

PERANCANGAN KONTROL NUTRISI DAN PH PADA SISTEM FERTIGASI HIDROPONIK UNTUK BERBAGAI JENIS TANAMAN DAUN

Vitaloka Feriansari^{1*}, Nico Purwady Nugraha², Boy Macklin Pareira P. W.³

^{1,2,3}Departemen Teknologi Agroindustri Fakultas Teknologi Industri Pertanian, Universitas Padjadjaran Jl.
Bandung Sumedang km 21, Jatinangor, Sumedang

*email: vitalokaf@gmail.com

ABSTRAK

Hidroponik merupakan salah satu alternatif bercocok tanam tanpa harus menggunakan lahan yang luas dan air yang banyak. Tanaman hidroponik mendapatkan nutrisi dari larutan nutrisi anorganik yang dialirkan ke akar tanaman selama 24 jam. Kunci utama pertumbuhan tanaman pada sistem hidroponik adalah sistem fertigasi dimana sistem ini berfungsi untuk mengalirkan nutrisi yang dibutuhkan oleh tanaman. Teknologi pada hidroponik yang saat ini perlu dikembangkan adalah otomatisasi pemberian nutrisi dan kontrol pH agar mampu meningkatkan efisiensi kerja dan mengoptimalkan pertumbuhan tanaman. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan kontrol tersebut dan dapat diaplikasikan untuk berbagai jenis tanaman daun sesuai dengan kebutuhan masing-masing tanaman sekaligus mengendalikan prosesnya dengan menggunakan mikrokontroler Arduino MEGA dan *dosing pump* untuk larutan nutrisi dan larutan asam atau basa. Penelitian ini dilaksanakan dengan metode rekayasa. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem kontrol mampu mempertahankan kadar nutrisi pada minimal nilai 900 ppm dan kadar pH pada *range* 5 sampai dengan 6. Hasil uji pada tanaman yang dilakukan pada tanaman pakcoy menunjukkan bahwa pakcoy yang menggunakan sistem kontrol otomatis memiliki daun yang berwarna hijau segar dan pertumbuhan jumlah daun lebih cepat dibandingkan dengan pakcoy tanpa sistem kontrol otomatis. Pada tanaman pakcoy tanpa kontrol otomatis tampak bercak kuning dan pertumbuhan tanaman yang lebih lambat dibandingkan dengan tanaman pakcoy dengan kontrol otomatis.

Kata kunci: sistem fertigasi otomatis, hidroponik, nutrisi, pH, Arduino.

ABSTRACT

Hydroponics is one of alternative farming without using a large area of land and a lot of water. Hydroponic plants get nutrients from anorganic nutrient solutions that are flowed to roots for 24 hours. The main key of plant growth in a hydroponic system is a fertigation system where this system have a functions to drain the nutrients needed by plants. The technology in hydroponics that currently needs to be developed is the automation of nutrition and pH control in order to increase work efficiency and optimize plant growth. The objective of this research was to control the fertigation system and can be applied to various types of leaf plants according to the needs of each plant and simultaneously control the whole process automatically with Arduino MEGA and dosing pump for nutrient solutions and acid or alkaline solutions. The research was conducted using engineering design method. The test results show that the control system able to maintain nutrition levels at minimum value of 900 ppm and pH levels in the range 5 to 6. The results of plant tests conducted on pakcoy plants showed that pakcoy using an automatic control system had fresh green leaves and faster leaf growth compared to pakcoy without an automatic control system. Pakcoy plants without automatic control showed yellow spots and slower plant growth compared to pakcoy plants with automatic control.

Keywords: automatic fertigation system, hydroponics, nutrition, pH, Arduino.

