

Rancang Bangun Sistem Kontrol Pertumbuhan Cabai Dan Pemantauan Pengairan Dalam Akuaponik

Design And Development Of Chilli Growth Control System And Water Monitoring In Aquaponics

1st Rivaldo Yoseph Buarlele
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom

Bandung, Indonesia
aldobuarlele@student.telkomuni-
versity.ac.id

2nd Porman Pangaribuan
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom

Bandung, Indonesia
porman@telkomuniversity.ac.id

3rd Irham Mulkan Rodiana
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom

Bandung, Indonesia
irhammulkan@telkomuniversity.
ac.id

Abstrak

efisiensi pada budidaya tanaman cabai pada akuaponik saat ini masih terhambat oleh banyaknya petani yang masih melakukan pengaturan pH dan ketinggian air secara manual, maka dari itu. Pada penelitian ini akan membuat suatu sistem kendali ketinggian air dan pH untuk tanaman cabai mencegah terjadinya human error pada prosesnya. Metode kendali yang digunakan adalah kendali on-off, sehingga sistem dirancang mampu mengontrol pH dengan masukan dari sensor pH (SEN0619) dan ketinggian air menggunakan sensor ultrasonik pada sistem akuaponik cabai. Tingkat akurasi kedua sensor mencapai 97% dengan error pembacaan dibawah 4%, kendali yang dirancang memiliki respon yang lambat dengan settling time kendali pH sebesar 420 detik dan kendali ketinggian air 129 detik, serta rise time kendali pH dengan waktu 292 detik dan kendali ketinggian air sebesar 30 detik.

Kata kunci : Akuaponik, kendali on-off, cabai, ikan nila.

Abstract
The efficiency of chili cultivation in aquaponics is currently still hampered by the large number of farmers who still adjust the pH and water level manually,

therefore. In this study, we will create a water level and pH control system for chili plants to prevent human error in the process. The control method used is on-off control, so the system is designed to be able to control pH with input from the pH sensor (SEN0619) and water level using an ultrasonic sensor in the chili aquaponic system. The accuracy level of the two sensors reaches 97% with a reading error below 4%, the control designed has a slow response with a settling time of 420 seconds for pH control and 129 seconds for water level control, as well as a pH control rise time of 292 seconds and a water level control of 292 seconds. 30 seconds.

Keywords: Aquaponics, on-off control, chili, tilapia.

I. PENDAHULUAN

Peningkatan jumlah penduduk perkotaan mengakibatkan kebutuhan lahan permukiman bertambah, sehingga membuat lahan pertanian menjadi semakin menyempit [1]. Oleh sebab itu, Akuaponik menjadi sebuah alternatif menanam tanaman dan memelihara ikan dalam satu wadah. Sistem akuaponik dinilai sebagai sistem yang lebih ramah lingkungan dengan hasil ganda dimana petani bisa berternak ikan dan bercocok

tanam sekaligus [2].

Pada metode akuaponik bibit tanaman yang sering digunakan adalah tanaman-tanaman hortikultura, seperti sawi, selada, kangkung, seledri, tomat, dan cabai [2]. Pada penelitian ini penulis menggunakan tanaman cabai merah karena tanaman tersebut termasuk ke dalam tanaman hortikultura yang memiliki nilai ekonomi tinggi. Hal ini di latar belakang oleh konsumsi cabai dari tahun ke tahun yang selalu meningkat, baik untuk kebutuhan industri makanan maupun kebutuhan rumah tangga [2].

Penelitian ini merupakan tugas akhir yang dikerjakan berkelompok yang terdiri dua anggota dengan pembagian tugas dan analisis yang berbeda. Pada penelitian ini penulis sendiri bertugas membuat sistem perangkat keras dengan analisis ketinggian air dan tingkat keasaman air. Sementara anggota yang lain bertugas untuk membuat sistem pemantauan yang terhubung dengan internet serta analisis dalam membuat aplikasi monitoring.

Penelitian ini merupakan tugas akhir yang dikerjakan berkelompok yang terdiri dua anggota dengan pembagian tugas dan analisis yang berbeda. Pada penelitian ini penulis sendiri bertugas membuat sistem perangkat keras dengan analisis ketinggian air dan tingkat keasaman air. Sementara anggota yang lain bertugas untuk membuat sistem pemantauan yang terhubung dengan internet serta analisis dalam membuat aplikasi monitoring.

Dengan demikian, Sistem kendali otomatis dalam penelitian ini diharapkan memberikan solusi untuk mengoptimalkan sistem akuaponik yang ada, yaitu dapat memantau dan mengatur tingkat ketinggian air dan pH. Selain itu, sistem yang dirancang menyesuaikan dengan kondisi ideal tanaman cabai yaitu pH 6,0 - 6,5 sehingga dapat meningkatkan produksi tanaman cabai merah

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini ialah merancang sistem kendali pH sesuai dengan kondisi yang diperlukan tumbuh kembang cabai yaitu 6,0 - 6,5. Melakukan kendali dan monitoring ketinggian air yang ada pada kolam ikan

Manfaat yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah penelitian ini diharapkan menjadi prototipe/pilot project untuk penelitian selanjutnya

yang menggunakan metode akuaponik, membantu petani cabai menghasilkan hasil panen yang berkualitas, meminimalisir kegagalan panen pada sistem akuaponik..

