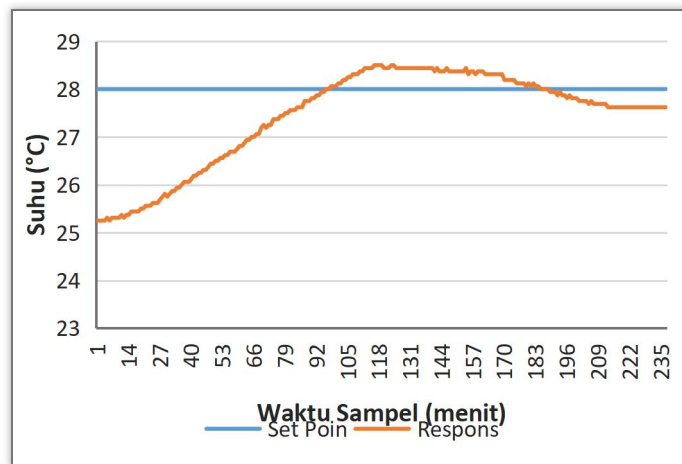
Implementasi (3) berada dalam fungsi void `calculateMeasuredFlowRate()` yaitu `float v2 = sqrt(2*GRAVITY*measuredHeight);`. Selanjutnya, untuk mendapatkan debit air menggunakan (4) sebagai berikut.

$$Q = Av \quad (4)$$

Sehingga di dalam program, implementasinya adalah `measuredFlowRate = v2 * outletArea;`. Kemudian dikonversi dari satuan `m3/s` menjadi `L/s` dengan sintaksis `measuredFlowRate = Q * 1000 * 60;`.

2.6 Perancangan PID Suhu

Di dalam program terdapat pengontrol PID yang perlu untuk ditentukan terlebih dahulu parameter-parameter PID-nya. Parameter tersebut diantaranya ialah konstanta K_p , K_i dan K_d menggunakan metode Ziegler Nichol. suhu perancangan dilakukan dengan memberi masukan berupa set point suhu dengan nilai 28°C pada plant dengan nilai konstanta K_p sebesar mungkin hingga didapatkan respons osilasi sempurna.



Gambar 5: Respons Osilasi Suhu

Pada grafik di Gambar 5 menunjukkan konstanta K_u yang diperoleh adalah 152. Kemudian untuk nilai periode osilasi atau T_u adalah 129 menit. Sehingga, dari nilai K_u dan T_u yang telah diperoleh pada respons di atas dapat ditentukan nilai konstanta PID-nya dengan metode Ziegler Nichols seperti yang ditunjukkan Tabel I.[12]



TABEL I : TUNING KONTROL PID METODE ZIEGLER NICHOLS

	Kp	Ti	Td
PID	0.6*Ku	0.5*Tu	0.125*Tu

$$Kp = 0.6 \cdot Ku \quad (5)$$

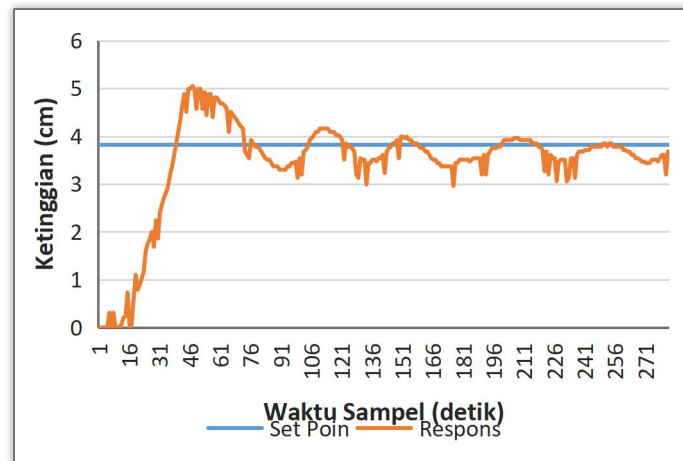
$$Ki = \frac{Kp}{Ti} \quad (6)$$

$$Kd = Kp \cdot Td \quad (7)$$

Dari perhitungan parameter PID untuk kontrol suhu air kolam ikan mengacu pada (5), (6), (7), didapatkan nilai sebesar Kp = 91,2; Ki = 2,35; Kd = 2.451.

