

Sistem Kontrol Nutrisi Otomatis pada Tanaman Aeroponik Menggunakan PID berbasis Iot

¹Maria Fellisita Putri Esandi, ²Donny Radianto, ³Hari Kurnia Safitri

e-mail: mfellisita97@gmail.com, donny.radianto@polinema.ac.id, hari.kurnia@polinema.ac.id

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

Informasi Artikel

Riwayat Artikel

Diterima 13 Juli 2023

Direvisi 24 Oktober 2023

Diterbitkan 31 Juli 2024

Kata kunci:

Aeroponik

IoT

Kontrol Nutrisi Otomatis

Kontrol PID

Monitoring Tanaman

ABSTRAK

Populasi manusia di seluruh dunia terus mengalami peningkatan, sehingga permintaan akan pangan juga semakin tinggi sementara lahan pertanian semakin terbatas. Salah satu solusi untuk mengatasi tantangan ini adalah dengan menggunakan metode aeroponik. Aeroponik merupakan teknologi bercocok tanam yang tidak menggunakan media tanah, melainkan akar tanaman digantung di udara. Meskipun sistem aeroponik memerlukan pemantauan berkala, namun sistem ini memiliki keunggulan dalam ekosistem yang tertutup, sehingga memungkinkan untuk dipantau dari jarak jauh dan menghasilkan kualitas tanaman yang optimal. Untuk mengontrol pemberian nutrisi pada tanaman aeroponik, digunakan metode kontrol PID pada mikrokontroler. Penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan kontrol pada sistem nutrisi aeroponik dengan menggunakan sensor TDS, pH, level, suhu, dan *float switch*. Kontrol PID untuk nilai TDS dengan parameter $K_p=10$, $K_d=0.5$, dan $K_i=0.3$ mampu mencapai waktu respons selama 210 detik untuk mencapai *setpoint* 1050 ppm dari nilai awal 838 ppm dengan *error steady-state* sebesar 10 ppm. Alat ini dilengkapi dengan fitur Internet of Things yang berhasil dirancang dan diuji untuk menanam kangkung dan dapat menyesuaikan nilai *setpoint* TDS yang sesuai dengan kebutuhan tanaman. Selain itu, alat ini juga dapat dimonitor dari jarak jauh melalui aplikasi Blynk yang menyimpan data kondisi lingkungan aeroponik.

ABSTRACT

The global human population continues to increase, leading to higher demands for food, while agricultural land becomes more limited. One solution to address this challenge is the utilization of the aeroponic method. Aeroponics is an innovative cultivation technology that involves suspending plant roots in the air, eliminating the need for soil. Despite requiring periodic monitoring, aeroponic systems possess the advantage of a closed ecosystem, enabling remote surveillance and yielding optimal plant quality. To regulate nutrient delivery in aeroponic plants, the PID control method is employed on a microcontroller. This study aims to implement PID control in the aeroponic nutrient system using TDS, pH, level, temperature, and float switch sensors. The PID control method effectively maintains the nutrient concentration according to the desired setpoints. For TDS control, with parameters $K_p=10$, $K_d=0.5$, and $K_i=0.3$, a response time of 210 seconds was achieved to reach a setpoint of 1050 ppm from an initial value of 838 ppm, with a steady-state error of 10 ppm. The device is equipped with an Internet of Things feature, successfully designed and tested for cultivating water spinach. The tool accurately adjusts nutrient concentration according to plant requirements and can also be remotely monitored through the Blynk application, which stores environmental data.

Keywords:

Aeroponics

IoT

Automatic nutrient control

PID control algorithm

Remote monitoring

Penulis Korespondensi:

Hari Kurnia Safitri,

Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang

Jl. Soekarno Hatta No. 9, Malang, Jawa Timur, Indonesia, 65143.