PENDAHULUAN

Seiring dengan berkembangnya teknologi, sektor pertanian semakin berkembang. Perkembangan sistem tersebut meliputi kemudahan pola cocok tanam yaitu tanpa media tanah. Salah satu pola tanam tanpa media tanah adalah hidroponik. Sistem hidroponik, atau hidroponik, adalah metode bercocok tanam menggunakan larutan nutrisi mineral dalam air tanpa tanah. Sistem hidroponik diantaranya adalah *Deep Flow Technique* (DFT), *Nutrient Film Technique* (NFT), dan sistem aeroponik telah digunakan secara komersial dengan larutan nutrisi resirkulasi. Keunggulan sistem hidroponik DFT adalah tanaman tidak akan kering atau layu ketika sistem tidak bekerja apabila pasokan listrik mati, nutrisi selalu tersedia dalam jumlah yang cukup dan tidak selalu membutuhkan listrik selama 24 jam. *Deep Flow Technique* (DFT) didasarkan pada regulasi efisien pasokan oksigen ke akar dengan resirkulasi larutan nutrisi (Vespagaard, 1984).

Prinsip ini telah digunakan dalam sistem budidaya *soil-less* (hidrokonik) untuk percobaan pertumbuhan tanaman (Clement et al., 1974; Jarvis dan Hatch, 1985; Callahan dan Engel, 1986). Prinsip kerja teknologi DFT yaitu mensirkulasi larutan nutrisi dan aerasi secara kontiniu selama 24 jam pada rangkaian aliran tertutup. Hidroponik DFT merupakan sistem pengairan dengan meletakkan akar tanaman pada lapisan air kedalaman berkisar antara 4-6 cm.

Pada sistem hidroponik, pemberian nutrisi berlangsung bersamaan dengan sistem fertigasi. Sistem fertigasi yang tepat akan membuat pertumbuhan tanaman menjadi lebih baik. Di antara faktor-faktor yang mempengaruhi sistem produksi tanaman secara hidroponik, larutan nutrisi menjadi salah satu faktor penentu yang paling penting dalam menentukan hasil dan kualitas tanaman (Nugraha, 2015).

Pentingnya nutrisi bagi tanaman hidroponik sebagai kebutuhan utama untuk tumbuh dan berkembang memerlukan takaran yang tepat. Kekurangan nutrisi maupun kelebihan nutrisi akan menimbulkan dampak negatif bagi tanaman. Nutrisi hidroponik berfungsi sebagai pemasok utama kebutuhan air dan mineral bagi tanaman yang akan menentukan kualitas hasil tanaman hidroponik. Tanaman akan mendapatkan kebutuhan air dan mineral dari nutrisi yang diberikan. Kualitas sistem fertigasi sangat berpengaruh terhadap kualitas tanaman hidroponik (Herwibowo, 2012).

Konsentrasi ion dalam larutan nutrisi berubah seiring dengan berjalannya waktu yang menyebabkan ketidakseimbangan nutrisi. Sistem kontrol nutrisi dengan pengukuran *real-time* untuk semua nutrisi diperlukan, tetapi sistem seperti itu belum tersedia secara komersial (Son, J. E., Kim, H. J., dan Ahn, T. I., 2020).

Kadar pH air pada hidroponik juga mempunyai pengaruh penting dalam pertumbuhan tanaman karena berdampak dalam penyerapan nutrisi yang diperlukan oleh tanaman (Suryani, 2015). Perubahan kadar pada pH juga akan mempengaruhi aktivitas fotosintesis tanaman. pH merupakan parameter yang dapat mengukur tingkat keasaman atau kebasaan suatu larutan. Pengaturan kadar pH yang tepat pada sistem hidroponik dapat mencegah reaksi kimia negatif pada larutan nutrisi pada sistem hidroponik (Novella, M. B., Andriolo, J. L., Bisognin, D. A., Cogo, C. M., dan Bandinelli, M. G., 2008). Pada sistem hidroponik secara konvensional masih dilakukan pengaturan kadar pH secara manual. Pengaturan kadar pH dapat dilakukan dengan cara memberikan larutan pH *up* atau pH *down* ke dalam air. Pemberian larutan pH secara manual memakan waktu yang lama dan rentan akan faktor kesalahan yang disebabkan oleh *human error* karena kadar pH harus diperiksa sesering mungkin. Pengaturan kadar pH secara otomatis dapat menjadi solusi untuk meminimalisasi kesalahan dan menghemat waktu para pembudidayaan tanaman hidroponik karena kadar pH akan selalu terjaga dengan baik.