2.6 Perancangan PID Ketinggian

Di dalam program terdapat pengontrol PID yang perlu untuk ditentukan terlebih dahulu parameter-parameter PID-nya. Parameter tersebut diantaranya ialah konstanta Kp, Ki dan Kd menggunakan metode ziegler nichol. Perancangan dilakukan dengan memberi masukan berupa set point 3,82 cm pada plant dengan nilai konstanta Kp sebesar mungkin hingga didapatkan respons osilasi sempurna.



Gambar 6: Respons Osilasi Ketinggian

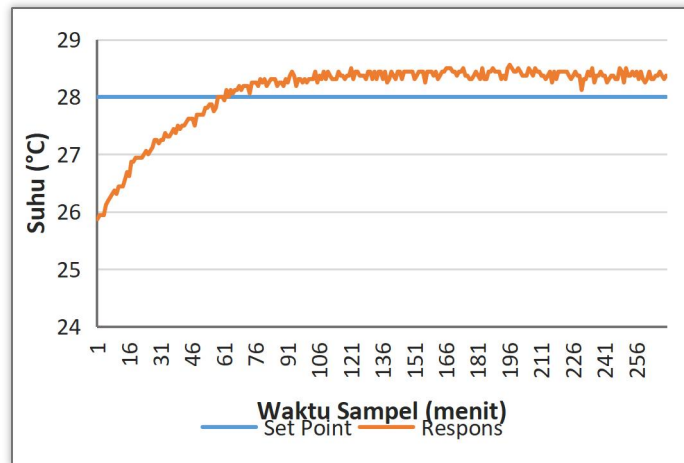
Pada grafik di Gambar 6 menunjukkan konstanta Ku yang diperoleh adalah 150. Kemudian untuk nilai periode osilasi atau Tu adalah 53 detik. Sehingga, dari nilai Ku dan Tu yang telah diperoleh pada respons di atas dapat ditentukan nilai konstanta PID-nya dengan metode Ziegler Nichols seperti yang ditunjukkan Tabel I. Dari perhitungan parameter PID untuk kontrol ketinggian permukaan air dalam tandon akumulator mengacu pada (5), (6), (7), didapatkan nilai Kp = 90; Ki = 2,83; Kd = 993,75.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Respons Kontrol PID Suhu dengan Metode Ziegler Nichol

Dengan mengimplementasikan nilai konstanta P = 91,2; nilai konstanta I = 2,35; nilai konstanta D = 2451 ke dalam program PID, dapat diperoleh data respons kontrol PID yang disajikan pada Gambar 7.





Gambar 7: Respons Suhu Metode Ziegler Nichol

Pada grafik data respons pada Gambar 7, dapat ditentukan analisis respons seperti *overshoot* dan *steady state error* dengan persamaan sebagai berikut.

$$\%M_p = \frac{\text{nilai maksimum} - \text{set poin}}{\text{set poin}} \times 100\% \quad (8)$$

Mengacu pada (8), $\%M_p$ adalah persen nilai *overshoot*. Untuk nilai selisih set poin dengan nilai maksimum sebesar 0,69. Sedangkan untuk nilai set poin adalah 28. Maka persen *overshoot* didapatkan nilai sebesar 2,46%.

