

RANCANG BANGUN SISTEM KONTROL pH LARUTAN NUTRISI DAN PENCAHAYAAN BERBASIS *INTERNET OF THINGS* (IOT) PADA HIDROPONIK VERTIKULTUR

Renny Eka Putri*, Abdullah Habib, dan Ashadi Hasan

Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian,
Universitas Andalas, Padang

* rennyekaputri@ae.unand.ac.id

ABSTRACT

*The cultivation of verticulture hydroponic plants has the advantage that with 1 m² of land with a tower height of 1.5 m it has twice the planting hole in the conventional way. The purpose of this study was to design a solution pH control system and lighting in verticulture hydroponics for pakcoy (*Brassica rapa* L.) plants that can be connected to a smartphone. The control system used is the ESP32 microcontroller, 4502C pH Probe Sensor, and BH1750 Light Sensor. The peristaltic pump acts as an actuator for the Buffer solution to control the pH of the solution. LED growing light to replace sunlight for plants. The results of this study obtained the R² value from the pH Probe 4502C and the BH1750 Sensor of 0,9913 and 0,9947 respectively with an average percentage error value of 0,3144% and 0,4086%. Observations on the growth of pakcoy plants obtained an average plant height of 19.6 cm, a total of 12.7 leaves, a leaf width of 8.1 cm, and a weight of 29.5 g. The control system that has been created can work well and can be used for the cultivation of vertical hydroponic plants.*

Keywords: Hidroponik Vertikultur, Sistem Kontrol, Internet of Things

ABSTRAK

Budidaya tanaman hidroponik vertikultur ini mempunyai keunggulan yaitu dengan lahan 1 m² dengan tinggi tower 1,5 m memiliki lubang tanam dua kali lipat dengan cara konvensional. Tujuan penelitian ini adalah merancang sistem kontrol pH larutan dan pencahayaan pada hidroponik vertikultur terhadap tanaman pakcoy (*Brassica rapa* L.) yang dapat terhubung pada smartphone. Sistem kontrol yang digunakan yaitu mikrokontroler ESP32, Sensor pH Probe 4502C, dan Sensor Cahaya BH1750. Pompa peristaltik sebagai aktuator untuk larutan Buffer sebagai pengontrol pH larutan. Lampu LED growing light pengganti sinar matahari untuk tanaman. Hasil dari penelitian ini didapatkan nilai R² dari pH Probe 4502C dan Sensor BH1750 berturut-turut sebesar 0,9913 dan 0,9947 dengan persentase rata-rata nilai error sebesar 0,3144% dan 0,4086%. LED growing light hidup selama 13 jam setiap hari. Pengamatan pertumbuhan tanaman pakcoy didapatkan rata-rata tinggi tanaman sebesar 19,6 cm, jumlah daun sebanyak 12,7 helai, lebar daun sebesar 8,1 cm, dan

berat sebesar 29,5 g. Sistem kontrol yang telah dibuat dapat bekerja dengan baik dan dapat digunakan untuk budidaya tanaman hidroponik vertikultur.

Kata Kunci: Hidroponik Vertikultur, Sistem Kontrol, *Internet of Things*

*Submit: 1 Mei 2023 * Revisi: 11 Juni 2023 * Accepted: 3 Juli 2023 * Publish: 4 Juli 2023*

PENDAHULUAN

Teknik vertikultur adalah sistem budidaya tanaman bertingkat atau dilakukan secara vertikal, baik secara outdoor ataupun indoor. Sistem budidaya vertikultur bertujuan untuk mengatasi penurunan lahan sawah karena adanya alih fungsi lahan menjadi lahan non-pertanian [1]. Teknik vertikultur ini sangat cocok pada lahan sempit karena tidak memakan banyak tempat. Hidroponik salah satu sistem pertanian tanpa tanah melainkan dengan air bernutrisi untuk memenuhi kebutuhan tanaman [2]. Hidroponik vertikultur mempunyai keunggulan yaitu pada lahan 1 m² dengan ketinggian tower 1,5 m kita dapat menanam pada 50-80 tanaman, sedangkan dengan metode biasa hanya diperoleh 25-30 batang tanaman. Kebutuhan air dan nilai pH oleh tanaman pada sistem hidroponik mempunyai kadar yang berbeda untuk setiap jenis tanaman. Ketidakseimbangan pH menyebabkan tanaman tidak tumbuh dengan baik dan tidak sesuai yang diharapkan [3]. [4] meneliti tentang pengendalian pH larutan nutrisi pada budidaya tanaman hidroponik sistem *Deep Flow Technique* (DFT) dengan berbasis platform IoT. Penelitian yang telah dilakukan dapat mengontrol pH larutan dengan baik. Pengontrolan pH juga menggunakan metode PID dengan koneksi pada IoT menggunakan aplikasi Blynk. [5]