Sistem otomasi pada hidroponik DFT untuk berbagai jenis tanaman daun belum pernah diteliti sebelumnya, maka penelitian mengenai sistem otomasi jenis ini pada hidroponik DFT perlu dilakukan. Pada era industri saat ini penggunaan sistem otomasi guna

meningkatkan kinerja dan keamanan peralatan dalam proses produksi merupakan pilihan yang tepat (Kereh, G. J., Haris R., dan Denny S., 2015). Oleh karena itu, dibutuhkan optimasi sistem fertigasi dengan cara memberikan sistem kontrol secara otomatis. Sistem fertigasi secara otomatis diharapkan mampu memenuhi kebutuhan nutrisi dan pH tanaman dengan tepat.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat

Kegiatan penelitian ini dilaksanakan pada bulan Januari 2021 sampai dengan November 2021 bertempat di: Laboratorium Sumber Daya Air serta Area Hidroponik, Fakultas Teknologi Industri Pertanian, Universitas Padjadjaran.

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan yaitu *software Arduino IDE, Software Autocad, Software Fritzing*, solder, dan multimeter. Sedangkan bahan yang digunakan yaitu Arduino MEGA, sensor nutrisi, sensor pH meter, PCB Blank, *switching, dosing pump*, kabel *jumper*, timah solder, *AC/DC Adaptor, LCD, MicroSD Psi Modul, MicroSD Card*, larutan nutrisi, dan larutan *pH up* serta *pH down*.

Metode penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah metode rekayasa dengan melakukan kegiatan rancang bangun (*Engineering Design*).

Mekanisme Kerja

Hal yang pertama dilakukan adalah memilih jenis tanaman yang akan ditanam. Jenis tanaman yang dipilih dapat dilihat pada LCD dan dioperasikan dengan tombol. Setelah memilih jenis tanaman yang akan ditanam, selanjutnya adalah memasukan larutan nutrisi A, larutan nutrisi B, larutan pH UP, larutan pH DOWN ke dalam 4 tandon kecil yang berbeda. Terdapat tandon kecil lain untuk mencampurkan larutan nutrisi A dan larutan nutrisi B hanya saat dibutuhkan agar tidak terjadi pengendapan. Sensor TDS meter dan pH meter mendeteksi kandungan nutrisi dan pH pada tandon utama. Ketika sensor TDS meter mendeteksi bahwa kandungan nutrisi pada tandon utama kurang dari nilai yang ditentukan maka *dosing pump* pada tandon larutan nutrisi A, larutan nutrisi B dan air akan membuka dan masuk ke tandon utama. Ketika sensor pH meter mendeteksi bahwa kandungan pH pada tandon utama melebihi nilai yang ditentukan maka *dosing pump* pada larutan pH DOWN akan membuka dan mengalirkan cairan ke dalam tandon utama hingga kandungan pH pada tandon utama sudah sesuai. Sebaliknya, ketika sensor pH meter mendeteksi bahwa kandungan pH pada tandon utama kurang dari nilai yang ditunjukkan pada literatur Lampiran 1 maka *dosing pump* pada larutan pH UP akan membuka dan mengalirkan cairan ke dalam tandon utama hingga kandungan pH pada tandon utama sudah sesuai. Apabila air di dalam tandon utama terdeteksi kurang dari batas yang ditentukan, maka keran air baku akan membuka dan mengisi tandon utama hingga memenuhi batas yang telah ditentukan.

Analisis Teknik

Analisis teknik ini bertujuan untuk menganalisis hubungan antar variabel yang belum cari sebelumnya.