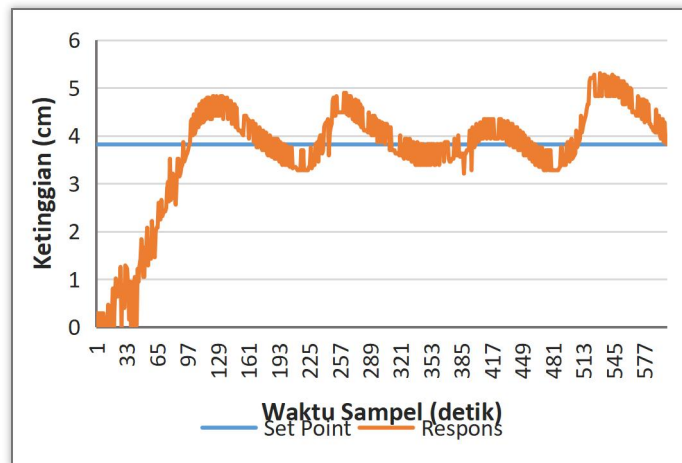
$$\%e_s = \frac{e_s}{\text{setpoint}} \times 100 \quad (9)$$

Mengacu pada (9), $\%e_s$ adalah persen nilai *steady state error*. Untuk nilai *steady state error* sebesar 0,69. Sedangkan untuk nilai set poin adalah 28. Maka persen *steady state error* didapatkan nilai sebesar +2,46%.

3.2 Respons Kontrol PID Debit Berdasarkan Ketinggian Air dengan metode Ziegler Nichol

Dengan mengimplementasikan nilai konstanta P = 90; nilai konstanta I = 2,83; nilai konstanta D = 993,75 ke dalam program PID kontrol ketinggian permukaan air tandon akumulator, dapat diperoleh data respons kontrol PID yang disajikan pada Gambar 8.





Gambar 8: Respons Ketinggian Air Metode Ziegler Nichol

Pada grafik data respons pada Gambar 8, dapat ditentukan analisis respons seperti *overshoot*, *steady state error*. Mengacu pada (8), $\%M_p$ adalah persen nilai *overshoot*. Untuk nilai selisih set poin dengan nilai maksimum sebesar 1.01. Sedangkan untuk nilai set poin adalah 3,82. Maka persen *overshoot* didapatkan nilai sebesar 26,43%.

Untuk mengetahui nilai *steady state error*, digunakan persamaan sebagai berikut.

$$\%e_s(atas) = \frac{e_s(atas)}{nilai\ set\ poin} \times 100\% \quad (10)$$

Mengacu pada (10), $\%e_s(atas)$ adalah persen nilai batas atas *steady state error*. Untuk nilai selisih batas atas *steady state error* sebesar 1,49. Sedangkan untuk nilai set poin adalah 3,82. Maka persen nilai batas atas *steady state error* didapatkan nilai sebesar +39%.

$$\%e_s(bawah) = \frac{e_s(bawah)}{nilai\ setpoint} \times 100\% \quad (11)$$

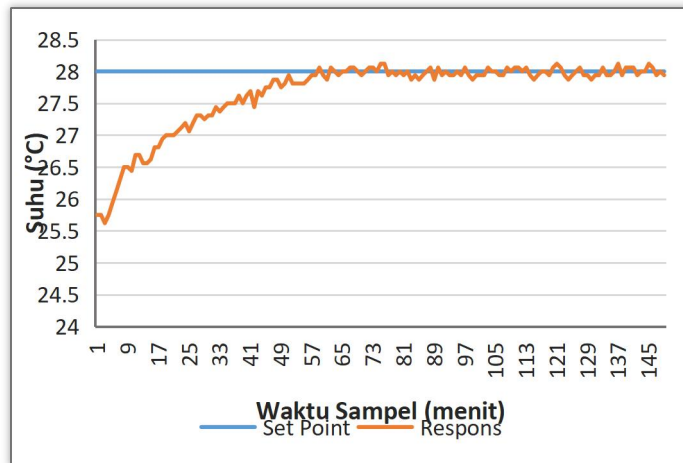
Mengacu pada (11), $\%e_s(bawah)$ adalah persen nilai batas bawah *steady state error*. Untuk nilai selisih batas bawah *steady state error* sebesar 0,67. Sedangkan untuk nilai set poin adalah 3,82. Maka persen nilai batas bawah *steady state error* didapatkan nilai sebesar -17,53%.