Email: hari.kurnia@polinema.ac.id, HP/WA: +62 813-3442-7769



1. PENDAHULUAN

Pada laporan PBB (dalam UN DESA, 2019) mengatakan bahwa populasi dunia diperkirakan akan meningkat sebesar 2 miliar orang dalam 30 tahun ke depan, dari 7,7 miliar saat ini menjadi 9,7 miliar pada tahun 2050. Selain itu, penelitian pada tahun 2018 mengatakan hanya 800 juta hektar tanah digunakan untuk lahan pertanian pada tahun 2050, yang berarti sedikit demi sedikit lahan pertanian akan berkurang dikarenakan era modern [1]. Dengan adanya pertumbuhan populasi, kebutuhan pangan juga akan meningkat. Hal ini dapat diartikan bahwa harus ada beberapa perubahan besar-besaran yang dilakukan pada cara bercocok tanam, salah satunya dengan menggunakan metode aeroponic. Aeroponic adalah teknologi bercocok tanam baru yang paling baik didefinisikan sebagai metode tanpa tanah untuk menanam tanaman di mana akarnya tersuspensi di udara. Nutrisi diberikan ke akar baik dengan mengaburkan larutan nutrisi atau dengan aliran larutan nutrisi yang menetes [2]. Keuntungan dari metode ini adalah tidak membutuhkan tanah sebagai media tanamnya, dapat tumbuh dalam lapisan vertikal yang ditumpuk satu sama lain sehingga dapat memaksimalkan area dengan ukuran kecil. Apalagi hasil bisa maksimal karena ekosistem tertutup memungkinkan untuk mengontrol semua aktivitas di dalamnya. Metode penanaman yang digunakan pada penelitian ini adalah *rain tower* dengan memanfaatkan gravitasi untuk menyalurkan nutrisi ke akar tanaman [3].

Meskipun memiliki banyak kelebihan, ada berbagai tantangan dalam menggunakan sistem aeroponic. Beberapa tantangan adalah monitoring pada air dan nutrisi untuk tanaman secara berkala dan juga mendaur ulangnya. Mengadaptasi perkembangan teknologi pertanian tersebut menggunakan bantuan teknologi seperti *internet of things* dan kecerdasan buatan dapat mendekati sebuah revolusi. Penggunaan IoT juga memungkinkan pemantauan perkembangan dari jarak jauh. Ekosistem yang sepenuhnya otonom akan membantu tanaman tumbuh dengan tepat dan penuh nutrisi [4].

Penelitian sebelumnya telah membahas tentang sistem kontrol nutrisi otomatis pada tanaman aeroponic dan penggunaan teknologi IoT dalam sistem tersebut. Namun, pengaturan yang dilakukan tidak dapat merubah atau menyesuaikan *setpoint* sesuai dengan kebutuhan tanaman [5]. Maka pada penelitian ini, selain berfokus pada pengontrolan PID, juga mencakup pengembangan aplikasi yang terintegrasi dengan sistem kontrol nutrisi otomatis, memungkinkan pengguna untuk memantau kondisi tanaman dan mengontrol sistem secara jarak jauh. Dengan demikian, penelitian ini akan memberikan kontribusi pada pengembangan sistem kontrol nutrisi otomatis yang lebih efektif dan efisien pada tanaman aeroponic berbasis IoT [6].

Nutrisi juga sangat penting untuk pertumbuhan tanaman. Kadar nutrisi yang dibutuhkan setiap tanaman pada dasarnya berbeda, tergantung pada jenis dan usia tanaman tersebut. Sangat penting untuk mengetahui kadar nutrisi yang tepat diberikan untuk tanaman. Kadar nutrisi dapat diukur melalui pengukuran TDS, PPM, dan EC. Semua hal tersebut saling terkait agar dihasilkan kebutuhan nutrisi yang sesuai dengan kebutuhan tanaman [7]. Pada penelitian ini, tanaman uji adalah kangkung. Kangkung membutuhkan nutrisi dengan nilai TDS (*Total Dissolved Solids*) antara 1050 hingga 1400 ppm untuk memastikan pertumbuhan dan perkembangan yang optimal. Rentang pH yang tepat memungkinkan penyerapan nutrisi yang baik, sedangkan nilai TDS yang optimal memberikan nutrisi yang cukup untuk tanaman kangkung. Penting untuk memantau dan menyesuaikan pH dan TDS secara teratur agar kebutuhan nutrisi kangkung terpenuhi dan tanaman dapat tumbuh dengan baik [8].

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimen dengan tujuan untuk menguji stabilitas kontrol PID terhadap nilai *Total Dissolved Solids* (TDS) pada sistem nutrisi tanaman aeroponic. Penelitian dilakukan dengan merancang dan mengimplementasikan sebuah sistem kontrol nutrisi otomatis menggunakan metode kontrol PID berbasis *Internet of Things* (IoT) pada tanaman aeroponic. Sistem kontrol ini menggunakan ESP32 sebagai mikrokontroler dan Blynk sebagai *platform* IoT.