meneliti tentang irigasi dan pencahayaan pada sistem *vertical farming*. Pertumbuhan tanaman kangkung secara *vertical farming* tidak berbeda secara signifikan. Penelitian ini dilakukan secara *indoor* sehingga dibutuhkan pengontrolan cahaya. Pengontrolan intensitas cahaya juga dilakukan supaya tanaman mendapatkan cahaya secara optimal, pemberian cahaya menggunakan LED *Growing Light* selama 13 jam per hari [6]. Tanaman pakcoy berpotensi yang cukup bagus untuk dikembangkan untuk memenuhi permintaan pasar yang semakin lama semakin meningkat [7]. Tujuan penelitian ini adalah membuat rancangan sistem kontrol pH larutan dan pencahayaan berbasis IoT pada hidroponik vertikultur.

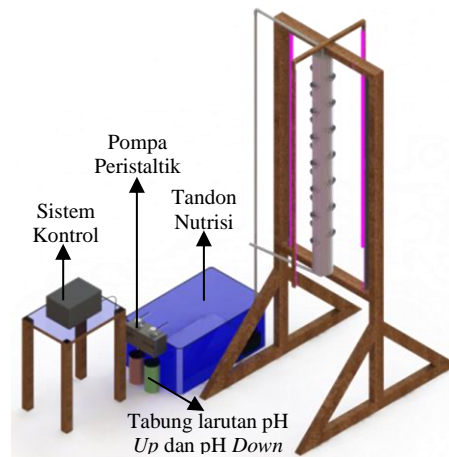
METODOLOGI PENELITIAN

Prototipe yang dirancang terdapat 1 tower. Tanaman ditanam pada dinding tower dengan jarak tanam 15 cm arah vertikal. Terdapat 28 netpot diameter 5 cm pada tower dengan tinggi 1,25 m. Kemudian pada puncak tower terdapat pipa untuk penyalur air nutrisi pada tanaman. Tower dipasangkan pada kerangka kayu yang kokoh agar tower tidak roboh pada saat pelaksanaan penelitian. Dasar tower dilengkapi dengan bak penampung larutan nutrisi untuk tanaman pakcoy atau disebut

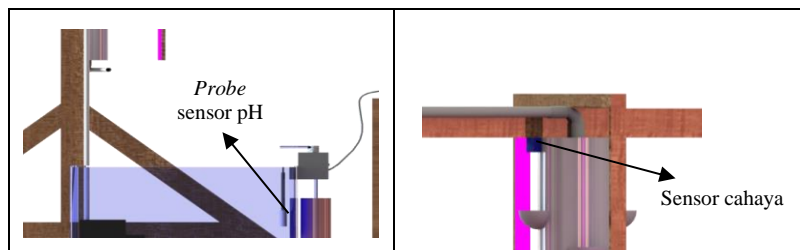
dengan tandon. Gambaran umum dari vertikultur sistem hidroponik ini dapat dilihat pada Gambar 1.