Pengendalian ketinggian air dengan kontrol PID menggunakan metode *tuning ziegler nichol* ini menunjukkan ketidakstabilan. Sehingga, pada pengendalian ini tidak terdapat nilai tunak dikarenakan nilai kesalahan berkisar antara +39 % dan -17,53 %.

3.3 Respons Kontrol PID Suhu dengan Metode Tuning Adaptif

Untuk metode tuning adaptif ini, kondisi pertama adalah ketika kesalahan suhu kurang dari $\pm 0,2$ °C, maka parameter PID yang digunakan yaitu nilai konstanta P = 91,2; nilai konstanta I = 2,35; nilai konstanta D = 500. Kondisi yang kedua adalah ketika kesalahan suhu lebih dari $\pm 0,2$ °C, maka parameter PID yang digunakan yaitu nilai konstanta P = 91,2; nilai konstanta I = 2,35; nilai konstanta D = 2451.



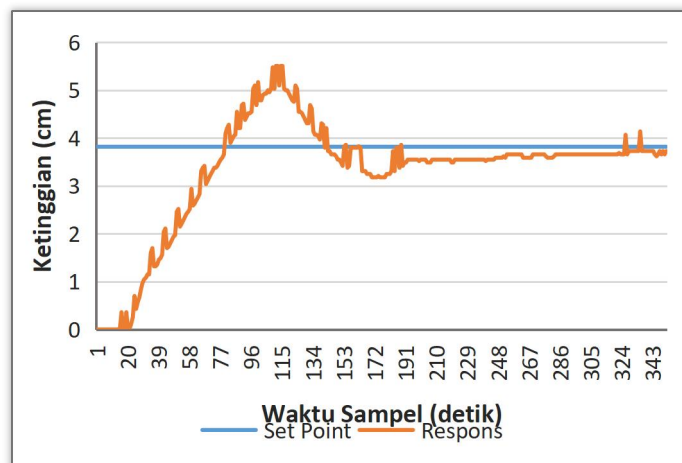


Gambar 9: Respons Suhu Metode *Tuning* Adaptif

Dari grafik data respons pada Gambar 9, dapat ditentukan analisis respons waktunya seperti nilai *overshoot* dan *steady state error*. Untuk nilai persen *overshoot* dengan mengacu pada (8), nilai selisih set poin dengan nilai maksimum sebesar 0,25. Sedangkan untuk nilai set poin adalah 28. Maka persen *overshoot* didapatkan nilai sebesar 0,9%. Untuk nilai *steady state error* mengacu pada (9), nilai *steady state error* sebesar $\pm 0,25$. Sedangkan untuk nilai set poin adalah 28. Maka persen *steady state error* didapatkan nilai sebesar $\pm 0,9\%$. Pengendalian suhu dengan kontrol PID menggunakan metode *tuning* adaptif ini terdapat kesalahan nilai tunak cukup rendah yaitu sebesar $\pm 0,9\%$.

3.4 Respons Kontrol PID Debit Berdasarkan Ketinggian Air dengan Metode *Tuning* Adaptif

Untuk metode *tuning* adaptif kontrol ketinggian air ini, kondisi pertama adalah ketika kesalahan ketinggian kurang dari 1 cm, maka parameter PID yang digunakan yaitu nilai konstanta P = 80; nilai konstanta I = 0,5; nilai konstanta D = 2000. Kondisi yang kedua adalah ketika kesalahan ketinggian lebih dari 1 cm, maka parameter PID yang digunakan yaitu nilai konstanta P = 90; nilai konstanta I = 2,83; nilai konstanta D = 993,75.