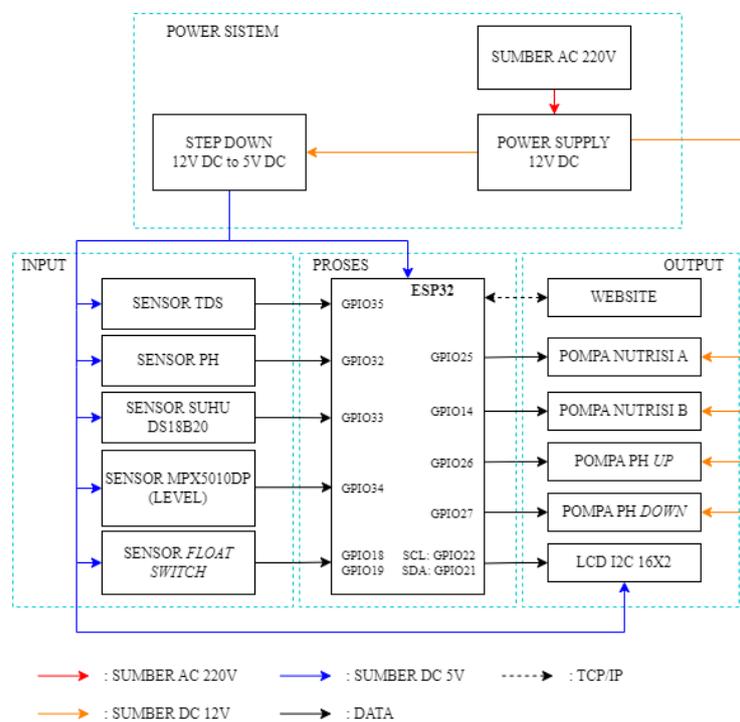
Pengujian dilakukan dengan memantau nilai TDS secara *real-time* selama beberapa hari dengan sistem kontrol PID aktif. Dari hasil pengujian yang diperoleh, dianalisis kestabilan nilai TDS dapat dipertahankan sesuai dengan *setpoint* yang diinginkan. Metode penelitian eksperimen terhadap kinerja sistem kontrol nutrisi otomatis menggunakan metode kontrol PID. Penelitian ini mengidentifikasi dua variabel utama yaitu variabel bebas dan variabel terikat. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah besarnya jumlah zat yang terlarut dalam satuan ppm. Sedangkan



variabel terikat adalah besarnya nilai pwm untuk menggerakkan pompa nutrisi. Variabel bebas berfungsi sebagai pengontrol dalam penelitian ini, sedangkan variabel terikat akan berubah-ubah sesuai dengan besarnya nilai pwm yang diterapkan pada pompa nutrisi.

2.1 Blok Diagram

Alur sistem kontrol ini diawali dengan pembacaan sensor pH, TDS, suhu, dan MPX5010DP. Sensor-sensor ini akan terus membaca nilai dan mengirimkan data ke kontroler, sehingga sistem dapat memperbarui nilai *set point* dan menyesuaikan nutrisi yang dibutuhkan oleh tanaman aeroponik. Kontrol PID yang diatur pada mikrokontroler ESP32 digunakan untuk mengontrol kecepatan motor nutrisi A dan B, kecepatan motor pH *up* dan *down*, dan valve untuk mempertahankan nilai *set point* yang diinginkan untuk nutrisi tanaman aeroponik. Kontrol PID mengatur pengiriman nutrisi berdasarkan nilai *set point* dan mengoptimalkan pertumbuhan tanaman dengan meminimalkan kesalahan pengukuran dan memastikan keseragaman nutrisi yang diterima oleh tanaman. Data yang dihasilkan oleh sistem akan dikirim ke Blynk sebagai aplikasi IoT yang digunakan untuk mengirimkan data ke server *cloud* dan membuat tampilan antarmuka pengguna untuk memantau dan mengontrol sistem dari jarak jauh. Pengguna dapat memantau status sistem dan menerima notifikasi ketika ada masalah dengan sistem atau ketika nilai sensor berada di luar rentang yang diinginkan. Gambar 1. menjelaskan mengenai gambaran umum blok diagram sistem.