Kapasitas Tandon

Tandon yang akan digunakan berbentuk balok. Untuk menghitung kapasitas tandon, maka digunakan persamaan volume balok sebagai berikut:

$$V = p \times l \times t \dots\dots\dots (1)$$

Dimana:

- V = volume balok
- p = panjang balok
- l = lebar balok
- t = tinggi balok

Penentuan Dosis Cairan Nutrisi

Pemberian dosis cairan nutrisi tergantung pada kebutuhan setiap jenis tanaman. Pada penelitian ini digunakan nutrisi 800 ppm dengan perbandingan 5 mL nutrisi A:5 mL nutrisi B:1 L air baku. Maka dapat didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$5 \text{ mL A} : 5 \text{ mL B} : 1 \text{ L air} = 800 \text{ ppm} \dots \dots \dots (2)$$

$$1 \text{ mL A} : 1 \text{ mL B} : 1 \text{ L air} = \frac{800}{5} \text{ ppm} = 160 \text{ ppm} \dots \dots \dots (3)$$

$$\text{Volume nutrisi yang dibutuhkan} = \frac{\text{ppm yang dibutuhkan}}{160 \text{ ppm}} \dots \dots \dots (4)$$

Dimana:

ppm = satuan nutrisi (*part per million*)

Penentuan Dosis Cairan pH

Pemberian dosis cairan pH tergantung pada kebutuhan setiap tanaman. Pada penelitian ini digunakan *trial and error* untuk mengetahui dosis cairan pH dengan memberikan sedikit demi sedikit cairan pH UP dan pH DOWN ke dalam tandon utama.

Pengaturan *Dosing Pump*

Pengaturan *dosing pump* akan dilakukan berdasarkan kondisi nutrisi dan pH di dalam tandon. Tabel 1 adalah pengaturan dari *dosing pump*.

Tabel 1. Pengaturan Dosing Pump

Diameter Dalam (mm)	Diameter Luar (mm)	Flowrate (mL/menit)
1	3	2-17
2	3	5-40
3	5	19-100

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari rancang bangun sistem fertigasi otomatis adalah menghasilkan sebuah sistem yang mampu mengontrol pemberian nutrisi dan kondisi pH air nutrisi sehingga tanaman akan tumbuh dengan optimal. Hasil rancang bangun sistem fertigasi otomatis secara detail adalah sebagai berikut:

1. Sistem Elektronik

Sistem kontrol pada fertigasi otomatis dimana komponen elektronika dimanfaatkan sebagai pengendali pergerakan mekanik yang terjadi. Sistem kendali yang digunakan adalah sistem kendali tertutup. Sistem kendali tertutup adalah sistem yang terdiri atas sensor (*input*), mikrokontroler, aktuator dan *feedback* (Istiyanto, 2014). Sistem *feedback* digunakan untuk mengoreksi nilai kadar nutrisi dan pH sehingga didapatkan kondisi air nutrisi pada sistem fertigasi yang sesuai. Pengendalian sistem fertigasi otomatis memerlukan program yang akan dijalankan oleh mikrokontroler. Gambar 1 menunjukkan rangkaian elektronik dari sistem fertigasi otomatis.



Gambar 1. Rangkaian Elektronik Sistem Fertigasi Otomatis

2. Kalibrasi Sensor pH

Kalibrasi pada sensor pH dilakukan untuk mengetahui tingkat akurasi dari sensor yang akan digunakan. Sensor yang digunakan adalah sensor pH meter dari DFROBOT dengan *probe* SKU: SEN0161. Pada sensor pH, kalibrasi dilakukan dengan cara membandingkan nilai yang didapatkan oleh sensor pH dengan nilai pada larutan *buffer* pH 4, pH 7, dan pH 9. Perbedaan nilai tersebut lalu di substitusi ke dalam program yang telah dibuat dengan mengganti nilai *OFFSET*. Sehingga didapatkan nilai pH yang lebih akurat. Tabel 2 adalah hasil kalibrasi sensor pH.