Tandon dilengkapi dengan selang larutan pH Up dan pH Down sebagai pengendali pH. Selang yang digunakan terbuat dari bahan silicon dengan diameter selang disesuaikan dengan

output pompa peristaltik. Probe sensor pH diletakkan diantara selang *output* larutan pengontrol pH. Tandon juga terdapat pompa utama yang digunakan untuk menaikkan nutrisi ke puncak tower. Sensor cahaya diletakkan pada puncak tower menghadap lampu. Posisi sensor dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 1. Gambaran Umum Hidroponik Vertikultur



Gambar 2. Posisi Sensor pada Sistem

Rancangan Sistem Kontrol pH Larutan dan Pencahayaan pada Hidroponik VertiKultur

Rancangan sistem kontrol dibuat berdasarkan mekanisme yang telah ditentukan. Sebelum dioperasikan, dipastikan alat memperoleh daya yang cukup. Saat ESP 32 *on*, maka *probe* sensor pH membaca nilai, pompa peristaltik akan aktif ketika pembacaan sensor pH < 6 atau pH > 7. Pompa peristaltik akan mati ketika pH berada pada *setpoint*. Sensor cahaya sebagai monitoring dari hidup lampu LED

growing light. Lampu LED *growing light* hidup pada pukul 06.00 WIB – 19.00 WIB. Hasil pembacaan dari sensor diinterpretasikan menggunakan *platform Internet of Things* yaitu aplikasi Blynk dengan memasukan *authtoken* pada program.

1. Sensor

Sensor akan dikoneksikan dengan ESP 32 menggunakan kabel jumper, *female to male*, *female to female*, dan *male to male*. *Probe* sensor pH akan diletakkan pada tandon larutan nutrisi dan modul sensor cahaya diletakkan pada puncak tower. Agar sistem bekerja sesuai

dengan keinginan, maka seluruh komponen harus bekerja sesuai fungsinya masing-masing.

2. Interpretasi dengan LCD I2C 128 x 64

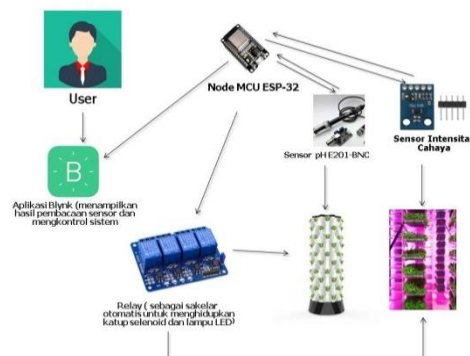
Hasil pembacaan dari sensor akan diteruskan ke ESP 32 sebagai otak, kemudian akan diinterpretasikan kedalam LCD I2C 128 x 64 dalam bentuk digital. Koneksi antara LCD I2C dengan ESP 32 akan dihubungkan dengan kabel jumper *female to female*.

3. Skema Rangkaian

ESP 32 akan hidup jika diberi arus sesuai dengan kebutuhannya, ketika ESP *on* maka akan memberikan sinyal listrik

kepada sensor ultrasonik agar dapat melakukan pembacaan, hasil pembacaan dari sensor akan diinterpretasikan kedalam bentuk digital melalui LCD I2C yang dikoneksikan dengan ESP 32. Memastikan semua komponen agar tidak tumpang tindih maka perancangan keseluruhan komponen menjadi satu kesatuan dibutuhkan.

Data hasil interpretasi dapat dilihat secara langsung oleh operator dan juga dapat disimpan dalam bentuk database. Adapun mekanisme dari skema kerja dari sistem sensor untuk melakukan pengukuran lebar kerja dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Skema Sistem Kontrol dan Pencahayaan

Pengamatan

a. Ketepatan Pembacaan Sensor

Sensor ph dapat bekerja pada suhu 0-60°C dengan tegangan 5V dengan kecepatan respon kurang dari 1 detik. Dari data yang diperoleh dapat diketahui nilai *error* sensor dengan persamaan[8]:

$$\%error = \frac{|A-B|}{B} \times 100 \% \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan : A = Nilai terbaca

B = Nilai Pembanding

Ketepatan pembacaan sensor dilihat dari hasil pembacaan sensor yang mendekati hasil pembacaan menggunakan alat ukur. Hasil pembacaan pH menggunakan sensor mendekati nilai dari pengukuran menggunakan pH meter.