Gambar 1. Blok Diagram Sistem

2.2 Prinsip Kerja

Pembacaan sensor TDS, pH, suhu, MPX5010DP, dan *float switch* akan dilakukan setelah inisialisasi sistem. Sensor-sensor ini akan terus membaca nilai sensor dan mengirimkan data ke kontroler, sehingga sistem dapat memperbarui nilai untuk diolah pada sistem kontrol dan monitoring. Data yang didapatkan akan diolah oleh ESP32 untuk melakukan kontrol dan inisialisasi pada sistem. ESP32 juga akan mengimplementasikan algoritma kontrol PID untuk mengatur kecepatan pompa nutrisi, pompa air dan pH sesuai dengan nilai *set point* yang ditentukan oleh pengguna. Kontrol PID akan meminimalkan kesalahan antara nilai aktual dan nilai *set point* dengan cara menyesuaikan tiga parameter: proporsional, integral, dan derivatif. Parameter-parameter ini akan menentukan respons dinamis dari



sistem dan menghasilkan sinyal kontrol yang optimal. Beberapa data dikirimkan ke aplikasi Blynk perangkat IoT yang digunakan untuk mengirimkan data ke server *cloud* dan membuat tampilan antarmuka pengguna untuk memantau dan mengontrol sistem dari jarak jauh. Pengguna dapat memantau status sistem dan menerima notifikasi ketika ada masalah dengan sistem atau ketika nilai sensor berada di luar rentang yang diinginkan. Dengan begitu, pengguna dapat mengambil tindakan yang dibutuhkan untuk memperbaiki sistem dan menjaga kesehatan tanaman aeroponik.

2.3 Perancangan Mekanik

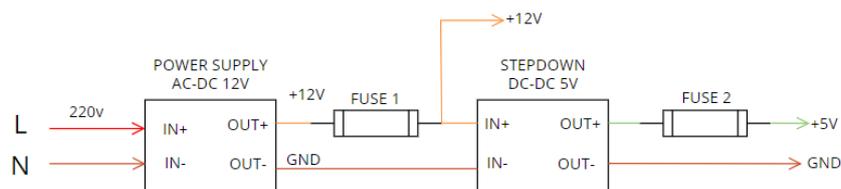
Kolam yang akan digunakan memiliki ukuran panjang 200 cm, lebar 125 cm, dan tinggi 50 cm. Untuk menopang kolam, digunakan penyangga dengan ketinggian 200 cm. Kolam akan diletakkan di atas bahan dasar berupa besi. Terdapat empat pipa dengan diameter 25 cm dan tinggi 160 cm yang akan digunakan sebagai media tanam dengan masing-masing pipa memiliki 72 lubang. Nutrisi A dan B disimpan di wadah yang berbeda masing-masing 10 liter. Begitu juga pH *Up* dan pH *Down* juga akan disimpan di wadah yang masing-masing dapat memuat 10L air. Pipa juga dipasang untuk menyalurkan air PDAM dari valve ke kolam seperti yang terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Kerangka dan Media Tanam

2.4 Perancangan Elektrik

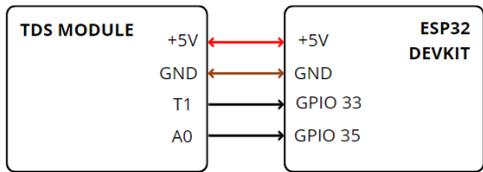
Sistem elektrik dalam penelitian ini menerima *Input* dari sumber daya 12V untuk mengoperasikan driver dan relay. Terdapat *stepdown voltage* DC-DC dari 12V ke 5V yang akan digunakan sebagai *Input* untuk ESP32 dan sensor. Fuse juga dipasang sebagai sistem pengaman pada sistem ini. Gambar 3 menunjukkan rangkaian elektrik untuk power supply.



Gambar 3. Wiring Power Supply

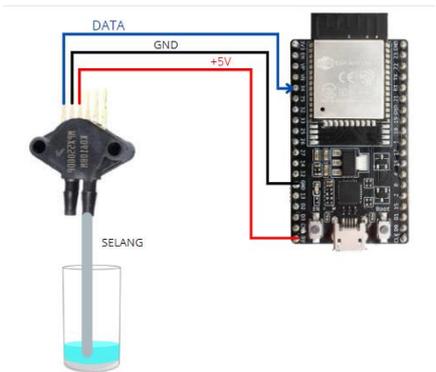
ESP32 akan terhubung dengan beberapa sensor seperti sensor TDS, pH, MPX5010DP, sensor pelampung, dan LCD. Pin sensor terhubung dengan pin ADC yang terdapat pada ESP32[10]. Sensor TDS dan sensor suhu digunakan secara bersamaan untuk mengukur kualitas air dalam kolam dengan mengkoreksi pengaruh suhu terhadap nilai TDS. Pengiriman data tersebut melalui *wiring* yang tergambar pada Gambar 4.