II. KAJIAN TEORI

2.1 Akuaponik

Secara sederhana, akuaponik bisa digambarkan sebagai penggabungan antara sistem budidaya akuakultur (budidaya ikan) menggunakan hidroponik (budidaya tanaman/sayuran tanpa media tanah). Sistem ini mengadopsi sistem ekologi pada lingkungan alamiah, dimana terdapat hubungan simbiosis mutualisme antara ikan dan tanaman [2]. sistem ini memerlukan lahan yang lebih kecil, dimana akuaponik datang dengan beragam bentuk dan model tetapi dengan beberapa metode yang sama yaitu dengan empat komponen utama yaitu ikan, biofilter, tumbuhan dan air dimana didukung dengan proses pembuatan yang mudah [7].

Oleh karena itu, sirkulasi aliran pada sistem diperlukan agar kolam tetap dalam kondisi baik bagi ikan maupun tanaman pada hidroponik. Prinsip utama dari teknologi akuaponik ini adalah untuk menghemat penggunaan lahan dan air, serta meningkatkan efisiensi usaha melalui pemanfaatan nutrisi dari sisa pakan dan metabolisme ikan sebagai nutrisi untuk tanaman air serta merupakan salah satu upaya sistem budidaya yang dinilai ramah lingkungan [3].

2.2 Ikan Nila

Ikan nila (*Oreochromis niloticus*) merupakan salah satu komoditas air tawar yang paling banyak diminati oleh berbagai kalangan baik masyarakat lokal maupun mancanegara [5]. Adanya budidaya ikan pada sistem akuaponik membantu pertumbuhan tanaman dari sisi pemenuhan nutrisi yang diperlukan selain dengan parameter lainnya, karena. Sisa pakan dan kotoran hasil metabolisme ikan dalam air yang berpotensi menurunkan kualitas air dimanfaatkan sebagai pupuk bagi tanaman air secara resirkulasi [5].

Pada sistem akuaponik proses penggunaan air dari kolam ikan merupakan salah satu kunci keberhasilan dari metode akuaponik, yang ditentukan dari siklus nitrogen yang stabil. Siklus tersebut yang mengubah ammonia pada kolam ikan

yang merupakan hasil metabolisme ikan atau sisa pakan menjadi nitrat dan nitrit, sehingga kotoran dapat dikonsumsi tanaman[8].

Siklus amonia tersebut bersifat natural, atau bisa terciptra dengan sendirinya. Ini terjadi ketika kadar amonia yang tinggi dapat menghadirkan bakteri pengurai amonia yaitu Nitrosomonas yang mengurai amonia menjadi nitrit, setelah itu hadir lagi bakteri Nitrobacter yang mengurai nitrit menjadi nitrat[9].

Pengaturan ketinggian air secara otomatis diperlukan dalam metode akuaponik, karena ketinggian air pada sistem terbuka ini sangat berpengaruh terhadap lingkungan sekitarnya. Penelitian ini memanfaatkan lingkungan greenhouse dimana tingkat ketinggian air pada kolam ikan dipengaruhi terhadap jumlah curah hujan dan tingkat penguapan air pada kolam.

Sejauh ini masih belum ada penelitian yang mengungkap jarak optimal ketinggian air untuk budidaya ikan nila yang baik untuk mendapatkan pertumbuhan yang optimal untuk ikan tersebut.

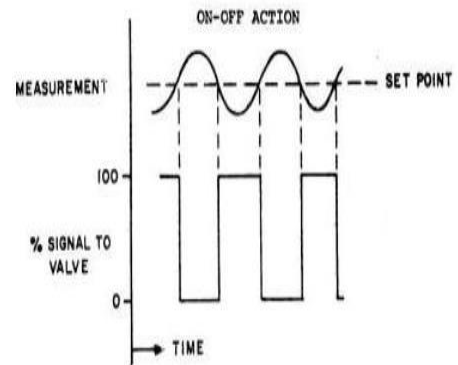
2.3 Tanaman Cabai

Cabai yang merupakan tanaman hortikultura yang memiliki nilai ekonomi tinggi yang dimana konsumsi dari tahun ke tahun semakin meningkat baik untuk kebutuhan rumah tangga ataupun industri makanan [2].

Tingkat drajat keasaman tanaman cabai pada sistem akuaponik sangat bergantung dari sistem resirkulasi yang terjadi di dalam kolam ikan dan perkembangan ikan nila. Sesuai penelitian yang sudah ada, tingkat pH yang optimal pada kolam ikan nila adalah 6,7-8,2. Sedangkan tingkat drajat keasaman ketahanan cabai yang optimal adalah 6,0-6,5 menyebabkan adanya sistem kendali pengaturan pH secara otomatis menjadi solusi untuk mendapatkan pertumbuhan cabai yang optimal[10].

Sistem kendali pengaturan pH ini baik adanya untuk menjaga pH air yang digunakan sebagai nutrisi cabai tetap pada range yang sewajarnya untuk mendapatkan pertumbuhan cabai yang optimal, karena sistem akuaponik sangat terbuka dan dipengaruhi oleh banyak hal seperti lingkungan dan tingkat

metabolisme ikan menyebabkan sistem



Gambar 1 Kendali On/Off

kendali ini sangat cocok untuk diterapkan pada akuaponik.