Tabel 2. Kalibrasi Sensor pH

pH Larutan <i>Buffer</i>	Pembacaan Sensor pH Sebelum Kalibrasi	<i>OFFSET</i>	Pembacaan Sensor pH Sesudah Kalibrasi
4	3.7	0.3	4
7	6.8	0.2	6
9	8.8	0.2	9

3. Kalibrasi Sensor Nutrisi

Kalibrasi pada sensor nutrisi dilakukan untuk mengetahui akurasi nilai dari pembacaan sensor. Sensor nutrisi yang digunakan adalah produk dari DFROBOT *Gravity: Analog TDS Sensor/Meter for Arduino*. Kalibrasi pada sensor pH dilakukan dengan membandingkan hasil bacaan sensor dengan bacaan dari TDS Meter Digital. Kemudian perbedaan nilai pembacaan akan dikalibrasi pada program dengan cara: membuka *serial monitor*—ketik “enter”, lalu enter—ketik “cal: nilai kalibrasi”, lalu enter—ketik “exit”, lalu enter—tutup *serial monitor*. Hasil kalibrasi disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Kalibrasi Sensor Nutrisi

Pembacaan TDS Meter Digital (ppm)	Pembacaan Sensor TDS Sebelum Kalibrasi (ppm)	<i>Error</i> (ppm)	Pembacaan Sensor TDS Setelah Kalibrasi (ppm)
346	215	131	214
577	432	145	432
869	658	211	664

4. Pengujian Otomatisasi Pemberian Nutrisi

Pengujian otomatisasi pemberian nutrisi dilakukan dengan cara membuat beberapa wadah yang berisi air 1 Liter dengan kadar ppm yang berbeda. Nutrisi yang digunakan adalah AB MIX. Kadar nutrisi minimum yang ditentukan pada pengujian ini adalah 900 ppm. Artinya, apabila kadar nutrisi pada air tidak mencapai 900 ppm maka kontrol otomatisasi pemberian nutrisi akan bekerja dengan bantuan dari *dosing pump*. Pengujian dilakukan pada 10 wadah yang berisi air dengan rincian pada Tabel 4.

Tabel 4. Pengujian Sistem Otomatisasi Pemberian Nutrisi

Wadah ke-	Kondisi Awal Nutrisi (ppm)	Kondisi Akhir Nutrisi (ppm)
1	121	910
2	334	902
3	498	912
4	130	905
5	272	905

Wadah ke-	Kondisi Awal Nutrisi (ppm)	Kondisi Akhir Nutrisi (ppm)
6	690	921
7	222	906
8	549	914
9	688	909
10	820	924

Hasil pengujian pada Tabel 4 menunjukkan bahwa kontrol otomatis berjalan sesuai dengan kondisi yang ditentukan. Pada saat kadar nutrisi pada air tidak mencapai 900, *dosing pump* menyala dan memberikan larutan nutrisi AB MIX ke dalam wadah tersebut dan *dosing pump* mati Ketika kadar nutrisi berada disekitar 900 ppm. Sehingga dapat disimpulkan bahwa system otomatisasi pemberian nutrisi dapat bekerja sesuai dengan fungsinya.

5. Pengujian Otomatisasi Pengontrol pH

Pengujian otomatisasi pengontrol pH dilakukan dengan cara membuat 10 wadah yang berisi air 250 mL dengan kadar pH yang berbeda. Larutan pH yang digunakan adalah larutan pH up dan larutan pH down. Kadar pH yang ditentukan pada pengujian ini adalah antara Ph 5 sampai dengan pH 6. Artinya apabila kadar Ph pada air berada dibawah 5, maka *dosing pump* pH up akan menyala. Sebaliknya, apabila kadar pH pada air lebih dari 6, maka *dosing pump* pH down akan menyala. Rincian pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Pengujian Sistem Otomatisasi Pengontrol pH