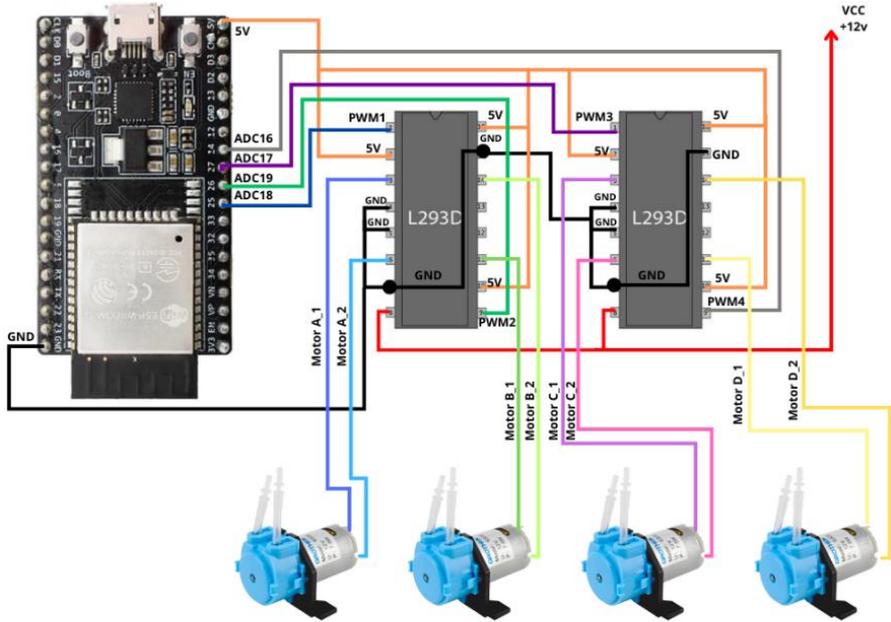
Gambar 4. *Wiring* TDS Module

Sensor MPX5010DP dan ESP32 digunakan secara bersamaan untuk mengukur dan mengendalikan level air dalam kolam dengan mengkonversi tekanan menjadi persentase. *Wiring* sensor level air ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. *Wiring* Sensor Level

Selain itu, driver dan relay akan terhubung dengan ESP32. *Output* dari driver tersebut akan terhubung dengan terminal yang akan mengarah ke pompa peristaltik untuk mengatur kecepatan motor nutrisi A dan motor nutrisi B. *Output* dari relay akan terhubung ke valve untuk menyalurkan air PDAM. Rangkaian dari *output* digambarkan pada Gambar 6.



Gambar 6. *Wiring* Driver dan Pompa



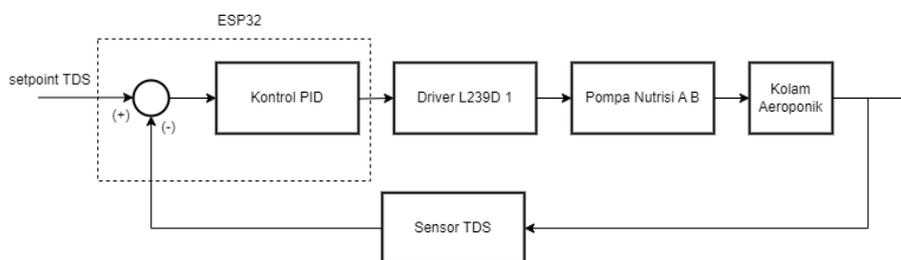
2.5 Perancangan Software

Sistem perangkat lunak memiliki *flowchart* yang menggambarkan urutan dan alur kerja dalam sistem. Pertama, perangkat terhubung ke internet, kemudian sistem mengecek koneksi dengan aplikasi Blynk. Setelah itu, pembacaan sensor dimulai, dan hasil pembacaan ditampilkan dalam aplikasi Blynk. Pengguna dapat mengatur *setpoint* melalui aplikasi Blynk, dan nilai *setpoint* akan ter-*update* dan ditampilkan pada layar LCD bersama dengan nilai sensor. Sistem dapat diaktifkan melalui aplikasi Blynk, dan proses kontrol dimulai. Langkah pertama adalah kontrol valve, yang akan memeriksa apakah valve telah mencapai *setpoint* 50%. Jika sudah, sistem akan melanjutkan ke proses PID. Proses PID TDS berjalan secara mandiri, dengan cara menggerakkan dua pompa nutrisi sesuai dengan nilai error antara nilai sensor dan *setpoint*. Setelah itu, sistem akan kembali ke proses pembacaan sensor, yang akan digunakan sebagai *input* untuk kontrol PID berikutnya. Sistem akan terus berulang selama tidak ada perintah untuk menghentikan sistem melalui aplikasi Blynk. Jika pengguna menghentikan sistem melalui aplikasi Blynk, sistem akan berhenti sementara, sedangkan jika sistem dimatikan secara keseluruhan, sistem akan kembali ke awal atau mengalami *reset*.