Hasil pembacaan sensor BH1750 dibandingkan dengan pembacaan dengan alat ukur standar atau luxmeter [9]. Pengamatan dilakukan setiap 3 hari sekali selama masa penanaman dengan pengambilan data dilakukan setiap 2 jam mulai dari pukul 08.00 hingga 16.00 WIB.

b. Uji Aktivasi Pompa Peristaltik

Pengujian pompa bertujuan apakah pompa dapat bekerja dengan baik. Pengujian dengan memberikan intruksi pada relay untuk memberikan arus terhadap pompa, jika pembacaan nilai pH oleh sensor tidak berada pada nilai *setpoint*.

c. Debit Aliran Nutrisi

Sistem hidroponik vertikutur membutuhkan debit aliran yang rendah agar larutan nutrisi tidak keluar dari tower pada saat pompa dalam keadaan aktif. Debit larutan nutrisi dapat dihitung dengan cara mengukur larutan yang dialirkan dalam jangka waktu tertentu, dan dihitung dengan menggunakan persamaan 2.

$$Q = V/t \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan : Q = Debit (m^3/s)

V = Volume Larutan (m^3)

t = Waktu (s)

d. Pengamatan Tanaman

Pengamatan tanaman dilakukan untuk mengetahui data pengamatan yang menjadi acuan kerja dari sistem pengontrolan pH larutan dan pencahayaan pada hidroponik vertikutur berbasis IoT. Pengamatan yang dilakukan adalah pengamatan tinggi tanaman, jumlah daun, lebar daun, dan berat tanaman. Pengambilan data dilakukan pada hari ke 5, 10, 15, dan 25.

e. Analisis Data

Data statistik yang didapatkan dari pengamatan perlu dilakukan analisis statistik deskriptif sebagai salah satu perhitungan tendensi sentral yaitu mean, perhitungan penyebaran data berupa standar deviasi, dan varians, kemudian dilanjutkan dengan analisis regresi untuk melihat hubungan antara pembacaan sensor pH dengan pembacaan pH

menggunakan pH meter dan pembacaan nilai intensitas dengan alat ukur lux meter.

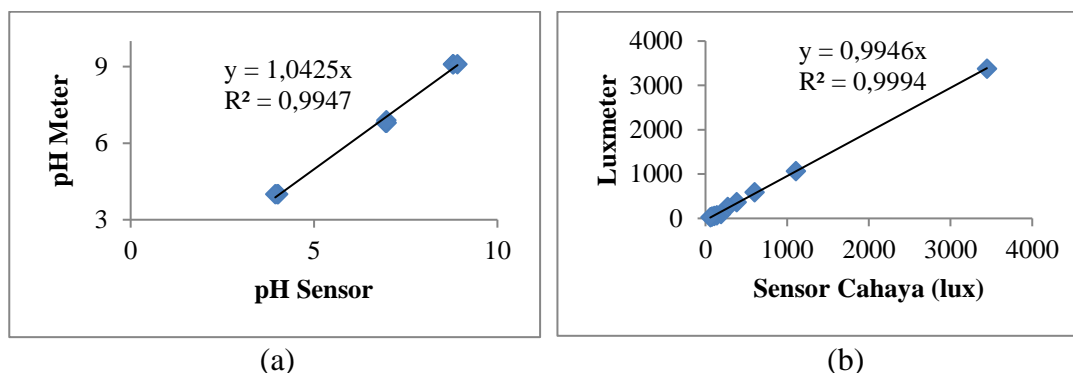
HASIL DAN PEMBAHASAN

Kebutuhan Daya Sistem

Komponen-komponen membutuhkan daya pada penelitian ini adalah ESP-32, Adaptor AC/DC, Pompa Utama, dan Lampu LED Growlight. Daya yang dibutuhkan oleh sistem untuk hidup total adalah 129,4 Watt. Sumber daya listrik menggunakan sumber tenaga listrik PLN dengan menghubungkan pada stop kontak agar aliran listrik terhubung pada sistem.