Gambar 10: Respons Ketinggian Air Metode *Tuning* Adaptif

Dari grafik data respons pada Gambar 10, dapat ditentukan analisis respons waktunya seperti nilai *overshoot* dan *steady state error*. Untuk nilai persen *overshoot* dengan mengacu pada (8), nilai selisih set poin dengan nilai maksimum sebesar 0,25. Sedangkan untuk nilai set poin adalah 4. Maka persen *overshoot* didapatkan nilai sebesar 0,9%. Untuk nilai *steady state error* mengacu pada (9), nilai *steady state error* sebesar $\pm 0,25$. Sedangkan untuk nilai set poin adalah 4. Maka persen *steady state error* didapatkan nilai sebesar $\pm 0,9\%$. Pengendalian ketinggian air dengan kontrol PID menggunakan metode *tuning* adaptif ini terdapat kesalahan nilai tunak cukup rendah yaitu sebesar $\pm 0,9\%$.

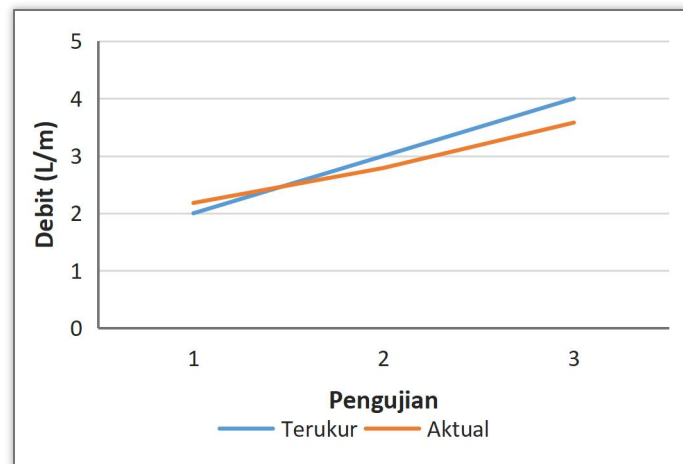


poin dengan nilai maksimum sebesar 1,69. Sedangkan untuk nilai set poin adalah 3,82. Maka persen *overshoot* didapatkan nilai sebesar 44,24%. Untuk nilai *steady state error* mengacu pada (9), nilai *steady state error* sebesar $-0,09$. Sedangkan untuk nilai set poin adalah 3,82. Maka persen *steady state error* didapatkan nilai sebesar $-2,35\%$

Pengendalian ketinggian air dengan kontrol PID menggunakan metode *tuning* adaptif ini dapat mencapai kestabilan. Pada pengendalian ini terdapat kesalahan nilai tunak sebesar $-2,35\%$ dibandingkan dengan metode Ziegler Nichol sebelumnya. Walaupun begitu, terdapat nilai *overshoot* yang cukup tinggi yaitu $44,24\%$.

3.4 Pengujian Teorema Torricelli Dalam Penentuan Debit Berdasarkan Ketinggian

Pada pengujian ini meneliti apakah dengan menggunakan Teorema Torricelli, debit air dapat ditentukan dengan benar. Nilai debit yang terukur akan dibandingkan dengan gelas ukur berukuran 500 ml. Kemudian, diukur berapa waktu yang diperlukan dalam mengisi gelas ukur hingga 500 ml tersebut.



Gambar 11: Nilai Debit Menggunakan Teorema Torricelli

Dari data yang disajikan pada Gambar 11, menunjukkan bahwa debit terukur dan debit aktual terdapat selisih yang cukup signifikan. Dari data yang diperoleh, pengujian pada saat debit terukur 2 L/m, didapatkan debit aktual rata-rata sebesar 2,18 L/m yang selisih $+9\%$ dari debit terukur. Kemudian, pada saat debit terukur 3 L/m, didapatkan debit aktual rata-rata sebesar 2,79 L/m yang selisih -7% dari debit terukur. Selanjutnya, pada saat debit terukur 4 L/m, didapatkan debit aktual rata-rata sebesar 3,58 L/m yang selisih $+10,5\%$ dari debit terukur.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan perancangan dan pengujian yang telah dilaksanakan, maka dapat disimpulkan bahwa pengendalian suhu kolam ikan menggunakan kontrol PID dengan metode *tuning* adaptif dapat bekerja dengan memiliki kesalahan tunak sebesar $\pm 0,9\%$. Pada pengendalian suhu ini, waktu kenaikan suhu sebesar 17 menit/ $^{\circ}\text{C}$.