Wadah ke-	Kondisi Awal pH	Kondisi Akhir pH
1	6.2	5.7
2	4.3	5.2
3	4.5	5.2
4	3.2	5.1
5	9.0	5.9
6	4.0	5.5
7	7.2	5.5
8	8.1	5.6
9	3.3	5.3
10	3.4	5.2

Hasil pengujian pada Tabel 5 menunjukkan bahwa control otomatis berjalan sesuai dengan kondisi yang ditenteukan. Kadar pH berhasil dikontrol pada range angka 5 sampai dengan 6. Pada kondisi awal pH di bawah 5, *dosing pump* pH up menyala hingga kadar pH pada air menunjukkan nilai pada range 5 hingga 6. Sebaliknya, pada kondisi pH awal di atas 6, *dosing pump* pH down menyala hingga kadar pH pada air menunjukkan nilai pada range 5 hingga 6. Maka dapat disimpulkan bahwa kontrol pH ini berjalan dengan baik.

6. Perbandingan Tanaman Dengan Kontrol Otomatis dan Tanaman Tanpa Kontrol Otomatis

Pengamatan dilakukan pada 3 netpot tanaman pakcoy dengan sistem kontrol otomatis dan 3 netpot tanaman pakcoy tanpa sistem kontrol otomatis. Pengamatan dimulai selama 18 hari setelah tanam (HST) dihitung dari 4 hari setelah semai (HSS). Jenis hidroponik yang digunakan adalah hidroponik DFT. Instalasi hidroponik diletakan secara *outdoor* namun tetap menggunakan atap guna menghindari kerusakan yang diakibatkan oleh hujan. Adapun hasil pengamatan dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Perbandingan Tanaman Pakcoy Dengan Kontrol Otomatis dan Tanpa Kontrol Otomatis

Netpot ke-

Dengan Kontrol Otomatis

Tanpa Kontrol Otomatis

1



2



3



Hasil pengamatan menunjukkan bahwa pada tanaman dengan sistem kontrol otomatis membuat warna daun menjadi lebih hijau dan segar, sedangkan tanaman tanpa sistem kontrol otomatis membuat daun memiliki bercak kuning dan terlihat pucat. Hal ini dikarenakan kondisi pH yang tidak sesuai dengan kebutuhan pada tanaman pakcoy. Secara detail pertumbuhan tanaman pakcoy dapat dilihat pada Tabel 7 untuk tanaman dengan sistem kendali otomatis dan Tabel 8 untuk tanaman tanpa sistem kendali otomatis.

Tabel 7. Pertumbuhan Tanaman Dengan Sistem Kendali Otomatis

Tanggal	Umur Pakcoy (HST)	pH	Nutrisi (ppm)	Tinggi Batang (cm)			Jumlah Daun (helai)		
				1	2	3	1	2	3
10 November 2021	1	5.8	998	1.2	1.0	1.1	2	2	2

14 November 2021	5			3.6	3.7	3.1	3	3	3
19 Desember 2021	10	5.8	997	5.1	5.3	4.1	4	4	4
24 Desember 2021	15	5.2	957	7.3	7.2	7.5	7	6	8
27 Desember 2021	17	5.5	966	9.0	9.0	8.9	9	9	10

Tabel 8. Pertumbuhan Tanaman Tanpa Sistem Kendali Otomatis

Tanggal	Umur Pakcoy (HST)	pH	Nutrisi (ppm)	Tinggi Batang (cm)			Jumlah Daun (helai)		
				1	2	3	1	2	3
10 November 2021	1	6.8	970	1.2	1.0	1.0	2	2	2
14 November 2021	5	7.0	954	3.1	3.1	3.0	2	3	2
19 Desember 2021	10	6.7	932	4.9	3.8	4.0	3	3	3
24 Desember 2021	15	6.3	874	6.3	6.2	6.1	4	4	4
27 Desember 2021	17	6.2	855	8.2	8.0	8.0	4	5	5