Kalibrasi Sensor

Kalibrasi sensor dilakukan untuk mengetahui keakuratan dari pembacaan sensor terhadap objek dan mengukur error yang dihasilkan dari data output. pH sensor dikalibrasi dengan menggunakan larutan Buffer dengan 3 konsentrasi pH berbeda yaitu 4,01; 6,86; dan 9,18 yang mewakili larutan asam, netral, dan basa[10]. Pengujian sensor BH1750 dilakukan dengan 10 titik pengukuran dari jarak 10 cm hingga 100 cm. Data yang didapatkan 10 data yang kemudian dibandingkan dengan pengukuran alat ukur luxmeter. Posisi luxmeter sejajar dengan sensor agar dapat melihat keakuratan dari sensor cahaya. Hasil dari kalibrasi dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Kalibrasi Sensor (a) pH larutan (b) sensor BH1750

Hasil kalibrasi sensor didapatkan nilai R^2 sensor pH larutan dan sensor BH1750 berturut-turut sebesar 0,9947 dan 0,9994. Berdasarkan perbandingan sensor dengan alat ukur standarnya dikatakan akurat karena nilai R^2 mendekati 1. Penelitian sebelumnya [4] didapatkan nilai R^2 dari sensor pH sebesar 0,9997. Penelitian [5] kalibrasi sensor cahaya dengan metoda kalibrasi yang sama didapatkan nilai R^2 sensor BH1750 sebesar 0,9995. Nilai ini tidak berbeda jauh dengan nilai R^2 yang didapatkan, dapat disimpulkan bahwa sensor bekerja dengan baik.

Hasil dan Analisis Kalibrasi Sensor pH untuk Menentukan Jumlah Larutan yang di-Input

Kalibrasi sensor pH untuk menentukan larutan yang di-Input yaitu berapa lama waktu yang dibutuhkan dan jumlah larutan yang dimasukan kedalam box larutan nutrisi untuk mencapai nilai *setpoint*. Pengujian dilakukan dengan mencatat pembacaan sinyal *input* yang ditampilkan pada Blynk App dari larutan yang divariasikan pH-nya. Jumlah larutan dan waktu dibutuhkan pada proses mencapai nilai *setpoint* akan dicatat secara manual. Kemudian, saat kondisi *setpoint* telah tercapai maka pH akhir sistem berhenti bekerja dan pH akhir larutan kembali dicatat.

Hasil pengujian menunjukan bahwa untuk merubah 1 nilai pH membutuhkan larutan sebanyak 0,0015 L dengan waktu 2,58 s. Berdasarkan pengujian jumlah larutan dan waktu dibutuhkan untuk mencapai *setpoint* membutuhkan sangat sedikit larutan pH *Up* dan pH *Down* serta dengan waktu yang singkat. Pengujian ini dilakukan agar kerja sistem efektif saat pengendalian pH larutan agar pada saat penelitian larutan selalu pada kondisi *setpoint*.