2.4 Kendali On/Off

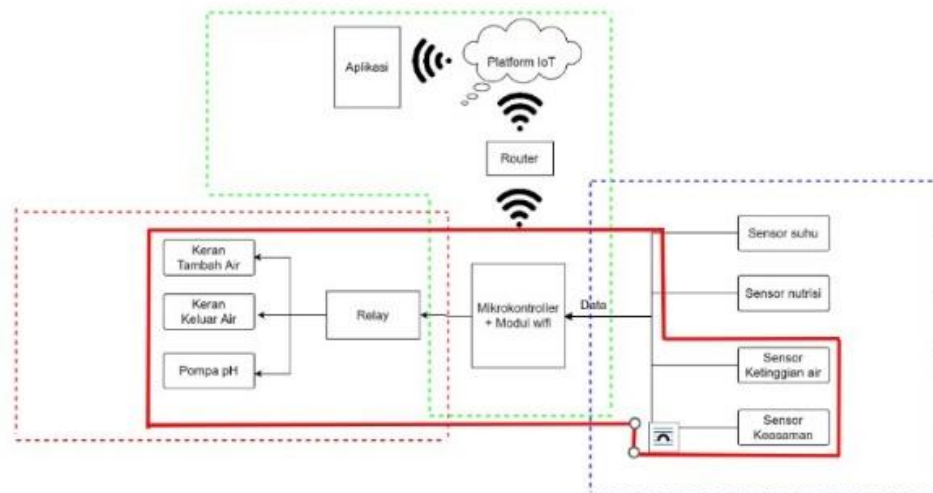
Elemen pada kendali atau kontrol memiliki 2 posisi yaitu fully closed (dalam kondisi off) atau fully open (dalam kondisi on) [4]. Sistem kontrol yang menggunakan elemen tersebut disebut dengan kendali on/off. Kontroler on/off yang hanya memiliki dua output, yaitu full maximum atau full minimum. Kondisi yang menguntungkan untuk menggunakan kendali on/off adalah sistem dengan laju reaksi lambat (tidak membutuhkan respon sistem yang cepat)[4].

Pada Gambar 1 diatas menjelaskan ketika pengukuran berada pada set point atau lebih maka persen dari sinyal yang dihasilkan adalah 0%, sedangkan jika pengukuran berada di bawah set point maka sistem bekerja sehingga nilai sinyal menjadi 100%. Kendali on/off merupakan kendali sederhana yang paling cocok dalam praktik karena kesederhanaan dan biaya rendah.

III. METODE

3.1. Desain Sistem

Gambar 2 menunjukkan sistem perangkat keras yang digunakan secara keseluruhan. Diluar dari sistem yang disebutkan terdapat beberapa alat yang berjalan secara terus-menerus tanpa perlu kontrol untuk menjaga agar akuaponik tetap optimal yaitu, pompa aerator yang ditempatkan pada bak ikan bersama dengan batu apung dan pompa air DC untuk mengalirkan air dari filter kembali ke kolam.



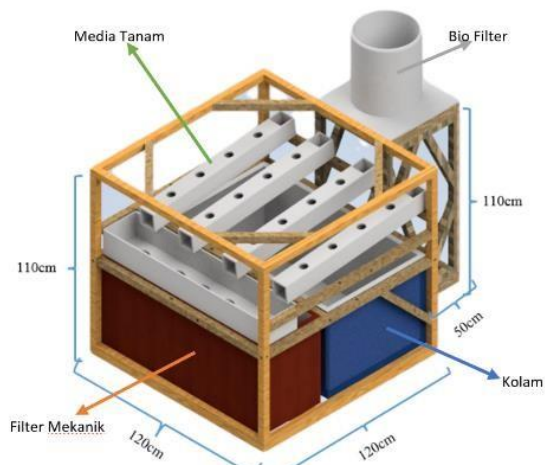
Gambar 2 Sistem Keseluruhan

Penelitian terbagi menjadi dua sistem yaitu sistem pertumbuhan dan pengairan. Berdasarkan gambar 3.2 sistem satu berguna untuk mengatur dan memantau bagian pengairan pada akuaponik, serta memantau suhu dan kelembapan pada lingkungan sekitar akuaponik, sistem dua berjalan untuk mengatur kesetabilan pH dan memantau jumlah nutrisi pada bagian pertumbuhan tanaman akuaponik. Keseluruhan sistem tersebut terhubung dengan internet untuk memudahkan pengambilan data..

sebagai penyanggah, dan untuk filter mekanik dan bio filter menggunakan ember dengan diameter yang sering digunakan untuk akuaponik.

Pada gambar 3 merupakan ukuran dalam satuan centimeter untuk rancangan desain base akuaponik dari sistem yang dibangun. Ukuran total dari sistem ini adalah 120x120x104 cm yang disanggah beberapa siku pada setiap sudut untuk menopang rancangan agar lebih kokoh dengan panajng kurang lebih 42 cm. Disamping itu, penempatan kayu pada beberapa ketinggian berbeda berguna untuk menopang rancangan filter air dan bak ikan serta sanggahan untuk sistem tanaman.