Dari hasil pengamatan pada Tabel 7 dan Tabel 8 menunjukkan bahwa tanaman pakcoy dengan sistem kontrol otomatis mempunyai tinggi batang dan jumlah daun yang melebihi tinggi batang dan jumlah daun dari tanaman pakcoy tanpa sistem kontrol otomatis. Hal ini dikarenakan pada tanaman pakcoy dengan kontrol otomatis selalu berada pada kondisi yang ideal, sedangkan pada tanaman pakcoy tanpa kontrol otomatis selalu berada pada kondisi yang kurang ideal.

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil membuat sistem fertigasi otomatis yang dapat mengendalikan kondisi dari air nutrisi. Pengendalian otomatis pada pemberian nutrisi dan kontrol pH mampu berjalan sesuai dengan ketentuan yang dibuat yaitu kadar nutrisi minimal 900 ppm dan kadar Ph berada pada range 5 hingga 6. Hasil pengamatan yang dilakukan pada tanaman pakcoy pun menunjukkan bahwa tanaman pakcoy dengan kontrol otomatis menghasilkan daun yang berwarna hijau dan lebih segar. Sedangkan tanaman pakcoy tanpa kontrol otomatis menghasilkan daun yang memiliki bercak kuning dan tampak pucat. Selain itu, tinggi batang pada tanaman dengan kontrol otomatis lebih tinggi dibandingkan dengan tanaman tanpa kontrol otomatis. Jumlah daun pun menunjukkan bahwa tanaman dengan kontrol otomatis lebih banyak dibandingkan dengan tanaman tanpa kontrol otomatis.

UCAPAN TERIMAKASIH

Puji syukur kepada Allah SWT dan juga terimakasih kepada keluarga, teman-teman dan seluruh orang yang membantu penelitian ini sehingga dapat dilakukan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Clement, C.R., Hopper, M.J., Canaway, T.J. and Jones, L.H.P. (1974). *A System For Measuring The Uptake Of Ions By Plants From Flowing Solutions Of Controlled Composition*. J. Exp. Bot., 25: 81-99.
- Herwibowo, K. 2012. *Hidroponik sayuran*. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Istiyanto, J., E. 2014. *Pengantar Elektronika dan Instrumentasi*. Penerbit ANDI. Yogyakarta.
- Kereh, G. J., Haris R., dan Denny S. 2015. *Perancangan Program Sistem Otomatisasi Pada Stasiun Kerja Ruang Pelayuan Menggunakan Pengendali PLC OMRON CP1E Di PT. Perkebunan Nusantara VIII Ciater*. Program Studi Teknik Industri, Fakultas Rekayasa Industri, Telkom University. Bandung.
- Novella, M. B., Andriolo, J. L., Bisognin, D. A., Cogo, C. M., dan Bandinelli, M. G. 2008. *Concentration of Nutrient Solution in The Hydroponic Production of Potato Minitubers*. Jurnal Ciencia Rural Vol. 38 No. 6, Halaman 1529-1533.
- Nugraha, Rizqi Utami. 2015. *Sumber Sebagai Hara Pengganti AB mix pada Budidaya Sayuran Daun Secara Hidroponik*. J. Hort Indonesia 6 (1): 11- 19. April 2015.
- Son, J. E., Kim, H. J., & Ahn, T. I. 2020. *Hydroponic systems*. Plant Factory, Halaman 273–283. doi:10.1016/b978-0-12-816691-8.00020-0.
- Suryani, Reno. 2015. *Budi Daya Tanaman Tanpa Tanah Edisi 1*. Yogyakarta: ARCITRA.
- Vestergaard, B. 1984. *Oxygen Supply To The Roots In Different Hydroponic Systems*. Proc. 6th Int. Congr. Soilless Culture, Lunteren, pp. 723-737.