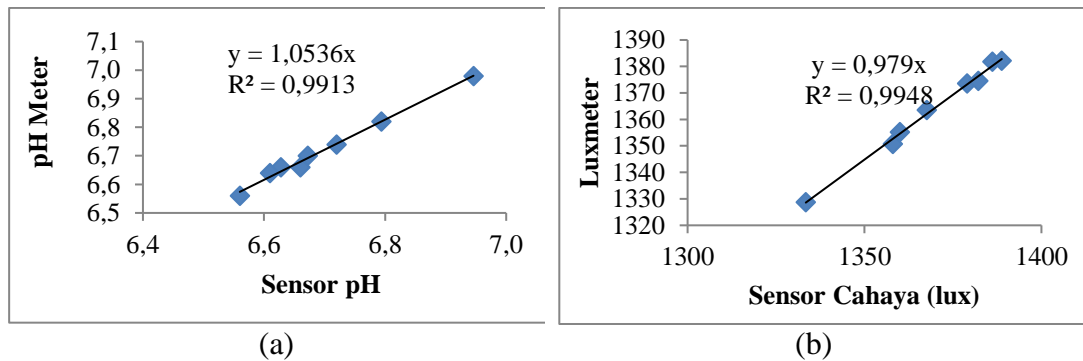
Koneksi ke Blynk App

Sistem kontrol yang digunakan pada penelitian ini dikendalikan oleh mikrokomputer ESP-32. ESP-32 merupakan modul wifi yang dapat terhubung ke internet. Cara mengkoneksikan ESP-32 ke *interface* yaitu dengan mengunduh aplikasi Blynk di *Google Play Store* pada android maupun pada *App Store* di iOS. Setelah masuk pada aplikasi Blynk kita akan mendaftarkan akun melalui email untuk mendapatkan *authoken* yang dikirim ke email. *Authoken* adalah suatu kode yang nantinya dimasukan pada pemograman yang nantinya sebagai penghubung sistem kontrol dengan *interface Blynk App*. Koneksi ke Blynk membutuhkan jaringan yang nantinya program dengan memasukan SSID dan password dari wifi yang terhubung pada mikrokontroler.

Ketepatan Pembacaan Sensor

Pengujian ketepatan sensor dilakukan setiap 3 hari sekali selama 24 hari. Pengujian dimulai pada hari ke-3 setelah tanaman dipindahkan pada instalasi hidroponik vertikultur. Pengambilan data dilakukan setiap 2 jam

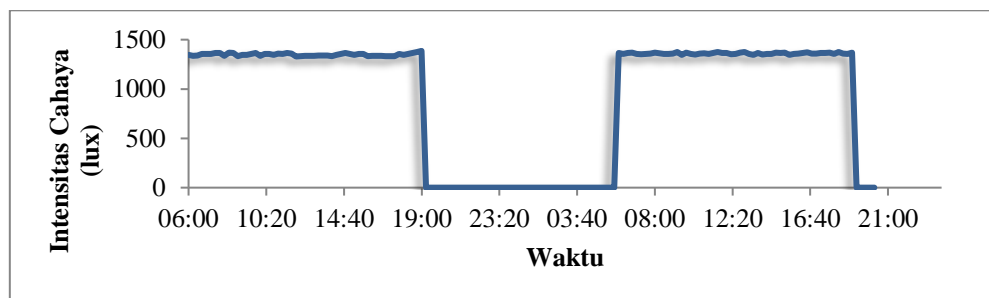
pada pukul 08.00 WIB hingga pukul 16.00 WIB. Data yang diperoleh dari pembacaan sensor pH dibandingkan dengan hasil pembacaan pH meter, sedangkan hasil pembacaan dari sensor BH1750 dibandingkan dengan luxmeter. Hasil pembacaan sensor dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Nilai ketepatan pembacaan sensor

Grafik pada Gambar 5 menunjukan nilai perbandingan sensor pH dengan pH meter dan nilai perbandingan sensor BH1750 dengan luxmeter selama pengamatan yang diukur pada hari 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, dan 24 HST. Data yang didapatkan dilakukan analisis agresi yang menghasilkan nilai R^2 sebesar 0,9913 dan 0,9948. Nilai ini tidak berbeda jauh dari penelitian sebelumnya [4] mendapatkan nilai $R^2 = 0,9908$. Pembacaan sensor pH dengan pH meter terdapat selisih yang kecil sehingga menghasilkan nilai error sebesar 0,3144 %. Hasil dari pengamatan sensor cahaya dengan pembacaan

luxmeter memiliki nilai $R^2 = 0,9948$. Grafik diatas menunjukkan bahwa sensor melakukan pembacaan yang akurat selama penelitian dilakukan. Penelitian [11] mendapatkan nilai $R^2 = 0,9993$ nilai tersebut menunjukkan bahwa sensor dapat membaca dengan baik karena nilai mendekati 1. Penelitian [5] melakukan pengamatan terhadap ketepatan pembacaan cahaya BH1750 didapatkan nilai $R^2 = 0,9942$. Nilai *error* sensor cahaya yang didapatkan pada penelitian sebesar 0,4086 %. Berdasarkan hasil pembacaan sensor cahaya, sensor dapat digunakan pada sistem yang dirancang.