Selain perancangan mengenai program alur sistem, dibuat sebuah *platform* untuk mengamati sistem melalui Blynk. Perancangan monitoring menggunakan Blynk memungkinkan pengguna untuk mengatur *setpoint* TDS dan pH, melihat data sensor TDS, pH, dan level, mengaktifkan atau menonaktifkan sistem, dan mengetahui kondisi wadah nutrisi A dan B melalui aplikasi Blynk dan layar LCD. Perancangan ini bertujuan untuk memberikan pengalaman pengguna yang interaktif dan informatif dalam memantau kondisi dan nilai-nilai penting dalam sistem nutrisi.

2.6 Perancangan Kontrol PID

PID (Proportional Integral Derivative controller) merupakan kontroler untuk menentukan presisi suatu sistem instrumentasi dengan karakteristik adanya umpan balik pada sistem tersebut [9]. Implementasi kontrol PID untuk menjaga nilai *setpoint* TDS atau ppm air nutrisi kolam aeroponik, sensor TDS akan membaca nilai aktual TDS, kemudian nilai tersebut dibandingkan dengan nilai *setpoint* yang diinginkan. Berdasarkan selisih antara kedua nilai tersebut, kontrol PID akan menghasilkan sinyal kontrol yang sesuai untuk mengendalikan aliran nutrisi ke kolam aeroponik. Tujuan utama kontrol PID adalah untuk menjaga agar nilai aktual TDS tetap berada di dekat nilai *setpoint* dengan responsif dan akurat. Alur kontrol dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Blok Diagram Kontrol Nilai ppm menggunakan PID

Penentuan nilai K_p , K_i , dan K_d itu dilakukan dengan berbagai macam metode, dan dalam penelitian ini menggunakan metode trial and error.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengujian Sensor TDS

Tujuan dari pengujian sensor TDS adalah untuk mengukur tingkat kepekatan padatan yang terlarut (TDS) dalam larutan nutrisi yang masuk ke dalam kolam. Pengujian ini dilakukan dengan cara sensor TDS analog akan membaca beberapa cairan, sehingga memungkinkan pengguna untuk melakukan penyesuaian dan pengaturan yang tepat pada sistem kontrol nutrisi otomatis. Dari pengujian sensor TDS yang dilakukan, didapatkan data pada Tabel 1.



Tabel 1. Hasil Pengujian Sensor TDS

Nilai Aktual TDS (ppm)	Nilai yang Terbaca (ppm)	Output (V)	Error (%)
185	185.66	0,37	0.4%
	185.02	0,37	0.0%
	185.98	0,37	0.5%
	185.33	0,37	0.2%
841	876	1,86	4.2%
	867	1,84	3.1%
	871	1,84	3.6%
	875	1,84	4.0%
1150	1167	2,21	1.5%
	1177	2,22	2.3%
	1165	2,21	1.3%
	1160	2,22	0.9%

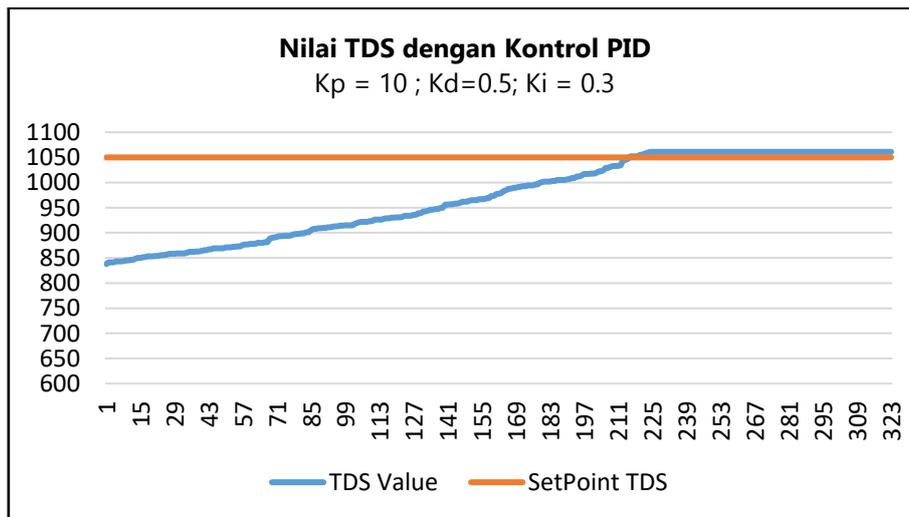
Dari data-data yang didapatkan, perhitungan eror data dapat dilakukan menggunakan rumus berikut