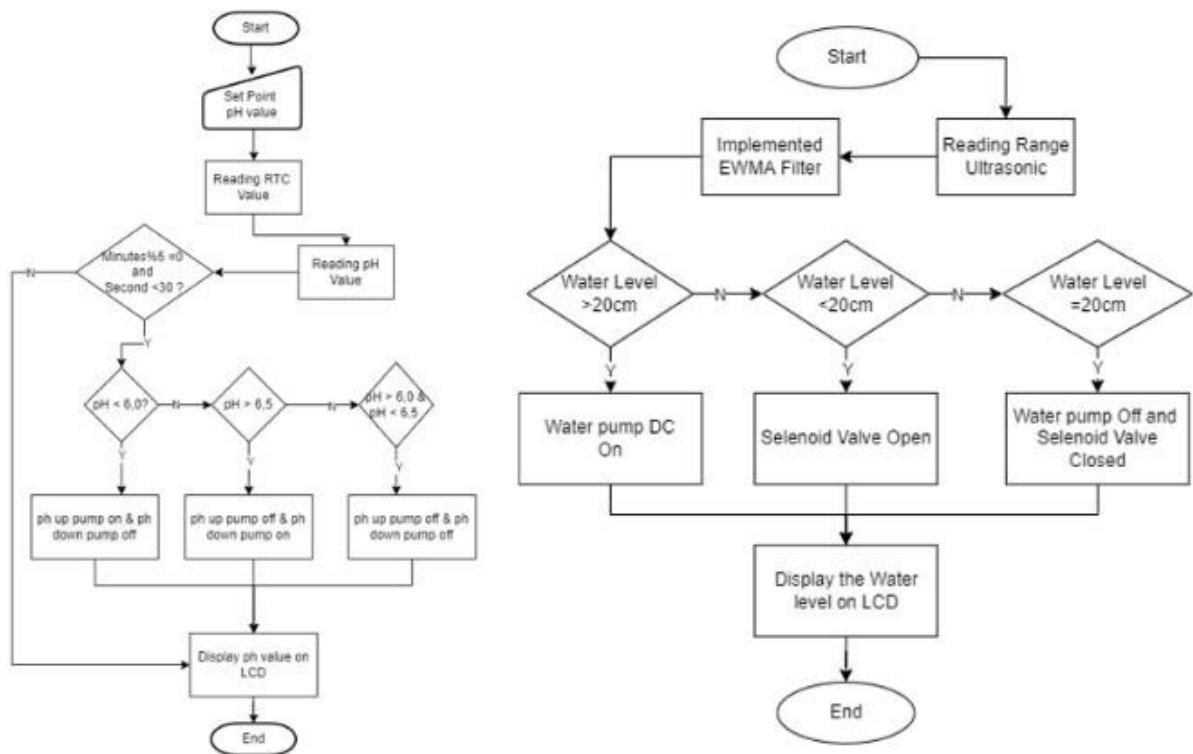
3.2. Desain Mekanik



Gambar 3 Desain Mekanik Akuaponik

Berdasarkan gambar 3 merupakan desain prototype sistem akuaponik yang dibangun. Adapun desain ini mengalami perubahan sewaktu waktu jika diperlukan untuk menyesuaikan pada penempatan akuaponik ini dan penggunaan bahan yang digunakan membutuhkan pipa pvc sebagai pondasi utamanya, kolam ikan menggunakan terpal khusus akuaponik dengan pipa

3.3. Desain Flowchart Sistem



Gambar 4 Flowchart Sistem

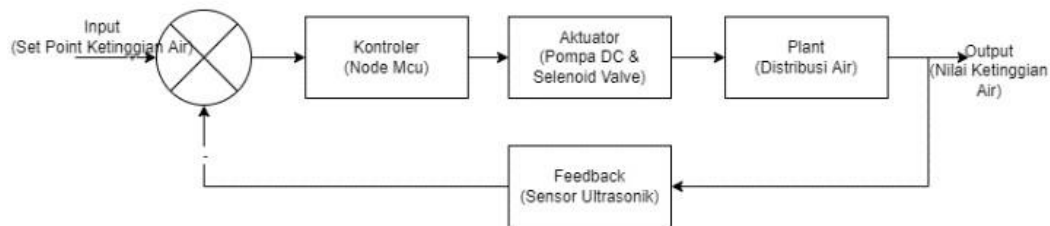
Gambar 4 merupakan diagram alir untuk sistem pertumbuhan, dimulai dengan pembacaan waktu menggunakan RTC dilanjutkan pembacaan pH pada tangki biofilter karena pengaturan tingkat keasaman dilakukan melalui tangki tersebut, berfungsi sebagai persimpangan terakhir sebelum air mengalir kedalam media tanam untuk mendapatkan pH yang optimal dan nutrisi yang baik untuk tumbuh kembang cabai.

Hasil pembacaan nilai tingkat keasaman, lalu dibandingkan dengan batas pH maksimal dan pH minimal yang telah diatur menggunakan mikrokontroler. Setelah itu sistem memutuskan tindakan yang akan diambil, jika pH melebihi batas atas set point maka pompa pH down akan hidup dan jika pH kurang dari batas bawah

maka pompa pH up akan hidup dan jika pH berada pada didalam batas bawah dan batas atas maka kedua pompa tetap mati.

Pengaturan ketinggian otomatis hanya terjadi pada kolam ikan saja sesuai pada gambar 4 sistem pengairan, dimulai dari sensor membaca nilai ketinggian air apakah lebih dari 20cm jika iya maka pompa air DC untuk mengeluarkan air akan hidup, jika sistem membaca nilai ketinggian air kurang dari 20 cm maka solenoid valve untuk masukan air akan terbuka, dan jika nilai ketinggian air ada pada batas 20cm maka solenoid valve dan pompa DC akan tertutup dan mati. dari pengambilan keputusan tersebut maka nilai ketinggian air bak ikan ditampilkan pada LCD untuk pemantauan secara langsung.