Gambar 6. Waktu hidup lampu LED *growing light*

Gambar 6 menunjukkan nilai bahwa sensor membaca nilai pada jam 06:00 WIB sampai pada pukul 18:59 WIB. Pembacaan sensor menjadi 0 lux pada pukul 19:00 sampai 05:59 WIB. Hal tersebut menunjukkan bahwa lampu LED *Growing Light* hidup dan mati pada waktu *setpoint*. Hidup dan mati lampu pada sistem dikendali menggunakan sistem *Network Time Protocol* (NTP) *Client*. NTP *Client* merupakan sistem waktu digital yang terkoneksi pada server dimana membutuhkan jaringan untuk mengaktifkan waktu pada sistem yang dibuat. NTP dapat menggantikan peran

dari *Real Time Clock* (RTC) sebagai pewaktu pada sistem kontrol.

Uji Aktivasi Pompa Peristaltik

Uji pompa peristaltik bertujuan untuk mengetahui kinerja dari pompa peristaltik apakah berfungsi dengan baik atau tidak. Pengujian dilakukan dengan cara menghidupkan pompa dengan perintah melalui Arduino IDE yang kemudian dimasukan kedalam 0,5 L air dan dihitung lama waktu pompa mengalirkan air tersebut. Hasil pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Uji Pompa Peristaltik

Pengujian Ke-	Volume (L)	Waktu (s)	
		Pompa Peristaltik pH UP	Pompa Peristaltik pH Down
1	0,5	298	296
2	0,5	295	297
3	0,5	296	296
Rata-Rata	0,5	296,3	296,3
Debit (L/s)		0,0017	0,0017

Tabel 1 menunjukan bahwa pompa peristaltik pH *Up* dan pH *Down* mengalirkan air sebanyak 0,5 L membutuhkan waktu selama 296,3 s. Debit aliran dari kedua pompa mempunyai nilai yang sama yaitu sebesar 0,0017 liter dalam 1 detik. Pengujian ini menunjukkan bahwa pompa peristaltik mengalirkan larutan pH Buffer secara perlahan sehingga untuk tidak menurun

atau menaikkan pH secara drastis sehingga tidak mengacaukan sistem kendali pH.

Laju Aliran Larutan Nutrisi

Sistem menggunakan pompa celup yang diletakan dalam tandon nutrisi. Debit aliran pompa utama dengan cara menghitung volume air yang dialirkan selama 5 detik. Debit aliran dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Pengujian Laju Aliran Larutan Nutrisi

Ulangan	Volume Air (L)	Waktu (s)
1.	3,25	5
2.	3,03	5
3.	3,40	5
4.	3,50	5
	3,30	5
Debit(L/s)		0,659

Perhitungan pada Tabel 2 menunjukkan laju aliran larutan nutrisi sebesar 0,659 liter selama 5 detik. Kecepatan dari aliran larutan nutrisi dibutuhkan agar larutan tidak keluar dari tower saat larutan mengalir pada tower.

Pengamatan Tanaman

Pengamatan pertumbuhan tanaman pakcoy didapatkan rata-rata tinggi tanaman sebesar 19,6 cm, jumlah daun sebanyak 12,7 helai, lebar daun sebesar 8,1 cm, dan berat sebesar 29,5 g.

KESIMPULAN

Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa, sistem kontrol pH larutan dan pencahayaan pada hidroponik vertikultur bekerja dengan baik. Pembacaan sensor pH larutan dan sensor BH1750 mendekati nilai sesungguhnya yaitu 1. Hasil kalibrasi dari sensor pH Probe PH-4502C mendapatkan nilai $R^2 = 0,9947$ dan sensor BH1750 mendapatkan nilai $R^2 = 0,9994$. Rata-rata hasil analisis regresi dari ketepatan pembacaan sensor pH dan sensor BH1750 didapatkan R^2 berturut-turut sebesar 0,9948 dan 0,9913. Selanjutnya, sistem kontrol pH larutan dan pencahayaan pada hidroponik vertikultur berkerja dengan baik. Penjadwalan *on/off* lampu LED *growing light* berjalan sesuai setpoint yang telah ditentukan.

Saran

Saran yang dapat penulis berikan untuk pengembangan dari penelitian yang telah dilakukan diantaranya: 1).