$$\%Error\ TDS = \frac{Nilai\ TDS\ Aktual - nilai\ TDS\ terbaca}{Nilai\ TDS\ Aktual} \times 100\% \dots\dots\dots(1)$$

Dalam keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa terdapat hubungan linier antara nilai TDS dan *output* tegangan dalam rentang nilai yang lebih rendah hingga menengah. Namun, setelah mencapai titik jenuh, kenaikan nilai TDS tidak memberikan peningkatan yang signifikan dalam *output* tegangan yang terukur. Error yang didapatkan dibawah 5% yang dapat diartikan sensor bekerja dengan baik.

3.1.2 Pengujian PID TDS

Setelah dilakukan beberapa percobaan didapatkan nilai PID yang mendekati *setpoint* adalah dengan nilai Kp sebesar 10, Kd sebesar 0.5 dan Ki sebesar 0.3. Hasil pengontrolan menggunakan nilai PID tersebut dapat dilihat pada Gambar 8.



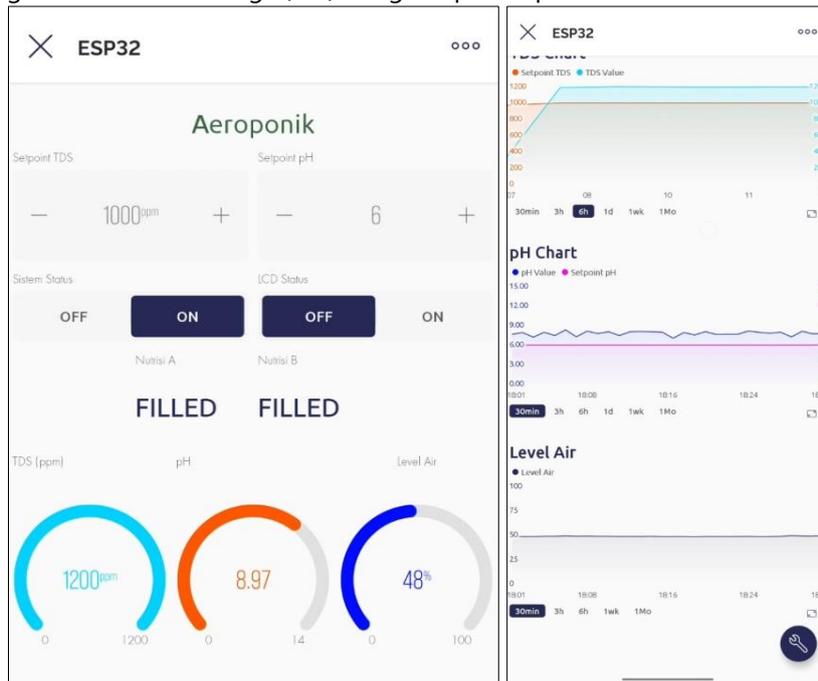
Gambar 8. Hasil Pengujian PID TDS



Berdasarkan analisis data grafik TDS, diperoleh hasil sebagai berikut. Pada saat diberikan *setpoint* 1050 ppm, dari nilai awal 838 ppm, didapatkan *rise time* selama 210 detik untuk mencapai *setpoint* tersebut. Grafik menunjukkan bahwa nilai TDS akan stabil pada sekitar 1060 ppm setelah waktu 10 detik yang berarti memiliki *error steady-state* sebesar 10 ppm. Dari data tersebut, terdapat error sebesar 0.95%. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa nilai TDS dapat diatur sesuai dengan kebutuhan tanaman kangkung, yaitu berkisar antara 1050 ppm hingga 1400 ppm.

3.1.3 Pengujian Tampilan Blynk

Tujuan dari pengujian Blynk adalah untuk memverifikasi kualitas dan kemampuan *platform* tersebut dalam menghubungkan perangkat Internet of Things (IoT) dengan aplikasi ponsel atau *website*.