Pada pengendalian ketinggian permukaan air pada tandon akumulator menggunakan kontrol PID dengan metode *tuning* adaptif dapat bekerja dengan memiliki kesalahan nilai tunak sebesar $-2,39\%$. Pada pengendalian ketinggian permukaan air ini memiliki waktu kenaikan ketinggian air sebesar 17,6 detik/cm.

Dalam penentuan nilai debit berdasarkan ketinggian air menggunakan Teorema Torricelli memiliki kesalahan sebesar $+9\%$ pada debit 2 L/m; -7% pada debit 3 L/m; $-10,5\%$ pada debit 4 L/m.



DAFTAR PUSTAKA

- [1] Alexandro, Rinto, dkk. (2020). *Mengenalkan Akuaponik Sebagai Alternatif Pengembangan Ketahanan Pangan dan Ekonomi di SMAN 1 Tasik Payawan*. Bakti Buana: Jurnal Pengabdian Masyarakat. 1(1). 50.
- [2] Yudawisastra, Helin G, dkk. (2023). *Budikdamber Akuaponik Sebagai Strategi Ketahanan Pangan dan Stimulus Kewirausahaan Saat Pandemi Covid-19*. Bemas: Jurnal Bermasyarakat. 3(2). 162.
- [3] Setiyaningsih, Dewi, dkk. (2020). *Penerapan System Budikdamber dan Akuaponik Sebagai Strategi dalam Memperkuat Ketahanan Pangan di Tengah Pandemic Covid-19*. Seminar Nasional Pengabdian Masyarakat LPPM UMJ, 198.
- [4] Nordiansyah, Eko. 10 Juni 2022. *Dunia Cari Cara Hadapi Krisis Pangan Akibat Perang Rusia Ukraina*. Medcom. Diakses dari (<https://www.medcom.id/ekonomi/global/GKdj0n4b-dunia-cari-cara-hadapi-krisis-pangan-akibat-perang-rusia-ukraina>) 3 Agustus 2022.
- [5] Kusbiantoro, Magi Dedi, dkk. (2016). *Kontrol Suhu Dan Jumlah Material Terlarut dalam Air Akuarium Menggunakan Proportional Kontroler*. Jurnal Elkolind, 3(1), 84-91.
- [6] Muarif. (2016). *Karakteristik Suhu Perairan di Kolam Budidaya Perikanan*. Jurnal Mina Sains. 2(2), 100.
- [7] Rianto, Audri. (2019). *Ikan Menjadi Malas Makan Saat Suhu Air Menurun*. isw.co.id. Diakses dari (<https://www.isw.co.id/post/2019/06/12/ikan-menjadi-malas-makan-saat-suhu-suhu-air-menurun>) 3 Agustus 2022.
- [8] Elwena. (2018). *Sistem Pengontrol Aliran Debit Air Otomatis Pada Tanaman Hidroponik DFT (Deep Flow Technique) Di Seameo Biotrop Bogor*. Laporan. Teknologi Pertanian, Universitas Jambi, Jambi.
- [9] Kusbiantoro, Magi Dedi, dkk. (2016). *Kontrol Suhu Dan Jumlah Material Terlarut dalam Air Akuarium Menggunakan Proportional Kontroler*. Jurnal Elkolind, 3(1), 84.
- [10] Alimuddin. (2013). *Sistem Kendali Dan Monitoring Kadar Ph, Suhu Dan Level Air Pada Kolam Pembenihan (Hatchery) Udang*. Tesis. Teknik Elektro, Universitas Hasanuddin, Makassar.
- [11] Bod, Rens. (2006). *Towards a General Model of Applying Science*. IEEE Transaction on Information Theory – TIT. 20. 6-25.
- [12] Astrom, Karl J. dan Hagglund, Tore. (1995). *PID Controllers, 2nd Edition*. Research Triangle Park. Instrument Society of America.