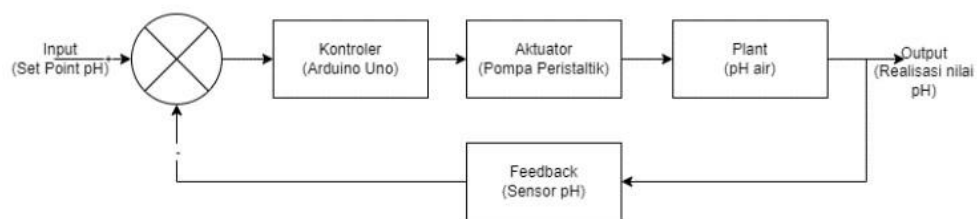
3.3. Desain Flowchart Sistem



Gambar 5 Diagram Blok Sistem Pengairan

Pada gambar 5 diagram blok sistem untuk kendali ketinggian air. Masukan dari sistem ini adalah nilai ketinggian air, penggunaan kontroler sebagai otak dari sistem adalah node mcu, sedangkan

dengan aktuator berupa pompa DC dan selenoid valve. Plant pada sistem ini adalah pendistribusian air pada akuaponik dengan keluaran berupa nilai ketinggian air yang sebenarnya.



Gambar 6 Diagram Blok Sistem Pertumbuhan

Gambar 6 merupakan diagram blok kedua dari kendali pertumbuhan, yang mendapatkan masukan berupa range nilai pH air yang sesuai dengan ketahanan tanaman cabai dalam akuaponik, proses inialisasi input dilakukan dengan membaca range nilai setting point tersebut. Kontroler pada sistem ini menggunakan arduino uno yang sama dengan sistem sebelumnya, dimana berfungsi untuk mengolah sinyal umpan balik dan sinyal masukan acuan atau sinyal eror menjadi sinyal kontrol.

Aktuator pada diagram ini berbeda dengan pengairan, sistem pertumbuhan menggunakan pompa peristaltik. Plant untuk blok diagram ini adalah pH air akuaponik dengan feedback berupa sensor pH dengan jenis transduser yang digunakan mengubah besaran mekanis, magnetis, panas dan kimia menjadi tegangan dan arus listrik.

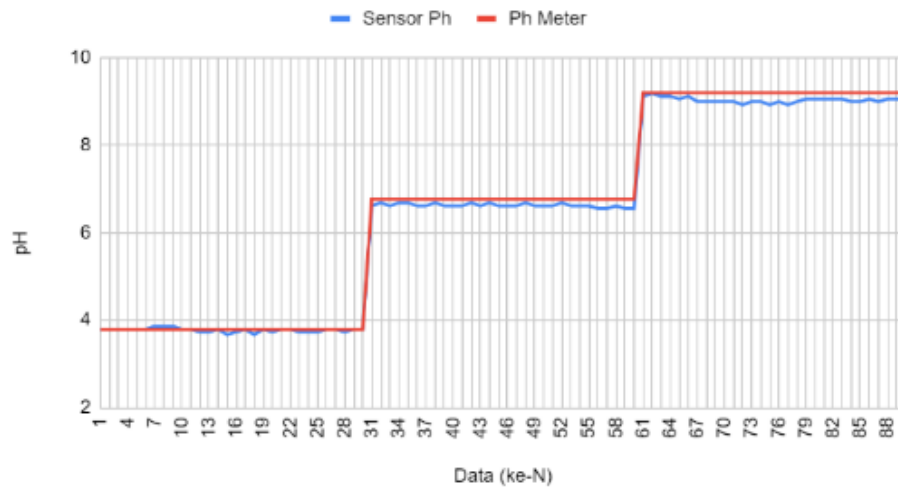
IV. HASIL DAN DISKUSI

4.1 Pengujian Sensor

Penggunaan sensor pH pada sistem ini memiliki peran yang sangat besar untuk mendapatkan nilai pembacaan yang mendekati alat ukur dan cairan yang sudah terstandarisasi, guna untuk mendapatkan feedback yang akurat pada sistem kendali. Kalibrasi pada sensor pH bertujuan untuk mengetahui akurasi dari pembacaan sensor dengan membandingkan sensor pH dengan pH meter,

dan mengetahui nilai voltage yang keluar dari hasil pembacaan nilai pH. Pada kalibrasi sensor pH ini sendiri dilakukan secara berulang untuk mendapatkan beberapa pembacaan agar mendapatkan hasil yang maksimal.