Menambah lampu dengan intensitas yang lebih tinggi dan mengatur pencahayaan dengan penyinaran seperti trayeksi penyinaran matahari. 2). Menambah modul-modul lain agar sistem dapat bekerja dengan lebih presisi. 3). Mengatur pemberian nutrisi secara otomatis sesuai dengan umur tanaman sehingga pertumbuhan dapat berjalan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Nurjasmi, "Review: Potensi Pengembangan Pertanian Perkotaan oleh Lanjut Usia untuk Mendukung Ketahanan Pangan," *J. Ilm. Respati*, vol. 12, no. 1, pp. 11–28, 2021, doi: 10.52643/jir.v12i1.1406.
- [2] F. B. Akbar, M. A. Muslim, dan Purwanto, "Pengontrolan Nutrisi pada Sistem Tomat Hidroponik Menggunakan Kontrol PID," *J. EECCIS*, vol. 10, no. 1, pp. 20–25, 2016.
- [3] A. Mujadin, "Prototipe Chamber Pengaturan Suhu, Kelembaban dan Growing LED Tanaman Aeroponic," *Tek. Elektro*, vol. 3, no. 1, pp. 44–48, 2015.
- [4] A. Khainur, "Rancang Bangun Sistem Otomasi pH Larutan Nutrisi pada Budidaya Tanaman Hidroponik DFT (Deep Flow Technique) Berbasis Internet Of Things," *Jur. Tek. Pertan. dan Biosist. Fak. Teknol. Pertanian. Univ. Andalas. Padang.*, 2021.
- [5] M. J. A. Wibowo, "Rancang Bangun Sistem Vertical Farming dengan Irigasi dan Pencahayaan Berbasis Internet of Things (IOT) pada Tanaman Kangkung (*Ipomoea reptans Poir*)," *Jur. Tek.*

- Pertan. dan Biosist. Fak. Teknol. Pertanian. Univ. Andalas. Padang.*, 2021.
- [6] L. S. Mareli Telaumbanua, Bambang Purwantana, "Rancangbangun Aktuator Pengendali Iklim Mikro di dalam Greenhouse untuk Pertumbuhan Tanaman Sawi (*Brassica rapa var.parachinensis L.*)," *Agritech J. Fak. Teknol. Pertan. UGM*, vol. 34, no. 2, pp. 213–222, 2014.
- [7] S. Nurhasanah, A. Komariah, R. A. Hadi, and K. R. Indriana, "Respon Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Pakcoy (*Brassica Rapa L.*) Varietas Flamingo Akibat Perlakuan Macam Media Tanam dan Konsentrasi Pupuk Pelengkap Cair Bayfolan," *J. Inov. Penelit.*, vol. 2, no. 3, pp. 949–954, 2021, [Online]. Available: <https://stp-mataram.e-journal.id/JIP/article/download/778/629/>
- [8] A. R. Al Tahtawi and R. Kurniawan, "PH control for deep flow technique hydroponic IoT systems based on fuzzy logic controller," *J. Teknol. dan Sist. Komput.*, vol. 8, no. 4, pp. 323–329, 2020, doi: 10.14710/jtsiskom.2020.13822.
- [9] A. Perdana, Amanda Khaira, Iswadi Hasyim Rosma, "Analisis Kalibrasi Sensor BH1750 Untuk Mengukur Radiasi Matahari Di Pekanbaru," *SeMNASTeK 2017*, pp. 1–6, 2017.
- [10] N. T. C. Sulistiyo, D. Erwanto, and A. D. Rosanti, "Alat Pengendalian Derajat PH Pada Sistem Hidroponik Tanaman Pakcoy Berbasis Arduino Menggunakan Metode PID," *Multitek Indones. J. Ilm.*, vol. 13, no. 1, pp. 46–65, 2019.
- [11] M. A. Suganda, "Rancang Bangun Sistem Vertical Farming Dengan Irigasi dan Pencahayaan Berbasis Internet of Things (IoT) Pada Tanaman Kangkung (*Ipomoea Reptans Poir.*)," *Jur. Tek. Pertan. dan Biosist. Fak. Teknol. Pertanian. Univ. Andalas. Padang.*, 2021.