Gambar 9. Tampilan Blynk

Dari Gambar 9. dapat disimpulkan bahwa tampilan hasil pengukuran sensor berjalan dengan baik. Dalam update terjadi delay selama 3 detik, hal ini terjadi karena durasi proses *loop* yang terjadi pada satu waktu yang telah diprogram. *Setpoint* dari blynk dapat terbaca oleh mikrokontroler dibuktikan oleh Gambar 10. sebelah kanan.

4. KESIMPULAN

Dalam penelitian ini, berhasil dirancang sebuah alat pengontrol nutrisi aeroponik yang bekerja secara otomatis dan efisien untuk memenuhi kebutuhan tanaman kangkung dalam sistem dengan 288 lubang tanam dari masa tanam hingga panen. Pengaturan ppm nutrisi pada rentang 1050-1400 telah diimplementasikan. Algoritma kontrol PID yang diterapkan dalam sistem mampu mengatur nilai TDS dengan parameter $K_p=10$, $K_d=0.5$, dan $K_i=0.3$, menghasilkan waktu respon selama 210 detik untuk mencapai nilai *setpoint* 1050 ppm dari nilai awal 838 ppm, dengan *error steady-state* mencapai 10 ppm. Penggunaan aplikasi Blynk memfasilitasi pemantauan jarak jauh terhadap kondisi tanaman dan lingkungan aeroponik. Data yang tercatat juga mendukung evaluasi dan pengembangan lebih lanjut. Dengan penambahan fitur perubahan *setpoint* TDS, pengguna memiliki kemampuan untuk menyesuaikan kebutuhan nutrisi sesuai jenis tanaman yang akan ditanam pada lubang tanam aeroponik.

Saran untuk penelitian selanjutnya dalam pengembangan sistem kontrol nutrisi aeroponik menggunakan PID berbasis IoT selanjutnya adalah menggunakan pompa nutrisi dengan kecepatan atau debit yang lebih tinggi agar penyampaian nutrisi menjadi lebih efisien dan akurat. Pengontrolan sistem dilakukan dalam lingkungan *greenhouse*



atau rumah kaca untuk menciptakan kondisi yang lebih terkendali dan meminimalisir gangguan lingkungan lainnya. Selain itu, untuk penyimpanan data yang lebih baik dan analisis jangka panjang, disarankan untuk menambahkan mikrokontroler tambahan atau Raspberry Pi yang mampu mengumpulkan dan menyimpan data dengan efisien. Dengan mengikuti saran-saran ini, penelitian selanjutnya dapat fokus pada peningkatan efisiensi serta kontrol yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Singh et al. (2022). "Internet of Things for Agriculture 4.0" (1st ed.). Apple Academic Press. Retrieved from <https://www.perlego.com/book/3165500/internet-of-things-for-agriculture-40-impact-and-challenges-pdf>
- [2] Allyards. (2015). "Pembuatan Sistem Aeroponik yang Efisien dan Hemat Daya." Retrieved from <https://taman-berkebun.blogspot.com/2015/09/sistem-aeroponik-hidroponik.html>
- [3] Gurley, T.W. (2020). "Aeroponics." Oxon: CRC Press.
- [4] Siregar, S. Rivai, M. (2018). "Monitoring dan Kontrol Sistem Penyemprotan Air untuk Budidaya Aeroponik Menggunakan NodeMCU ESP8266."
- [5] Ogata, K. (2010). "Modern control engineering" (5th ed.). Prentice-Hall.
- [6] Rahmat, Purwadaksi. (2015). "Bertanam Hidroponik Gak Pake Masalah." Jakarta Selatan: AgroMedia.
- [7] Nidia, S. (2022). "Tabel pH dan PPM Tanaman Hidroponik." Retrieved from <https://farmee.id/tabel-ph-dan-ppm-tanaman-hidroponik/>
- [8] Hardyanto, R.H., Ciptadi, P.W. (2018). "Penerapan Teknologi IoT Pada Tanaman Hidroponik Menggunakan Arduino Dan Blynk Android."
- [9] Dewi, I. Z. T. (2020). "Kontrol PID (Proportional Integral Derivative Controller)." Retrieved from <https://imeldaazahraa.medium.com/kontrol-pid-proportional-integral-derivative-controller-c173086724af>
- [10] Rifky, I. (2021). "Mikrokontroler ESP32." Retrieved From <https://raharja.ac.id/2021/11/16/mikrokontroler-esp32-2/>