Pengujian Sensor pH



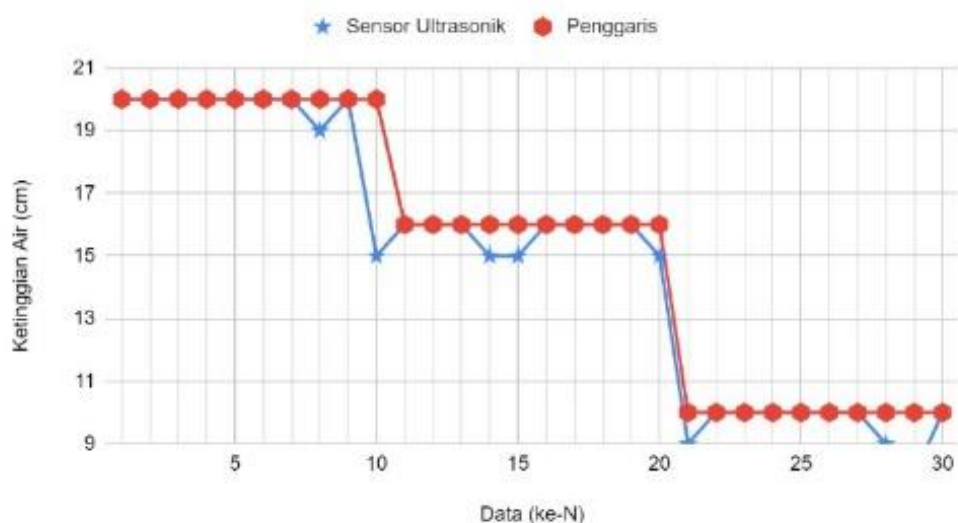
Gambar 7 Sensor pH Terhadap pH Meter

Berdasarkan gambar 7 bisa didapatkan bahwa masih terdapat selisih antara perbandingan sensordan alat ukur pH dengan error terkecil 0%, sedangkan error terbesar 2,9%. Hasil dari pengujian sensor dan alat ukur ini mendapatkan rata-rata akurasi sebesar 98,5% dengan rata-rata error sebesar 1,4%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa sensor pH dapat digunakan untuk menggantikan alat ukur karena memiliki keakuratan yang tinggi

Pengukuran ketinggian air pada sistem ini menggunakan sensor ultrasonik untuk mendapatkan

pembacaan yang realtime, sehingga dalam penggunaan. Sensor tersebut harus menggunakan filter terlebih dahulu untuk mengurangi nilai noise yang diterima oleh sensor, dan juga salah pembacaan karena derai air yang ada pada kolam ikan, pada pengujian filter ini digunakan dua jenis filter yang berbeda yaitu pembacaan 16 data sebelumnya kemudian di rata-ratakan dan juga menggunakan exponentially weighted moving average. Didapatkan filter EWMA lebih cocok dipakai pada sistem karena penggunaan yang *reliable* dengan seikit noise

Sensor Ultrasonik, Penggaris, dan Data



Gambar 8 Sensor Ultrasonik dan Penggaris

Pada gambar 8 merupakan hasil dari pengujian menggunakan sensor ultrasonik HC-SR04 dengan alat ukur penggaris. Sensor ini dipergunakan pada

pengukuran ketinggian air pada kolam ikan. Dari pengujian yang dilakukan diambil 30 data dengan tinggi yang berbeda, yaitu 10cm, 16cm dan 20cm.

maka, dihasilkan nilai error sebesar 2,79%, sedangkan didapat nilai akurasi sebesar 97,20%. sehingga dapat disimpulkan hasil dari pembacaan sensor ultrasonik yang telah difilter sudah akurat dengan penggaris sehingga sensor dapat digunakan untuk menggantikan alat ukur.

4.2 Pengujian Kendali

Pada sistem kendali dilakukan guna mengetahui respon transien sensor terhadap waktu dalam menyesuaikan dengan kondisi optimal tanaman cabai dalam set point 6,0 – 6,5. Jika nilai pH yang

Data pH Terhadap waktu



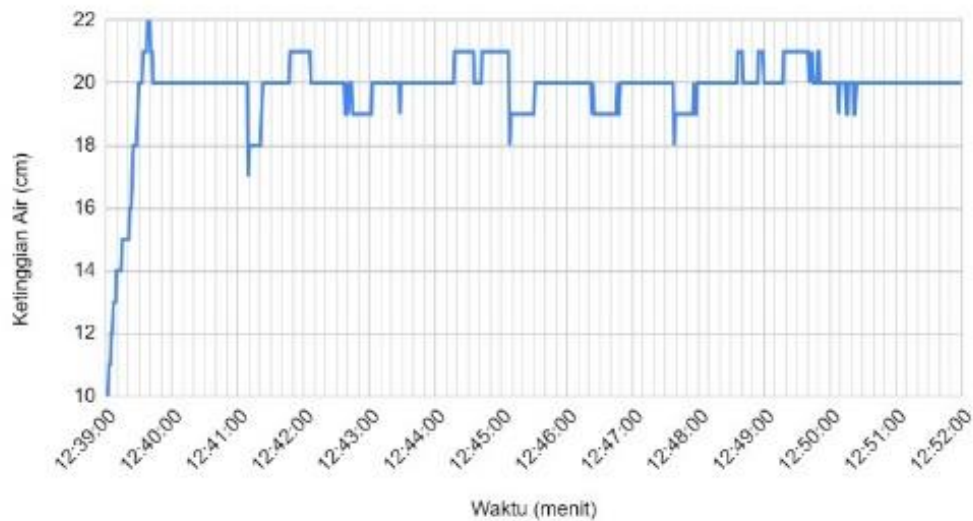
Gambar 9 Kendali pH

dibaca kurang atau lebih dari setting point, maka pompa peristaltik aktif untuk mengeluarkan larutan pH up / pH down sesuai dengan nilai error yang diterima oleh mikrokontroler. Sehingga nilai pH pada larutan air selalu sesuai dengan setting point. Perubahan nilai pH dari awal sampai akhir dicatat sampai rentang waktu yang telah ditentukan, lalu data perubahan nilai pH tersebut disajikan dalam bentuk grafik.

Selain gambar 9 menunjukkan respon dalam impulse kondisi on dan off, Dari grafik kendali dilihat bahwa sistem ini dapat mencapai nilai setpoint dengan rise time sebesar 292 detik dan settlingtime sebesar 420 detik.

Pengujian sistem kendali ketinggian air bertujuan untuk pengisian air bersih ke kolam ikan dan pengurangan air dari kolam ikan. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui respon waktu dari sistem, sehingga dapat bekerja dengan nilai set point yang telah ditentukan. Pada pengujian ini respon memiliki nilai set point yaitu ketinggian air 20 cm. Ketika sistem membaca bahwa ketinggian air kurang dari set point maka katup otomatis terbuka melakukan pengisian air dan ketika sistem membaca ketinggian air diatas dari set point maka pompa DC menyala mengeluarkan air.

Data Ketinggian Terhadap Waktu

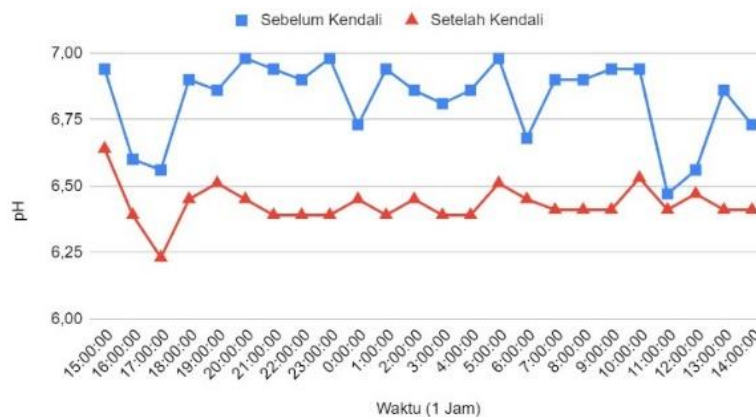


Gambar 10 Kendali Ketinggian Air yang digunakan.

Berdasarkan hasil grafik pada gambar 10 pengujian respon sensor dapat diketahui memiliki, nilai rise time (t_r) = 30 detik, settling time (t_s) = 129 detik, dan. Hasil ini juga dipengaruhi aktuator pompa dan katup otomatis

4.3 Monitoring 24 Jam

Sebelum Kendali dan Setelah Kendali



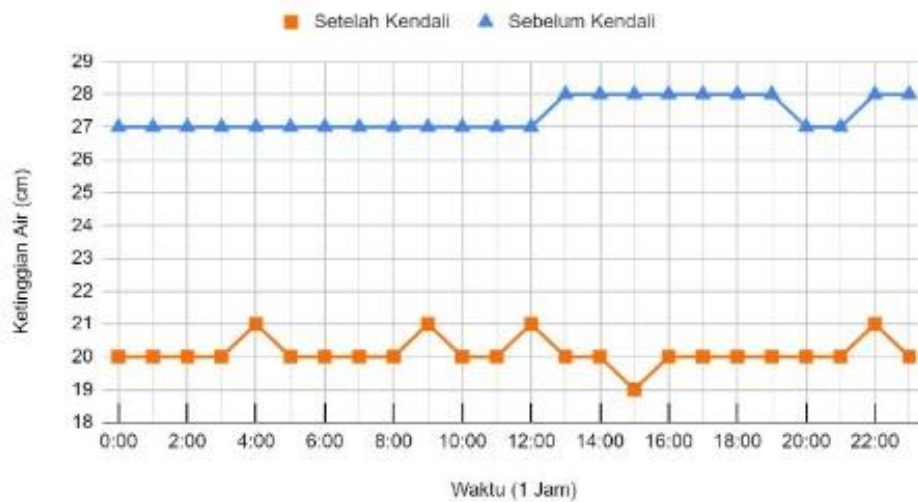
Gambar 11 Monitoring pH 24 jam

Gambar 12 menunjukkan hasil dari pemasangan kendali sesuai dengan ekspektasi sebelumnya, dimana ph akan berada pada range 6,0 – 6,5 dan jika ph berada diatas range maka pompa ph-Down akan menurunkan ph dengan menambah cairan ph-Down dan begitu juga sebaliknya jika ph melewati batas bawah dari range.

Hasil yang ditemukan juga dari

monitoring pH selama 24 jam terlihat ada fluktuasi yang lebih besar pada siang hari cenderung ph akan lebih tinggi karena pengaruh dari suhu sekitar dan kelembapan yang ada pada lokasi akuaponik, dan tidak menutup kemungkinan masuknya air hujan yang bersifat basa sehingga membuat pH air pada akuaponik menjadi lebih tinggi.

Setelah Kendali dan Sebelum Kendali



Gambar 12 Monitoring Ketinggian Air 24 Jam

Gambar 13 menunjukkan penggunaan kendali ketinggian air pada kolam ikan berfungsi untuk menjaga kesetabilan ketinggian air pada kolam tetap pada set point tertentu yang mana pada penelitian ini ditetapkan pada 20 cm.

Hal yang dapat menyebabkan ketinggian air yang meningkat pada kolam ikan adalah matinya salah satu pompa pada saat sistem berjalan secara terus menerus menyebabkan air pada kolam ikan tidak bersirkulasi dan menyebabkan ketinggian meningkat, hal eksternal lain adalah masuknya air hujan kedalam akuaponik sehingga membuat sebesar 98%. Dari karakteristik respon time sistem kendali pH didapatkan waktu naik (rise time) sebesar 10,98 detik dan settling time sebesar 15,96 detik untuk mencapai set point.

Berdasarkan hasil monitoring selama 24 jam, nilai pH cenderung tidak stabil ($6,0 < \text{pH} < 6,5$) saat siang hari dikarenakan pengaruh suhu, kelembapan, serta penguapan air dan curah hujan, namun setelah penambahan kendali pH pada sistem dan monitoring selama 24 jam didapatkan kesimpulan bahwa pH cenderung stabil pada range yang telah ditentukan.

Perancangan sistem kendali ketinggian air pada kolam ikan secara otomatis dengan masukan set point sebesar 20cm dinyatakan berhasil setelah pengamatan selama 24 jam ketinggian air tetap stabil pada set point namun pada beberapa waktu terjadi perubahan ketinggian yang dimungkinkan dari pengaruh eksternal baik penguapan air

ketinggian air ikut meningkat juga, dan terakhir tingkat penguapan air pada greenhouse yang cenderung tinggi membuat air pada kolam ikan dapat berubah menjadi lebih rendah.

4. Kesimpulan

Perancangan sistem kendali otomatis akuaponik pada pemantauan kadar pH tanaman cabai menggunakan sensor pH dengan kendali On / Off serta aktuatur pompa peristaltik. Hasil dari kalibrasi sensor pada pengujian dapat digunakan karena hasil dari keakuratan sensor pH didapatkan

ataupun curah hujan yang tidak dapat diprediksi, yang dimana sebelum pemasangan kendali tingkat ketinggian air cenderung tidak dapat diatur yang mungkin air pada kolam ikan dapat meluap keluar ataupun kekurangan karena efek penguapan.

Berdasarkan grafik respon sensor ultrasonik yang dipakai sebagai umpan balik untuk sistem kendali ketinggian air ini, mendapatkan akurasi sebesar 97% dikarenakan penggunaan filter pada program menyebabkan pembacaan ultrasonik menjadi lebih halus dan sedikit memiliki noise. Dari grafik respon kendali ketinggian air pada kolam ikan didapatkan nilai dari rise time (t_r) = 30 detik, settling time (t_s) = 129 detik.

REFERENSI

- [1] Y. Sastro, Teknologi Akuaponik Mendukung Pengembangan Urban Farming. 2016

- [2] Pranata, F. (2020). UJI BEBERAPA MEDIA TANAM DAN VARIETAS CABAI MERAH PADA SISTEM AKUAPONIK TERHADPA PERTUMBUHAN DAN POTENSI PRODUKSI.
- [3] I. Zidni, Iskandar, A. Rizal, Y. Andriani, and R. Ramadan, "Efektivitas Sistem Akuaponik Dengan Jenis Tanaman Yang Berbeda Terhadap Kualitas Air Media Budidaya Ikan," *J. Perikan. dan Kelaut.*, vol. 9, no. 1, pp. 81–94, 2019
- [4] P. Agnieszka, A. Ryniecki, and J. Wawrzyniak, "Basics of process: the on/off control system," pp. 27–29, doi: 10.15199/65.2015.11.6
- [5] M. Mulqan, S. A. El Rahimi, and I. Dewiyanti, "Pertumbuhan dan Kelangsungan Hidup Benih Ikan Nila Gesit (*Oreochromis niloticus*)," *J. Ilm. Mhs. Kelaut. dan Perikan. Unsyiah*, vol. 2, no. 1, pp. 183–193, 2017
- [6] E. Mirzaee-Ghaleh, M. Omid, A. Keyhani, and M. J. Dalvand, "Comparison of fuzzy and on/off controllers for winter season indoor climate management in a model poultry house," *Comput. Electron. Agric.*, vol. 110, pp. 187–195, 2015, doi: 10.1016/j.compag.2014.11.017..
- [7] L. E. Maryanto and S. Anis, "Pengaruh Diameter Roller Terhadap Debit Pompa Peristaltik," *Saintek J. Sains dan Teknol.*, vol. 16, no. 1, pp. 65–72, 2018, doi: 10.15294/saintek.v16i1.13550.
- [8] Admin dkkp. "Limbah Kolam Ikan Dapat Dimanfaatkan untuk Akuaponik: <https://dkpp.bulelengkab.go.id/informasi/detail/artikel/limbah-kolam-ikan-dapat-dimanfaatkan-untuk-akuaponik-57>", Apr. 13, 2018 [Jul. 20, 2018]
- [9] Urban Hidroponik. "3 Cara Menciptakan Siklus Amonia pada Kolam Akuaponik: <http://www.urbanhidroponik.com/2016/08/3-cara-menciptakan-siklus-nitrifikasi-kolam-akuaponik.html>" [Jul. 20, 2018]
- [10] Muhammad Tirto Utomo. "Pengatur Kadar Asam Nutrisi (pH) dan Level Ketinggian Air Nutrisi pada Sistem Hidroponik Cabai". *Jurnal Ilmiah GIGA*, vol.21, pp.5-14, Jun. 2018